

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

# СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ  
та програма

VII Всеукраїнської  
науково-технічної конференції  
(м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.)

Суми  
Сумський державний університет  
2020

УДК 001.891(063)  
С91

Редакційна колегія:

відповідальний редактор – канд. техн. наук, доцент О. Г. Гусак;  
заступник відповідального редактора – канд. техн. наук, доцент  
І. В. Павленко.

Члени редакційної колегії:

д-р техн. наук, професор В. І. Склабінський; д-р техн. наук,  
професор В. О. Залога; д-р техн. наук, професор Л. Д. Пляцук;  
д-р техн. наук, професор К. О. Дядюра; канд. техн. наук, доцент  
О. П. Гапонова; канд. техн. наук, професор І. О. Ковальов; канд.  
техн. наук, професор І. Б. Карінцев; канд. техн. наук, доцент  
А. В. Загорулько; канд. техн. наук, доцент Є. М. Савченко; канд.  
техн. наук, доцент С. М. Вансєв; канд. техн. наук, доцент  
С. Б. Большаніна.

Технічні секретарі:

канд. техн. наук, асистент Х. В. Берладір; пров. інж. О. Ю. Чех.

Сучасні технології у промисловому виробництві :  
матеріали та програма VII Всеукраїнської науково-технічної  
конференції (м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.) / редкол.:  
О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний  
університет, 2020. – 386 с.

**УДК 001.891(063)**

До матеріалів конференції увійшли тези доповідей  
конференції, в яких наведені результати наукових досліджень  
представників закладів вищої освіти України та країн  
Європейського Союзу. Збірка тез доповідей буде корисною для  
науковців, викладачів, аспірантів і студентів, а також інженерів  
усіх галузей виробництва.

© Сумський державний університет, 2020

## ***Шановні пані та панове!***

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету запрошує Вас взяти участь у роботі VII Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві (СТПВ-2020)».

### **Секції конференції:**

1. Технології машинобудування.
2. Оброблення матеріалів у машинобудуванні.
3. Стандартизація та управління якістю у промисловому виробництві.
4. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство.
5. Опір матеріалів і машинознавство.
6. Динаміка і міцність, комп'ютерна механіка.
7. Екологія і охорона навколишнього середовища.
8. Хімічна технологія та інженерія.
9. Хімічні науки.
10. Гідравлічні машини і гідропневмоагрегати.
11. Енергозбереження енергоємних виробництв (прикладна гідроаеромеханіка).
12. Енергетичне машинобудування.
13. Енергозбереження енергоємних виробництв (технічна теплофізика).

Адреса Сумського державного університету:  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.

Телефон для довідок: +38 (0542) 33-10-24 – деканат факультету технічних систем та енергоефективних технологій.

# ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ

## СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Голова – зав. каф. ТМВІ, професор В. О. Залога.

Секретар – Д. В. Требухов, аспірант.

### 1. Пристрій для хонінгування отворів гільз циліндрів.

Доповідач: Голуб С. В., студент, гр. ТМм-91, СумДУ.

Керівники: Савчук В. І., доцент, каф. ТМВІ;  
Євтухов А. В., доцент, каф. ТМВІ.

### 2. Зниження шорсткості підшипникових поверхонь валів при їх обробленні способом подвійної осциляції брусків.

Доповідач: Маленко Р. Г., студент, гр. ТМ.м-92, СумДУ.

Керівники: Савчук В. І., доцент, каф. ТМВІ;  
Євтухов А. В. доцент, каф. ТМВІ, СумДУ.

### 3. Аналіз амплітудно-частотної характеристики динамічної системи круглого врізного шліфування.

Доповідач: Дмитренко Н. Р., студент, гр. ТМ.м-91, СумДУ.

Керівники: Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ;  
Савчук В. І., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.

### 4. Класифікація продукції в Україні. Створення ієрархічної системи пошуку інформації по класифікатору ДКПП.

Доповідачі: Бараненко А.В., студент, гр.ТМ.м-91;  
Голуб С.В., студент, гр.ТМ.м-91, СумДУ.

Керівник: Руденко О.Б., ст. викл., каф. ТМВІ, СумДУ.

### 5. Спеціальний верстатний пристрій для обробки малошорсткої деталі «гільза».

Доповідач: Сахно М. С., студент, гр.ТМ-61, СумДУ.

Керівники: Кушніров П. В., доцент, каф. ТМВІ;  
Колесник В. О., ст. викладач, каф. ТМВІ, СумДУ.

### 6. До використання комбінованих процесів шліфування синтетичних алмазів.

Доповідач: Волошкіна І. В., асп. каф. ІТМ, гр. АВ-7-131,  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут», м. Харків.

Керівник: Пижов І.М. д-р техн. наук, проф. каф. ІТМ,  
Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут», м. Харків.

7. Напрямки забезпечення ефективності технологічних систем механічної обробки деталей.

Доповідач: Ушаков О. А., студент гр. МПТ-218в кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків.  
Керівники: Котляр О. В, доцент; Басова Є. В., доцент, кафедра технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків.

8. Удосконалення технологічної підготовки свердлильних операцій.

Доповідач: Супрун В. О., магістрант, гр. ТМ.м-81, СумДУ.  
Керівник: Денисенко Ю. О., ст. викладач, каф. ТМВІ, СумДУ.

9. Дослідження впливу вібраційних переміщень заготовки на точність отворів при свердлінні пакету вуглепластик / титановий сплав.

Доповідач: Шоломицький О. Л., студент, гр. ТМ-71, СумДУ.  
Керівник: Колесник В. О., ст. викладач каф. ТМВІ, СумДУ.

10. Вплив сил різання на параметри врізного шліфування.

Доповідачі: Фесенко А. В., професор; Ушаков О. М., доцент; Євсюкова Ф. М., доцент, кафедра технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» м. Харків.

11. Алгоритм роботи адаптивної системи керування круглошліфувального верстата.

Доповідачі: Фесенко А. В., професор; Ушаков О. М., доцент, Євсюкова Ф. М., доцент, кафедра технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» м. Харків.

12. Modeling of machining of non-involute gears.

Доповідач: Mironenko S. A., Student, CIT-26b, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.  
Керівники: Tretyak T. E., Senior Lecturer; Zubkova N. V., Senior Lecturer; Gutsalenko Yu. G., Senior Lecturer; Mironenko A. L., Senior Lecturer, National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv.

13. Розвиток технологічних можливостей технічних систем алмазного шліфування на базі універсальних верстатів.

Доповідачі: Наконечний М. Ф., доцент; Гуцаленко Ю. Г., ст. викл., кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М. Ф. Семка НТУ «ХП», м. Харків.

14. Інтеграція CAD/CAM/CAE/CAPP-систем та ERP.

Доповідачі: Рузметов А. Р., доцент; Добротворський С. С., професор; Ушаков О. М., доцент, кафедра технологій машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХП», м. Харків

15. Дослідження процесу теплообміну в зоні шліфування при використанні спеціального пристрою подачі МОР.

Доповідачі: Степанов М. С., професор; Іванова М. С., доцент, кафедра технологій машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХП», м. Харків; Літовченко П. І., доцент; Іванова Л. П., завідувач лабораторії, кафедра інженерної механіки Академії внутрішніх військ МВС України, м. Харків; Котляр О. В., доцент кафедри технологій машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХП», м. Харків.

16. Вплив методу зміцнення на характеристики надійності та довговічності деталей машин і механізмів.

Доповідачі: Градиський Ю. О., доцент кафедри деревооброблювальних технологій та системотехніки лісового комплексу Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка, м. Харків; Янчик О. Г., доцент кафедри безпека праці і навколишнього середовища Національно технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків.

17. Передумови впровадження багатокординатного оброблення деталей типу вилки.

Доповідач: Пірогов Д. О., студент, СумДУ.  
Керівник: Іванов В. О., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.

## СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ»

Голова – зав. каф. ТМВІ, професор В. О. Залога.

Секретар – Д. В. Требухов, аспірант.

1. Аналіз жорсткості різцетримача на основі механізму паралельної структури.  
Доповідач: Бараник А. М., студент, гр. ВІ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Алексєєв О. М., професор каф. ТМВІ, СумДУ.
2. Обчислення кількісних характеристик складальних одиниць з використанням інтернет-технологій.  
Доповідачі: Курило О. О., студент гр. ВІ.м-91;  
Коваленко Ю. С, студент гр. ВІ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Алексєєв О. М., професор каф. ТМВІ, СумДУ.
3. Прогнозування зношування інструменту при механічній обробці полімерних композитів.  
Доповідач: Хавін Г. Л., професор, каф. «Технології машинобудування та металорізальних верстатів», НТУ «ХПІ», м. Харків.
4. Параметри настроювання пристосування для заточування свердел.  
Доповідач: Дегтяр О. А., студент, гр. ВІ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Швець С. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.
5. Стрічкокопильний верстат.  
Доповідач: Левченко О. О., студент, гр. ВІ-71, СумДУ.  
Керівник: Коротун М. М., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.
6. Вплив якості прокату та термообробки на працездатність тришарошкових доліт.  
Доповідачі: Яким Р. С., професор, Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич;  
Петрина Д. Ю., професор, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ.
7. Дослідження впливу знаменника геометричної прогресії на конструктивні параметри привода верстата.  
Доповідач: Семініченко В. Ю., студент, гр.ВІ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Швець С. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.

8. Усунення крапельної фази вакуумно-дугового розряду введенням нвч-енергії у зону її транспортування.

Доповідач: Сисоєв Ю. О., професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем Національного аерокосмічного університету ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків.

9. Дослідження впливу температурного розширення інструменту на похибку розмірів і форми отворів при свердлінні пакетів вуглепластик/ титановий сплав.

Доповідач: Басов Б. С., студент гр. ТМм-91, СумДУ.  
Керівник: Колесник В. О., ст. викладач каф. ТМВІ, СумДУ.

10. Сучасний стан верстатобудування в Україні.

Доповідач: Мошна А. С., студентка, гр. ВІ-71-9, СумДУ.  
Керівник: Довгополов А.Ю., викладач, каф. ТМВІ, СумДУ.

11. Різальний інструмент, для нарізання внутрішніх різей малого діаметра методом лезової обробки.

Доповідач: Шульга Д. О., студент, гр. ВІ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Ємельяненко С. С., доцент, каф. ТМВІ, СумДУ.

### **СЕКЦІЯ «СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ»**

Голова – зав. каф. ТМВІ, професор В. О. Залога.

Секретар – Д. В. Требухов, аспірант.

1. Уніфікація завдань для тестового контролю знань.

Доповідач: Маландій Т. Ю., аспірант, гр. АСП-42.тех, СумДУ.

2. Особливості оцінки відповідності електронних засобів вимірювальної техніки.

Доповідач: Антонов А. П., аспірант, гр. АСП.тех-8.1, СумДУ

3. Міжнародні й національні стандарти у сфері управління ризиками та вимоги технічних регламентів до засобів вимірювальної техніки.

Доповідачі: Чучук Т. Є., аспірант; Антонов А. П., аспірант;  
Хлібченко В. В., студент, гр. СТ.мз-91с, СумДУ.  
Керівник: Івченко О. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.



4. Інтегрування менеджменту ризику в системи управління відповідно до вимог міжнародних стандартів.

Доповідачі: Чучук Т. Є., аспірант; Гладишев Д. П., аспірант;  
Разуєва А. Д., студент, гр. СТ.мз-91с, СумДУ.

Керівник: Івченко О. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ.

5. Забезпечення відповідності вимогам ортопедичних виробів на основі етиленвінілацетату.

Доповідачі: Залога Р. О., аспірант; Підлісний В. В., студент  
гр. ВІ-61, Сумський державний університет.

Керівники: Дядюра К. О., професор каф. ТМВІ; Залога В. О.,  
завідувач кафедри ТМВІ, СумДУ.

### **СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

Голова – в. о. зав. каф. ПМ та ТКМ, доцент О. П. Гапонова.

Секретар – Х. В. Берладір, старший викладач.

1. Thermodynamic modeling of the MgO – FeO – TiO<sub>2</sub> system.

Speakers: Borysenko O. M., Associate Professor;  
Logvinkov S. M., Professor; Ivashura A. A., Associate  
Professor, Department of Environmental Technologies,  
Ecology and Safety of Vital Activity, Simon Kuznets  
Kharkiv National University of Economics;  
Shabanova G. M., Professor, Department of Ceramics  
Technology, Refractories, Glass and Enamels, National  
Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”;  
Korohodska A. M., Assoc. Prof., Department  
of General and Inorganic Chemistry, National Technical  
University “Kharkiv Polytechnic Institute”.

2. Prospects for designing the chemical composition of hard alloys, taking into account their hardening due to the formation of nanostructures.

Speakers: Kostyuk G. I., Professor, Department of Theoretical  
Mechanics, Mechanical Engineering and Robotic  
Systems, National Aerospace University named after  
N. Ye. Zhukovsky “KhAI”; Popov V. V., Chairman,  
JSC “FED”; Yevsieienkova H. V., Graduate Student;  
Torosyan G. D., Student of Group 259M, National  
Aerospace University named after N. Ye. Zhukovsky  
“KhAI”.

3. Галузі застосування процесу механічної активації у промисловості.  
Доповідач: Негреба Н. Ю., студент, гр. МБ-81/1 МТ, СумДУ.  
Керівник: Берладір Х. В., ст. викл. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.
4. Сутність термоциклічної обробки матеріалів та її особливості.  
Доповідач: Швецов Д. В., студент, гр. МБ-81/1 МТ, СумДУ.  
Керівник: Берладір Х. В., ст. викл. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.
5. STEM в професійно-технічній освіті як основа формування базисних інженерних навичок.  
Доповідачі: Решетняк Г. М., викл.-методист, ДПТНЗ «КПАЛ»;  
Берладір Х. В., ст. викл. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.
6. Вибір матеріалу та зміцнювальної поверхневої обробки деталі «бандаж зубчатого колеса».  
Доповідачі: Руденко С. Г., студент, гр. МТ-61.  
Берладір Х. В., ст. викл. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.
7. Отримання порошку міді з відходів промисловості.  
Доповідачі: Білошицький М. В., доцент; Татарченко Г. О., професор, завідувач кафедри, Білошицька Н. І., доцент, кафедра будівництва, урбаністики та просторового планування, Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля.
8. Вибір матеріалу та термічної обробки поршня дизельного двигуна.  
Доповідач: Зінченко І. Д., студент, гр. МТ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Гапонова О. П., в. о. зав. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.
9. Вибір матеріалу та зміцнювальної поверхневої обробки деталі «зубчате колесо».  
Доповідачі: Петренко В. Ю., студент, гр. МТ-61, СумДУ.  
Гапонова О. П., в. о. зав. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.
10. Дослідження структури та властивостей багат шарових зміцнених шарів, отриманих методом електроіскрового легування.  
Доповідачі: Гапонова О. П., в. о. зав. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.  
Голуб Н. Р., студент, гр. МБ-81/1 МТ, СумДУ.
11. Вибір матеріалу та зміцнювальної поверхневої обробки деталі «вал-шестірна».  
Доповідач: Іванов І. О., студент, гр. МТ-61, СумДУ.  
Керівник: Гапонова О. П., в. о. зав. каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.

12. Оцінка ризику впливу біополімерних наноматеріалів на здоров'я людини.  
Доповідачі: Голик В. С., аспірант; Дядюра К. О., д-р техн. наук, професор; Балинський М. В., студент, гр. МТ-61, Сумський державний університет.
13. Будова рами FPV квадрокоптера.  
Доповідач: Рева Б. С., студент, гр. МТ-61, СумДУ.  
Керівник: Дегула А. І., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.
14. Дослідження причин зносу кулачків розподільного валу двигуна.  
Доповідачі: Руденко П. В., асистент кафедри ПМ та ТКМ; Данільченко В. О., студент, гр. МТ-61, СумДУ.
15. Вибір матеріалу та методу зміцнення леза ланцюгової бензопили.  
Доповідач: Ільїних А. А., завідувач навчальної лабораторії кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.
16. Покращення властивостей сталі 12Х18Н9ТЛ методом нанесення захисних нітридних покриттів.  
Доповідачі: Вареник С. В., магістрант, гр. МТ.м-91; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.
17. Використання нанотехнологій в приладобудуванні.  
Доповідачі: Тягно С. В., студент, гр. МТ-81; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.
18. Особливості призначення та вибір матеріалу для деталі «напівмуфта».  
Доповідачі: Осічев Д. Р., студент, гр. МТ-61; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.
19. Розроблення оптимального режиму термічної обробки для сталі мартенситного класу 20Х13.  
Доповідачі: Лупир О. В., аспірант; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.
20. Структура і механічні властивості покриттів для ріжучих інструментів на основі Cr, W та N.  
Доповідачі: Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ та ТКМ; Вареник С. В., магістрант, гр. МТ.м-91; Осічев Д. Р., студент, гр. МТ-61, СумДУ.

21. Покращення властивостей сталі Р6М5 для виготовлення деталі «циліндрична фреза».

Доповідачі: Мартиненко Є. М., магістранта, гр. МТ.м-91;  
Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ.

22. Фазові перетворення в титанових сплавах Ti-Nb-Mo.

Доповідачі: Мисливченко О. М., н. с.; Бондар А. А., зав. відділу;  
Тіхонова І. Б., м. н. с.; Петюх В. М., с. н. с.,  
ППМ ім. І. М. Францевича НАН України, м. Київ.

23. Термічна обробка деталі «вал насосу».

Доповідачі: Кайдаш Д. В., студент, гр. МТ-61; Харченко Н. А.,  
доцент; Руденко Л. Ф., асистент; Ільїних А. А., зав.  
лаб., каф. ПМ та ТКМ, СумДУ.

### **СЕКЦІЯ «ОПР МАТЕРІАЛІВ І МАШИНОЗНАВСТВО»**

Голова – проф. І. Б. Карінцев.  
Секретар – доц. Д. О. Жигилій.

1. Вплив ізохронності в принципі можливих переміщень для чотириохланкового механізму.

Доповідач: Голуб Н.Р. студент, група МБ-81/1 МТ.  
Керівник: Жигилій Д.О., доцент.

2. Рациональне проектування двошарової суттєво неоднорідної балки при чистому прямому згинанні.

Доповідач: Тягно С. В. студент, група МБ-81/9, СумДУ.  
Керівник: Жигилій Д. О., доцент, СумДУ.

3. Розтягання двошарового суттєво неоднорідного стержня поза центром жорсткості.

Доповідач: Хвостенко Р. О. студент, група МБ-81/9, СумДУ.  
Керівник: Жигилій Д. О., доцент, СумДУ.

4. Вдосконалення конструкцій пристроїв для відриву бортів шини від ободу колеса всюдихода.

Доповідачі: Сергієнко М. Є., НТУ «Харківський політехнічний інститут», м. Харків;  
Калінін П. М., Шабалін О. Ю.,  
Жережон-Зайченко Ю. В.,  
Національна академія Національної гвардії України;  
Сергієнко А. М., ТОВ «Інтехресурс», м. Харків.

5. Побудова календарного графіка обчислення значень ВСФ для східчастого стержня з використанням актуалізації, мотивації і методів навчання.

Доповідачі: Момот С., учениця 10 класу; Діденко Д.,  
учень 11 класу, школа № 2, м. Білопілля.

Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

6. Знаходження проєкцій головного вектору і головного моменту у нахилах перерізів гвинтових циліндричних пружин та розгляд окремих конструктивних схем.

Доповідачі: Охрименко А., Охрименко О., учні 11 класу,  
школа № 2, м. Білопілля.

Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

7. Побудова поповерхових схем багатопрольотних шарнірно-консольних балок з метою спрощення знаходження  $Q$  і  $M$ .

Доповідач: Целуйкин Д., учень 11 класу центру позашкільної  
освіти, школа № 5, м. Лебедин.

Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

8. Розгляд криволінійного руху матеріальної точки у блоковому вигляді.

Доповідачі: Мартусенко А., учень 11 класу, школа № 3;  
Бабченко В., учент 11 класу, школа № 1,  
м. Білопілля.

Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

9. Реабілітація пацієнтів з судинними захворюваннями нижніх кінцівок.

Доповідачі: Пазинюк Б.В.,  
Стовбир О.А., завідувач хірургічним відділенням  
№ 2; Керей Д. М., хірург, лікарня № 5, м. Суми;  
Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

10. Знаходження нормальних і дотичних напружень для східчастого стержня без урахування його власної ваги з визначенням напружень на похилих майданчиках.

Доповідач: Літвіненко О., учень 10 класу, школа № 2, м. Суми.  
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

11. Зіставлення головних центральних і головних моментів інерції складних плоских перерізів аналітичним і графічним методами.

Доповідачі: Глеба Д., учень 11 класу, центру позашкільної освіти, школа № 5, м. Лебедин, Горовой Р.,  
Калашнік С., учні 10 класу, школа № 2, м. Суми.  
Керівник: Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ.

12. Види деформацій стержнів з урахуванням конструктивних та розрахункових схем виконаних в аксонометричних проекціях.

Доповідач: Вільбой Д., учень 11 класу, центру позашкільної освіти, школа № 5, м. Лебедин.  
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

13. Вибір раціональної форми перерізу балки при деформації поперечного згину.

Доповідач: Древаль Є., учень 11 класу, центру позашкільної освіти, школа № 5, м. Лебедин.  
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

14. Методика побудови епюр внутрішніх силових факторів для просторових рам з урахуванням різноманітних конструктивних схем.

Доповідач: Морозова Л., учениця 11 класу центру позашкільної освіти, школа № 5, м. Лебедин.  
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

15. Методологічні особливості викладання законів Д. Джоуля, Е. Ленца, Г. Ома.

Доповідач: Ткаченко І., учень 11 класу, центр позашкільної освіти, школа № 5, м. Лебедин.  
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ, СумДУ.

## СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ, КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА»

Голова – зав. кафедри, доцент А. В. Загорулько.

Секретар – зав. навч. лаб. С. О. Міщенко.

1. Витратні та статичні характеристики автоматичного розвантажувального пристрою з урахуванням випадкової зміни циліндричного зазору та місцевих витрат.

Доповідач: Яковчук В. В., студент, група КМ-71, СумДУ.

Керівник: Сovenko Н. В., доцент каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

2. Вплив об'єму та геометрії камер багатошпаринних ущільнень на вібраційні характеристики відцентрових насосів.

Доповідач: Слинко Д. Ю., студент гр. КМм.91, СумДУ.

Керівник: Позовний О. О., аспірант, СумДУ.

3. Властивості напружень в рухомій рідині.

Доповідач: Міщенко С. О., зав. навч. лаб. каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

Керівник: Калініченко П. М., доцент каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

4. Числовий аналіз витратних і ротородинамічних характеристик лабіринтно-лункових ущільнень.

Доповідач: Іземенко В. В., студент, група КМ-71, СумДУ.

Керівник: Загорулько А. В., зав. кафедри ЗМ і ДМ, СумДУ.

5. Дослідження методами обчислювальної гідродинаміки рідинних динамічних сил, які діють на об'єму криогенного кульового підшипника кочення при гідродинамічному режимі змащення.

Доповідачі: Яковчук В. В., студентка, група КМ-71;

Міщенко С. О., зав. навч. лаб. каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

Керівник: Загорулько А. В., зав. кафедри ЗМ і ДМ, СумДУ.

6. Розрахунковий аналіз характеристик турбіни радіального потоку в залежності від величини зазору та типу ущільнення між кромкою лопатки і стінками ротора та статора.

Доповідач: Шовкопляс М. О., студент група КМ-71.

Керівник: Загорулько А. В., зав. кафедри ЗМ і ДМ, доцент.

7. Термогідродинамічний аналіз упорного колодкового підшипника ковзання з охолодженням масляної плівки.

Доповідач: Кайота Д. О., аспірант; Шерстюк В. І., студент гр. КМ-71, СумДУ.

Керівник: Загорулько А. В., зав. кафедри ЗМ і ДМ, СумДУ.

8. Числові та експериментальні дослідження регулятора перепаду тиску системи сухих газових ущільнень: контроль перепаду тиску та динамічних вібрацій.

Доповідач: Афанасьєв С. В., студент, група КМ-71.  
Керівник: Загорулько А. В., зав. кафедри ЗМ і ДМ, СумДУ.

9. Статичний та динамічний розрахунок запірного імпульсного ущільнення з регулятором перепаду тиску.

Доповідачі: Лісовенко Д. В., провідний фахівець каф. ЗМ і ДМ;  
Олійник Є. О., студент гр. КМ-71, СумДУ.  
Керівник: Загорулько А. В., зав. кафедри ЗМ і ДМ, СумДУ.

10. Підвищення ефективності шпаринних ущільнень відцентрових насосів за рахунок використання композиційних матеріалів.

Доповідач: Гудкова О. В., аспірантка, СумДУ.

11. Дослідження можливостей кепстрального аналізу на основі його реалізації в середовищі візуального програмування LabVIEW.

Доповідач: Пестун М. О., студент, гр. КМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Савченко Є. М., доцент каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

12. Використання можливостей програмного комплексу LabVIEW для дослідження динамічних характеристик механічних систем.

Доповідач: Логоша В. В., студент, гр. КМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Савченко Є. М., доцент каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

13. Забезпечення вібраційної надійності відцентрових машин за рахунок уточнення параметрів математичної моделі вільних коливань ротора.

Доповідач: Вербовий А. Є., аспірант; Серик М. Л., студент;  
Вашист Б. В., аспірант, СумДУ, Україна.  
Керівники: Павленко І. В., доцент; Симоновський В. І.,  
професор, каф. ЗМ і ДМ, СумДУ, Україна;  
Неамцу К., доцент, Технічний університет  
м. Клуж-Напоки, Румунія.

14. Експериментальне дослідження взаємодії газорідного потоку з деформівними елементами модульного сепараційного пристрою за допомогою РІУ.

Доповідачі: Дем'яненко М. М., аспірантка каф. ЗМ і ДМ;  
Старинський О. Є., викладач-стажист каф. ПОХНВ,  
СумДУ, Україна.  
Керівники: Янович В. П., н. с., кафедра енергетичних систем,  
Західночеський університет, м. Пльзень, Чехія;  
Павленко І. В., доцент, каф. ЗМ і ДМ;  
Ляпощенко О. О., професор, каф. ПОХНВ,  
Сумський державний університет, Україна.



## **СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»**

Голова секції – зав. каф., проф. Л. Д. Пляцук.

Секретар – зав. лабораторії Є. В. Батальцев.

1. Аналіз фазового складу відходів буріння для обґрунтування екологічно безпечної технології утилізації.

Доповідачі: Луценко С. В., аспірант; Аблеєва І. Ю., старший викладач; Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми.

2. Забруднення підземних вод під час освоєння родовищ нафтогазовидобувного комплексу.

Доповідачі: Янченко І. О., аспірантка; Аблеєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

3. Оцінка екологічного ризику від антропогенного впливу на поверхневі води.

Доповідачі: Безсонний В. Л., доцент; Буц Ю. В., доцент; Доронін Є. В., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків.

4. Закордонний досвід виробництва біометану на шляху до декарбонізації транспортного сектору.

Доповідачі: Гуслева А. О., студентка; Аблеєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

5. Перспективи розвитку утилізації бурових відходів у нафтогазовидобуванні.

Доповідачі: Єгорова Д. А., студентка; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

6. Формування крони деревних насаджень як складова створення стійкого зеленого каркасу міста.

Доповідачі: Богомолова А. В., студентка; Яхненко О. М., асистент, СумДУ, м. Суми.

7. Підвищення екологічної безпеки безпілотних транспортних засобів при їх моделюванні з використанням програмно-апаратного комплексу на базі контролера Arduino.

Доповідач: Кобріна Н. В., доцент, НАУ «ХАІ», м. Харків.

8. Зменшення викидів в атмосферу за рахунок атомної генерації.

Доповідачі: Дударь А. В. студент; Трунова І. О., доцент,  
СумДУ, м. Суми.

9. Роль математичного моделювання у прогнозуванні медико-екологічних тенденцій.

Доповідачі: Котова І. І., Безкровна А. В., Захарова В. А.,  
студенти; Рой І. О., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми.

10. Екологічні аспекти створення азотних добрив пролонгованої дії шляхом їх капсулювання.

Доповідачі: Макаренко Н. О., асистент; Пляцук Л. Д., професор,  
СумДУ, м. Суми.

11. Оцінка якісного стану водної екосистеми басейну Дніпра.

Доповідачі: Пономаренко Р.В., с. н. с., НУЦЗУ, м. Харків;  
Пляцук Л. Д., професор; Аблєєва І. Ю., старший  
викладач, СумДУ, м. Суми.

12. Прогноз зміни показників кисневого режиму поверхневого джерела в умовах водної екосистеми басейну Дніпра.

Доповідачі: Пономаренко Р. В., с. н. с., НУЦЗУ, м. Харків;  
Пляцук Л. Д., професор; Аблєєва І. Ю., старший  
викладач, СумДУ, м. Суми.

13. Медико-екологічна оцінка захворюваності населення Сумської області на хвороби системи кровообігу у районах видобутку нафти і газу.

Доповідачі: Корнус А. О., доцент; Крикун А. С. магістрантка,  
СумДУ, м. Суми;  
Корнус О. Г., доцент; Кругліченко М. М.,  
магістрант, СумДПУ ім. А. С. Макаренка, м. Суми.

14. Екологічна безпека у сфері поводження з радіоактивними відходами.

Доповідачі: Котова І. І., студентка; Черниш Є. Ю., доцент,  
СумДУ, м. Суми.

15. Small river biocenosis in the conditions of high level of allochthonous organic pollution.

Speakers: Kuzmina T., Assoc. Prof., Sumy State University, Sumy, Ukraine;  
Kapusta A., Head of Department of Ichthyology, Inland Fisheries Institute, Olsztyn, Poland;  
Pliashechnyk V., Senior Lab. Assist., Uzhgorod National University, Uzhgorod, Ukraine;  
Babko R., Senior Researcher, Institute of Zoology, NAS of Ukraine, Kyiv, Ukraine.

16. Удосконалення систем водопідготовки на підприємствах теплоенергетики.

Доповідачі: М'якаєв О. В., аспірант, СумДУ, м. Суми.

17. Підвищення екологічної безпеки нафтогазовидобування з використанням термічної утилізації нафтошламів.

Доповідачі: Сіра А. Ю., студентка; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

18. Розрахунок захоронення відходів газовидобутку.

Доповідачі: Рикусова Н. І., аспірантка; Шестопапов О. В., доцент; Гетта О. С., аспірантка, НТУ «ХП», м. Харків.

19. Процес знешкодження осадів стічних вод разом із фосфогіпсом з утворенням біогазу.

Доповідачі: Руденко В.В., студентка; Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми.

20. Зниження техногенного навантаження на довкілля підприємств харчової промисловості.

Доповідачі: Федоришин П. В., студент; Козій І. С., доцент, СумДУ, м. Суми.

21. Work-flow analysis of biogas plant.

Speakers: Liulin D., Student; Vaskin R., Assos. Prof.; Vaskina I., Senior Lecturer, Sumy State University, Sumy, Ukraine;  
Jelinek M., Ph.D. student, Czech University of Life Sciences, Prague, Czech Republic.

22. Екологічно-безпечна технологія очищення насосно-компресорного обладнання від радіоактивних відкладень.

Доповідачі: Івлева А. В., студентка; Бурла О. А., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

23. Оцінка якості атмосферного повітря в містах України.

Доповідачі: Катриченко А. К., студентка; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

24. Зменшення навантаження на полігон методом сортування сухих відходів.

Доповідачі: Новомирська В. О., студентка; Трунова І. О., доцент, СумДУ, Суми.

25. Підходи до створення інфраструктури оброблення інфекційно небезпечних медичних відходів.

Доповідачі: Ахрамєєва В. М., студентка; Лазненко Д. О., доцент, СумДУ, м. Суми.

26. Концепція безвідходних технологій в хімічній промисловості в контексті екологічної безпеки.

Доповідачі: Порохня М. Ф., аспірант; Шестопапов О. В., доцент, НТУ «ХП», м. Харків.

27. Особливості виконання технологічних регламентів систем промислового водоочищення.

Доповідачі: Штепа В. М., н. с., КНУТД, м. Київ.

28. Аналіз ефективності методики прогнозування наслідків при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах.

Доповідачі: Рибка Є. І., Котова І. І., студенти; Рой І. О., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

29. Роль людського чинника у функціонуванні системи охорони праці на виробництві.

Доповідачі: Мигаль Г. В., професор, НАУ ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків;  
Протасенко О. Ф., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків.

30. Використання центрифуг як універсальний метод розділення суспензій.

Доповідачі: Лук'яненко Є. В., студентка; Аблеєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

31. Оцінка залежності фізико-хімічних параметрів атмосферних опадів від віддаленості від автодоріг з інтенсивним рухом транспортних засобів у місті Харків.

Доповідачі: Тихомирова Т. С., доцент; Стаднік В. Ю., аспірант, НТУ «ХПІ», м. Харків;  
Грекова А. В., ст. викл., ОНМедУ, м. Одеса.

32. Відмова від пластикових пакетів як вирішення однієї з задач стратегії сталого розвитку.

Доповідачі: Тарасенко Є. А., студентка; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми.

33. Дослідження вмісту важких металів в опалому листі.

Доповідачі: Джафарова В. Р., студентка; Васькіна І. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

34. Проведення енергоаудиту на підприємствах.

Доповідачі: Твердохлебова Н. Є., старший викладач, НТУ «ХПІ», м. Харків.

35. Methodology for calculating the assessment of technogenic load on marine ecosystems (by the example of the Caspian Sea).

Speakers: Plyatsuk L. D., Professor; Ablicieva I. Yu., Senior Lecturer; Gabbassova S. M., Ph.D. Student, Sumy State University, Sumy.

36. Озеленення дахів як елемент зеленого будівництва.

Доповідачі: Гурець Л. Л., доцент; Назарук О. І., магістр, СумДУ, м. Суми.

37. Термоядерна енергетика як альтернативне джерело енергії.

Доповідачі: Борсук С. А. студент; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми.

38. Інтегральна оцінка екологічного стану поверхневих водойм в умовах промислового навантаження.

Доповідачі: Безсонний В. Л., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків;  
Дашковська О. В., с. н. с., ДНУ «ІМЗО», доцент НТУ «КПІ», м. Київ;  
Третяков О. В., професор, ХДАФК, м. Харків.

39. Дослідження золошлакових відходів Сумської ТЕЦ для використання у виробництві будівельних матеріалів.

Доповідачі: Фесенко О. А., студентка; Гурець Л. Л., доцент, СумДУ, м. Суми.

40. Екологічно безпечна технологія утилізації технологічних рідин нафтовидобувної галузі.

Доповідачі: Лук'яненко Є. В., студентка; Аблеєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

41. Екологічна безпека функціонування промислових підприємств (на прикладі стану ґрунтового покриву та овочевій продукції у зоні ВАТ «Балцем».

Доповідачі: Кривицька І. А., старший викладач, ХНЕУ ім. Семена Кузнеця, м. Харків.

42. Екотренд: сміття під землею.

Доповідачі: Шуліпа Є. О., Чорна Ю. В., студентки; Васькіна І. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

43. Тенденції удосконалення систем біологічного і механічного очищення в індустріальному рибництві.

Доповідачі: Козир О. В., аспірант, ПолісДУ, м. Пінськ, Республіка Білорусь; Таразевич Є. В., доцент БДАТУ, м. Мінськ, Республіка Білорусь.

44. Викиди карбон (II) оксиду та методи його знешкодження в умовах хімічних виробництв.

Доповідачі: Михайлова Є. О., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків.

45. Закордонний досвід підвищення екологічної безпечності очищення побутових стічних вод.

Доповідачі: Чорна Ю. В., студентка; Аблеєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.

46. Діагностика транспортних систем шляхом параметричної візуалізації шуму.

Доповідачі: Мигаль Г. В., професор; Мигаль В. П., професор, НАУ ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків.

47. Дослідження способів перемішування в метантенках.  
Доповідачі: Білоус О., студент; Васькін Р. А., доцент;  
Васькіна І. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.
48. Зниження техногенного навантаження на довкілля від стічних вод гальванічного виробництва.  
Доповідачі: Зайцева К. О., студентка; Аблєєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.
49. Вплив резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин на навколишнє середовище.  
Доповідачі: Сєрікова О. М., старший викладач, НУЦЗУ, м. Харків;  
Стрельнікова О. О., провідний науковий співробітник ІПМаш ім. А. М. Підгорного НАН України, м. Харків.
50. Підвищення екологічної безпеки довкілля шляхом використання біометану в транспортному секторі.  
Доповідачі: Череватенко О. Д., студентка; Аблєєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.
51. Технології переробки відходів нафтогазовидобування з подальшим використанням їх ресурсного потенціалу.  
Доповідачі: Коваленко В. С., студент; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми.
52. Підвищення екологічної безпеки теплових електростанцій шляхом управління процесом горіння.  
Доповідачі: Батальцев Є. В., зав. лаб., СумДУ, м. Суми.
53. Сучасний стан та перспективи розвитку виробництва біогазу на території України.  
Доповідачі: Бережна І. О., аспірантка; Аблєєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми.
54. Процеси темної ферментації для утилізації відходів з отриманням корисних біоосновних продуктів.  
Доповідачі: Шуліпа Є. О., студентка; Черниш Є. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми.

55. Реалізація глобальних цілей сталого розвитку в закладах вищої освіти.

Доповідачі: Філоненко І., студентка; Трунова І. О., доцент,  
СумДУ, м. Суми.

56. Перспективи розвитку атомної енергетики в Україні.

Доповідачі: Шевченко О. С., аспірант; Пляцук Л. Д., професор,  
СумДУ, м. Суми.

57. Використання збродженого відходу біогазової установки в якості органічного добрива.

Доповідачі: Івлева А. В., студентка; Яхненко О. М., асистент,  
СумДУ, м. Суми.

### **СЕКЦІЯ «ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРІЯ»**

Голова – проф. каф. ПОХНВ, професор В. Я. Стороженко.

Секретар – О. Є. Старинський, викладач-стажист.

1. Організація внутрішньої циркуляції ретур у вихровому грануляторі: вибір оптимальної конструктивної схеми.

Доповідачі: Потапов Д. Р., студент, гр. ХМ.м-91; Бугаков В. С.,  
студент, ХМ-61, СумДУ;

Керівник: Артюхов А. Є., доцент каф. ПОХНВ, СумДУ.

2. Використання програмних продуктів для моделювання гідродинаміки руху потоків в апаратах з псевдозрідженими шарами різної конфігурації.

Доповідач: Петренко С. В., студентка, гр. ХМ-71, СумДУ.

Керівник: Артюхов А. Є., доцент каф. ПОХНВ, СумДУ.

3. Вплив зміни густини струму та примусового перемішування аноліту на процеси катодного відновлення кадмію та цинку.

Доповідач: Сердюк В. О., аспірант, каф. ПОХНВ, СумДУ.

Керівники: Склабінський В. І., професор, зав. каф. ПОХНВ;  
Большаніна С. Б., зав. каф. ТПХ, СумДУ.

4. Процеси охолодження та випаровування у виробництві етилацетату.

Доповідач: Котенко Д. Р., студент гр. ХМ-61, СумДУ.

Керівник: Склабінський В. І., проф., зав. каф. ПОХНВ, СумДУ.

5. Теплообмінні апарати у виробництві оцтової кислоти.

Доповідач: Островерх А. М., студент, гр. ХМ-61, СумДУ.

Керівник: Склабінський В. І., проф., зав. каф. ПОХНВ, СумДУ.



6. Аналіз способів очищення газової суміші від сірководню.

Доповідач: Гавриченко В. О., студент, гр. ХМ-61, СумДУ.

Керівник: Склабінський В. І., проф., зав. каф. ПОХНВ, СумДУ.

7. До кінетики зволоження порошкоподібних матеріалів.

Доповідач: Кононенко М. П., с. н. с., каф. ПОХНВ, СумДУ.

8. Вплив параметрів роботи тарілчастих грануляторів на процес високотемпературного гранулоутворення.

Доповідач: Кононенко М. П., с. н. с., каф. ПОХНВ, СумДУ.

9. Прилади проведення неруйнівного контролю на хімічних і нафтопереробних підприємствах.

Доповідач: Міхеев Ю. Ю., студент, гр. ХМ-61/1 КХІ, СумДУ.

Керівник: Яхненко С. М., доцент, каф. ПОХНВ, СумДУ.

10. Вплив радіального зазору на характеристики ВВН типу "TURO".

Доповідач: Шах А. Д., студент, гр. ХМ-71/2 ОНГВ, СумДУ.

Керівник: Яхненко С. М., доцент, каф. ПОХНВ, СумДУ.

11. До вибору способу хемосорбційного очищення вуглеводневого газу від кислих компонентів.

Доповідачі: Мельник І. Г., студент, гр. ХМ-71/2 ОНГВ;

Криводуб Д. Г., ХМ-71/2 ОНГВ, СумДУ.

Керівник: Михайловський Я. Е., доцент, каф. ПОХНВ, СумДУ.

12. Інтенсифікація процесу сушіння сипких матеріалів у барабанних сушарках.

Доповідач: Гончаренко Я. С., студент, гр. ХМм-91, СумДУ.

Керівник: Юхименко М. П., доцент, каф. ПОХНВ, СумДУ.

13. Інтенсифікація процесу сушіння сипких матеріалів у пневматичних сушарках.

Доповідачі: Кобзар Я. С., студент, гр. ХМм-91; Глінкін В.С., студент, гр. ХМм-91, СумДУ.

Керівник: Юхименко М.П., доцент, каф. ПОХНВ, СумДУ.

14. Особливості дослідження гідродинамічних показників процесу сепарації двокомпонентної емульсії у коалесцерах.

Доповідачі: Старинський О. Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ;  
Дем'яненко М. М., аспірант каф. ЗМіДМ.  
Керівники: Ляпощенко О. О., професор, каф. ПОХНВ;  
Павленко І. В., доцент каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

15. Оптимізаційні хіміко-технологічні моделювання промислових установок з підготовки та переробки вуглеводнів.

Доповідачі: Голохвост О. О., студент гр. ХМ-61; Ковтун В. В., фахівець I категорії, ф-т ТеСЕТ;  
Керівники: Дем'яненко М. М., аспірант каф. ЗМіДМ;  
Старинський О. Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ;  
Ляпощенко О. О., професор, каф. ПОХНВ.

16. Особливості розрахунку фазової рівноваги у паро-рідинних багатокомпонентних системах.

Доповідачі: Шах А. Д., студент, гр. ХМ-71/2 ОНГВ;  
Хухрянський О. М., аспірант, каф. ПОХНВ, СумДУ;  
Керівники: Михайловський Я. Е., доцент, каф. ПОХНВ;  
Старинський О. Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ;  
Дем'яненко М. М., аспірант каф. ЗМ і ДМ, СумДУ.

17. Особливості процесу виробництва альтернативного палива – біоетанолу.

Доповідач: Шматенко В. А., студент, гр. ХМ-61, СумДУ.  
Керівники: Скиданенко М. С., ст. викл.; Старинський О. Є., викладач-стажист, кафедра ПОХНВ, СумДУ.

18. Створення регіональних сільськогосподарських комплексів – важливий етап децентралізації.

Доповідач: Ведмідь Н. О., студентка, гр. ХМдн-54р, СумДУ.  
Керівник: Якушко С. І., канд. техн. наук, доцент;  
Острога Р. О., ст. викл., каф. ПОХНВ, СумДУ.

19. Моделювання процесу осушення природного газу в умовах зміни концентрації абсорбенту і температурного режиму роботи колони.

Доповідач: Шаповал М. В., студент, гр. ХМ-61, СумДУ.  
Керівники: Піддубний Є. М., викладач, МК СумДУ;  
Острога Р. О., ст. викл., каф. ПОХНВ, СумДУ.

20. Розробка та дослідження трубчатого газо-рідинного реактора для процесу вибілювання сульфанолу хлором.

Доповідач: Самойленко В. О., студент, гр. ХМ-61, СумДУ.

Керівники: Стороженко В. Я., професор, каф. ПОХНВ;  
Смирнов В. А., зав. навч. лаб. ОЦ ТеСЕТ, СумДУ.

21. Дослідження способів підвищення ефективності сепарації для очистки хвостових газів при виробництві сірчаної кислоти.

Доповідачі: Скотар А. П., студентка, гр. ХМ-61-8;

Шматенко В. А., студент, гр. ХМ-61-8, СумДУ.

Керівник: Скиданенко М. С., ст. викл., каф. ПОХНВ, СумДУ.

22. Розробка способу очистки сульфату калію.

Доповідач: Максименко Б. О., заст. директора з наукової роботи, НДІ МІНДІП, СумДУ;

Керівники: Зеленський А. М., заст. директора; Вакал С. В., директор, НДІ МІНДІП, СумДУ.

23. Морфологія поверхні та діелектричні властивості мікродугових оксидів на алюмінієвому сплаві.

Доповідач: Гуцаленко Ю. Г., ст. викл., НТУ«ХП».

Керівники: Пупань Л. І., доцент, НТУ«ХП»; Севидова О.К., с. н. с., НТУ«ХП», м. Харків.

24. Математична модель теплопереносу при випаровуванні стікаючій плівці рідини в перехресний газовий потік.

Доповідач: Костюченко Є. В., аспірант, каф. ХТВМС, Шосткинський інститут СумДУ, м. Шостка.

Керівники: Лукашов В. К., професор, каф. ХТВМС, Шосткинський інститут СумДУ, м. Шостка.

25. Аналіз енергоефективності систем допоміжних пластинчастих теплообмінників випарної станції.

Доповідач: Бабак Т. Г., доцент кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів НТУ «ХП», м. Харків.

Керівники: Демірський О. В., н. с. кафедри інтегрованих технологій, процесів та апаратів;  
Хавін Г. Л., професор, каф. «Технології машинобудування та металорізальних верстатів», НТУ «ХП», м. Харків.

26. Зональне охолодження повітря за великих теплових навантажень.

Доповідач: Бушманов В. М., аспірант.  
Керівники: Когут В. О., доцент; Хмельнюк М.Г., професор;  
Жихарева Н. В., доцент, факультет  
низькотемпературної техніки та інженерної  
механіки, Одеська національна академія харчових  
технологій, м. Одеса.

27. Математичне моделювання процесів у контактному теплообміннику  
фільтри ежекторі.

Доповідач: Бушманов В. М., аспірант.  
Керівники: Когут В. О., доцент; Жихарева Н.В., доцент,  
факультет низькотемпературної техніки  
та інженерної механіки, Одеська національна  
академія харчових технологій, м. Одеса.

28. Особливості визначення розрахункового тиску для стаціонарних та  
пересувних посудин з нафтопродуктами.

Доповідач: Іваніна Н. Л., інженер-конструктор,  
ТОВ «ГСКБВ ім. В. М. Бубнова», м. Маріуполь.

### **СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»**

Голова – зав. каф. ТПХ, доцент С. Б. Большаніна.

Секретар – фахівець О. Д. Мавланова.

1. Визначення глюкози методом йодометричного титрування в медичних  
препаратах.

Доповідачі: Іващенко К. М., студ.; Савчук М. О., студ.,  
гр. МЦМ-906, СумДУ.  
Керівник: Воробйова І. Г. доцент кафедри ТПХ, СумДУ.

2. Метод визначення метанолу в технічних рідинах.

Доповідачі: Гоменюк В. В., студ.; Колесник Д. В., студ.,  
гр. МБ-91, СумДУ.  
Керівник: Большаніна С. Б., зав. кафедри ТПХ, СумДУ.

3. Синтез та характеристика наночастинок срібла.

Доповідач: Ворожцов Д. О., студент, гр. МБ-91, СумДУ.

Керівник: Пшеничний Р. М., доцент кафедри ТПХ, СумДУ.

4. Потенціометричне титрування.

Доповідачі: Ярова Т. Ю., студ.; Кулемза С., студ.,  
гр.МБ-91, СумДУ.

Керівник: Манжос О. П., доцент кафедри ТПХ, СумДУ.

5. Наноконпозиційні матеріали на основі гідратованого діоксиду цирконію для видалення аніонів Cr(VI) і F<sup>-</sup> із водних розчинів.

Доповідач: Руденко О. С., студент.

Керівник: Дзязько Ю. С., Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В. І. Вернадського НАН України, м. Київ.

6. Дослідження хімічного складу чаю.

Доповідач: Радченко О. І., учениця 11 класу КУ ССШ І–ІІІ ступенів № 2 ім. Д. Косаренка, м. Суми.

Керівники: Семиліт А. С., керівник секції «Хімія» МАН ОЦПО та РТМ; Пономарьова Л. М., доц каф. ТПХ, СумДУ.

7. Degradation rate of microspheres based on hydroxyapatite and hydroxyapatite-alginate.

Speaker: Yanko I., Student, MTs.m-801, Sumy State University.

Supervisors: Yanovska A., Ph.D., Assoc. Prof., Theoretical and Applied Chemistry Department; Husak Ye., Researcher, Center for the Collective Use of Scientific Equipment, Sumy State University.

8. Біохімія холіну.

Доповідачі: Сіробаба В. О. студ.; Леунов О. Г., студ.  
гр. МЦМ-901, СумДУ.

Керівник: Ліцман Ю. В., доцент кафедри ТПХ, СумДУ.

9. Порівняння властивостей розчинників які застосовуються у медицині.

Доповідач: Мело Каміно Джіммі Александер, студент,  
гр. МЦ.м-931р, СумДУ.

Керівник: Диченко Т. В., ст. викл., кафедра ТПХ, СумДУ.

10. Мультимедійні додатки з неорганічної хімії.

Доповідач: Звоник К. В., студ.гр.МБ-91/ПХ, СумДУ.

Керівник: Ліцман Ю. В., доцент кафедри ТПХ, СумДУ.

11. Розробка навчальних фото та відео-завдань з хімії.

Доповідачі: Захарченко А. Ю., студ.; Хелемеля В. С., студ.,  
гр. МЦм-901, СумДУ.

Керівник: Ліцман Ю. В., доцент кафедри ТПХ, СумДУ.

**СЕКЦІЯ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ»**

Голова – зав. каф. ПГМ, професор І. О. Ковальов.

Секретар – аспірант Д. В. Забіцький.

1. Модернізація гідросистеми верстата.

Доповідачі: Ворона В. О., ГМ-61; Сисенко В. В., інж. I кат.,  
каф. ПГМ, СумДУ;

Керівник: Ігнат'єв О. С., доцент, каф. ПГМ, СумДУ.

2. Переваги використання герметичних моноблочних насосів на атомних електростанціях.

Доповідач: Сохань А. О., аспірант гр. АСПтех-9.1, СумДУ.

Керівник: Сотник М. І., д-р техн. наук, доцент, СумДУ.

3. Моделювання обтікання циліндра для визначення коефіцієнта сили індуктивного опору.

Доповідачі: Медвідь А. М., аспірант; Липовий В. М., асистент.

Керівник: Папченко А. А., доцент, СумДУ.

4. Дослідження впливу конструкційних параметрів робочого колеса на амплітуду пульсацій тиску.

Доповідач: Москаленко В. В., аспірант кафедри ПГМ, СумДУ.

Керівник: Сотник М. І., д-р техн. наук, доцент, СумДУ.

5. Зменшення втрат енергії у підвідному пристрої консольного насоса.

Доповідач: Гонтар В. О., студент, гр. ЕМ-71-9, СумДУ.

Керівник: Панченко В. О., ст. викл. каф. ПГМ, СумДУ.

6. Насос нафтовий магістральний НМ 200-650.

Доповідач: Ракітянський М. М., студент, ГМ.м-91, СумДУ.

Керівник: Колісніченко Е. В., доцент, СумДУ.

7. Вплив вхідної ділянки робочого колеса на кавітаційні характеристики відцентрового насоса.

Доповідач: Луговий О. Л., студент, гр. ГМ.м-91, СумДУ.

Керівник: Колісніченко Е. В., доцент, СумДУ.

8. Вплив параметрів інтерфейсу на результати числового моделювання в програмному комплексі ANSYS CFX.

Доповідач: Чернوبرова А. К., асп., гр. АСП-7.133.1, СумДУ.

Керівник: Сотник М. І., д-р техн. наук, доцент, СумДУ.

9. Вільновихровий насос ВВН 25-20.

Доповідач: Павленко С. С., студент, гр. ГМ.м-91, СумДУ.

Керівник: Герман В. Ф., доцент, СумДУ.

10. Використання гідроп'яти в динамічних насосах.

Доповідач: Забіцький Д. В., аспірант, гр. PhD-62, СумДУ.

Керівник: Кулініч С. П., доцент, СумДУ.

### **СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ (ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА)»**

Голова – зав. каф. ПГМ, професор І. О. Ковальов.

Секретар – аспірант Д. В. Забіцький.

1. Моделювання теплового стану пасажирського вагону моделі 48-060 з комбінованою системою опалення.

Доповідач: Богданюк О. С., студ., гр. ЕМ.м-91, СумДУ, Україна.

Керівники: Хованський С. О., доцент каф. ПГМ; Павленко І. В., доцент каф. ЗМ і ДМ, СумДУ, Україна; Балог М., Технічний університет м. Кошице, Словаччина.

2. Енергетичне обстеження квартири в багатоповерховому будинку.

Доповідач: Матус Є. В., студент гр. ЕМ.м-91.

Керівник: Хованський С. О., доцент СумДУ.

3. Енергетичне обстеження будівлі КЗ СОР «Сумський обласний центр позашкільної освіти та роботи з талановитою молоддю».

Доповідач: Літвін Є. І., студент групи ЕМ.м-91, СумДУ.

Керівник: Хованський С. О., доцент, СумДУ.

4. Енергетичне обстеження ОЗЗСО «Мутинська загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів».

Доповідач: Ляховка А. В., студент гр. ЕМ-61, СумДУ.  
Керівник: Хованський С. О., доцент, СумДУ.

5. Моделювання теплового стану пасажирського вагону купейного типу з комбінованою системою опалення.

Доповідач: Лазаренко А. А. студент групи ЕМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Хованський С. О., доцент, СумДУ.

6. Лінійні теплові включення.

Доповідач: Гасай А. М., студент гр. ЕМ-61-8, СумДУ.  
Керівник: Хованський С. О., доцент, СумДУ.

7. Динамічні методи розрахунку теплової потужності будівлі.

Доповідач: Медвідь С. А., студентка гр. ЕМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Хованський С. О., доцент, СумДУ.

8. Comparison of the potential of use of wind energy on Mars and on Earth.

Доповідач: Hryhorenko D., Student, Group EM.m-91.  
Керівник: Moloshnyi O., Assistant Prof., Sumy State University.

9. Графен і його можливе застосування у підшипникових опорах насосних агрегатів.

Доповідач: Сухоставець Д. І., асп., гр. АСПтех – 9.1, СумДУ.  
Керівник: Сотник М. І., доцент, СумДУ.

10. Невідповідність ДСТУ та ISO в енергоменеджменті.

Доповідач: Явтушенко А. А. студентка, ЕМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Сапожніков С. В., доцент, СумДУ.

11. Структура споживання електроенергії у навчальному процесі учбового закладу та його прогнозування.

Доповідач: Підопригора Н. М., студ. гр. ЕМм-91, СумДУ.  
Керівник: Сотник М. І., доцент, СумДУ.

12. Прогнозування електроспоживання у ветеринарній клініці.

Доповідач: Тубальцев С. О., студент групи ЕМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Сотник М. І., доцент, СумДУ.



13. Структура споживання електроенергії будівлями навчальних закладів та існуючі системи моніторингу електроспоживання.

Доповідач: Григоренко Д. І., студент групи ЕМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Сотник М. І., доцент, СумДУ.

14. Недоліки та переваги поновлюваних джерел енергії.

Доповідач: Фенько В. В., студентка, ЕМ.м-91, СумДУ.  
Керівник: Сапожніков С. В., доцент, СумДУ.

## СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Голова – зав. каф. ТТФ, доцент С. М. Ванєєв.

Секретар – аспірант А. С. Манжаров.

1. Вплив зовнішнього діаметра робочого колеса на параметри вихрового компресора.

Доповідач: Семенов Ф. Д., студент гр. К.м.-91, СумДУ, м. Суми.  
Керівники: Ванєєв С. М., доцент, СумДУ, м. Суми;  
Ксенженко П. О., викладач вищої категорії,  
Полтавський коледж НУХТ, м. Полтава.

2. Рідинно-парові струменеві апарати, їх розрахунок.

Доповідач: Івахно Г. Г., студент, гр. ХК-61/1Х, СумДУ.  
Керівник: Чех О. Ю., пров. інж., каф. ТТФ, СумДУ.

3. Вплив параметрів тягового сопла струминно-реактивної турбіни на її ККД.

Доповідач: Родимченко Т.С., асп., гр. АСПтех-8.1, СумДУ.  
Керівник: Ванєєв С.М., зав. каф. ТТФ, СумДУ.

4. Design principles for centrifugal compressor diffusers based on the use of velocity distribution.

Speaker: Lazarenko A., Student, Group ХК-71.  
Supervisor: Kalinkevych M., Professor of the Department of  
Technical Thermophysics, Sumy State University.

5. Відцентровий газовий компресор.

Доповідач: Лісовенко Д. О., студент гр. К.м-91, СумДУ.  
Керівник: Калінкевич М. В., професор каф. ТТФ, СумДУ.

6. Тепловий насос, що працює на базі вуглецевого циклу.

Доповідач: Колесник Н. С., студентка, гр. ХК-61/1Х, СумДУ.  
Керівник: Чех О. Ю., провідний інженер, каф. ТТФ, СумДУ.

7. Сучасний досвід моделювання енергосистем.

Доповідачі: Яковлева О. Ю., доцент; Остапенко О. В. ст. викл.;  
Хмельнюк М. Г., професор, каф. ХУКП,  
ОНАХТ, м. Одеса.

8. Comparative analysis of flow in cracks and holes with an equivalent area of throat.

Speaker: Lazurenko O. V., Davidenko O. M., students.  
Supervisor: Baga V. N., Senior Lecturer, Sumy State University.

9. Теплонасосна установка на базі рідинно-парового ежектора з робочим середовищем R718 для системи опалення.

Доповідач: Снісаренко Д. О., студент, група ХК-61, СумДУ.  
Керівник: Шарапов С. О., ст. викладач, кафедра ТТФ, СумДУ.

10. Дослідження пластинчасто-ребристих теплообмінників компресорної установки для стиснення природного газу.

Доповідач: Супрун А. В., магістрант, група ХК.мз-91с, СумДУ.  
Керівник: Шарапов С. О., ст. викладач, кафедра ТТФ, СумДУ.

11. Numerical simulation of motive flow nozzle geometry of liquid-vapor ejector.

Доповідач: Husev D., M.Sc., Group EM.m-81.  
Керівники: Sharapov S., Senior Lecturer; Prokopov M., Senior Lecturer, Sumy State University.

12. Моделювання пневмомереж промислових підприємств

Доповідач: Будко Д. В., аспірантка, СумДУ.  
Керівник: Бондаренко Г. А., професор, кафедра технічної теплофізики, СумДУ.

## **СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОСМНИХ ВИРОБНИЦТВ (ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА)»**

Голова – зав. каф. ТТФ, доцент С. М. Ванєєв.

Секретар – аспірант А. С. Манжаров.

1. Вихрова розширювальна турбомашинна, як джерело альтернативної енергії.

Доповідач: Вірчак О. О., студент гр. К.м-91, СумДУ, м. Суми.  
Керівники: Ванєєв С. М., доцент, СумДУ, м. Суми.  
Баран В. В., викладач, Дрогобицький коледж нафти і газу, м. Дрогобич.

2. Каскадна холодильна машина для виробництва холоду на двох рівнях.  
Доповідач: Колесник Н. С., студентка, група ХК-61, СумДУ.  
Керівник: Арсен'єв В. М., професор, СумДУ.
3. Деякі напрями забезпечення енергоефективності холодильного устаткування.  
Доповідач: Буданов В. О., доцент, кафедра компресорів та пневмоагрегатів, Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса.
4. Визначення параметрів енергоефективності малих холодильних машин для підприємств торгівлі.  
Доповідач: Івахно Г. Г., студент група ХК-61, СумДУ, м. Суми.  
Керівники: Мелейчук С. С, доцент, СумДУ, м. Суми.  
Галелюк А. З., викладач, Дрогобицький коледж нафти і газу, м. дрогобич.
5. Порівняльний аналіз енергоефективності паро та термокомпресійних теплових насосів.  
Доповідач: Кузьменко О. Ю., студ., гр. Х.м-91, СумДУ, м. Суми.  
Керівник: Мелейчук С. С, доцент, СумДУ, м. Суми;  
Зінкевич В. І., зав. відділення природничих наук, автомобільного транспорту та електричної інженерії, Дрогобицький коледж нафти і газу, м. Дрогобич.
6. Вдосконалення циклу ГТУ за рахунок рекуперації тепла та зволоження.  
Доповідач: Манжаров А. С., аспірант каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми, Україна.  
Керівник: Левченко Д. О., канд. техн. наук, доцент, м. Лодзь, Польща.
7. Ексергетичний аналіз ГТУ зі зволоженням та рекуперацією тепла.  
Доповідач: Манжаров А. С., аспірант каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми, Україна.  
Керівник: Левченко Д. О., канд. техн. наук, доцент, м. Лодзь, Польща.
8. Переваги використання технології шокового заморожування продуктів.  
Доповідач: Новіцький Д. В., група ХК 61/1-Х, СумДУ.  
Керівник: Мерзляков Ю. С., ст. викладач каф. ТТФ, СумДУ.

9. Аналіз розрахункових та експериментальних енергетичних характеристик парових котлів середнього тиску.

Доповідачі: Бежан В. А., доцент; Житаренко В. М.,  
Приазовський державний технічний університет,  
м. Маріуполь.

10. Розробка та дослідження роботи охолоджувача напоїв.

Доповідач: Константинов І. О., аспірант.  
Керівник: Хмельнюк М. Г., професор, Одеська національна  
академія харчових технологій, м. Одеса.

11. Вплив основних геометричних параметрів підвідного і тягового сопла струминно-реактивної турбіни на її ефективність.

Доповідачі: Родимченко Т. С., аспірантка, гр. АСПтех-8.1;  
Болотнікова О. О., студентка, гр. К.м-91, СумДУ.  
Керівник: Ванєєв С. М., зав. каф. ТТФ, СумДУ.

12. Термодинамічний аналіз системи повітропостачання промислового підприємства.

Доповідачі: Будко Д. В., аспірантка; Бурлака Р. О., студент,  
гр. КМ-91, СумДУ.  
Керівник: Бондаренко Г. А., професор каф. ТТФ, СумДУ.

13. Можливості дослідження турбогенератора на стенді кафедри технічної теплофізики.

Доповідач: Смоленко Д. В., аспірант, СумДУ.  
Керівник: Ванєєв С. М., зав. каф. ТТФ, СумДУ.

14. Reasons for long-term presence of refrigerant leaks in marine refrigerating units of the trading fleet.

Speaker: Yalama V. V., Postgraduate Student.  
Supervisor: Khmelnyuk M. G., Professor; Yakovleva O. Y., Assoc.  
Prof., RACS Department, ONAFT, Odesa.

15. Підвищення ефективності вакуумної системи охолодження установки виробництва біодизельного палива

Доповідач: Якименко С. М., магістрант, гр. ХК.мз-91с, СумДУ.  
Керівник: Шарапов С. О., ст. викл., каф. ТТФ, СумДУ.

16. Підвищення ефективності сопла піскоструменевої установки на основі чисельних та експериментальних досліджень.

Доповідач: Мірошніченко М. О., студ., гр. ХКм.з-91с, СумДУ.  
Керівник: Бага В. М., ст викл., каф. ТТФ, СумДУ.

**СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»**

## ПРИСТРІЙ ДЛЯ ХОНІНГУВАННЯ ОТВОРІВ ГІЛЬЗ ЦИЛІНДРІВ

*Голуб С. В., студент, гр. ТМм-91; Савчук В. І., доцент, каф. ТМВІ;  
Свухов А. В., доцент, каф. ТМВІ*

Оздоблювальна обробка отворів гільз циліндрів на підприємстві «Мотордеталь-Конотоп» міста Конотоп виконується на хонінгувальних верстатах трьома операціями. На кожній із цих операцій застосовуються пристрої із ручним механічним закріпленням заготовок. Аналіз елементів штучного часу, за який відбувається обробка заготовок, виявив збільшений час закріплення (розкріплення) в межах штучного часу їх виготовлення. Час ручного закріплення (розкріплення) заготовок пов'язаний з додатковими фізичними витратами праці верстатника, що призводить до невиконання норми виготовлення заготовок за час робочої зміни. На підприємстві ця проблема вирішується введенням в технологічний процес виготовлення гільз циліндрів додатковими верстатними операціями хонінгування. Виявлені недоліки призводять до збільшення собівартості виготовлення гільз циліндрів, що відбивається на конкурентній спроможності виробів.

З метою усунення виявлених недоліків була розроблена спеціальна конструкція пристрою, яка встановлюється на стіл вертикально-хонінгувального верстата. Відмінною частиною конструкції передбачені два вбудованих в корпус гідравлічні циліндри з шток-поршнями прикритих кришками. Кінці шток-поршнів з'єднані плитою із запресованою кульовою втулкою, яка контактує сферичною поверхнею із кільцем. Кільце фіксується затискачем, який самостійно встановлюється на верхньому торці заготовки і затискає її в пристрої. Для роботи пристрою в верхню та нижню порожнини гідравлічних циліндрів під заданим тиском підводиться мастило. Заготовка закріплюється затискачем силою тертя, яка виникає під дією рухів двох шток-поршнів гідравлічних циліндрів. Сила тертя утримує заготовку від обертання і осьових переміщень при її обробленні.

Дослідженнями встановлено, що допоміжний час операції за який відбувається встановлення, закріплення, розкріплення та зняття заготовки знаходиться в межах 10–15 секунд и становить приблизно (7–9)% всього часу операції. На підприємстві зазначені дії із заготовкою становлять 40–50 секунд, а при обробленні 80 заготовок за час зміни, це економить приблизно одну годину. Пристрій дозволяє зменшити кількість хонінгувальних верстатів на оздоблювальному етапі виготовлення гільз циліндрів.

Пристрій має компактну, відносно просту конструкцію і при налагодженні хонінгувальної операції на обробку заготовок не потребує високої кваліфікації обслугованого персоналу.

## ЗНИЖЕННЯ ШОРСТКОСТІ ПІДШИПНИКОВИХ ПОВЕРХОНЬ ВАЛІВ ПРИ ЇХ ОБРОБЛЕННІ СПОСОБОМ ПОДВІЙНОЇ ОСЦИЛЯЦІЇ БРУСКІВ

*Маленко Р. Г., студент, гр. ТМ.м-92; Савчук В. І., доцент, каф. ТМВІ;  
Євтухов А. В. доцент, каф. ТМВІ*

Технологічний процес виготовлення вал-шестірни лебідки передбачає ряд оздоблювальних операцій, які застосовуються перед і після операції загартовування підшипникових шийок деталі. Перед операцією загартовування в технологічному процесі вал-шестірни застосовується операція тонкого шліфування. Після загартовування підшипникових поверхонь відбувається їх полірування шліфувальною стрічкою. Перелічені операції потрібні для забезпечення точності форми і шорсткості підшипникових поверхонь вал-шестірни за технічними вимогами креслення. Згідно даних підприємства, де виготовляють вал-шестірни, більше 40% поверхонь мають дефекти у вигляді окремих прожогів, ризок, не однакової величину мікронерівності. На операції полірування у багатьох поверхнях зостаються невидалені глибокі ризки, задирки від попередніх методів обробки. Перелічені операції відбуваються із підвищеною температурою, що негативно впливає на мікрорельєф верхнього шару поверхні заготовки. Застосування різних абразивних матеріалів шліфувальних кругів та стрічок, составів змашувально-охолоджувальних рідин, оптимальних режимів різання не виключають наведений недолік.

Для зменшення шорсткості підшипникових поверхонь і забезпечення потрібного їх мікрорельєфу розроблений та активно застосовується спосіб подвійної осциляції брусків [1, 2]. В кінематичну основу способу подвійної осциляції брусків закладені дві схеми робочих циклів інструмента, які реалізуються спеціально розробленою інструментальною головою.

За результатами теоретичних та експериментальних досліджень були запропоновані оптимальні робочі схеми обробки абразивними брусками підшипникових поверхонь вал-шестірни. Запропоновані схеми обробки дозволили забезпечити шорсткість підшипникових поверхонь згідно вимог креслення і виключити із існуючого технологічного процесу операції тонкого шліфування та полірування.

### Список літератури

1. Савчук, В. І. Технологические возможности финишных способов обработки абразивными брусками / В. И. Савчук, В. А. Иванов, М. А. Телетов // Суми: Видавництво СумДУ, Вісник СумДУ, серія «Технічні науки», №11, 2005. – С. 140 – 145.
2. Савчук, В. І. Технологические особенности обработки подшипниковых шеек валов суперфинишированием / В. И. Савчук, А. В. Євтухов // Сумы: Компрессорное и энергетическое машиностроение, №1 (39), март, – 2015. – С. 52 – 55.

# АНАЛІЗ АМПЛІТУДНО-ЧАСТОТНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДИНАМІЧНОЇ СИСТЕМИ КРУГЛОГО ВРІЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

Дмитренко Н. Р., студент, гр. ТМ.м-91; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, Савчук В. І., доцент каф. ТМВІ

Динамічну систему (ДС) круглого врізного шліфування (КВШ) можна описати у вигляді структурної схеми (див. рис. 1).

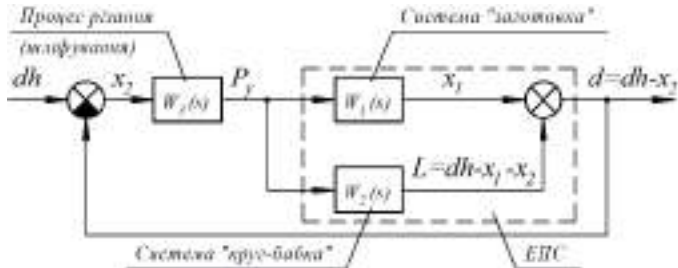


Рисунок 1 – Структурна схема ДС КВШ

Як вхідний вплив, що викликає збурення в ДС КВШ розглядається висота виступу  $dh$ , що набігає на шліфувальний круг (ШК) та яка характеризується початковою некруглістю оброблюваної поверхні заготовки. Узагальненими координатами ДС є фактична глибина різання  $x_2$ , пружні деформації систем «заготовка»  $x_1$  та «круг-бабка»  $L = (dh - x_1 - x_2)$ . Величина  $x_2$  є вхідним впливом для «процесу різання» (ПР). Радіальна складова сили різання  $P_y$  є, відповідно, вихідною величиною для ПР та вхідною величиною для еквівалентної пружної системи (ЕПС). Вихідною величиною для ЕПС є пружна деформація системи  $d = (dh - x_2)$ , яка утворює одиничний негативний зворотний зв'язок з величиною  $dh$ : ДС КВШ є замкненою через пружну деформацію  $d$ . Передаточні функції систем «заготовка», «круг-бабка», «процес різання» мають такий вигляд:

$$W_1(s) = \frac{x_1(s)}{P_y(s)} = \frac{1}{m_1 \cdot s^2 + b_1 \cdot s + c_1},$$

$$W_2(s) = \frac{L(s)}{P_y(s)} = \frac{m_3 \cdot s^2 + (b_2 + b_3) \cdot s + c_2 + c_3}{(m_2 \cdot s^2 + b_2 \cdot s + c_2) \cdot [m_3 \cdot s^2 + (b_2 + b_3) \cdot s + c_2 + c_3] - (b_2^2 \cdot s^2 + 2b_2 \cdot c_2 \cdot s + c_2^2)}$$



$$W_3(s) = \frac{P_y(s)}{x_2(s)} = c_p.$$

При цьому  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – приведені маси систем «заготовка», «шліфувальний круг» (ШК), «шліфувальна бабка» (ШБ),  $c_1$ ,  $c_2$ ,  $c_3$  та  $b_1$ ,  $b_2$ ,  $b_3$  – коефіцієнти жорсткості і в'язкого тертя, що характеризують пружні та непружні зв'язки між зазначеними системами та станиною верстата,  $c_p$  – коефіцієнт різання (пропорційності) з лінійної залежності  $P_y = (c_p \cdot x_2)$ .

З урахуванням характеристик процесу шліфування ( $c_p = 3,896 \cdot 10^7$  Н/м) та круглошліфувального верстата 3М151 (статичної жорсткості  $j_c = 3,17 \cdot 10^7$  Н/м ( $s = 0$ )) побудовано АЧХ ДС КВШ, зображену на рис. 2.

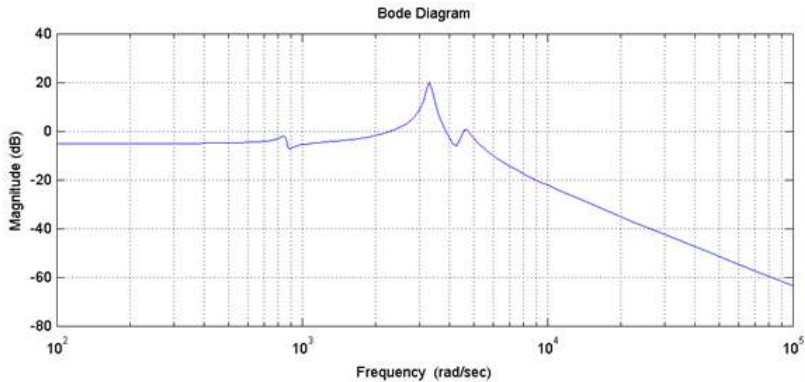


Рисунок 2 – АЧХ ДС КВШ

Вираз  $e = d / P_y$  визначає піддатливість ЕПС. Якщо розглядати сигнал  $P_y$  як гармонічну функцію з амплітудою  $P_y$  та частотою  $\omega$ , то вихідний сигнал  $d$  також матиме вигляд гармонічної функції з частотою  $\omega$ , але з амплітудою  $d$ , яка буде відрізнятися від амплітуди  $P_y$  залежно від характеристик ЕПС. Відношення між амплітудами вихідного та вхідного сигналів у функції частоти вхідного сигналу є АЧХ системи  $A(\omega) = d(\omega) / P_y(\omega)$ . Так, АЧХ системи є її динамічною піддатливістю  $e(\omega) = A(\omega)$ . Динамічний характер навантаження системи відзначається вже з частоти 300 рад/с. Цю частоту можна називати порогом чутливості верстата до динамічного навантаження. Величина цього порогу визначається «першою» резонансною частотою  $\omega_{n1}$ , тобто частотою коливань ШБ, яка в свою чергу визначається коефіцієнтом жорсткості  $c_3$  приєднання ШБ до станини (жорсткістю приводу врізної подачі) і масою  $m_3$  ШБ. Щоб відсунути поріг чутливості у бік більших частот для уникнення резонансних явищ, необхідно перш за все збільшити жорсткість приводу врізної подачі.

## КЛАСИФІКАЦІЯ ПРОДУКЦІЇ В УКРАЇНІ. СТВОРЕННЯ ІЄРАРХІЧНОЇ СИСТЕМИ ПОШУКУ ІНФОРМАЦІЇ ПО КЛАСИФІКАТОРУ ДКПП

*Руденко О.Б., ст. викладач, каф. ТМВІ; Бараненко А.В., студент, гр.ТМ.м-91;  
Голуб С.В., студент, гр.ТМ.м-91*

Один з етапів оформлення технологічних процесів механічної обробки деталей – це наведення позначення обладнання та технологічного оснащення (верстатних пристосувань, ріжучого, допоміжного та вимірювального інструментів), яке включає, в тому числі, код продукції.

В радянські часи для визначення цього коду використовували вищі класифікаційні угруповання (ВКГ) Загальносоюзного класифікатору промислової та сільськогосподарської продукції (ОКП), наприклад:

391215 Свердло 2300-6901 ГОСТ 886:2008.

В міжнародній спільноті для класифікації продукції використовуються:

- з 1990 р. класифікатор NACE / КДЕС (Statistical Classification of Economic Activities in the European Community / Статистична класифікація економічної діяльності в Європейській спільноті), який визначає вид економічної діяльності (перші чотири структурні одиниці коду);

- з 1993 р. класифікатор CPA / КПЕС (Statistical Classification of Products by Activity in the European Economic Community / Статистична класифікація продукції за видами діяльності в Європейській економічній спільноті), який гармонізований з класифікатором NACE / КДЕС і визначає вже шість структурних одиниць коду продукції;

- з 1993 р. класифікатор PRODCOM / ПРОДКОМ (List of PROducts of the European COMmunity / Перелік продукції Європейської спільноти), який щорічно оновлюється. Ця статистична класифікація більш деталізує код продукції до восьми знаків коду продукції;

- з 2000 р. для країн СНД Модельний статистичний класифікатор продукції товарів та послуг (СКП), який відповідає статистичній класифікації PRODCOM та деталізує продукцію до дев'яти знаків коду.

З метою переходу України на міжнародну систему обліку та статистики з 01.01.1999 р. в Україні набрав чинності Державний класифікатор продукції та послуг ДК 016-97 (ДКПП), який повністю гармонізований з європейськими класифікаціями NACE / КДЕС та CPA / КПЕС, але має більш глибоку деталізацію класифікаційних угруповань продукції та послуг.

Окрім класифікатора ДКПП в Україні з 2003 р. існує Номенклатура продукції промисловості (НПП).

У 2008 році з метою підвищення деталізації відбулося корегування міжнародної класифікації видів економічної діяльності (кількість секцій було збільшено з 17 до 21, розділів – з 62 до 88, класів – з 514 до 615). Введені в

дію нові версії класифікаторів NACE (Rev. 2), CPA / КПЕС 2008, PRODCOM / ПРОДКОМ та СКП-2.

За міжнародною класифікацією структура коду продукції:  
XX.XX.XX.XXX.

У відповідності до змін у міжнародній класифікації продукції в Україні з 01.01.2012 р. набув чинності оновлений Державний класифікатор продукції та послуг ДК 016:2010 (ДКПП).

З 2014 р. Україна вийшла з переліку країн СНД, які користуються Модельним статистичним класифікатором продукції товарів та послуг (СКП-2)

У 2012 р. в Україні запроваджена нова версія Номенклатура продукції промисловості (НПП), з 01.01.2021 р. – набуває чинності Основна номенклатура продукції (ОНП).

Мета даної роботи – створення ієрархічної системи пошуку інформації в розділах класифікатора ДКПП для кодування обладнання та технологічного оснащення. Це розділи 25 «Вироби металеві, крім машин і устаткування» та 28 «Машини та устаткування, н. в. і. у.».

Початковими даними для створення ієрархічної системи пошуку був документ Adobe Acrobat (файл pdf).

Ієрархічна система пошуку будувалася в документі Microsoft Excel шляхом структурування його (групування рядків).

Першим етапом роботи було скорочення документа Adobe Acrobat шляхом видалення окремих сторінок (були залишені тільки розділи 25 та 28).

За допомогою інструменту Adobe Acrobat «Кадрування сторінок» проведено видалення колонки «Код УКТЗЕД» (альтернативою цього процесу є видалення цієї колонки у створеному документі Microsoft Excel).

Далі було здійснене перетворення документа Adobe Acrobat в документі Microsoft Excel шляхом використання програмного продукту ABBYY Fine Reader (можливе просте копіювання інформації).

Корегування створеного документа Microsoft Excel полягала у виправленні інформації (окремі коди сприймалися Microsoft Excel як дата) та видалення зайвих рядків.

Для всього тексту проведено відключення режиму «Перенос тексту», встановлений однаковий розмір шрифту та однакова висота рядків.

Основним етапом роботи було створення ієрархії за ознаками «Розділ», «Група», «Клас», «Категорія», «Підкатегорія», «Позиція» та «Тип» шляхом використання режиму Microsoft Excel «Вставка клітинок».

За допомогою режиму Microsoft Excel «Групування» у вкладці «Дані» проведено створення ієрархічної структури файлу.

У створеній ієрархічній системі при оформленні позначення обладнання та технологічного оснащення технологічних процесів механічної обробки деталей найчастіше використовується клас 25.73 «Інструменти», клас 28.41 «Машини та верстати для обробляння металу» та категорія 28.49.2 «Пристрої для кріплення інструментів».

## СПЕЦІАЛЬНИЙ ВЕРСТАТНИЙ ПРИСТРІЙ ДЛЯ ОБРОБКИ МАЛОЖОРСТКОЇ ДЕТАЛІ «ГІЛЬЗА»

*Сахно М. С., студент, гр.ТМ-61; Кушніров П. В., доцент, каф. ТМВІ;  
Колесник В. О., ст. викладач, каф. ТМВІ*

При механічній обробці маложорстких заготовок виникає ряд певних труднощів. Перш за все це проблеми, пов'язані з піддатливістю самої заготовки: можливі підвищені її деформації як від сил різання, так і від сил закріплення у верстатному пристрої. Тому розробка спеціальних пристроїв для установаження маложорстких заготовок є актуальним і досить складним завданням.

Прикладом маложорсткої деталі є «Гільза НВЕ24-00-03», що застосовується в конструкції пожежної автоцистерни. Зазначена гільза входить до складу вакуумного насоса з електроприводом. При цьому гільза використовується як порожнина, де відбувається відкачування повітря з пожежного насоса та заповнення його водою.

Одним з «вузьких місць» в технологічному процесі обробки «Гільзи НВЕ24-00-03» є операція фрезерування чотирьох пазів з шириною 3 мм. Оснащення, що використовують в цей час, у вигляді циліндричної оправки з затискнуою шайбою не забезпечує необхідної жорсткості технологічної системи і, відповідно, надійності закріплення. В результаті цього при обробці можуть виникати вібрації, що тягнуть за собою необхідність зменшення режимів різання, а також погіршують якість обробки і знижують стійкість інструмента – дискових фрез.

Для усунення зазначених проблем було запропоновано оригінальну конструкцію спеціального верстатного пристрою, що дозволяє підвищити точність базування, а також надійність закріплення оброблюваної деталі. Це забезпечується:

- застосуванням для базування і закріплення спеціальної оправки з тарілчастими пружинами (кільцевими мембранами);
- застосуванням додаткового закріплення по торцю заготовки.

Пакет тарілчастих пружин дозволяє здійснити точне центрування заготовки по отвору і одночасно забезпечити закріплення «на розтискання». Закріплення по торцю заготовки дозволяє забезпечити додаткове зусилля затиску уздовж осі. Закріплення може бути або немеханізованим (гвинтовим), або, наприклад, за допомогою пневмоциліндра двосторонньої дії з двома поршнями, що незалежно переміщуються.

Таким чином, запропоноване технічне рішення для установаження на фрезерній операції заготовки «Гільзи НВЕ24-00-03» підвищує надійність закріплення (за рахунок збільшення кількості поверхонь з тертям ковзання), дозволяє збільшити режими різання (продуктивність), а також покращує якість обробки.

## ДО ВИКОРИСТАННЯ КОМБІНОВАНИХ ПРОЦЕСІВ ШЛІФУВАННЯ СИНТЕТИЧНИХ АЛМАЗІВ

*Пижов І.М. д.т.н., проф. каф. «ІТМ», Волошкіна І.В., асп. каф.  
«ІТМ», гр. АВ-7-131*

*Національний технічний університет  
"Харківський політехнічний інститут", м. Харків*

Відомо, що комбінований процес шліфування синтетичних полікристалів на основі алмазу (СА) має на сьогоднішній день найкращі показники в плані продуктивності і економічності [1]. Його принципова схема представлена на рис.1.

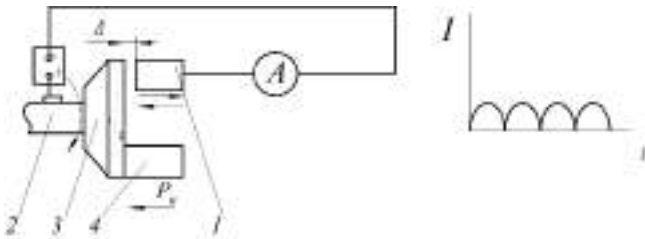


Рисунок 1 – Схема алмазного шліфування з безперервною автономною електрохімічною правкою кола в автономній зоні [1]:

1 – автономний катод; 2 – струмознімач; 3 – круг; 4 – державка с СА

Змінюючи величину струму в автономній зоні електрохімічної правки робочої поверхні круга, а, отже, і інтенсивність розчинення його металевої зв'язки, можна в широких межах управляти значеннями вихідних показників обробки. Це пояснюється тим, що зростання висоти виступання алмазних зерен над рівнем зв'язки сприяє збільшенню інтенсивності самозаточування алмазних зерен, в результаті чого на них постійно утворюються гострі мікро - та субмікрочки. На рис. 2 представлені графіки відображають роль сили струму (I) в такому процесі шліфування. Як видно з рисунка, найбільш інтенсивно сила струму впливає на продуктивність обробки (Q) в інтервалі своїх значень 0 - 100 А, після чого швидкість її зростання помітно зменшується, що можна пояснити зміною (надмірним зменшенням) числа зерен в контакт з СА. При критичній для даних умов величині струму ( $I_k = 180$  А) зростання продуктивності практично припиняється, тобто відбувається як би насичення процесу ( $Q_1 = 4,8$  мм<sup>3</sup> / хв, рис. 2). Це пояснюється тим, що при наближенні I до  $I_k$  швидкість видалення зв'язки ( $V_{св.}$ ) починає наближатися до інтенсивності зносу зерен ( $V_z$ ). І при  $I = I_k$  настає їх рівність (тобто  $V_z = V_{св.}$ ). З подальшим збільшенням сили струму

висота зерен зростає до такого значення, при якому кількість зерен в контакті з СА настільки зменшується, що може початися падіння продуктивності ( $Q_1$ ). Сказане вище підтверджується залежностями питомої витрати алмазів кола  $q_1$  від сили струму (рис. 2). Його значення спочатку зменшується, а потім, досягнувши оптимуму ( $q_1 = 36 \text{ мг / мм}^3$  в даному випадку при  $I = 100 \text{ А}$ ), збільшується. Як видно з рисунка, точка оптимуму  $q_1$  знаходиться в області значень  $I < I_k$ , що говорить про існування оптимального (з точки зору цих показників) стану ріжучого рельєфу круга. Зростання числа зерен, які випали з зв'язки без участі в різанні або не повністю використали свій ресурс з подальшим збільшенням сили струму призводить до різкого зростання значення  $q_1$ .

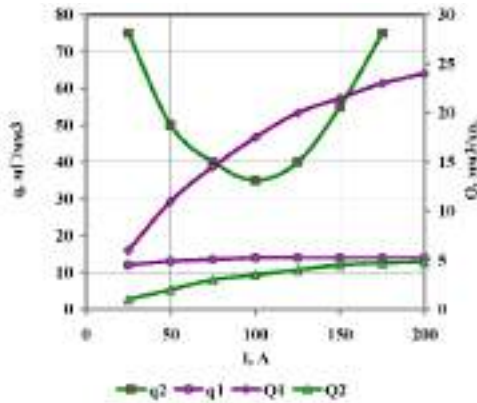


Рисунок 2 - Вплив сили струму на вихідні показники процесу шліфування СА марки СКМ-Р: Умови обробки: коло 12А2-45° 150x10x3x32 АС6 160/125 А1 М2-01 100 %;  $V_k=20 \text{ м/с}$ ;  $S_{пр}=1 \text{ м/хв}$ ;  $P_n=1,3 \text{ МПа}$ ;  $A=6 \text{ мм}$ ;  $f=5 \text{ Гц}$ .

Ефективність такого процесу можна суттєво підвищити, якщо ввести в зону обробки механічні коливання з амплітудою  $A$  і частотою  $f$ , які періодично змінюють величину нормального навантаження  $P_n$  (рис. 1). В цьому випадку зерна самозаточуються при менших значеннях висоти виступання над рівнем зв'язки, а, отже, при більшій їх кількості в контакті з СА. Значення продуктивності  $Q_2$  різко зростає (до  $25 \text{ мм}^3 / \text{хв}$ ), а питомої витрати  $q_2$  знижується (до  $10 \text{ мг / мм}^3$ ).

#### Список літератури

1. Семко, М.Ф. Алмазное шлифование синтетических сверхтвердых материалов / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, М.Г. Ходоревский. – Харьков: Вища школа, 1980. – 192 с.

## НАПРЯМКИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ МЕХАНІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛЕЙ

*Котляр О.В., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків*

*Басова С.В., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків*

*Ушаков О.А., студент гр. МІТ-218в кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків,*

Висока продуктивність та гнучкість є визначальними факторами високої економічної ефективності технологічних систем (ТС), яка забезпечує високоприбуткове використання дорогівартісного обладнання і технологічного оснащення (ТО). Принципово можливими шляхами підвищення продуктивності ТС є зменшення тривалості робочого циклу та скорочення позациклових витрат часу. Шляхами збільшення гнучкості ТО є збільшення номенклатури деталей, що можуть встановлюватися в одному верстатному пристрої та зменшення часу на його переналадження.

Важливим аспектом забезпечення ефективності ТС є необхідність використовувати прогнознi дані щодо трудомісткості обробки та собівартості деталі за різними технологічними процесами (ТП). Тому актуальною задачею при проектуванні ТС є розробка методики автоматизованого визначення прогнозної трудомісткості та собівартості обробки деталі для конкуруючих варіантів ТП. Ефективним шляхом вдосконалення засобів автоматизованої технологічної підготовки виробництва, що гарантує випереджувальне зростання продуктивності обробки порівняно зі збільшенням економічних витрат на автоматизацію, є підвищення ступеня концентрації технологічних переходів та використання стандартизованих автоматично переналаджуваних елементів установочно-затискних пристроїв. Інтенсифікація процесів механічної обробки на верстатах з ЧПК та підвищення їх продуктивності в умовах багатоміклатурного виробництва можлива також шляхом удосконалення конструкцій верстатних пристроїв, бо найбільші витрати допоміжного часу при обробці на верстатах з ЧПК пов'язані з установленням-зняттям деталей, а також в зв'язку з переходом на обробку деталей іншого типорозміру. Вибір найвигіднішого варіанту компоновки верстатного пристрою є багатокритеріальною задачею, що здійснюється з використанням кількох критеріїв оптимальності, кожен з яких характеризує певний аспект якості об'єкту оптимізації. В якості критеріїв оптимальності можна прийняти похибку установлення заготовки, ступінь гнучкості пристрою, а також його вартість і матеріаломісткість.

## УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ ПІДГОТОВКИ СВЕРДЛИЛЬНИХ ОПЕРАЦІЙ

*Ю.О. Денисенко, ст. викладач, каф. ТМВІ,  
В.О. Супрун, магістрант, гр. ТМ.м-81*

У машинобудівному виробництві на верстатах свердлильної групи здійснюється обробка різними методами. Проектування операцій для обладнання цієї групи має ряд особливостей: різальний інструмент є мірним, що накладає певні вимоги до складу операції і послідовності виконання переходів; відповідно і вибір інструменту залежить від необхідної послідовності обробки. Від раціонально обраної структури операцій залежать час виготовлення і вартість обробки.

Основна мета створення систем автоматизованого проектування технологічних процесів (САПР ТП) – економія часу технологів, прискорення переходу від технологічної підготовки виробництва безпосередньо до реалізації технологічного процесу виготовлення деталей.

Аналіз найбільш відомих САПР ТП з точки зору можливостей автоматизації проектування технологічних операцій, виконаної на обладнанні свердлильної групи, показав, що виконані в даних системах проектування дає невисокий ступінь автоматизації і обмежує можливість проектування, при цьому витрати часу на проектування ТП скорочуються незначно. Крім того, існуючі САПР ТП не дозволяють враховувати особливості виробничої системи на момент проектування і реалізації технологічних процесів.

З урахуванням вищевикладеного можна зробити висновок про те, що в даний час актуальним завданням є вдосконалення технологічної підготовки операцій, що виконується на обладнанні свердлильної групи, шляхом розробки системи автоматизованого проектування, що враховує особливості конкретної виробничої системи.

З урахуванням наведених особливостей розроблена структурна модель підсистеми проектування технологічних операцій для обладнання свердлильної групи. У представленій моделі позначені проектні процедури, необхідні для функціонування підсистеми проектування технологічних операцій, що виконуються на обладнанні свердлильної групи, їх взаємодії та інформаційні потоки. Важливою особливістю розробленої структури є облік вимог про збереження результатів, отриманих після кожного етапу проектування, в певний фрагмент бази даних для можливості повернення і коригування на кожному етапі при зміні виробничій ситуації. Результатом проектування операцій, виконуваних на обладнанні свердлильної групи в автоматичному режимі за допомогою розробленої підсистеми, є комплект технологічної документації у вигляді операційних карт, карт ескізів.

Генерація можливих варіантів технологічного оснащення для обладнання свердлильної групи, являє собою перебір всіх наявних в базі даних варіантів ріжучих інструментів, допоміжних інструментів,



встановлення їх відповідності вхідним параметрам переходів в кожному кортежі, сформованим на етапі розробки маршрутів ТП в автоматизованій системі планування ТП. Це можна здійснити, використовуючи сучасні обчислювальні системи, які мають можливість розшарування розрахункових процесів. Цю задачу можна вирішити із застосуванням апарату мережі Петрі.

Для вирішення завдання генерації можливих варіантів ЗТО із використанням користуванням наукових основ технології машинобудування розроблена структура бази даних технологічного оснащення для обладнання свердлильної групи, яка враховує технологічні взаємозв'язки між елементарними поверхнями, науково-технічними потенціалами устаткування, характеристиками матеріалу деталей і інструменту, точністю, розмірами оброблюваних поверхонь і іншими умовами обробки. В результаті структура бази даних дозволяє в автоматичному режимі генерувати безліч можливих варіантів технологічного оснащення для обладнання свердлильної групи на основі вихідних даних, що надходять з попередніх етапів проектування.

Наступним етапом проектування технологічних операцій, що виконуються на обладнанні свердлильної групи, є процедура генерації структури технологічних операцій. На цій стадії ключовим моментом є завдання визначення послідовностей переходу в операції. Залежно від обраної послідовності виконання переходів, можливості їх поєднання формується відповідний комплект технологічної оснастки, в результаті чого визначається час реалізації технологічної операції. Для формалізації даної проектної процедури була використана теорія кольорових графів.

На обладнанні свердлильної групи при обробці різними типами ріжучих інструментів можна отримати різну точність оброблюваних поверхонь. Залежність точності поверхонь від точності заготовки, виду обробки та ріжучих інструментів можна представити у вигляді кольорового орієнтованого графа  $G$ , який дозволяє розглянути можливі варіанти схем обробки:

$$G = (K, A, C, I, I'),$$

де  $K$  – множина методів обробки, виконуваних на обладнанні свердлильної групи;

$A$  – множина дуг, які представляють собою послідовність операцій;

$C$  – множина кольорів, в які забарвлюється кожна послідовність виконання переходів;

$I$  – квалітети точності наявних заготовок;

$I'$  – квалітети точності одержуваних виробів.

Отже, знаючи квалітет заготовки і квалітет поверхні, яку потрібно отримати, за допомогою розробленого кольорового графіка можна отримати можливі варіанти структур технологічних операцій, що виконуються на обладнанні свердлильної групи. Таким чином, на основі застосування теорії кольорових графів запропонований метод, що дозволяє встановити відповідність між необхідними параметрами обробки і необхідними послідовностями виконання переходів.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ВІБРАЦІЙНИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ЗАГОТОВКИ НА ТОЧНІСТЬ ОТВОРІВ ПРИ СВЕРДЛІННІ ПАКЕТУ ВУГЛЕПЛАСТИК/ ТИТАНОВИЙ СПЛАВ

*Колесник В.О., ст. викладач каф. ТМВІ,  
Шоломицький О.Л., студент, гр. ТМ-71*

За останні 20 років сформувалася стала тенденція до збільшення частки полімерних композиційних матеріалів при виготовленні компонентів для літальних пристроїв. Найбільш широко полімерні композиційні матеріали, зокрема вуглепластик, використовуються у поєднанні з титановим або алюмінієвим сплавом при виготовленні елементів обшивки. Вищезазначені матеріали утворюють пакет шари якого з'єднуються за допомогою заклепкових або гвинтових з'єднань, виготовлення яких передбачає свердління отворів. Технологічні особливості виготовлення точних отворів у пакетах активно досліджуються останні 15 років, але не зважаючи на велику кількість ґрунтовних досліджень у цьому напрямку, аспект впливу вібраційних переміщень пакету при свердлінні отворів залишається мало вивченим.

У ході експериментальних досліджень було розроблено експериментальну установку на базі верстату FADAL 2216-FX, що дозволили дослідити вплив режимів різання на вібропереміщення при свердлінні пакету вуглепластик/ титановий сплав з точки зору її впливу на розмірну точність отворів в пакеті. Експериментальний стенд складався з: вертикально – фрезерного верстата FADAL 2216-FX, на робочому столі якого було змонтовано динамометр УДМ-600 з робочою пластиною до якої кріпилися 3 датчики для вимірювання віброприскорення. У шпинделі верстату закріплювалась цангова оправка зі свердлом та бездротовою системою для вимірювання температури різання при свердлінні.

У ході експерименту здійснювалась обробка зразка вуглепластик/ титановий сплав (ВТ-6) з товщиною шару вуглепластика – 9 мм, та титанового сплаву – 8 мм., твердосплавним свердлом Guehring 5510 діаметром 10 мм, та головним кутом в плані 140°. За допомогою розробленого у програмному продукті LabView інтерфейсу було синхронізовано отримані експериментальних дані про значення вібропереміщень та положення свердла.

У результаті вимірювання розмірної точності отворів у пакеті вуглепластик/титановий сплав було визначено, що номінальний розмір отворів у титановому сплаві коливається в межах 10,16-10,23 мм. У шарі вуглепластику, номінальний розмір знаходиться у межах 10,40-10,55 мм.

У результаті порівняння графіків вібропереміщення та точності отворів було виявлено, що не зважаючи на більші значення вібропереміщень у титановому сплаві відхилення номінального отвору в цьому шарі менше. Такий ефект пов'язаний з тим, що збільшення отвору у шарі вуглепластику значною мірою обумовлено ковзанням металевої стружки по стінкам отвору.

## ВПЛИВ СИЛ РІЗАННЯ НА ПАРАМЕТРИ ВРІЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

*Фесенко А.В., професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків;*

*Ушаков О.М., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» м. Харків;*

*Євсюкова Ф.М., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» м. Харків.*

При шліфуванні якість оброблюваної поверхні визначається станом робочої поверхні шліфувального круга та режимами різання. Важливими умовами є отримання необхідного рельєфу поверхні круга під час правки та забезпечення необхідного його стану при обробці. Тому доцільно розглянути взаємозв'язок параметрів правки із шорсткістю оброблюваної поверхні при різних умовах шліфування. Також доцільно в алгоритми визначення режимів різання ввести розрахункові залежності, які враховують характеристики шліфувального круга та їх вплив на зусилля різання.

Стан робочої поверхні шліфувального круга залежать від характеру зносу абразивних зерен. Початковий підвищений знос після правки утворюється при видаленні з робочої поверхні круга дефектних за формою і невдало орієнтованих зерен. Надалі при шліфуванні, в залежності від силового навантаження на зерна, знос може мати характер викришування зерен, сколювання окремих частинок, стирання з утворенням майданчиків зносу, засалюванням, при якому різання майже не відбувається, а тільки йде інтенсивний нагрів деталі.

Визначено, що якість обробки після правки визначається інтенсивністю режимів правки. Надалі рельєф робочої поверхні шліфувального круга стабілізується в залежності від режимів шліфування.

Було встановлено, що характер зміни шорсткості аналогічний характеру зміни радіальної складової зусилля різання. Виконані узагальнення і кодування, за допомогою яких в алгоритм автоматизованого розрахунку режимів різання були внесені ряд розрахункових залежностей, враховуючих параметри шліфувального круга та їх вплив на зусилля в зоні обробки.

Завдяки цьому стало можливим визначити рівень радіальної складової зусилля різання при отриманні заданої шорсткості, а також показано характер взаємозв'язку зусиль шліфування із зміною робочого профілю шліфувального круга і шорсткістю обробленої поверхні.

## АЛГОРИТМ РОБОТИ АДАПТИВНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ КРУГЛОШЛІФУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА

*Фесенко А.В., професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків;*

*Ушаков О.М., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків;*

*Сліпченко С.Є., старший викладач кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», м. Харків.*

В роботі розглянуті питання автоматизації процесу круглого зовнішнього врізного шліфування. Запропоновано систему адаптивного керування, що забезпечує збір інформації із зони різання, її обробку в ЕОМ верстата і коригування виконавчих рухів. Це дозволило забезпечити стабільність процесу обробки і отримання заданих параметрів якості.

Для підвищення ефективності круглого зовнішнього шліфування доцільно використовувати системи адаптивно-програмного керування. Це дозволяє автоматично визначати стан процесу шліфування, корегування параметрів обробки і виконувати діагностику систем верстата.

Така система була встановлена на круглошліфувальному верстаті моделі 3М152ВФ20. По-перше визначаються і вводяться в ЕОМ динамічні характеристики верстата, такі, як амплітуди коливань між кругом і деталлю, частоти вимушених коливань. Далі в ЕОМ вводяться дані по верстату: параметри всіх виконавчих органів, жорсткість передньої і задньої бабок, параметри контрольно-вимірювальних систем, параметри робочого циклу. Після цього вводяться необхідні параметри оброблюваної деталі. Далі виконуються розрахунки режимів шліфування і режимів правки круга. Здійснюється обробка першої деталі під час якої визначаються фактичні величини коефіцієнта ріжучої здатності, жорсткості і сил різання. Після закінчення обробки виконується вимір шорсткості обробленої деталі. Далі при необхідності автоматично коригуються режими шліфування. При наступних обробках також виконуються порівняння характеристик за коефіцієнтом ріжучої здатності і за рівнем коливань.

Розроблений алгоритм роботи адаптивної системи керування круглошліфувальним верстатом дозволяє в автоматичному режимі задати параметри обробки, а після обробки деталі і отримання даних із зони різання виконати коригування параметрів обробки, забезпечуючи отримання заданої якості поверхні деталі при оптимальній продуктивності.

## MODELING OF MACHINING OF NON-INVOLUTE GEARS

*Tretyak T. E., Sen. Lecturer; Zubkova N. V., Sen. Lecturer;  
Gutsalenko Yu. G., Sen. Lecturer; Mironenko A. L., Sen. Lecturer;  
Mironenko S. A., Student, CIT-26b, Nat. Tech. Univ. "KhPI", Kharkiv*

Study of gears with a complex non-involute profile of the teeth flanks is one of the current trends in mechanical engineering. Non-involute gears have advantages over involute gears in different applications due deprive of some of their disadvantages.

There are two methods of cutting the teeth of cylindrical gear wheels: the copy method and the rolling method.

The profile of the tool working by the rolling method does not depend on the number of teeth of the machined wheel, therefore, with the same tool, you can cut gear wheels with any number of teeth. The accuracy of the wheels made by the rolling method is significantly higher than the accuracy of the wheels made by the copy method.

We presented modeling of the profile of a gear cutting rolling tool for machining of non-involute gear wheels.

The authors of the article previously solved the task of geometric modeling of plane kinematic curves as potential profiles of the teeth flanks of gear cutting tools for shaping of non-involute gear wheels.

To generalize the geometric modeling of curves, the mathematical apparatus of multi-parameter mappings of space was used, developed for solving the issues of surface shaping by cutting by Dr. Eng., Prof. of NTU "KhPI" B.A. Perepelitsa, as well as a generalized unified mapping structure for working and machine gearings, proposed by PhD, Sen. Staff Scientist of ISM NASU (Kiev) A.V. Krivosheya. In this case, the kinematic curve was considered as a continuous trajectory of the complex motion of a point in a gearing.

The use of a generalized unified structure and methods of multi-parameter mappings made it possible to model the field of various plane curves by the structural method without deriving their specific analytical equations.

In the process of cutting of gear wheels by a gear rack with a standard profile, the involute profile of the wheel teeth is reproduced. In the general case, not only sections of straight lines, but also other arbitrary types of curves (for example, kinematic) can be considered as a profile of a rack tooth flanks. The use of such a tool allows to cut the wheels with a more complex non-involute teeth profile.

Based on the previously developed algorithm for calculating the profile of envelope surfaces, a method for geometric analysis of the process of surfaces shaping by rolling gear cutting tools has been developed.

In this case, a new structural approach to find the formable and tool surfaces as envelopes, which does not require the derivation of specific analytical equations, is used.

Using computer graphics, the sequential shaping of the space between the teeth of the gear wheel is studied. A plane geometric task is being solved. The workpiece and the shaping tooth of the tool (for example, tool rack) can be considered as geometric figures, i.e. bounded subsets of plane points. As noted earlier, the boundaries of the tooth of the tool can be not only straight line segments, but also various other types of curves. In motion relative to the workpiece, the tool tooth as a geometric figure sweeps on the plane a region representing a set of trajectories of points. The boundaries of this area, which is swept, are either the trajectories of single points of the tooth, or the envelopes of certain curves that bound the tooth.

In Fig. 1, a, b the initial profile of the tool rack with a concave profile of the tooth flanks and the successive shaping of the space between the teeth of the gear wheel with the module  $m=5$  and the number of teeth  $z=20$  is shown.

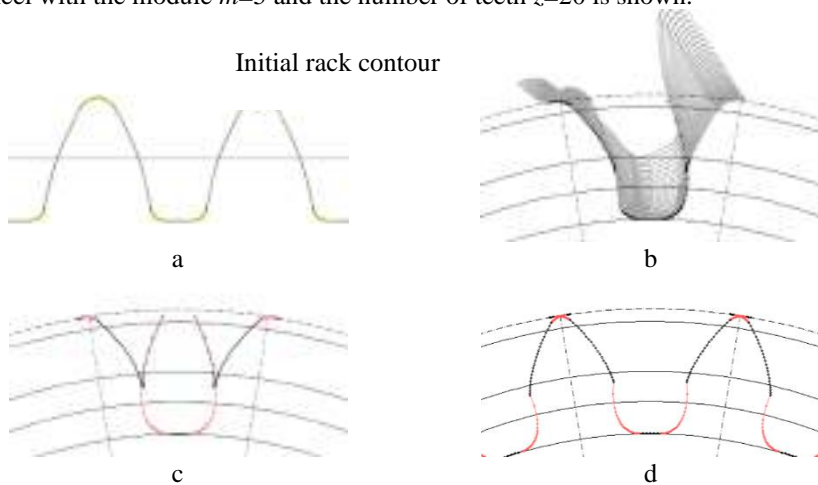


Figure 1 – The shaping of the space between the teeth of the gear wheel with  $m=5$  and  $z=20$  by tool rack with a concave profile of the tooth flanks

In the figures, the workpiece points, in which, at the current time, the condition of touching the surfaces is fulfilled, are highlighted. The combination of these points represents the envelopes of certain curves that limit the tool tooth. They are marked in Fig. 1, c, d images the boundaries of the desired space between the wheel teeth.

The proposed method allows to analyze the process of shaping the surface of the gear wheel, detect the appearance of undercuts, and also determine the range of gear wheels which can be obtained using a specific rolling tool.

## РОЗВИТОК ТЕХНОЛОГІЧНИХ МОЖЛИВОСТЕЙ ТЕХНІЧНИХ СИСТЕМ АЛМАЗНОГО ШЛІФУВАННЯ НА БАЗІ УНІВЕРСАЛЬНИХ ВЕРСТАТІВ

*Наконецний М.Ф., доцент; Гуцаленко Ю.Г., ст. викладач,  
кафедра інтегрованих технологій машинобудування ім. М.Ф. Семка  
НТУ«ХПІ», м. Харків*

Робота виконана у концептуальному просторі розширення технологічних можливостей алмазного шліфування за рахунок цілеспрямованого включення інструменту у керований електричний ланцюг [1].

Розглядається спрощена схема організації процесів комбінованої алмазно-абразивної обробки на універсальних верстатах з включенням інструменту в електричний ланцюг активації зони різання. Якщо за конвенціональним досвідом випуску спеціальних верстатів заводом-виробником або модернізацією універсальних верстатів в умовах підприємства-споживача потрібна для такого включення електроізоляція верстата з боку інструменту виконується з переділом шліфувальної бабці або за допомогою знімних діелектричних елементів захисту посадкового контакту шліфувального круга, то за схемою, що розглядається, шліфувальний круг виповнюється зі струмозахистним діелектричним покриттям контактної зони посадкових поверхонь за отвором та прилеглим бічним поверхням корпусу. Наприклад, при позиціонуванні інструменту на загочувальних верстатах, обмежених радіальними габаритами шліфувальної оправки (по опорному буртику) і кріпильного нарізного фланця, що сполучається з нею з робочого боку. При цьому підведення електричного струму на робочу поверхню інструменту може здійснюватися за допомогою звичайного щіткового контакту через вільні від електроізоляційного покриття поверхні його металевих корпусу або безпосередньо алмазно-металеву композицію робочої частини шліфувального круга [2].

У раніше відомих підходах з адаптації технічних систем шліфування до здійснення електрофізичних процесів в зоні різання алмазно-абразивний інструмент як об'єкт бар'єрних технічних рішень, що забезпечують відсутність його участі у спільному з верстатом ланцюгу, до анонсованого вітчизняним патентом на корисну модель [3] і першої з міждержавним представництвом роботи [4], ні в Україні, ні за її межами не розглядався ні в дослідницькій, ні у виробничій практиці.

Електроізоляція корпусу алмазного шліфувального круга від установочних поверхонь інструментального шпинделя інноваційним рішенням інструменту може бути вирішена за двома запропонованими матеріально-технологічними концептами: по-перше, на епоксидній основі – як універсальний підхід щодо захисту поверхонь різноманітних струмопровідних матеріалів, зокрема зі сталеву та алюмінієву основою; по-друге, анодно-іскрові, якщо мають діелектричні властивості, причому

функціонально достатні, стосовно їх формування безпосередньо з матеріалу металевого корпусу шліфувального інструменту.

Проведені дослідження дозволили науково обґрунтувати практичне застосування анодно-іскрових покривів по методу мікродугового окислення [2] в якості електроізоляційних на алюмінієво-сплавних металевих корпусах алмазних шліфувальних кругів, які можуть бути використані в технологіях комбінованих електрофізичними ефектами методів шліфування.

Запропоновані рішення конструкцій і технологій алмазних шліфувальних кругів на металевих зв'язках для реалізації ними комбінованих методів обробки з ініціацією електричних ефектів в зоні різання на універсальних верстатах не потребують спеціальної електроізоляційної модернізації відповідальних за точність обробки їх шпиндельних вузлів.

Це є також практично цінним з точки зору збереження конвенціональних схем обслуговування та ремонту обладнання з його участю у верстатоінструментальній системі комбінованого шліфування.

Розробку переважно орієнтовано на безводне алмазне шліфування з використанням твердих мастил, що відповідає тренду екологічної актуальності скорочення використання води в обслуговуванні промислових потреб за технологічними платформами сучасної індустрії у найбільш розвинутих країнах світу XXI століття, зокрема від ознак сучасного укладу “nano-bio-info-cogno” у США (з 2001 р.), до Industry 4.0 у Німеччині і ЄС в цілому (з 2011 р.), та Society 5.0 у Японії з ключовим ланцюгом “hunting-agrarian-industrial-information-super smart” (з 2016 р.).

#### Список літератури

1. Грабченко, А. И. Расширение технологических возможностей алмазного шлифования / А. И. Грабченко. – Харьков : Вища шк. Изд-во при Харьк. ун-те, 1985. – 184 с.

2. Гуцаленко, Ю. Г. Концепція і конструкторсько-технологічна розробка інструментів із надтвердих матеріалів для алмазно-іскрового шліфування на універсальних верстатах / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова // Надійність інструменту та оптимізація технологічних систем. – 2017. – Вип. 40. – С. 35-43.

3. Гуцаленко, Ю. Г. Шліфувальний круг : патент на корисну модель № 96568 Україна: МПК (2006.01) B24D 3/06 / Ю. Г. Гуцаленко, О. К. Севидова, І. І. Степанова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № u 201409394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3.

4. Гуцаленко, Ю. Г. Современные подходы к организации и реализации технических систем и технологий алмазно-искрового шлифования / Ю. Г. Гуцаленко, К. Янку // Физические и компьютерные технологии : Тр. 21-й междунар. науч.-практ. конф. 24-25 дек. 2015 г., г. Харьков. – Днепропетровск : Изд-во «Лира», 2015. – С. 29-38.

ІНТЕГРАЦІЯ CAD/CAM/CAE/CAPP-СИСТЕМ ТА ERP-



*Рузметов А.Р., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків*  
*Добротворський С.С., професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків*  
*Ушаков О.М., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів Навчально-наукового інституту механічної інженерії і транспорту НТУ «ХПІ», м. Харків*

В роботі розглянуті питання інтеграції автоматизованих систем проектування та технологічної підготовки (CAD/CAM/CAE/CAPP) із системою стратегічного планування виробництва (ERP).

Така інтеграція автоматизованих систем дозволяє забезпечити збереження інвестицій в інформаційні технології за рахунок: підвищення керованості виробничих процесів, які підтримуються інформаційними системами; зниження ймовірності виробничих помилок; скорочення тривалості виконання технологічних та виробничих процесів та трудовитрат ведення документообігу.

На основі даних PDM та ERP-системи і за допомогою MES - системи виробничі підрозділи здійснюють оперативне управління виробництвом. В літературі визначено наявність значного функціонального та інформаційного розриву між ERP-, PDM- та MES-системами. Розробка інтегрованої системи інформаційної підтримки керування даними виробничих процесів MDP (Management data production), що надходять із різних виробничих підрозділів і служб забезпечить узгодження даних (рис.1), які використовуються різними додатками, синхронізує та впорядкує інформаційні потоки на підприємстві, забезпечить програмну обробку даних, підтримку протоколів взаємодії додатків.

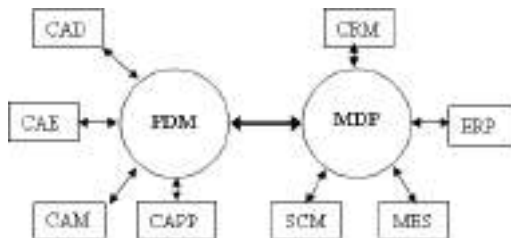


Рисунок 1 – Процеси інформаційного обміну в інтегрованому середовищі автоматизованих систем виробництва.

Однією з ключових вимог для управління виробничими даними є передача інформації по замовленнях і інших релевантних даних з ERP в MES, отримання даних у відповідь і даних про стан виробництва, поточні планові показники з MES і інших додатків. Для управління виробничим процесом в цеху додатку MES потрібно інформацію з системи ERP про матеріали, комплектуючі, запозичені технології, облік ресурсів і одиниць обладнання і конструкторську інформацію. Ці дані поступають з системи ERP через різні по формату інтерфейси з різною періодичністю. Тому при обміні інформацією потрібно перетворення полів даних.

Для уніфікації MES - інтерфейсів часто використовуються галузеві стандарти, наприклад, на базі ISA95 - B2MML, що дозволяє багато разів використати один і той же формат інтерфейсу. Оскільки не усі додатки ERP підтримують інтерфейси B2MML або спеціалізований MES - інтерфейс, перед пересилкою даних необхідно виконати суміщення форматів інтерфейсів MES та навпаки.

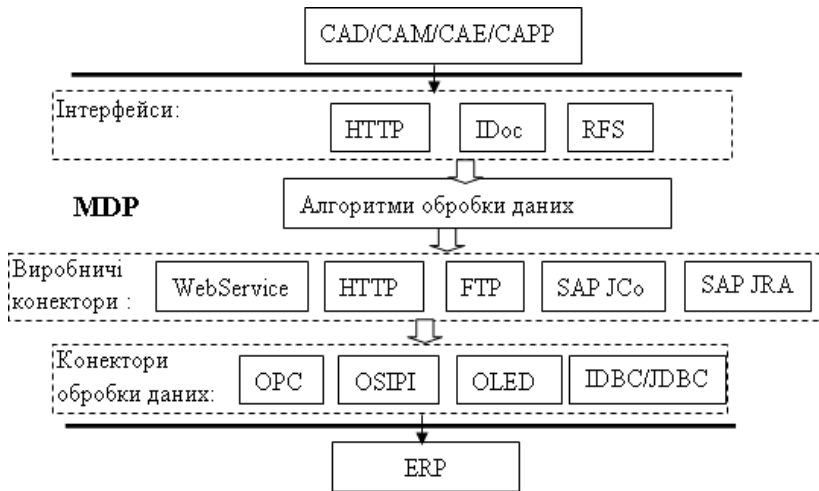


Рисунок 2 – Технологія обміну даними в системі підтримки керування даними виробничих процесів

Таким чином, можна зробити висновок, що ядро системи повинно мати змогу організувати архівну базу даних, керування ідентифікаторами, процесами трансформації даних та потоком даних і нормативно-довідковою інформацією, логістичною моделлю даних та звітністю, організувати управління повнотою даних; управління користувачами і їх режимом доступу; контроль дій користувачів, коригування та класифікацію даних, ручне введення даних; звітність про стан готовності даних.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В ЗОНІ ШЛІФУВАННЯ ПРИ ВИКОРИСТАННІ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ ПОДАЧІ МОР

*Степанов М. С., професор кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ», м.Харків*

*Іванова М. С., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ», м.Харків*

*Літовченко П. І., доцент кафедри інженерної механіки Академії*

*внутрішніх військ МВС України, к. т. н., доц., м.Харків*

*Іванова Л.П., завідувач лабораторії кафедри інженерної механіки*

*Академії внутрішніх військ МВС України, м.Харків*

*Котляр О.В., доцент кафедри технології машинобудування та металорізальних верстатів НТУ «ХПІ», м.Харків*

При обробці валів на круглошліфувальних верстатах геометрична точність оброблюваної поверхні багато в чому залежить від температурних деформації елементів технологічної системи. Одним з джерел тепла, що визначає температурне поле і температурні деформації вузлів і деталей верстата, є МОР, нагріта в зоні шліфування. Серед заходів, що дозволяють знизити температурні деформації та їх вплив на точність оброблених заготовок, слід виділити усунення контакту МОР з деталями і вузлами верстата. З цією метою розроблено пристрій для подачі МОР в зону різання з використанням повітряних потоків для екранування (ізоляції) МОР [1].

Пристрій (рис. 1) являє собою сопло 2 та приймач 5, які охоплюють заготовку 11 по зовнішнім циліндричним поверхням та містять патрубок для відходів обробки 9, патрубок відведення МОР 8, патрубки підведення повітря 4 та 6, що поєднані з порожнинами 16 та 21, відповідно; з повітряними соплами 17 у бічних стінках, які запобігають витоку МОР в зазорах 15 між циліндричною поверхнею заготовки та охоплюючими поверхнями 23 сопла 2 та 20 приймача 5. Патрубок для відходів обробки 9 забезпечено щільним соплом 18, поєднаним через порожнину 16 з патрубками подачі повітря 6. Пристрій працює наступним чином. Потік МОР попадає в сопло 2, далі, омиваючи заготовку 11, рухається до патрубка відведення МОР 8 і виводиться в підсистему подачі та очищення МОР. Відходи шліфування попадають у патрубок 9, в якому стінка 10 запобігає їх контакту з потоком МОР, цьому сприяє розташований у стінці 10 щільний отвір 18, поєднаний з каналом 19. У сопло 18 через канал 19 подається стиснуте повітря, яке утворює розділювальний екран між відходами шліфування та МОР. Повітряний екран, який запобігає витіканню та розприскування МОР по торцям з сопла 2 та приймача 5, утворено струменями повітря, що витікають з радіальних сосел 17, 22 та інших.

Але одночасний вплив потоків МОР та повітряних струменів викликає

зміну процесів теплопередачі, що відбуваються в зоні різання, а саме потік повітря створює виймку в потоці МОР, в наслідок чого утворюється перехідна зона – зона газонасиченої МОР та зменшується ширина контакту МОР зі шліфувальним кругом (заготовкою). Все це сприяє зміні коефіцієнта тепловіддачі вздовж лінії контакту шліфувального круга та заготовки від  $0,1 \dots 1 \cdot 10^2 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  (в зоні дії струменя повітря) до  $18 \cdot 10^4 \text{ Вт/м}^2 \cdot \text{°C}$  (в зоні потоку МОР).

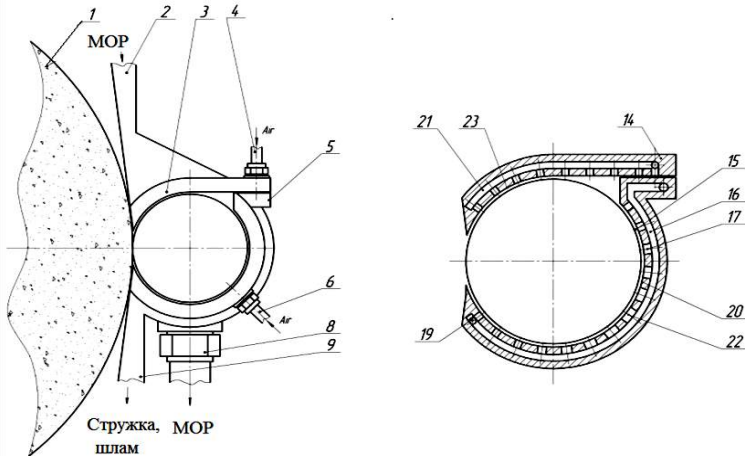


Рисунок 1 – Пристрій подачі МОР

Крім того, якщо не передбачено раціональних параметрів струменя МОР, що подається в зону різання, та струменів повітря, що виходять з торцевих елементів пристрою подачі МОР, то струмені повітря можуть як охолоджувати потік МОР з обох сторін так і запобігати потраплянню МОР в зону контакту шліфувального колеса та заготовки (явище перекриття).

Шляхом математичного моделювання було виявлено, що схема перекриття в значній мірі залежить від вхідного тиску повітря та розміру кільцевого зазору між заготовкою та внутрішньою поверхнею торцевих елементів пристрою подачі МОР. Для забезпечити безперешкодний доступу МОР в зону контакту шліфувального круга і заготовки запропоновано робити кільцеву канавку у торцевому елементі пристрою подачі МОР.

#### Список літератури

1. Патент на кор. мод. № 136095 Україна, МПК(2019.01), В24В 55/00. Пристрій подачі мастильно-охолоджувальної рідини / Степанов М.С., Літовченко П.І., Котляр О.В., Іванова М.С., Іванова Л.П., Басова Є.В.; заявник і патентовласник Нац. техн. ун-т “ХПІ”. – № у 2018 11969; заявл. 03.12.18; опуб. 12.08.19, Бюл. № 15.

# ВПЛИВ МЕТОДУ ЗМІЦНЕННЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ НАДІЙНОСТІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ДЕТАЛЕЙ МАШИН І МЕХАНІЗМІВ

*Градиський Ю.О., к.т.н., доцент, доцент кафедри  
деревооброблювальних технологій та системотехніки лісового комплексу  
Харківського національного технічного університету сільського  
господарства імені Петра Василенка, м. Харків  
Янчик О.Г., к.т.н., с.н.с., доцент кафедри безпека праці і  
навколишнього середовища Національного технічного університету  
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків*

Утомна міцність є однією з найважливіших експлуатаційних характеристик, що визначають термін служби деталей машин і механізмів, в умовах знакозмінних навантажень.

В даний час існує безліч методів поверхневого зміцнення, однак, накопичений досвід показує, що не існує універсальних методів обробки при виготовленні і ремонті деталей з різних конструкційних матеріалів, так як кожен метод має свою область раціонального використання. На виробництві все ширше застосовуються високоефективні методи, засновані на використанні електродугових, плазмових, іонно-променевих та інших концентрованих потоків енергії. У зв'язку з цим, все частіше виникає проблема вибору оптимального способу високоефективної обробки з великого числа можливих або створення на їх основі комбінованого методу, що дозволяє комплексно поліпшувати експлуатаційні характеристики деталей машин і механізмів.

Для вирішення поставленого завдання пропонується побудова концептуальної моделі довговічності виробів з електромагнітними покриттями. Так як основне призначення концептуальної моделі - виявлення набору причинно-наслідкових зв'язків, врахування яких необхідно для отримання необхідних результатів.

Представляючи закони розподілу  $f(\sigma_a)$  і  $f(A_1)$ , обчислюємо інтеграли, а потім, приймаючи ( $Dn = Dn' = 1$ ), знаходимо число циклів, яке пропрацює деталь з покриттям до руйнування або досягнення граничного зносу ( $n_{сум}$  і  $n'_{сум}$  відповідно).

На основі гіпотези лінійного підсумовування пошкоджень сумарна міра пошкоджуваності від утоми при зношуванні ( $D_{\Sigma}$ ) дорівнює:

$$D_{\Sigma} = D_n + D_n' = \frac{n_{сум}}{\sigma_{-1}^m N_0} \int_{\sigma_{-1}}^{\sigma_0} \sigma_a^m f(\sigma_a) d\sigma_a + \frac{n'_{сум}}{A_{10}^m N_0} \int_{A_{10}}^{A_0} A_1^m f(A_1) dA_1 \quad (1)$$

Якщо випадковими є величини  $(\sigma_1)$  і  $(A_{10})$ , то слід побудувати розподіли ( $n_{сум}$ ) і ( $n'_{сум}$ ) як функцію від випадкових аргументів  $(\sigma_1)$  і  $(A_{10})$ :

$$n_{\text{сум}} = \frac{\sigma_{-1}^m N_0}{\int_{\sigma_{-1}}^{\sigma_a} \sigma_a^m f(\sigma_a) d\sigma_a} = \sigma_{-1}^m \overline{N}_0, \quad (2)$$

$$n'_{\text{сум}} = \frac{A_{10}^m N'_0}{\int_{A_{10}}^{A_1} A_1^m f(A_1) dA_1} = A_{10}^m \overline{N}'_0, \quad (3)$$

Залежності (1), (2) і (3) є базовими для математичної моделі довговічності покриттів, отриманих електромагнітним наплавленням, а також для деталей з такими покриттями, які працюють при одночасній дії сил тертя і циклічного навантаження. На підставі розробленої моделі створено алгоритм (рис. 1) і програмне забезпечення функціонування моделі з можливістю варіювання вхідними параметрами.

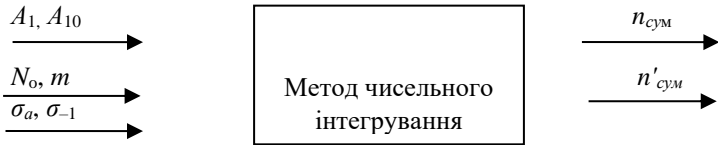


Рисунок 1 - Алгоритм обчислення кількості циклів роботи деталі з покриттям до руйнування або досягнення граничного зносу

Розроблена модель визначення довговічності деталей з покриттями, при їх роботі на утому і тертя, використовувалася:

при визначенні фізико-механічних властивостей зміцнених шарів в якості однієї з основних інтегральних характеристик.

при вивченні впливу технології нанесення покриттів на витривалість (при визначенні числа циклів до руйнування і бази випробувань).

при розробці технологічної схеми наплавлення, що забезпечує оптимальний процес структурування зміцненого шару.

#### Список літератури

1. Приймаков О.Г., Градиський Ю.О., Приймаков Г.О. Прогнозування витривалості та загальної працездатності несучих елементів авіаційних конструкцій. – Харків: Оберіг, 2010. – 248 с.

2. Градиський Ю.О., Янчик О.Г., Карпусенко О.В. Вплив швидкості охолодження надструктуру інструментальної сталей// Вісник НТУ “ХПІ” № 49 (1158) –Х., 2015. – С.18–21.

## ПЕРЕДУМОВИ ВПРОВАДЖЕННЯ БАГАТОКОРДИНАТНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ВИЛКИ

*Пірогов Д. О., студент, Іванов В. О., д-р техн. наук., доцент каф. ТМВІ,  
Сумський державний університет, м. Суми*

Створення сучасних ефективно функціонуючих виробничих систем вимагає ретельного проведення технологічної підготовки виробництва. У даний час у світовому машинобудуванні превалує багатонomenclатурне виробництво, яке характеризується широкою номенклатурою виробів, зменшенням непродуктивних витрат часу, впровадженням високоєфективних багатокоординатних обробних центрів із ЧПК, а також скороченням кількості одиниць технологічного оснащення. Сучасні тенденції свідчать про необхідність розроблення та впровадження верстатних пристроїв, що забезпечують багатокоординатне оброблення деталей при достатній інструментальній доступності.

Враховуючи виробничі умови, а також технологічні можливості сучасного металорізального обладнання, що дозволяє виконувати комплексне оброблення деталей, необхідно змінювати підходи до проектування технологічних процесів, прагнучи до інтенсифікації процесів механічного оброблення, а основним резервом є розроблення та впровадження гнучких верстатних пристроїв, які характеризуються високим ступенем гнучкості та дозволяють реалізувати принципово нові схеми установа складинопрофільних деталей, забезпечуючи максимальну інструментальну доступність. Для досягнення цієї мети запропоновано інтенсифікувати ТП шляхом об'єднання свердлильно-фрезерно-розточувальних операцій в одну комплексну на оброблювальному центрі з ЧПК.

Результати дослідження свідчать про стійку тенденцію скорочення штучно-калькуляційного часу та підвищення продуктивності залежно від обсягу партії. Найбільша різниця за вищевказаними показниками спостерігається при партіях до 15 штук. Загальний ефект за показником «кількість установлень та переустановлень заготовки» становить зменшення у 7 разів, за показниками «кількість одиниць оснащення» та «кількість одиниць верстатних пристроїв» у 5 разів. Таким чином, доведено доцільність інтенсифікації технологічного процесу механічного оброблення деталей шляхом багатокоординатного оброблення.

На основі проблемно-орієнтованого аналізу розроблено класифікацію деталей типу вилки за конструкторсько-технологічними ознаками, що дозволяє виявити групи деталей зі схожими ознаками, які можуть бути згруповані та віднесені до певних типорозмірів гнучких ВП та запропоновано новий підхід до проектування ТП для оброблення деталей типу вилки, який базується на принципі інтенсифікації механічного оброблення і дозволяє у 1,3–2,3 рази підвищити продуктивність оброблення залежно від партії деталей.

**СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ  
У МАШИНОБУДУВАННІ»**



## АНАЛІЗ ЖОРСТКОСТІ РІЗЦЕТРИМАЧА НА ОСНОВІ МЕХАНІЗМУ ПАРАЛЕЛЬНОЇ СТРУКТУРИ

*Бараник А.М., студент, гр. ВІ.м-91*

Щоб успішно конкурувати на сучасному ринку вітчизняним підприємствам необхідно забезпечити кращу якість продукції, яка випускається, і в той же час зберегти її відносно низьку вартість. Значною мірою цього можна досягти за рахунок модернізації верстатного парку і створення на його основі прогресивних конструкцій, що дозволять не тільки підвищити якість і спростити технологічні процеси, але і скоротити період окупності таких нововведень.

Одним з ефективних напрямків модернізації існуючих верстатів є використання механізмів паралельної кінематичної структури. Теоретично вони дозволяють: 1) підвищити жорсткість за рахунок перерозподілу діючих сил та виникнення в приводі і несучій системі тільки напружень розтягу або стиску; 2) поліпшити динамічні характеристики при одночасному зменшенні кількості ланок кінематичних ланцюгів і зменшенні їх загальної маси. 3) спростити конструкцію приводу і знизити металоємність.

Однак, прийняття необґрунтованого рішення про проведення модернізації вузлів металорізальних верстатів на основі використання механізмів паралельної структури може додати до конструкції істотні недоліки: 1) ускладнення системи управління при нелінійних кінематичних і динамічних характеристиках верстатів; 2) наявність в робочому просторі верстата зон зниженої статичної жорсткості; 3) неортогональність форми робочого простору.

На кафедрі технології машинобудування, верстатів та інструментів запропоновано для модернізації приводу подач багатошпindelного токарного автомата 1Б240-6К застосувати різцетримач на базі механізму паралельної кінематики типу «Біпод» з двома штангами змінної довжини. Для підвищення жорсткості приводу подачі конструкція різцетримача доповнена центральною опорою з віссю на підшипнику ковзання.

Для вибору кращого проектного рішення проведено порівняльний аналіз жорсткості восьми конструктивних виконань різцетримача при різних варіантах навантаження, що імітують умови обробки на верстаті. При цьому в середовищі пакету КОМПАС створена комп'ютерна 3d модель системи верстат-різцетримачі та з використанням бібліотеки FEM зроблені розрахунки пружних деформацій вершини різця в центральній і крайніх точках робочої зони.

Дослідження дозволили вибрати конструкцію різцетримача, яка, за інших рівних умов, має найбільшу жорсткість і дозволяє розраховувати на підвищення точності і продуктивності обробки деталей обертання зі складною просторовою формою.

Робота виконана під керівництвом д.п.н., проф. Алексеєва О.М.

## ОБЧИСЛЕННЯ КІЛЬКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СКЛАДАЛЬНИХ ОДИНИЦЬ З ВИКОРИСТАННЯМ ІНТЕРНЕТ-ТЕХНОЛОГІЙ

*Курило О.О., студент гр. ВІ.М-91, Коваленко Ю.С., студент гр. ВІ.М-91*

Перспективним напрямом вдосконалення технічної підготовки виробництва є автоматизація проектних робіт, яка спрямована на скорочення вартості і термінів проектування при одночасному підвищенні його якості. У машинобудівному виробництві все частіше використовуються засоби комп'ютерної техніки для того, щоб автоматизувати і зв'язати один з одним завдання проектування і виробництва. Для цієї мети, як правило, використовуються технології автоматизованого проектування (CAD), автоматизованого виробництва (CAM) і автоматизованої розробки або конструювання (CAE). Одночасно з цим слід зазначити, що існує обмежена кількість програмних продуктів, які призначені для автоматизації проектних розрахунків в умовах, коли проектування нового виробу ведеться групою розробників і для комунікації між ними використовуються інтернет-технології.

На кафедрі технології машинобудування, верстатів та інструментів СумДУ запропоновано при проектуванні технологічних процесів складання розраховувати кількісні характеристики складальних одиниць з використанням інтернет-технологій. Для цього були вивчені публікації в технічній, довідкової та навчальної літератури, розглянуто викладені в них підходи до створення розрахункових методик і виявлені характеристики, які дозволяють оцінити параметри складальної одиниці. При виборі характеристик збірки для включення в розрахункову методику враховувалася трудомісткість отримання вихідних даних для їх обчислення і окремо можливість для студентів зробити по ним порівняльний аналіз різних варіантів збірки при виконанні курсового і дипломного проектування.

Програма обчислень розроблялася в середовищі Web-редактора «Microsoft Sharepoint Designer», що входить до складу інтегрованого пакета «Microsoft Office» (встановлюється за допомогою окремого інсталяційного файлу). Вона оформлена як багатобреймова інтернет-сторінка, яка включає загальний опис кількісних характеристик складальних одиниць, зону введення вихідних даних та зону візуалізації результатів. Синтаксис програми розроблений на основі стандарту HTML 5.0, програмний код написаний з використанням мультіпарадігмної мови програмування JavaScript.

Підходи до проектування, що застосовані, можуть бути корисними для використання машинобудівними підприємствами, проектними інститутами та фірмами під час розроблення технологічного процесу складання. Методика проектування допоможе підвищити ефективність навчального процесу під час виконанні конструкторських розрахунків в межах курсового і дипломного проектування студентів машинобудівних спеціальностей.

Робота виконана під керівництвом д.п.н., проф., Алексєєва О.М.

## ПРОГНОЗУВАННЯ ЗНОШУВАННЯ ІНСТРУМЕНТУ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИТІВ

*Хавін Г.Л., професор, каф. «Технології машинобудування та металорізальних верстатів», НТУ «ХПІ», м. Харків*

Передумови дослідження і основні проблеми, які необхідно вирішити полягають у тому, що зношування інструменту в процесі механічної обробки полімерних композитів призводить не тільки до погіршення якості за рахунок появи відколів, розшарувань і розлохмачень, але і до зростання температури в осередку деформації, що, в свою чергу, призводить до деструкції сполучного, його налипання, а також вигорання. Зростання температури вершини інструменту призводить до посилення ефекту його затуплення, що стимулює його ще більш інтенсивний знос. Тому визначення характеру зношування, інтенсивності його у часі і критерію затуплення є найважливішими завданнями проектування операцій механічної обробки полімерних композитів.

Основними методами дослідження цієї проблеми є експериментальний аналіз. Більшість проведених експериментів по дослідженню закономірностей зносу під час механічної обробки полімерних композиційних матеріалів заснована на визначенні втрати ваги інструментом до і після роботи. При цьому зміна форми інструменту у багатьох випадках не відома, а її визначення є дуже трудомісткою операцією. Незважаючи на численні дані про те, що в більшості випадків найбільш інтенсивний знос спостерігається по задній поверхні інструменту, значні зміни форми спостерігаються по передній грані, в тому разі і округлення різальної крайки. Створення математичної моделі розподілу втрати ваги по ріжучим гранях інструменту і передбачення інтенсивності процесів, що протікають є актуальним завданням і метою цього дослідження.

Інновації переваги тематики полягають у тому, що однією зі складових дослідження є створення алгоритмів і математичного забезпечення штучних нейронних мереж для оцінки силових факторів і якісного стану оброблених отворів під час свердління полімерних і «сандвічевих» композитів свердлами різної конструкції і заточування. В якості головного критерію розглядається контроль зносу інструменту, при якому порівнюються фактичні і прогнозовані значення зносу, що сигналізує про початок появи критичних погіршень якості отворів, що, в свою чергу, запобігає пошкодженню інструменту. В якості вихідних експериментальних даних використовувалися експериментальні результати різних авторів, опубліковані у відкритому доступі.

Таким чином, суттєвість роботи полягає у тому, що базуючись на експериментальних даних по втраті ваги інструментом у часі, розробити математичну модель зміни форми ріжучої частини, у тому разі округлення, кутів заточування і подовжнього зношування.

## ПАРАМЕТРИ НАСТРОЮВАННЯ ПРИСТОСУВАННЯ ДЛЯ ЗАТОЧУВАННЯ СВЕРДЕЛ

*Дегтяр О. А., студент, гр. ВІ.м – 91, Швець С. В., доцент каф. ТМВІ*

Задня поверхня у спіральному свердлі залежно від методу заточування може мати різну форму: частину конуса, сфери, циліндра. Може бути гвинтовою або плоскою. При утворенні конічної задньої поверхні вершина конуса може знаходитися вище від перетинки – метод Вашбурна (рис. 1), або

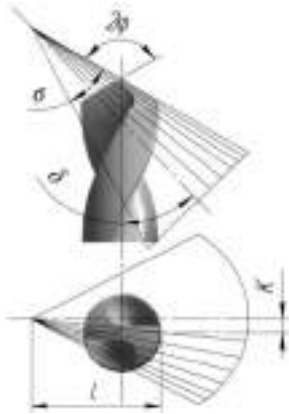


Рисунок 1 – Метод

Вашбурна

нижче від перетинки – метод Вейскера [1]. Переваги і недоліки різних форм задньої поверхні найяскравіше виявляються під час порівняння схем Вашбурна і Вейскера, що протилежно впливають на величину статичного заднього кута. По-різному змінюється значення заднього кута вздовж головної різальної кромки [2]. Проте порівняння крутних моментів у середовищі DEFORM засвідчує, що вони для інструментів, заточених за методами Вашбурна і Вейскера відрізняються у межах (1,—2) %. Схема Вашбурна дозволяє одержувати більші статичні задні кути біля осі свердла і менші – на периферії. Тому конструкція пристосування для заточування переважно реалізує схему, показану на рисунку 1.

Існує аналітично доведена залежність (1) між значенням заднього кута і параметрами настроювання пристосування:

$$\tan \alpha = \frac{C_0}{\sqrt{1 - (\tan \sigma)^2} \sqrt{\left(\frac{l + \frac{dx}{2}}{2 \sin \varphi}\right) \tan 2\sigma^2 (1 - \tan \sigma^2) - C_0^2}}, \quad (1)$$

де  $C_0 = k - \frac{b}{2}$  ( $k$  – відстань між осями свердла і конуса заточування,  $b$  – відстань між головними різальними кромками на вигляді з торця).

Визначені за цією формулою значення  $\alpha$  значно перевищують виміряні. При  $d_{св} = 40$  мм,  $l = 1,9D$ ,  $\varphi = 60^\circ$ ,  $\sigma = 26^\circ$  отримують  $\alpha = 29^\circ$ , тоді як дійсне значення  $\alpha$  становить  $9^\circ$ . Тому запропонована формула (2)

$$\alpha_c = 485,3L^{-1,007} \varphi^{0,7625} \sigma^{-1,075} K^{1,0329}, \quad (2)$$

яка створена за наслідками дослідження параметричної моделі свердла.

### Список літератури

1 Вульф А. М. Резание металлов / А. М. Вульф. – Ленинград : Машиностроение, 1973. – 496 с.

2 Швець С. В. Металорізальні інструменти / С. В. Швець – Суми : СумДУ, 2019. – 272 с.

## СТРІЧКОКОПИЛЬНИЙ ВЕРСТАТ

*Коротун М. М., доцент каф. ТМВІ, Левченко О.О., студент, гр. ВІ–71.*

На сучасних промислових підприємствах все частіше використовується високотехнологічне обладнання. Обумовлено це як активними темпами розвитку науки і технологій, так і необхідністю їх реалізації на практиці. Одним з яскравих прикладів обладнання такого рівня є стрічкопильний верстат по металу. Стрічкопильний верстат може використовуватися для різання не тільки металу, але і деревини, полімерних та інших матеріалів. Ріжучим інструментом такого верстата є стрічкова пила, що являє собою металеву смугу замкнутого типу, на якій розташовані ріжучі зуби. Нами запропонована конструкція верстата, яка відрізняється від відомих конструкцій. Особливістю даного верстата є наступне: привід головного руху здійснюється від гідромотора, що живиться від гідростанції; це забезпечує безступінчасте регулювання швидкості різання; крім того, управління подачею стрічкової пили, лещатами, подачею заготовки після відрізання відбувається за допомогою гідроприводів, у якості виконавчих органів використовуються силові циліндри. Управління виконавчими органами здійснюється за допомогою реле та електромагнітних золотників. Але конструкцією верстата передбачена можливість переходу на управління від комп'ютера, наприклад міні-комп'ютера типу «Ардуїн». Верстат запропонованої конструкції при малих габаритах дозволяє різати коло діаметром до 300мм. В конструкції верстата особливу увагу приділено техніки безпеки, а зокрема:– при відкритті захисного кожуха автоматично відбувається блокування верстата;– при ослабленні пилки, виводиться відповідна індикація на пульт; при обриві пили відбувається вимикання верстата і виводиться відповідна індикація на пульт. Крім того на пульт виводиться, за допомогою індикації, інформація про необхідність зміни масляного фільтра, і відсутність заготовки. На верстаті передбачено використання пристрою для заточування пили без знімання останньої з верстата. Стрічкопильні верстати відрізняються компактністю, а моделі для використання в приватних майстернях – ще і незначною вагою. Встановити їх цілком можна і своїми силами, не використовуючи спеціального вантажопідійомного обладнання. В якості переваг такого обладнання варто відзначити і низький рівень шуму, який видає якісне стрічкове полотно. Незалежно від моделі, будь-який стрічкопильний верстат складається з наступних конструктивних вузлів: корпус; механізми приводу; вузол, який безпосередньо відповідає за різання; механізми для завантаження і подачі заготовок, система управління механізмами обладнання, що включає в себе електромеханічні і гідравлічні компоненти. На верстаті передбачено подачу до місця різку мастильно-охолоджуюча рідина (МОР), яка не тільки змащує та охолоджує пилу, але й вимиває стружку із зони різання, що підвищує якість різання та збільшує стійкість стрічкової пили.

## ВПЛИВ ЯКОСТІ ПРОКАТУ ТА ТЕРМООБРОБКИ НА ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ ТРИШАРОШКОВИХ ДОЛІТ

*Яким Р.С., професор, д.т.н., Дрогобицький державний педагогічний  
університет ім. І.Франка, м. Дрогобич*

*Петрина Д.Ю., професор, д.т.н., Івано-Франківський національний  
технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ*

Тришарашкові бурові долота зі вставним породоруйнівним оснащенням призначені для спорудження свердловин у міцних гірських породах. Умови роботи таких доліт на вибої є надзвичайно складними. Тому до експлуатаційних показників доліт висувають комплекс жорстких вимог щодо зносостійкості та тріщиностійкості долотних сталей, конструкційної міцності деталей доліт, і особливо шарошок.

Незважаючи на те, що навіть вітчизняні долота, які виготовляються за ліцензіями й дотриманням світових стандартів якості API, не мають сталі показники хімічного складу та чистоти. Аналізом встановлено [1 – 4], що у більшості має місце неправильний підхід до поставки на долотне виробництво сталі та проблеми в технології її зміцнення. Мова йде про незадовільні показники долотних сталей, як за хімічним складом, так і за фізико-механічними й технологічними показниками у стані поставки.

Здійснено загальний аналіз руйнувань шарошок відпрацьованого тришарашкового бурового долота 244,5 ОК-ПГВ-D26, а також металографічні дослідження плавки сталі шарошок цього долота. Загальним оглядом породоруйнівної робочої частини шарошок виявлено викришування захисного цементованого шару та пластичну деформацію нецементованих вінців шарошки.

Проведений аналіз розподілу твердості та глибини цементованого шару. Виявлено що, твердість на поверхні цементованого шару для досліджуваної шарошки №1 була у межах HRC 60 – 62, № 2 – HRC 58 – 59,5, № 3 – HRC 59,5 – 60,5. Для інших шарошок отримували подібний розподіл твердості. Аналіз характеру розподілу значень товщини цементованого шару також виявив типову неоднорідну картину.

Досліджено хімічний склад сталі 14ХНЗМА-В шарошок, а також дані щодо відповідності діючим вимогам їх виготовлення. Середнє значення процентного вмісту хімічних елементів в тілі досліджуваної шарошки не виходить за границі допустимого відхилення.

Вимірюваннями встановлено такі значення твердості на відпрацьованих цементованих упорних торцях: шарошка секції № I – HRC 35 – 38, № II – HRC 39 – 44. Зауважимо, що в реальних умовах буріння зношування й руйнування спряжених поверхонь є на порядок вищими через вплив гідро-абразивного й агресивного робочого середовища, а також значних навантажень. І якщо порівнювати отримані дані стендових

випробовувань, то очевидна перевага застосування низького відпуску за температури 165°C.

Встановлено, що причинами раптових відмов доліт через крихке руйнування шарошок є невідповідність плавки сталі 14ХНЗМА-В вимогам щодо показників міцності, пластичності та технологічних – прогартовування. Аналізом хімічного складу не виявлено принципних відхилень від нормативних значень процентного вмісту хімічних елементів. Проте, зафіксовано розсіювання значень процентного вмісту С, Ni, Mo, Cu, Al, Si, а також неоднорідний розподіл значень твердості по перерізу вздовж осі шарошки. Ще одним важливим аспектом досліджуваної проблеми є оцінка плавки сталі за показником міцності DI та спроба в умовах виробництва знизити значення цього показника. Застосування додаткових технологічних операцій у виготовленні кованки під шарошку веде до різких перерозтрат енергії й ресурсів, і головне, як показала практика, не завжди гарантує надійне забезпечення зниження чутливості плавки сталі до утворення тріщин.

Обґрунтовано, що для виготовлення деталей тришарошкових бурових доліт недоцільно застосувати прокат зі сталі 14ХНЗМА-В, що постачаються на долотні підприємства згідно з ТУ14-550-51-2004. Такі технічні умови допускають занадто широке розсіювання та факультативні значення неметалевих включень, а також не регламентують обмеження щодо наявності шкідливих домішок, які різко підвищують прогартовування, твердість та інші показники. До того ж, в умовах заводських лабораторій реального виробництва такі відхилення щодо хімічного складу й чистоти сталі виявляти неможливо. Вбачається два варіанти виходу з виниклої проблеми: відмовитися від такого прокату і замовляти сталь виготовлену за стандартами ASTM A 304-78, яка гарантує необхідну якість. Другий варіант передбачає розробку та впровадження більш обґрунтованого нормативного документа, за яким має постачатися прокат зі сталі для виготовлення деталей тришарошкових бурових доліт.

#### Список літератури

1. Підвищення тріщиностійкості шарошок тришарошкових бурових доліт / Р.С.Яким, Ю.Д. Петрина, Т.Б.Пасинович, А.Ю.Колодій // *Машинознавство*. – 2010. – № 1-2. – С.26 – 30.
2. Яким Р. С. Теорія і практика забезпечення якості та експлуатаційних показників цементованих деталей шарошкових бурових доліт: монографія / Р. С. Яким, Ю.Д.Петрина. – Івано-Франківськ: ІФНТУНГ, 2011. – 189 с
3. Яким Р. С. Науково-прикладні засади підвищення довговічності тришарошкових бурових доліт: дис. ... доктора техн. наук: 05.05.12 / Яким Роман Степанович. – Івано-Франківськ, 2012. – 293 с.
4. Петрина Ю. Д. Розробка науково-прикладних основ підвищення довговічності бурових доліт шляхом раціонального використання матеріалів: дис. ... доктора техн. наук: 05.15.07 / Петрина Юрій Дмитрович –Івано-Франківськ, 1996. –356с.

# ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ЗНАМЕННИКА ГЕОМЕТРИЧНОЇ ПРОГРЕСІЇ НА КОНСТРУКТИВНІ ПАРАМЕТРИ ПРИВОДА ВЕРСТАТА

Семініченко В. Ю., студент, гр.ВІ.м – 91, Швець С. В., доцент каф. ТМВІ

Дослідження проведено в середовищі Mathcad. Вибирають кількість зубів  $a$  ведучого і ведомого  $b$  коліс із заданих масивів простих чисел (від 1 до  $z$  та від 1 до  $y$  відповідно) і порівнюють їх передатне відношення з визначеним за формулою  $i = \varphi^x$ . Результат порівняння, як різницю  $(a/b) - i$ , записують у матрицю  $D$ . Знаходять найменше значення матриці  $D$ , а отже відповідні йому прості числа по осям  $z$ ,  $y$  цієї матриці утворюють передатне відношення  $i$  з найбільшою точністю  $\varepsilon$ .

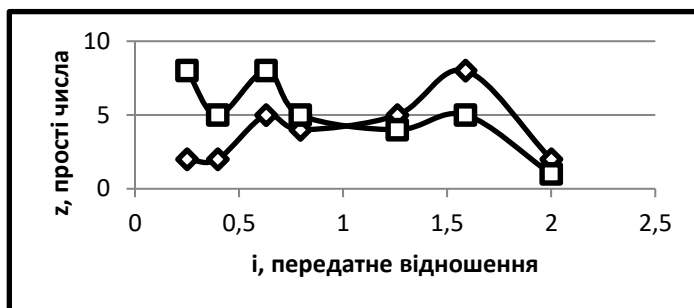


Рисунок 1 – Залежність значень двох простих чисел від передатного відношення

Для знаменника  $\varphi=1,26$ , змінюючи  $x$ , побудовано графіки залежностей значень простих чисел (кількості зубів ведучого і ведомого коліс) від передатного відношення  $i$  (рис.1). Визначені значення простих чисел при максимальному пониженні обертів,  $x = -6$ , при середньому значенні,  $x_{сep} = x/2 = -3$ , і при передатному відношенні рівному 1, тобто  $x = 0$ . Користуючись отриманими результатами розраховують кількість зубів для коліс групи, що складається із цих трьох передач. Розрахунки виконані для найбільшої точності,  $\varepsilon \approx 0,01$ .

При дослідженні передач з іншими знаменниками (табл. 1) передатні відношення  $i$  залишалися незмінними. Для цього визначають значення  $x_{max}$  за формулою

$$x = \log_{\varphi}(i) = \ln(i) / \ln(\varphi) = \ln(1,26^{-6}) / \ln(\varphi). \quad (1)$$

Таблиця 1 – Значення показника степені  $x$  при різних знаменниках  $\varphi$

$\varphi$	1,06	1,12	1,26	1,41	1,58	1,78	2,0
$x$	24	12	6	4	3	2,5	2

Зроблено висновки щодо впливу знаменника і точності передачі на розмір коліс та доцільності використання знаменників із стандартного ряду.



## УСУНЕННЯ КРАПЕЛЬНОЇ ФАЗИ ВАКУУМНО-ДУГОВОГО РОЗРЯДУ ВВЕДЕННЯМ НВЧ-ЕНЕРГІЇ У ЗОНУ ЇЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ

*Сисоєв Ю. О., професор кафедри теоретичної механіки, машинознавства та роботомеханічних систем Національного аерокосмічного університету ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», м. Харків*

Зазвичай в технологіях осадження вакуумно-дугових покриттів макрочастки (мікрокраплі і тверді осколки матеріалу катода – МЧ) є небажаним явищем, оскільки знижують характеристики покриттів.

Проблема усунення з плазмового потоку МЧ, що генерується у катодних плямах вакуумної дуги ще остаточно не вирішена, оскільки існуючі технічні рішення недостатньо ефективні [1]. У зв'язку з цим пошук нових методів усунення МЧ з плазмового потоку є актуальним.

Метою роботи є оцінка можливості усунення МЧ з плазмового потоку шляхом їх випаровування за рахунок нагріву при введенні НВЧ-енергії в зону їх транспортування.

Час повного випаровування МЧ титану різних розмірів, розрахований по ленгмюрівському механізму, показаний на рис. 1. При температурах МЧ,

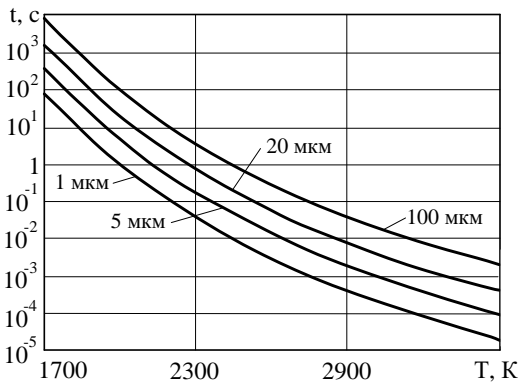


Рисунок 1 – Час випаровування мікрокрапель титану різних розмірів в залежності від їх температури

близьких до температури кипіння, їх випаровування відбувається в залежності від розмірів МЧ за час порядку  $10^{-3} \dots 10^{-5}$  с. Середній час знаходження МЧ в русі від катода до поверхні конденсації має значення  $\sim 6 \cdot 10^{-2}$  с (при їх швидкості  $v_{кр}$  близько 5 м/с [1] і русі на відстань  $l \approx 0,3$  м), що на порядок і більше перевищує час випаровування МК при температурі кипіння.

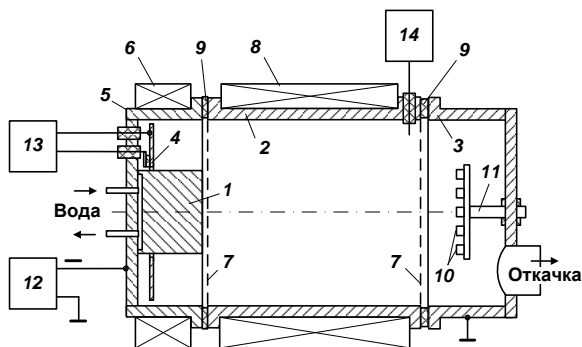
Однак при цьому, як свідчать експериментальні дані, повного випаровування МЧ не відбувається, а спостерігається зниження розміру МЧ при збільшенні часу їх транспортування. Це може говорити про те, що температура основної частини МЧ при їх русі нижче температури кипіння. Збільшити температуру МЧ можливо шляхом введення НВЧ-енергії певного діапазону хвиль в зону їх транспортування. Можлива конструкція пристрою, в якій може бути реалізований запропонований механізм, показана на рис. 2 [2].

НВЧ хвилі проникають в плазму, якщо їх коливання  $\omega$  вище частоти власних коливань плазми  $\omega_0$ . Для хвилі НВЧ частотою 3 ГГц критична концентрація електронів в плазмі  $10^{17} \text{ м}^{-3}$ . В область плазми з більшою електронною концентрацією така хвиля проникнути не може. Характерна для плазми вакуумної дуги концентрація заряджених частинок в режимі іонного очищення (високий вакуум) оцінюється як  $n_e = 10^{15} \dots 10^{16} \text{ м}^{-3}$ , при осадженні покриттів за участю газів концентрація частинок збільшується на один-два порядки.

Отже, хвиля частотою 3 ГГц поширюється в плазмі вакуумної дуги практично без відображень. Наявність в таких системах магнітних полів, а також постійна зміна концентрації плазми в технологічному обсязі як по довжині, так і по радіусу, і та обставина, що для промислового застосування дозволена менша частота (2,45 ГГц), може призводити до відбиття хвиль від окремих плазмових згустків з високою концентрацією, що буде виконувати роль своєрідного диссектора і забезпечувати більш повне поглинання МЧ НВЧ-енергії. Оцінка енергії, необхідної для нагріву і випаровування МЧ при параметрах  $I_d = 100 \text{ А}$ , катод  $\text{Ti}$ ,  $v_{кр} = 5 \text{ м/с}$ ,  $\Delta T = 1600 \text{ К}$ ,  $c_{2000 \text{ К}} = 0,989 \text{ кДж/кг} \cdot \text{К}$ ,  $\lambda = 8,971 \text{ Дж/кг}$  дає наступне:  $E \approx 0,6 \cdot 10^3 \text{ (Дж)}$ . Цю енергію необхідно ввести за час  $t = l/v_{кр}$ , звідки потужність НВЧ-випромінювання, що вводить в об'ємний резонатор, повинна бути на рівні  $\sim 10 \text{ кВт}$ .

#### Список літератури

1. Вакуумная дуга: источники плазмы, осаждение покрытий, поверхностное модифицирование / И. И. Аксенов, А. А. Андреев, В. А. Белоус и др. – Киев : Наукова думка, 2012. – 727 с.
2. Пат. України № 117306; МПК С23С 14/32. Спосіб нанесення покриттів з плазми вакуумно-дугового розряду / Сисоев Ю. О., Костюк Г. І. Опубл. 10.07.2018, Бюл. №13, 7 с.



1 – катод; 2 – НВЧ-резонатор; 3 – вакуумна камера; 4 – вузол підпалу; 5 – корпус джерела плазми; 6, 8 – соленоїди; 7 – сітка резонатора; 9 – ізолятор; 10 – вироби; 11 – тримач підкладки; 12 – джерело живлення дуги; 13 – блок підпалу; 14 – генератор НВЧ

Рисунок 2 – Вакуумно-дуговий пристрій для випаровування МЧ шляхом їх нагрівання в НВЧ-резонаторі

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ТЕМПЕРАТУРНОГО РОЗШИРЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ НА ПОХИБКУ РОЗМІРІВ І ФОРМИ ОТВОРІВ ПРИ СВЕРДЛІННІ ПАКЕТІВ ВУГЛЕПЛАСТИК/ ТИТАНОВИЙ СПЛАВ

*Колесник В.О., ст. викладач каф. ТМВІ, Басов Б.С., студент гр.ТМм-91*

Свердління - це найпоширеніша механічна операція при виготовленні отворів для з'єднання пакетів вуглепластик/ метал в аерокосмічній промисловості. Хоча питання забезпечення якості отворів у пакетах вуглепластик/ метал знаходиться в центрі уваги дослідницької діяльності протягом останніх 15 років, свердління пакетів за один прохід все ще залишається складним завданням. Спираючись на результати вивчення наукових публікацій присвячених дослідженню процесу свердління пакетів вуглепластик /титановий сплав можна зробити висновок, що хоча вплив режимів різання, геометрії інструменту та механізмів зношення інструменту на якість отворів добре вивчено залишається мало вивченим явище впливу температури різання на точність отворів у вищезазначених пакетах. У поточному дослідженні було запропоновано перевірити гіпотезу про вплив термічного розширення свердла на точність отворів у пакетах вуглепластик/ титановий сплав, що дозволило б поглибити розуміння можливих резервів для технологічного забезпечення точності отворів.

З метою перевірки запропонованої гіпотези була розроблена методика дослідження, що дозволило виконати співставлення результатів вимірювання температури свердла, здійсненого за допомогою бездротового вимірювального пристрою за методом штучної термопари, та точності розміру і форми отворів. Синхронізація результатів вимірювання температури свердла і його положення у оброблюваному отворі здійснювалася за параметром машинного часу персонального комп'ютера шляхом розрахунку. Факторами що варіювалися у ході експерименту були швидкість різання (15-65 м/хв), подача (0,02 -0,08 мм/об) та час витримки свердла між свердлінням сусідніх отворів (5 – 120 с). В залежності від комбінації рівнів факторів у дев'яти дослідах, температура свердла приймала значення від 48 °С до 280 °С у шарі вуглепластику, та від 182 °С до 618 °С у шарі титанового сплаву. Лінійна точність та точність форми отворів визначалася координатним методом на координато-вимірювальній машині. Лінійна точність отворів у вуглепластику варіювалася від 1 мкм до 1925 мкм, та у титановому сплаві від і варіювалася від 28 мкм до 125 мкм. У результаті моделювання методом скінчених елементів було кількісно визначено величину температурного розширення інструменту для різних режимів різання, що приймало значення від 10 мкм до 26 мкм.

Шляхом співставлення відхилень номінального розміру отвору та відхилення від круглості зі значеннями температурного розширення доведено значущість явища температурного розширення на точність отворів в шарі титанового сплаву при свердлінні пакетів вуглепластик/ титановий сплав.

## СУЧАСНИЙ СТАН ВЕРСТАТОБУДУВАННЯ В УКРАЇНІ

*Мошна А. С., студентка, гр. ВІ-71-9; Довгополов А.Ю., викладач, каф. ТМВІ*

Розвиток верстатобудівної галузі – один з найважливіших чинників розвитку промисловості країн СНД, але створення нових верстатів в цих країнах, серйозно відстає від інших країн.

Найпоширенішим і найсучаснішим верстатом в усьому світі є, верстат з числовим програмним управлінням. Він дозволяє збільшити ефективність обробки заготовки оскільки більшу частину операцій можна виконувати на одному верстаті. При такому типі обробки заготовка нікуди не переміщується. Це означає, що діє принцип збереження баз завдяки якому досягається максимальна точність. Також, компенсується похибка за допомогою системи ЧПК, системи зворотного зв'язку та контролю дій.

Переваги сучасних верстатів: багатофункціональність, зменшення калькуляційного часу, підвищення режимів різання, автоматична заміна інструменту, контроль якості обробки, підвищення точності, шорсткості і хвилястості; фільтрація МОР, змивання стружки з робочого місця, висока якість збірки, робота з дрібними деталями, захист двигуна від перевантажень, запас міцності, сучасний дизайн, комфортна робота, гнучко і швидко реагувати на зміну в програмах.

Типи верстатів з ЧПК для металообробки:

1. Позиційні – призначення переміщення робочого органу верстата до кінця траєкторії руху (наприклад, верстати для свердління, розточування);

2. Контурні або безперервні – переміщення робочого органу верстата по заданій траєкторії (токарні, фрезерні, шліфувальні верстати);

3. Універсальні та комбіновані – можна запрограмувати координати кінця, траєкторію переміщення, заміну інструменту, зміна виду операції (токарний верстат багатоцільового призначення);

4. Багатокоординатні – управлінням обробкою та позиціями ріжучого інструменту верстата одночасно і незалежно.

Верстатобудування в Україні, на даний момент, знаходиться в стані кризи. За останні два десятиріччя виробництво верстатів в Україні значно скоротилося. У зв'язку зі сформованим становищем, українська верстатобудівна галузь намагається вибудувати європейську модель роботи, коли науковою діяльністю займаються університети, а проектною – спеціальні компанії. Правда, потенціалу українських наукових кадрів для виконання робіт такої якості недостатньо. І часто буває, що вітчизняне обладнання, яке є нововведенням для України, не перевищує кращі закордонні аналоги. Тому вирішено залучати іноземні компанії в якості інвесторів. Головне для українського ринку верстатобудування – стійкий попит. Адже під замовлення можна отримувати кредити. Тому його формування має бути в пріоритеті на початковому етапі. А такий попит може забезпечити тільки держава вітчизняним підприємствам верстатобудування.

## РІЗАЛЬНИЙ ІНСТРУМЕНТ, ДЛЯ НАРІЗАННЯ ВНУТРІШНІХ РІЗЕЙ МАЛОГО ДІАМЕТРА МЕТОДОМ ЛЕЗОВОЇ ОБРОБКИ

*Смельяненко С.С., доцент, каф.ТМВІ; Шульга Д.О., студент, гр. ВІм-91*

На сьогодні різі одержують наступними методами: лезовою обробкою, абразивною обробкою, накатуванням, видавлювання пресуванням, виливанням, електрохімічною та електрофізичною обробкою.

Різі, найчастіше одержують лезовою, абразивною обробкою та накатуванням і в деяких випадках видавлювання пресуванням, виливанням, електрохімічною та електрофізичною обробкою.

Більшість із зазначених методів є універсальними, тобто можуть використовуватися для обробки різноманітних різей за конструктивними особливостями. Найбільш універсальним методом одержання різі є лезова обробка.

Лезовий метод обробки має такі способи: нарізування плашками (для зовнішньої різі), нарізування мітчиками (для внутрішньої різі), точіння різцями і гребінками (для внутрішньої і зовнішньої різі), фрезерування дисковими та черв'ячними фрезами (для внутрішньої і зовнішньої різі), нарізування різенарізними головками (для внутрішньої і зовнішньої різі), протягування (для внутрішньої і зовнішньої різі), вихрова обробка (для внутрішньої і зовнішньої різі).

Найбільш проблемним є нарізування внутрішньої різі, оскільки в цьому випадку технологічні можливості напряду залежать від наявності відповідного різального інструменту. Особливо, це проявляється при нарізуванні різей малого діаметра, так як найменший діаметр і крок різі інструменту для кожного способу відрізняються. Розглянемо технологічні можливості найбільш розповсюдженого, сучасного різального інструменту, для нарізання внутрішньої різі на прикладі метричної різі:

- токарний різець із горизонтально розміщеною пластиною з трьома кромками з кріпленням гвинтом – мінімальна різь М8, крок 0,5 мм;

- токарний різець зі вставкою з кріпленням гвинтом – мінімальна різь М10, крок 1,0 мм;

- суцільний токарний різець – мінімальна різь М3, крок 0,45 мм;

- фреза із механічним кріпленням пластин – мінімальна різь М8, крок 0,5 мм;

- суцільна фреза – мінімальна різь М1, крок 0,25 мм;

- мітчик – мінімальна різь М1, крок 0,25 мм;

- безстружковий мітчик – різь М2, крок 0,4 мм.

Як видно з представленої інформації, мінімальний діаметр різі можна нарізати суцільним різальним інструментом. Різальним інструментом з механічним кріпленням можна нарізати різь, більшого діаметра в порівнянні з суцільним, що пов'язано з більш громісткою конструкцією інструменту.

**СЕКЦІЯ «СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ  
У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ»**

## УНІФІКАЦІЯ ЗАВДАНЬ ДЛЯ ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЮ ЗНАТЬ

*Маландій Т.Ю., аспірант, гр. АСП-42 мех*

У методиках оцінювання якості електронних ресурсів навчального призначення все частіше не виправдано відмовляються від такого показника якості, як успішність студентів, досягнута при вивченні навчальних дисциплін з їх допомогою. Співвідношення успішності студента на початкових і завершальних етапах засвоєння навчального матеріалу, порівняння успішності з даної дисципліни з середніми оцінками студента за час поточної сесії, інші аналогічні індикатори могли б широко використовуватися для оцінювання електронних засобів навчального призначення. Для отримання точних результатів успішності студентів при проведенні тестового контролю потрібно виключити процес вгадування правильних відповідей. Виділено основні типові форми тестових завдань (таблиця 1), при цьому не викладається аргументація на користь застосування будь-якої з них для контролю.

Таблиця 1 – Основні типові форми тестових завдань

Основні форми завдання	Формула розрахунку імовірності вгадування	Імовірність
Множинний вибір	$P = \frac{n_o - M_o}{N_a} \cdot 100\%$	33%-при трьох варіантів, 25%-при чотирьох і т.д.
Відповідність	$P = \frac{1}{(N_c - M_o)!} \cdot 100\%$	17%-при трьох варіантів
Класифікація	$P = \frac{1}{T_k^{N_k - M_o}} \cdot 100\%$	приблизно 1,5%
Впорядкування	$P = \frac{1}{(N_p - M_o)!} \cdot 100\%$	приблизно 4%.
Послідовний вибір	$P = \frac{1}{(N_u - M_o)!} \cdot 100\%$	0,00003%
Введення символів	$P = \prod_{i=1}^n P_i$	0,0001%.

Розглянуті форми мають властивості, які дозволяють створювати завдання з урахуванням специфіки контрольованого навчального матеріалу. Всі вони знімають обмеження на використання графічних ілюстрацій при тестовому контролі на мобільних пристроях, що істотно при вивченні дисциплін професійної та практичної підготовки майбутніх інженерів. Підвищити якість електронних ресурсів навчального призначення, і як наслідок, якість підготовки майбутніх інженерів, можна за рахунок уніфікованих завдань для тестового контролю та застосування в системі оцінки якості навчально-методичного забезпечення показника успішності. При цьому результати показника вважаються достовірними за рахунок виключення або зведення до мінімуму імовірності відгадування правильної відповіді.

## ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНКИ ВІДПОВІДНОСТІ ЕЛЕКТРОННИХ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*Антонов А.П., аспірант, гр. АСП.тех-8.1*

Засіб вимірювальної техніки повинен забезпечувати достатній рівень метрологічної достовірності. Для того, щоб будь-яка сторона була впевнена в результаті вимірювань, засіб вимірювальної техніки повинен бути сконструйований і виготовлений з використанням високоякісної вимірювальної технології та захищеності вимірювань.

Існуючі у нашій країні методики оцінки відповідності електронних засобів вимірювання не враховують сучасних міжнародних вимог. Цей факт унеможливує коректне порівняння показників якості вітчизняної продукції та аналогічної продукції країн з передовим рівнем промисловості світу, знижує її конкурентоспроможність.



Рисунок 1 - Логічна блок-схема оцінки відповідності ЗВТ згідно технічних регламентів

Оцінку відповідності законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки вимогам технічних регламентів проводять виробники цих засобів, призначені органи з оцінки відповідності та інші суб'єкти, визначені у відповідних технічних регламентах або передбачених ними процедурах оцінки відповідності.



## МІЖНАРОДНІ Й НАЦІОНАЛЬНІ СТАНДАРТИ У СФЕРІ УПРАВЛІННЯ РИЗИКАМИ ТА ВИМОГИ ТЕХНІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ ДО ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАЛЬНОЇ ТЕХНІКИ

*Чучук Т. Є., аспірант; Антонов А. П., аспірант;  
Івченко О. В., доцент каф. ТМВІ; Хлібченко В. В., студент, гр. СТ.мз-91с*

Дослідження вимог національних Технічних регламентів на засоби вимірювальної техніки, зокрема: 1) Технічний регламент законодавчо регульованих засобів вимірювальної техніки затверджений постановою КМУ від 13 січня 2016 р. № 94 та 2) Технічний регламент засобів вимірювальної техніки затверджений постановою КМУ від 24 лютого 2016 р. № 163, вимагають від виробника наявності розробленої технічної документації відповідно, яка повинна давати змогу проводити оцінювання відповідності засобу вимірювальної техніки відповідним вимогам та містити результати аналізу та оцінки ризиків.

З метою систематизувати уявлення про ризики в 1995 р. був опублікований перший національний австралійсько-новозеландський стандарт з управління ризиками AS/NZS 4360:1995. Цей стандарт розроблений на основі наукових праць і хороших управлінських практик Роберта Моріса, Расселла Галлахера, Дугласа Баро, Джозефа Кеннет Ерроу та інших. AS/NZS 4360:2004 «Risk management», який має загальні рекомендації з управління ризиками для забезпечення вищого керівництва державних, приватних або громадських організацій, груп та окремих осіб чіткою основою для планування і прийняття рішень, точного визначення можливостей і загроз, а також отримання необхідних знань в ситуаціях невизначеності і мінливості. Подальший розвиток робіт зі стандартизації в сфері ризик-менеджменту Міжнародною організацією зі стандартизації ISO призвело до створення єдиної термінології (ISO/IEC Guide 73 «Risk Management – Vocabulary») та загальних керівних принципів з управління ризиками (ISO 31000: 2009 «Risk management – Principles and guidelines »).

З кінця XX століття розвиток стандартизації в області ризик-менеджменту спостерігається як на міжнародному, так і на національному та навіть галузевому рівні. Підтвердженням тому є стандарт (див. табл. 1) розроблений Комітетом спонсорських організацій комісії Тредвея (COSO, США), стандарт Федерації європейських асоціацій ризик-менеджерів (FERMA), стандарт з управління ризиками ISO 31000, а також національні стандарти прийняті в державах з англосаксонським правом (Японія, Нова Зеландія і Австралія, Канада, Великобританія та ін.). Відмітна особливість європейських стандартів COSO – вони обов'язкові до виконання підприємствами, чії акції котируються на Нью-Йоркській фондовій біржі, в той час як FERMA і ISO 31000 носять рекомендаційний характер. Стандарти COSO досить об'ємні і складні для застосування, тому

деякі сучасні підприємства використовують за основу стандарт FERMA з доповненням основних елементів з COSO. Розглядаючи міжнародний стандарт ISO 31000, варто відзначити його універсальність.

Таблиця 2 – Порівняльна характеристика стандартів

Параметр	ISO 31000	Standard COSO	Standard FERMA
Територіальне поширення	Міжнародний	Європа	США
Мета	Забезпечення міжнародного обміну товарами і послугами, створення інтегрованої системи управління ризиками	Баланс дохідності і ризику	Максимізація прибутковості
Адресат	Вище керівництво і топ-менеджери державних, приватних або громадських підприємств, асоціацій, груп або окремих компаній	Внутрішні аудитори підприємств, акції яких котируються на Нью-Йоркській фондовій біржі	Вище керівництво і топ-менеджери державних, приватних або громадських підприємств, асоціацій, груп або окремих компаній
Поняття ризик	Вплив невизначеності на цілі	Вплив - відхилення від того, що очікується. Події, вплив яких є негативним, які заважають створенню чи ведуть до зниження вартості	Комбінація ймовірності події та її наслідків
Поняття ризик-менеджмент	Скоординовані дії з управління організацією з урахуванням ризику	Процес, здійснюваний радою директорів, менеджерами та іншими співробітниками, який починається при розробці стратегії і зачіпає всю діяльність організації	Процес, завдяки якому організація системно аналізує ризики кожного виду діяльності з метою максимальної ефективності кожного кроку і, відповідно, всієї діяльності в цілому

Таким чином, управління ризиками є динамічний вид у сфері менеджменту, що розвивається. Щорічні звіти організації ISO про стан стандартів системи менеджменту в світі не містять інформацію про ризик-менеджменті, тому складно відстежити рівень зрілості системи управління ризиками на сучасних підприємствах. Однак, наявність великої кількості міжнародних, національних, а також галузевих ризик-орієнтованих стандартів, говорить про їх активному використанні і актуальності. Сучасний розвиток стандартів в області ризик-менеджменту веде до переходу від інтуїтивного і фрагментального управління ризиками до комплексного підходу, що обумовлено додатковими обов'язковими національними вимогами до виробників ЗВТ.

## ІНТЕГРУВАННЯ МЕНЕДЖМЕНТУ РИЗИКУ В СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ВІДПОВІДНО ДО ВИМОГ МІЖНАРОДНИХ СТАНДАРТІВ

*Чучук Т. Є., аспірант; Гладішев Д. П., аспірант;  
Івченко О. В., доцент каф. ТМВІ; Разуєва А. Д., студент, гр. СТ.мз-91с*

Закони ринкових відносин в умовах глобалізації світової економіки вимагають від сучасного бізнесу постійного балансу між максимально можливим задоволенням запитів всіх зацікавлених сторін (акціонерів, інвесторів, споживачів, органів державного управління, суспільства), конкурентним тиском і безумовним дотриманням законодавчих та галузевих вимог. Досягнення і підтримка такого балансу гарантує підприємствам перспективу сталого та успішного розвитку, а тому в більшості випадків є корпоративною метою.

Для його досягнення використовуються стратегічні програми, в тому числі орієнтовані на впровадження стандартизованих вимог, для розробки, підтримки і розвитку формалізованих систем управління, що відповідають вимогам міжнародних стандартів. На цей час більшість організацій знаходяться на різних стадіях впровадження, сертифікації та подальшого розвитку систем управління відповідно до вимог різних міжнародних стандартів, наприклад: ISO 9001, ISO 14001 та OHSAS 18001. Наприклад, в Україні протягом останніх десяти років відзначається стійке зростання організацій (на рівні 15–20 % щорічного приросту), які займаються впровадженням систем управління на базі вимог міжнародних стандартів.

Характерною особливістю для значного числа з цих організацій є їх прагнення впровадити в організаціях відразу або послідовно кілька моделей систем управління. В якості найбільш типового прикладу можна розглядати практику розробки системи управління якістю на базі вимог ISO 9001, системи екологічного управління на базі вимог ISO 14001.

Дуже часто ці системи функціонують як незалежні автономні моделі, які орієнтовані на задоволення вимог різних зацікавлених сторін. Однак міжнародна практика незаперечно свідчить, що одночасне функціонування декількох автономних (локальних) систем управління, в більшості випадків, призводить до виникнення ряду системних ризиків, зокрема: а) збільшення витрат на впровадження та забезпечення функціонування систем управління; б) підвищення рівня бюрократизації; в) дублювання вимог і / або виникнення протиріч між різними локальними системами управління; г) функціональна роз'єднаність систем управління; д) відторгнення з боку персоналу; є) формальне функціонування систем управління без їх реального впровадження в практику роботи організації; ж) різний статус систем управління; к) низька ефективність проведення внутрішніх аудитів.

Як наслідок, перераховані вище ризики неминуче призводять до появи системного дисбалансу і виникнення протиріч між різними системами управління, що супроводжуються погіршенням керованості бізнесом,

зниженням мотивації співробітників організації. Це вельми негативно позначається на ефективності функціонування таких систем управління.

При цьому, практично в будь-якому з міжнародних стандартів ISO можна виділити загальні елементи, якими доцільно керувати уніфікованим способом, використовуючи інтегрований підхід. Ця обставина виправдовує бажання об'єднати ці системи в єдину інтегровану систему управління з більшим чи меншим ступенем інтеграції. Кумулятивний ефект від інтеграції загальних вимог до системи управління підприємством дозволить експлуатувати ці системи управління з максимальним ефектом.

Окремо варто визначитися з системою менеджменту ризику, яка повинна бути розроблена так, щоб задовольнити організації, її внутрішнього та зовнішнього контексту. Кожна конкретна галузь або сфера застосування менеджменту ризику має свої окремі потреби, споживачів, сприйняття і критерії. Тому основною особливістю стандарту ISO 31000 є включення «визначення ситуації» як діяльності, що проводиться на початку загального процесу менеджменту ризику. При визначенні ситуації (контексту) необхідно розглядати цілі організації, навколишнє середовище, в якій ці цілі досягаються, зацікавлені сторони та різноманітність критеріїв ризику, все те, що допомагає виявляти і оцінювати характер і складність цих ризиків.

Система заснована на моделі менеджменту якості Демінга – PDCA (Plan, Do, Check, Act) і це об'єднує ISO 31000 з усіма стандартами серії ISO. Щоб система залишалася ефективною, необхідно безперервне поліпшення системи ризик-менеджменту. Відправна точка для поліпшення підходу організації до менеджменту ризику повинна завжди починатися з GAP аналізу (аналіз розривів, метод стратегічного аналізу, за допомогою якого здійснюється пошук кроків для досягнення заданої мети), який бере до уваги характерні елементи системи менеджменту ризику і оцінює, які елементи і процеси присутні в даний час.

Таким чином, застосування стандарту ISO 31000 менеджменту ризику дає можливість організації підтримувати активний менеджмент, покращувати ідентифікацію можливостей і загроз, відповідати відповідним законодавчим та іншим обов'язковим вимогам і міжнародним нормам, зміцнювати довіру зацікавлених сторін, зводити до мінімуму втрати і таким чином успіх менеджменту ризику буде залежати від ефективності системи управління, що забезпечує основи і заходи, які будуть включені на всіх рівнях організації. Система менеджменту ризику, викладена в ISO 31000, не призначена, щоб наказати систему управління, а швидше допомогти організації інтегрувати менеджмент ризику в свою систему управління, тому, організації повинні пристосувати компоненти системи до їх специфічних потреб.

Для впровадження менеджменту ризику відповідно до ISO 31000 рекомендується зробити п'ять кроків: визначення понять ризику і ризик-менеджменту, розробка процесу ризик-менеджменту, системи менеджменту ризику, оцінка зрілості системи менеджменту ризику і розробка плану для старту і збереження розвитку системи.

## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІДПОВІДНОСТІ ВИМОГАМ ОРТОПЕДИЧНИХ ВИРОБІВ НА ОСНОВІ ЕТИЛЕНВІНІЛАЦЕТАТУ

*Залого Р.О., аспірант; Підлісний В.В., студент гр. ВІ-61;*

*Дядюра К.О., професор каф. ТМВІ;*

*Залого В.О., завідувач кафедри ТМВІ*

Забезпечення функціональності ортопедичного взуття, його медичної ефективності та усунення обмежень життєдіяльності пацієнта коригуванням наявних деформацій кінцівок, відновленням порушень стопи, профілактикою прогресування цих порушень, створенням комфортних умов для стопи шляхом використання індивідуальних устілок потребують постійного вдосконалення системи управління якістю такої продукції відповідно до сучасних вимог технічних регламентів. Оскільки, в умовах сьогодення, ортопедичні медичні вироби є повсякденною необхідністю у цивілізованому житті важливість забезпечення їх якості постійно зростає. Відповідність таких виробів всім необхідним вимогам значною мірою залежить від властивостей матеріалу, який застосовують для їх виготовлення. Об'єктом дослідження в даній роботі є етиленвінілацетат (EVA) – полімерний матеріал, який отримав широке застосування саме для цього виду ортопедичних виробів. Етиленвінілацетат (хімічна формула  $C_6H_{10}O_2$ ) – сополімер етилену ( $C_2H_4$ ) та вінілацетату ( $C_4H_6O_2$ ). Властивості цього матеріалу у повній мірі задовольняють усі вимоги щодо характеристик та конструкції медичних виробів, які призначені виключно для конкретного хворого. EVA має напівкристалічну структуру, що складається з аморфної та кристалічної частин. Вміст вінілацетату визначає механічні властивості сополімера, а також його тип. Важливим завданням при синтезі сополімерів з необхідними властивостями є встановлення зв'язку між складом сополімера і складом вихідної суміші мономерів.

Сополімерізація має виключно важливе практичне значення завдяки широким можливостям для цілеспрямованого синтезу полімерів із заданими властивостями і розширення асортименту полімерних матеріалів на базі обмеженого числа основних промислових мономерів. Сополімерізація представляє науковий інтерес як надійний метод кількісної оцінки реакційної здатності мономерів. Процес сополімерізації включає ті ж стадії, що і гомополімерізація: ініціювання, ріст ланцюга, обрив і передача ланцюга. Однак опис цих стадій істотно ускладнюється, оскільки зі збільшенням числа сомономерів збільшується кількість елементарних реакцій на кожній стадії.

Змінюючи поєднання мономерів різної природи, варіюючи співвідношення і розподілом мономерних ланок у макромолекулах сополімерів, можна регулювати такі характеристики полімерних матеріалів, як: іонообмінні властивості, тепло- і термостійкість, еластичність, міцність, адгезія, прозорість, здатність до вулканізації, стійкість до дії розчинників і т.п. Матеріальні полімерні ланцюги формуються на стадії росту ланцюга, тому вміст ланок в сополімері в значній мірі залежить від співвідношення

швидкостей елементарних реакцій росту. Число реакцій росту, які необхідно враховувати в кінетичній схемі сополімерізації, залежить від числа сомономерів і числа активних центрів, які відрізняються реакційною здатністю.

У більшості випадків саме будова кінцевої мономерної ланки визначає реакційну здатність зростаючого активного центру (модель кінцевої ланки).

Іноді потрібен контроль можливих ефектів передостанньої ланки (модель передостанньої ланки) і більш віддалених ланок. У цьому випадку збільшується кількість активних центрів, що призводить до зростання числа значущих реакцій росту ланцюга. Для реакцій, радикальної та іонної сополімерізації зазначений ефект спостерігається досить рідко.

Константи сополімерізації  $r_1$  і  $r_2$  (відносні активності мономерів) є найважливішими характеристиками, що дозволяють прогнозувати умови синтезу сополімерів заданого складу та будови. Вони розглядаються як відношення  $r_1 = k_{11}/k_{12}$  і  $r_2 = k_{22}/k_{21}$  констант ( $k_{11}$ ,  $k_{12}$ ,  $k_{21}$ ,  $k_{22}$ ) швидкостей реакцій приєднання мономерів до зростаючих активних центрів (перша цифра індексу відноситься до активного центру, друга - до мономера), тобто характеризують вибірковість реакцій росту.

У рамках одного механізму сополімерізації константи  $r_1$  і  $r_2$  практично не залежать від температури. Це пояснюється тим, що вказані константи є співвідношенням констант швидкостей реакцій одного типу з близькими значеннями енергії активації. Поряд з цим існує залежність констант  $r_1$  і  $r_2$  від хімічної природи сомономерів та механізму реакції. Кожна пара мономерів  $M_1$  і  $M_2$  має свої значення констант: від нуля (при домінуванні перехресного зростання ланцюга, тобто  $k_{12} \gg k_{11}$  або  $k_{21} \gg k_{22}$ ) і до величин значно більших одиниці (при  $k_{11} \gg k_{12}$  або  $k_{22} \gg k_{21}$ ).

Розрахунок значень констант  $r_1$  і  $r_2$  здійснюють методами, які засновані на рівнянні бінарної сополімерізації (в диференціальній або інтегральній формі). У загальному випадку при глибоких ступенях перетворень склад сополімера відрізняється від композиції мономерної суміші. Це пояснюється зменшенням кількості більш активного мономера та зростанням вмісту менш активного у реакційній суміші. Саме тому при розрахунку кінцевого складу сополімера у разі високих ступенів перетворень використовують рівняння сополімерізації в інтегральній формі.

Дане положення є загальним для усіх механізмів сополімерізації. Приєднання активного центру до молекули мономера йде шляхом мінімальних енергетичних витрат, тобто з утворенням більш стійких проміжних частинок і меншими стеричними перешкодами.

Таким чином, розуміння особливостей і можливостей процесу сополімерізації потребує чітких уявлень про його хімічні закономірності. Виконання розрахунків різних параметрів цього процесу і прогнозування кінцевого результату суттєво залежить від адекватного використання математичного апарату теорії сополімерізації.

**СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ  
МАТЕРІАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»**

## THERMODYNAMIC MODELING OF THE MgO – FeO – TiO<sub>2</sub> SYSTEM

*Borysenko O.M., Associate Professor at the Department of environmental technologies, ecology and safety of vital activity,*

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics;*

*Logvinkov S.M., Professor at the Department of environmental technologies, ecology and safety of vital activity,*

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics;*

*Ivashura A.A., Associate Professor at the Department of environmental technologies, ecology and safety of vital activity,*

*Simon Kuznets Kharkiv National University of Economics;*

*Shabanova G.M., Professor at the Department of Ceramics Technology, Refractories, Glass and Enamels,*

*National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute”;*

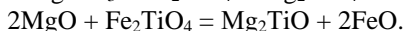
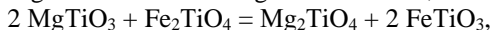
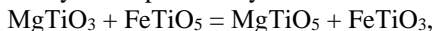
*Korohodska A.M. Associate Professor at the Department of general and inorganic chemistry, National Technical University “Kharkov Polytechnic Institute*

The study of phase diagrams has long been an important tool in the development of science and technology. The most complete information about phase interrelations and the thermodynamic stability of phase combinations is given in the state diagrams in which thermodynamically equilibrium compositions are interconnected with the temperature. With increasing demands of new high technological materials, which are generally complex, it is important that theoretical predictions guide the work of materials scientists.

The MgO – FeO – TiO<sub>2</sub> system is of great interest for the researchers from the standpoint of the possibility of the production of refractory materials which are operated in harsh conditions. However, the unavailability of data on the structure of the above system hampers the development of special materials with prescribed properties. Therefore, this scientific paper delves into the studies of the structure of MgO – FeO – TiO<sub>2</sub> system and solidphase reactions in it.

The MgO – FeO – TiO<sub>2</sub> system was studied in the subsolidus domain at a temperature of 800 – 1900 °C. MgO, FeO, TiO<sub>2</sub> and MgTiO<sub>3</sub>, FeTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, MgTi<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, FeTiO<sub>3</sub>, Fe<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub>, Mg<sub>2</sub>TiO<sub>4</sub> are stable compounds in it.

The change in the Gibbs energy of the reactions was calculated to establish the thermodynamic probability of the existence of phases:



Based on thermodynamic data, the triangulation of the system, previously unreported, is carried out with regard for all phases stable at this temperature.

As a result of the conducted thermodynamic calculations based on the formed thermodynamic database, the data set the direction of mutual solid-phase reactions in the three-component MgO – FeO – TiO<sub>2</sub> system.



**PROSPECTS FOR DESIGNING THE CHEMICAL COMPOSITION OF HARD ALLOYS, TAKING INTO ACCOUNT THEIR HARDENING DUE TO THE FORMATION OF NANOSTRUCTURES**

<sup>1</sup>*Kostyuk G.I., doctor of technical Sciences, Professor of the Department of theoretical mechanics, mechanical engineering and robotic systems National Aerospace University named by N.Ye. Zhukovsky «KhAI»;*

<sup>2</sup>*Popov V.V., Chairman of the joint-stock company «FED»;*

<sup>1</sup>*Yevsieenkova H.V., graduate student;*

<sup>1</sup>*Torosyan G.D., student of gr.259M*

By solving the joint problem of thermal conductivity and thermoelasticity taking into account the crystallization energy, as well as setting the thermophysical and thermomechanical characteristics using a quantum mechanical approach to setting the thermophysical and thermomechanical characteristics [1, 2], grain volumes were obtained for different ratios between the components and the ion energy of 20 KeV and 200 eV. The action of boron, chromium, hafnium, yttrium, and tungsten ions was considered. The concentration of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> was changed for the hard alloy Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO<sub>2</sub> (Fig. 1). It can be seen that the minimum grain size is realized for energy of 200 eV for boron ions at 80% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, whereas for chromium, hafnium, yttrium and tungsten ions, the minimum grain is obtained at energy of 200 eV for the proportion of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> of 20%. For energy of 20 KeV for boron ions, the minimum grain is realized at 80% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, and for chromium, hafnium, yttrium, and tungsten ions at 20% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. It is seen that it is possible to obtain a nanostructured grain for chromium, hafnium, yttrium and tungsten at n energy of 200 eV with 20% of the amount of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> in the solid alloy. At energy of 20 KeV for chromium, hafnium, yttrium, and tungsten, there is also a high probability of obtaining nanostructures (Fig. 1). Boron ions at 20 KeV and 200 eV provide a minimum grain size at 80% Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, i.e. in this case it is more profitable to use boron ions since ZrO<sub>2</sub> has a higher cost than Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

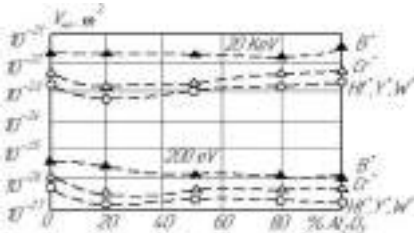


Figure 1 – Dependence of the nanocluster grain volume under the action of ions B, Cr, Y, Hf, W on the hard alloy Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>+ZrO<sub>2</sub> on the percentage composition of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> minimalnoe grain at Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> = 20%

The use of binary alloys ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ ) indicates the reality of obtaining nanostructures, but it is often possible to use additional alloying elements to obtain improved properties, so we considered the effect of an additional alloying element of titanium nitride (TiN) and to the known composition ( $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$ ) considered the option with the addition of TiN and got a new result for the composition of  $40\text{Al}_2\text{O}_3+30\text{ZrO}_2+30\text{TiN}$ : for energy of 200 eV for boron at 20%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , we get a grain volume of an order of magnitude smaller for 20 and 100%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Whereas for chromium, hafnium, yttrium, and tungsten, the minimum grain volume is realized at 100%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Increasing the ion energy to 20 KeV for boron ions, we have a minimum grain volume at 100%  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , but it lies on the border between nano and submicrostructural grain (taking into account heating during operation), whereas for chromium, hafnium, yttrium and tungsten, in this case, we get a guaranteed nanosize. It can be seen that the addition of 30% titanium nitride to the composition leads to a decrease in the grain volume and a decrease in the probability of transition of the nanostructured grain to the submicrostructure, which indicates an improvement in the properties of the hard alloy.

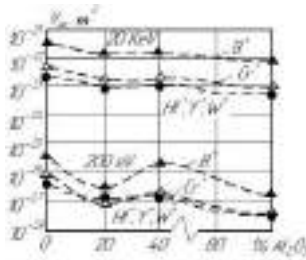


Figure 2 – Dependence of the nanocluster volume on the proportion of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  in hard alloys  $40\text{Al}_2\text{O}_3+30\text{ZrO}_2+\text{TiN}$ ,  $20\text{Al}_2\text{O}_2+80\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_2+\text{ZrO}_2$  – case of action for B, Cr, Y, Hf, W ions with energies of 200 eV and 20 KeV

In conclusion, we can say that adding 30% titanium nitride can significantly improve the characteristics of the hard alloy and provide a greater probability of cutting tool operation in the presence of nanostructures in the surface layer.

### References

1. Kostyuk G. I. Effective cutting tools with nanocoats and nanostructured modified layers: monograph-reference : in 2 books. / G. I. Kostyuk. – H.: Publishing house. Planet-print., 2016. – kN. 1. Plasma-ion and ion-beam technologies. – 735 p.
2. Kostyuk, G. I. Scientific bases of creation of modern technologies, textbook of the Book. 2. Plasma-ion, ion-beam and laser technologies / G. I. Kostyuk – Kharkiv. NAT. aerospace. in-t im. N. E. Zhukovsky "Kharkiv. Aviation Institute" 2018 – 384 p.

## ГАЛУЗІ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОЦЕСУ МЕХАНІЧНОЇ АКТИВАЦІЇ У ПРОМИСЛОВОСТІ

*Негрєба Н. Ю., студент гр. МБ – 81/1 МТ, СумДУ, м. Суми*

Значний інтерес до механічних методів прискорення хімічних реакцій, особливо між твердими тілами, почав проявляти в кінці XIX століття Д.І. Менделєєв, вивчаючи реакції між твердими тілами: «Необхідно наскільки можливо дрібно подрібнити і перемішати їх між собою. Через це взаємодія значно прискорюється» [1, с. 5].

Особливий інтерес представляє механічна активація твердих тіл і реакцій з їх участю, так як встановлено, що частина механічної енергії, підведеної до твердого тіла під час активації, засвоюється їм у вигляді нової поверхні, лінійних і точкових дефектів. Крім того, відомо, що хімічні властивості кристалів визначаються наявністю в них дефектів, їх природою і концентрацією.

За допомогою механічної активації вдається використовувати в хімії ряд фізичних явищ, що відбуваються в твердих тілах при великих швидкостях деформації. До них відносяться: зміна структури твердих тіл; прискорення процесів дифузії при пластичній деформації; утворення активних центрів на тільки-но створеній поверхні; виникнення імпульсів високих локальних температур і тисків і т. д. Вперше до використання цих ефектів в хімії підійшли дослідники, які вивчали вплив ударних хвиль і високих тисків зі зсувними деформаціями на властивості твердих тіл. Однак зазначені ефекти можна отримати і з використанням подрібнювального обладнання, що з практичної точки зору більш доцільно і можливо, особливо для безперервних процесів. В результаті вдосконалення цього обладнання з'явилися апарати з високою інтенсивністю підведення енергії, і роль цих ефектів при подрібненні сильно зросла [1, с. 7].

Відомо, що речовини змінюють свій склад або будову під дією механічних сил. Наприклад, нітрати ртуті розкладаються при розтиранні в ступці з утворенням металу, кремнезем реагує з вапном, жовтий оксид ртуті перетворюється в свою червону модифікацію тощо. Яскравий приклад хімічних реакцій, ініційованих тертям, – займання сірникової голівки або вибух йодиду миш'яку при обережному зсуву його пташиною пір'їнкою з гладкої сталевий пластини. [2, с. 803].

Найбільш перспективне використання активації подрібненням в процесах вилуговування, екстракції, селективного і валового розчинення речовин. Зняття лімітуючих стадій процесу дозволяє багаторазово прискорити перехід твердих компонентів в розчинений стан. Енергетичні витрати на активацію окупаються економією часу і більш повним вилученням розчинних компонентів. А також механічні методи активації перспективні для прискорення гетерогенних реакцій [1, с. 9].

Інший перспективний напрямок використання активації подрібненням – підготовка композиційних сумішей. Композиційні суміші широко використовуються в самих різних галузях промисловості. Їх готують у вигляді шихти перед піропроцесами; застосовують при підготовці преспорошків; використовують при підготовці твердих розчинів для каталізаторів або інших цілей; на їх основі працює керамічна промисловість; їх застосовують: при підготовці формувальних земель, флюсів; для покриття електродів; для штампування металокерамічних деталей, клейових композицій тощо [3, с. 13].

Активація подрібненням повинна знайти застосування при вирішенні питань комплексного використання мінеральних ресурсів і зниження шкідливого впливу продуктів переробки промисловості на навколишнє середовище. Зокрема, це можуть бути: утилізація відходів виробництва і ліквідація відвалів; очищення стічних вод з уловлюванням на активованій поверхні цінних (і шкідливих) компонентів; облагороджування торфу, вугілля і горючих сланців перед спалюванням з одночасним вилученням металів, сірки та інших цінних компонентів; заміна випалу сульфідних і миш'якомістних концентратів безвідпальним процесом, заснованим на механічній активації [3, с. 13].

Активація подрібненням, по всій видимості, отримає подальший розвиток як новий спосіб хімічного синтезу неорганічних речовин. Нарешті, активація подрібненням може виявитися основним принципово новим технологічним процесом, коли допоміжна операція стає головною і основною [3, с. 14].

Активація подрібненням як новий спосіб інтенсифікації фізико-хімічних процесів потребує відповідного технічного оснащення. Потрібне створення активаторів-подрібнювачів лабораторних і промислових типів для вивчення і практичного використання ефектів, які проявляються при диспергуванні, а також серійне виробництво механічних активаторів, спеціально призначених для прискорення тих чи інших технологічних процесів [3, с. 14].

#### Список літератури

1. Аввакумов Е.Г. Механические методы активации химических процессов / Е.Г. Аввакумов. – 2-е изд., перераб. и доп. – Новосибирск: Наука, 1986. – 306 с.
2. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий. – Часть 1. – Санкт-Петербург: НПО “Профессионал”, 2004. – 848 с.
3. Молчанов В.И. Активация минералов при измельчении / В.И. Молчанов, О.Г. Селезнева, Е.Н. Жирнов. – М.: Недра, 1988. – 208 с.

*Робота виконана під керівництвом к.т.н., ст. викладача Берладір Х. В.*

## СУТНІСТЬ ТЕРМОЦИКЛІЧНОЇ ОБРОБКИ МАТЕРІАЛІВ ТА ЇЇ ОСОБЛИВОСТІ

*Швецов Д. В., студент гр. МБ – 81/1 МТ, СумДУ, м. Суми*

Термоциклічна обробка (ТЦО) – процес термічного впливу, що здійснюється за допомогою безперервного циклічного змінення температури і супроводжується багаторазовими структурними або фазовими перетвореннями в оброблюваному матеріалі при нагріваннях і охолодженнях із заданою швидкістю [1]. Метою даної обробки є отримання необхідних змін структурного, фазового або напруженого стану матеріалу, які і визначатимуть в результаті його властивості. Важливою особливістю ТЦО є те, що вона дозволяє одночасно підвищити як міцність, так і в'язкість сталі.

Сутність процесу ТЦО полягає в тому, що деталі швидко нагрівають на 30- 50 °С вище температури критичної точки  $A_{c1}$ , а потім багаторазово (4-6 разів) охолоджують на повітрі до температури на 30-50 °С нижче  $A_{c1}$  і знову нагрівають на 30- 50 °С вище  $A_{c1}$ . Після цього проводиться остаточне охолодження в воді або маслі.

Метод ТЦО, в порівнянні зі звичайною термічною обробкою, дозволяє при одному і тому ж значенні межі міцності отримати в 2-3 рази більшу величину пластичності і в'язкості.

У найзагальнішому вигляді всі способи ТЦО можна поділити на три основні групи:

- обробка, заснована на термоциклюванні через лінію розчинності,
- з повним або частковим проходженням дифузійного фазового перетворення при ТЦО,
- при ТЦО спочатку через інтервал дифузійного, а потім бездифузійного (мартенситного) переходу.

Найбільш ефективні результати досягаються, як правило, при 2 і 3 режимах [2].

Вживання одного і того ж терміну для позначення вказаних видів термічної обробки, природно, вносить деяку плутанину при розумінні абсолютно різних за своєю фізичною сутністю процесів. Крім того, сам метод ТЦО в залежності від температурно-швидкісних умов обробки, а також від хімічного і фазового складу оброблюваних матеріалів має ще ряд різновидів, які умовно поділяють на такі: низько-, середньо-або високотемпературна ТЦО, маятникова ТЦО або ТЦО з проміжними охолодженнями до кімнатної температури тощо.

Слід зазначити принципово важливу особливість процесів ТЦО: в ході обробки здійснюється багаторазове проходження структурних і фазових перетворень в металах і сплавах. Причому в одних випадках відбуваються тільки структурні зміни в результаті прискорених нагрівань і охолоджень, в

інших – структурні та фазові зміни в результаті проходження неповних фазових переходів з різним ступенем завершеності або повних багаторазових фазових перетворень з оптимальними швидкостями.

Як і будь-який процес термічної обробки, ТЦО можна описати графіком, що показує зміну температури в часі. За таким графіком можна визначити параметри, що характеризують температурний вплив при ТЦО:

- інтервал і область температур циклу,
- швидкість нагрівання й охолодження,
- час перебування при верхній і нижній температурі циклу,
- число циклів обробки,
- форму температурного циклу тощо.

Але за формою цього графіка можна судити про вид термічної обробки. Відповідно до класифікації А.А. Бочвара численні різновиди термічної обробки металів і сплавів визначаються не характером зміни температури в часі, а типом фазових і структурних змін в металі.

Всі різновиди ТЦО можна поділити на три основні типи в залежності від причини структурних змін в оброблюваному матеріалі. До першого типу слід віднести всі ті процеси ТЦО, при яких структурні зміни не пов'язані з проходженням фазових переходів в металах. В даному випадку структурні зміни є результатом зміни концентрації точкових дефектів, утворення нових дислокацій і дефектів упаковки, їх взаємодії і перерозподілу, зміни лікваційної структури матеріалу внаслідок деформації і зміни температури і ін. До другого типу відносяться процеси ТЦО, при яких протікають фазові перетворення. При цьому може відбуватися подрібнення зерен, переважно розчинення або виділення надлишкових фаз, зміна форми і розмірів структурних елементів, що виділяються з високотемпературної фази. Крім того в цьому випадку діють також і всі ті причини структурних змін, які перераховані для першого типу, коли фазових перетворень не відбувається [3].

#### Список літератури

1. Федюкин В.К. Термоциклическая обработка металлов и деталей машин / В.К. Федюкин, М.Е. Смагоринский. – Л.: Машиностроение, 1989. – 255 с.
2. Лыгденов Б.Д. Термоциклирование. Структура и свойства / Б.Д. Лыгденов, Ю.П. Хараев, А.Д. Грешилов, А.М. Гурьев. – Барнаул: Системы управления, 2014. – 252 с.
3. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов / А.С. Тихонов, И.Г. Леушин и др. – М.: Наука, 1984. – 186 с.

*Робота виконана під керівництвом к.т.н., ст. викладача Берладір Х. В.*

## STEM В ПРОФЕСІЙНО-ТЕХНІЧНІЙ ОСВІТІ ЯК ОСНОВА ФОРМУВАННЯ БАЗИСНИХ ІНЖЕНЕРНИХ НАВИЧОК

*Решетняк Г. М., викладач-методист, викладач ДПТНЗ «КПАЛ»;  
Берладір Х. В., к.т.н., ст. викладач кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

Професійно-технічна освіта є першим щаблем в процесі формування висококваліфікованого спеціаліста. Тож одними із ключових її завдань є формування базисних професійних компетенцій здобувачів та усвідомлення їх майбутньої освітньо-професійної траєкторії. У переважній більшості, досягнення цих цілей відбувається за рахунок комбінованого використання дуального та STEM підходів. Проте, якщо дуальність має на меті формування саме професійних знань і навичок, то STEM направлений на формування інтеграційного усвідомлення взаємозалежності між загальними, професійними та науковими компетенціями.

Якщо ж розглядати окремого запровадження STEM підходу, то його застосування є найбільш актуальним для ПТНЗ, що готують фахівців безпосередньо за спеціальностями інженерного спрямування. Це можливо охарактеризувати тим, що формування в здобувачів чіткого усвідомлення практичної значущості набутих теоретичних знань уже на початковому етапі їх підготовки як майбутніх фахівців закладе основи для формування базисних інженерних навичок.

Одним із таких кейсів застосування є розпочата у 2015 році апробація використання STEM підходу до вивчення математики в процесі підготовки фахівців за спеціальністю «Тракторист-машиніст сільськогосподарського виробництва (категорії «А1», «А2», «В1»), водій автотранспортних засобів(категорія «С»))» в ДПТНЗ «КПАЛ». Так, аналіз її реалізації дає підстави стверджувати, що:

- у здобувачів зріс інтерес до загальноосвітніх дисциплін;
- впровадження кейсових завдань під час уроків математики, які включали інженерну складову, призвело до покращення успішності та усвідомлення практичного застосування математичних знань;
- здобувачі відмітили підвищення рівня самомотивації до вивчення предмету «Математика» у зв'язку з усвідомленням ними інтеграційної взаємозалежності між вивченням загальноосвітніх та професійних дисциплін;
- було виявлено зростання зацікавленості до теоретичної складової дисциплін професійного спрямування; – здобувачі підкреслили бажання продовжити навчання за інженерним напрямом.

Отже, впровадження STEM підходу на вище наведеному прикладі дозволяє стверджувати, що його застосування дає можливість формувати не тільки інтеграційні зв'язки між професійними та загальноосвітніми дисциплінами, але й набувати базисних професійних, в цьому випадку – інженерних, навичок та стимулювати до підвищення освітньо-кваліфікаційного рівня здобувача.

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «БАНДАЖ ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА»

*Руденко С. Г., студент гр. МТ-61; Берладір Х. В., к.т.н., ст. викладач  
кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

На підприємстві базовою сталлю для виготовлення бандажа є сталь 12Х2Н4А. Проаналізувавши технічні вимоги до деталі, замість сталі 12Х2Н4А вибираємо економічно-леговану сталь 25ХГТ, яка є конструкційною легованою цементуємою.

Вибір цієї сталі цілком задовольняє вимогам креслення і технічним вимогам до деталі «бандаж», а саме:

- умовна межа текучості  $\sigma_{0,2} \geq 850$  МПа;
- межа міцності при розтягуванні  $\sigma_b \geq 1150$  МПа;
- максимальна напруга згину  $\sigma_F - 500-700$  МПа;
- відносне подовження  $\delta = 10 - 15\%$ ;
- $\varphi = 1,0-0,9$  МДж/м<sup>2</sup>.

За ціною сталь 25ХГТ значно дешевше, ніж нікелевмісна сталь 12Х2Н4А, а також для спадково дрібнозернистої сталі 25ХГТ більш простий і менш енергоємний процес хіміко-термічної і термічної обробки. Для сталі 25ХГТ також можлива більш висока температура цементації, що скорочує час проведення процесу, сталь не схильна до перегріву і росту зерна, тому гартування після цементації можливе з нагріву під хіміко-термічну обробку, а також немає необхідності проводити обробку холодом для усунення залишкового аустеніту після гартування.

Термічна обробка деталі «бандаж» складається з двох видів:

1) Попередня термічна обробка - нормалізація, виконується після отримання заготовки деталі «бандаж» методом гарячого штампування для зняття напружень та виправлення крупного зерна, що виникає в результаті перегріву заготовки перед штампуванням. Температура нормалізації 870-890 °С, охолодження на спокійному повітрі. Структура після нормалізації - ферит і сорбітоподібний перліт.

2) Остаточна хіміко-термічна та термічна обробка:

- а) цементація газова при температурі 930-950 °С;
- б) гартування поверхні з цементаційного нагріву при температурі 800-820 °С, тривалістю ~ 8-10 годин (дві операції спільно);
- в) відпуск низький при температурі 180-200 °С, тривалістю ~ 2,5-3,0 години.

Таким чином, запропоновано більш економічний та менш енергоємний процес термічної і хіміко-термічної обробки деталі «бандаж» зі сталі 25ХГТ. Загальний час пропонованої термічної і хіміко-термічної обробки складає 15,0-16,0 годин, що в 2 рази швидше, ніж базовий варіант (при використанні сталі 12Х2Н4А).



## ОТРИМАННЯ ПОРОШКУ МІДІ З ВІДХОДІВ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Білошицький М.В. доцент, Татарченко Г.О. професор, завідувач кафедри, Білошицька Н.І. доцент кафедри будівництва, урбаністики та просторового планування.*

Останніми роками розвиваються технологічні процеси рециклінгу (від англійського *recycling*, рециклювання та утилізація відходів – процес повернення відходів у процеси техногенезу) технологічних промислових відходів, які дозволяють підвищити економічність і ефективність виробництва, зменшити витрати природних ресурсів, а також вирішити техногенні та екологічні проблеми. Обрізки кабельного виробництва, телефонних проводів, обмотки, електродвигунів і трансформаторів, що вийшли з ладу, стружки є одним з матеріалів вторинної сировини, які зазвичай йдуть на переплавку чорної міді [1]. Недоліком такого методу рециклінгу є велика втрата міді до 35% [2] і трудомісткий у подальшому технологічний процес для отримання порошкової міді і використання в галузі порошкової металургії. Традиційно порошок міді отримують методом електролізу з водних розчинів солей міді, що обумовлює його дорожнечу. Існує спосіб отримання порошку міді з брухту провідників струму, заснований на водневій крихкості і подальшому диспергуванні в молотковому млині [3, 4]. Недоліком такого способу є застосування лише вихідного брухту з великим вмістом кисню, в той час як мідь, що містить менше 0,05%  $O_2$  практично не схильна до «водневої хвороби». Це призводить до скочування неокрихченої міді в грудки внаслідок недостатнього вмісту кисню в провідниках струму марки М0 та істотного збільшення часу диспергування.

Метою роботи є розробка технології отримання високоякісного порошку міді за фізичними і технологічними властивостями, що не поступається промислового електролітичному порошку марки ПМС-1 за ГОСТ 4960-75.

Для досліджень в якості вихідного матеріалу використані мідна стружка, що взята з-під металорізальних станків, товщиною 0,5...2,5 мм, покрита масляними забрудненнями, а також провідники струму (відходи кабельного виробництва, обмотки трансформаторів і електродвигунів, що вийшли з ладу) діаметром 0,05...0,8 мм, 0,9...1,5 мм, 1,8...2,5 мм.

Відмінною особливістю запропонованої технології є відсутність на підготовчому етапі операції очищення відходів міді від масляних забруднень і лакофарбових покриттів.

Після очищення для визначення оптимального часу повного окислення стружки і електротехнічних відходів різного перерізу їх відпалювали на повітрі в камерній електропечі з різною витримкою.

Диспергування окислених відходів міді виконували в лабораторному ножовому млині відцентрового типу. Для отримання порошку оксиду міді необхідної фракції визначали оптимальний час диспергування.

Відновлення порошку оксиду міді здійснювали в середовищі генераторного газу, що містить  $H_2$  – 74%,  $CO$  – 25% а також невелику кількість (до  $CH_4$  та  $CO_2$ ) [5, 6]. На цій стадії технологічного процесу контролювали ступінь відновлення, змінюючи температуру і висоту засипки шару оксиду міді в керамічних контейнерах.

Аналіз отриманих даних показав, що хімічний і гранулометричний склади порошку, отриманого за запропонованою технологією, практично відповідають порошку міді марки ПМС-1, також як і фізичні властивості.

Висновки. Розроблено технологію отримання мідного порошку з відходів електротехнічної промисловості і механічної обробки. Визначено операції і параметри технологічного процесу переробки відходів у порошок. Отримано оптимальні температури і час окислення відходів, час диспергування, температури і час відновлення у захисно-відновлювальному середовищі. Порошок міді, отриманий за запропонованою технологією, має характеристики хімічного і гранулометричного складу, фізичних властивостей та ущільнюваність на рівні значень електrolітичного мідного порошку марки ПМС-1. Запропонована технологія рекомендується до використання в промислових масштабах для отримання порошку міді з матеріалів, що підлягають утилізації.

#### Список літератури

1. Вторичные материальные ресурсы цветной металлургии: Лом и отходы (образование и использование): Справочник / Под. ред. Ю.П. Купрякова. - М.: Экономика, 1984 - 152 с.
2. Смирягин А.П., Смирягина Н.А., Белова А.В. Промышленные цветные металлы и сплавы. - М.: Металлургия, 1974. – 488 с.
3. Белошицкий Н.В. Рециклинг – путь получения новых материалов и технологий в порошковой металлургии / Н.В. Белошицкий, Н.И. Белошицкая // East European Scientific Journal volume 7. 2016. – 4(8). – С. 5-10.
4. Білошицький М.В. Технологія отримання порошку міді з відходів промисловості / М.В. Білошицький, Г.О.Татарченко, Н.І. Білошицька, П.Є. Уваров // Міжвузівський збірник «НАУКОВІ НОТАТКИ». Луцьк, 2017. Випуск № 59. – С. 27-31.
5. Цыркин А.Т. Малогабаритная установка для получения синтез газа / А.Т. Цыркин, Ю.Н. Никитин, Н.В. Белошицкий, А.В. Коваливский // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні: Зб. Наук. пр. В 2-х ч. Ч 2- Луганськ: вид-во СНУ ім. В. Даля. – 2004. – С. 115-123.
6. Пат. 11201 А Україна, МПК 7C10J3/18, C10H1/00. Газогенератор / Циркін А.Т., Никитін Ю.М., Білошицький М.В., Стафеев О.І., Ковалівський О.В. № 2056559832; Заявлено 05.03.03. Опубл. 15.12.05, Бюл.№12. – 2 с.

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ПОРШНЯ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГУНА

*Зінченко І. Д., студент гр. МТ.м-91, СумДУ, м. Суми*

Поршень слугує для передачі сили тиску газів на шатун (в тронкових дизелях) або на поршневий шток (в крейцкопфних дизелях); передачі нормальної сили на стінку циліндра (в тронкових дизелях); утворення камери згоряння і забезпечення її герметичності; високого тиску газів (3,5 – 5,5 МПа для бензинових та 6,0 – 15,0 МПа для дизельних двигунів); контакту з гарячими газами (до 2600°C); руху зі змінним напрямком та швидкості [1].

Значну кількість поршнів сучасних автомобільних двигунів виготовляють зі сплавів системи Al – Si, тобто силумінів. Найпоширенішим матеріалом для поршнів двигунів внутрішнього згоряння є сплав АЛ25 (табл. 1). На практиці широко застосовують модифікування силумінів натрієм. Введення 0,01% натрію в Al-Si сплави призводить до різкого подрібнення кристалів евтектичного кремнію. Присутність натрію в силумінах викликає, крім того, зсув евтектичної точки в бік більш високих концентрацій кремнію, тому евтектичний до модифікування сплав після модифікування має структуру доевтектичного. Для силумінів, що містять ≤ 5% Si, модифікування вже втрачає практичний сенс. З додаткових легуючих компонентів в силумінах найбільше значення мають магній і мідь, введення яких робить сплави термічно зміцненими. Спеціальні силуміни, що містять магній і мідь, піддають гартуванню та наступному штучному старінню. Зміцнення спеціальних силумінів при термічній обробці забезпечує їм високу міцність, особливо за межею плинності, при зниженні пластичності порівняно з простим силуміном.

Таблиця 1 – Хімічний склад у % сплаву АЛ25

Fe	Si	Mn	Ni	Al	Cu	Zn	Cr	Ti	Mg
до 0.8	11-13	0.3- 0.6	0.8- 1.3	79-85	1.5-3	до 0.5	до 0.2	0.05- 0.2	0.8- 1.3

Для сплаву АЛ25 застосовують термічну обробку – штучне старіння, яке проводять при температурі 210°C та витримкою в 10-12 год., без попереднього гартування.

Таким чином, ми розглянули умови роботи поршня, матеріали з яких виготовляють сучасні поршні автомобільних двигунів, призначення модифікування силумінів та вплив легувальних елементів, а також обрали термічну обробку.

### Список літератури

1. Кисликов В. Ф. Будова й експлуатація автомобілів / В. Ф.Кисликов, В. В. Лущик: Підручник. – 6-те вид. – К.: Либідь, 2006. – 400 с.

*Робота виконана під керівництвом доц. Гапонової О. П.*

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ЗУБЧАТЕ КОЛЕСО»

*Петренко В.Ю., студент гр. МТ-61; Гапонова О.П., доц., каф. ПМ і ТКМ*

При виборі матеріалів для зубчастих коліс необхідно забезпечити міцність зубів на вигин, стійкість поверхневих шарів зубів і опір заїданню. Основними матеріалами для виготовлення є термічно оброблювані сталі. Контактні напруження в зубах пропорційні твердості матеріалів, а несуча здатність передач за контактною міцністю пропорційна квадрату твердості. Це вказує на доцільність широкого застосування для зубчастих коліс сталей, оброблених на високу поверхневу твердість.

Термічну та хіміко-термічну обробку виконують для забезпечення високої поверхневої твердості зубів, від якої залежить їх контактна міцність, зносостійкість і протизадирні властивості, при збереженні в'язкої серцевини.

При виборі матеріалу для виготовлення зубчастого колеса необхідно враховувати вартість і дефіцитність матеріалу, а також механічні характеристики. Виходячи з цього для зубчастого колеса вибираємо хромомарганцовисту сталь з титаном 18ХГТ. Для цієї сталі гартування можливе з нагріву під хіміко-термічну обробку, а також немає необхідності проводити обробку холодом для усунення залишкового аустеніту після гартування.

Попередня термічна обробка для зубчастих коліс зі сталі 18ХГТ полягає у відпалюванні при температурі 860-880 °С з наступним охолодженням з піччю до 600-650 °С з невеликою витримкою при цій температурі, далі охолодження з піччю до 400-450 °С і подальше охолодження на повітрі. Час витримки при відпалюванні становить 2,5-3 години.

Для того щоб зубчасте колесо мало високу твердість і зносостійкість поверхневого шару, підвищену контактну міцність, а також в'язку і пластичну серцевину пропонуємо проводити нітроцементацию з гартуванням з нітроцементацийного нагрівання і низькотемпературний відпуск.

Для зубчастого колеса вибираємо нітроцементацию при температурі 860-880 °С з використанням рідкого карбюризатора – триетаноламіна. Час витримки 6-8 годин.

Після нітроцементации проводимо гартування з нітроцементацийного нагрівання з охолодженням у маслі. Така технологія зміцнення можлива, так як сталь 18ХГТ спадково дрібнозерниста і в процесі хіміко-термічної обробки значного зростання зерна не відбувається.

Для зняття напружень після гартування пропонуємо проводити низькотемпературний відпуск при температурі 160-180 °С.

Отже, проведений аналіз умов роботи деталі «зубчасте колесо», описано вимоги, що ставляться до матеріалу для виготовлення виробу та призначено зміцнювальну термічну обробку.

# ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТА ВЛАСТИВОСТЕЙ БАГАТОШАРОВИХ ЗМІЦНЕНИХ ШАРІВ, ОТРИМАНИХ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

*Гапонова О.П., доц., каф. ПМ і ТКМ; Голуб Н.Р., студентка гр. МБ-81/1 МТ*

Підвищення надійності і довговічності обладнання, що працює при високих швидкостях, навантаженнях і температурах, а також в умовах корозійного, абразивного та інших видів впливу робочих середовищ залишається актуальним завданням. Для виготовлення деталей застосовуються хромонікелеві нержавіючі сталі аустенітного класу, характерним представником яких є сталь 12Х18Н10Т.

Метою роботи є встановлення закономірностей формування багатошарових покриттів при електроіскровому легуванні в умовах чергування легуючих електродів для послідовного нанесення на підкладку зі сталі 12Х18Н10Т.

Для дослідження використовувалися методи: визначення шорсткості поверхні, металографічний, дюрOMETричний, рентенографічний, локальний мікрорентгеноспектральний аналізи.

Апробовані схеми: 1) цементация електроіскровим легуванням (ЦЕІЛ) при енергії розряду  $W_p = 3,4$  Дж, алітування алюмінієвим електродом при  $W_p = 3,4$  Дж; 2) ЦЕІЛ при  $W_p = 3,4$  Дж, ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при  $W_p = 3,4$  Дж; 3) ЦЕІЛ при  $W_p = 3,4$  Дж, алітування при  $W_p = 3,4$  Дж, ЕІЛ твердим сплавом Т15К6 при  $W_p = 3,4$  Дж.

Зміцнений шар покриття, отриманого в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ А1, має мікротвердість до 7500 МПа, його товщина 80 – 120 мкм і складається з двох твердих розчинів з ОЦК і ГЦК решітками, інтерметалевої сполуки ( $Fe_4Al_{13}$ ) і двох карбідів з гексагональною ( $(Cr, Fe)_7C_3$ ) і кубічною ( $AlFe_3C$ ) кристалічною решіткою.

При ЕІЛ за схемою ЦЕІЛ → ЕІЛ Т15К6 не вдається досягти високого значення мікротвердості ( $H_c$  на поверхні становить 9000 МПа), товщина шару підвищеної твердості становить 200-220 мкм.

Запропоновано новий спосіб захисту сталевих виробів від абразивного та інших видів зносу шляхом нанесення на їх зношувані поверхні методом електроіскрового легування зносостійких покриттів з тугоплавких зносостійких металів, проводячи попередню ЦЕІЛ і ЕІЛ алюмінієм. Покриття, сформовані в послідовності ЦЕІЛ → ЕІЛ А1 → ЕІЛ Т15К6 мають найбільшу зону підвищеної твердості (320-360 мкм) і найменшу шорсткість поверхні (7,5 мкм). За рахунок утворення, 62% (мас.) TiC та інтерметалідів забезпечується отримання максимальної мікротвердості поверхневого шару (більше 11500 МПа). ЕІЛ за описаною технологією дозволяє збільшити дифузійну зону вуглецю й алюмінію, підвищити твердість і товщину зміцненого шару. Шорсткість поверхні складає  $Ra=8,5$  мкм.

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА ЗМІЦНЮВАЛЬНОЇ ПОВЕРХНЕВОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ВАЛ-ШЕСТИРНЯ»

*Іванов І.О., студент гр. МТ-61*

Більшість машин і механізмів працюють від двигунів, що використовують механічні передачі і перетворюють параметри руху двигуна при передачі виконуючим органам машини. Використання механічної передачі пов'язане з вирішенням різноманітних задач – зміна величини швидкості та напрямку руху передачі, збільшення обертового моменту і кутової швидкості, перетворення обертального руху в поступальний та ін. Найпоширенішими передачами в техніці є зубчасті механізми, за допомогою яких зчеплення передає або перетворює рух із зміною кутових швидкостей і моментів. Вони застосовуються у коробках передач, редукторах – закритих передачах, призначених для зниження частоти обертання і підвищення обертального моменту на вихідному валу, відкритих передачах (наприклад, лебідки), важко навантажених механізмах для піднімання та опускання шахтових вагонеток, бурильних труб тощо.

Серед недоліків зубчастих передач можна відзначити підвищені вимоги до точності виготовлення, шум при великих швидкостях, високу жорсткість, що не дозволяє компенсувати динамічні навантаження. Найбільша кількість руйнувань деталей типу вал-шестерня припадає на зубці. Контактна міцність та стійкість зубців валів-шестерень залежить від їх твердості. Їх висока твердість та міцність забезпечується не лише властивостями використовуваного матеріалу, а і спеціальною зміцнювальною поверхневою обробкою. Способи зміцнення:

– об'ємне гартування – найпростіший спосіб досягнення високої твердості 45...55 HRC;

– цементация є тривалим та дорогим процесом. Однак вона забезпечує високу поверхневу твердість 58...63 HRC. Її застосовують для зубчастих коліс, маса і габаритні розміри яких мають вирішальне значення (транспортні засоби, авіація);

– азотування також забезпечує високу твердість поверхневого шару зубців (60...65 HRC);

– нітроцементация – насичення шар сталі вуглецем та азотом в газовому середовищі. При цьому порівняно з цементацией скорочуються тривалість і вартість процесу, зміцнюється тонкий поверхневий шар (0,3...0,8 мм) до 60...63 HRC, жолоблення зменшується, що дозволяє позбавитися від подальшого шліфування.

Для зміцнення зубчастої поверхні валу-шестерні зі сталі 18ХГТ пропонуємо застосовувати газову цементацию, гартування та низькотемпературний відпуск.

*Робота виконана під керівництвом доц. Гапонової О. П.*

## ОЦІНКА РИЗИКУ ВПЛИВУ БІОПОЛІМЕРНИХ НАНОМАТЕРІАЛІВ НА ЗДОРОВ'Я ЛЮДИНИ

*Голик В.С., аспірант; Дядюра К.О., д.т.н., професор,  
Балинський М.В., студент групи МТ-61, СумДУ, м. Суми*

На даний час актуальним є питання оцінки ризику в сфері нанотехнологій. Аналіз результатів досліджень показує на неможливості застосування традиційних підходів через фізико-хімічні властивості наночастинок, особливості їхньої біологічної дії, брак повної інформації щодо показників гострої та хронічної токсичності в експериментах *in vitro* та *in vivo*, відсутність даних щодо впливу на робочих місцях, де використовують нанотехнології.

Інженерія тканин спрямована на створення штучних конструкцій у вигляді тривимірних каркасів (scaffold), що містять відповідні клітини, імплантовані безпосередньо *in vivo*, щоб стимулювати і спрямовувати утворення нових тканин. Створення ідеального кісткового трансплантату (КТ) залишається надзвичайно складною проблемою для сучасної імплантології. Нові стратегії вдосконалених біоматеріалів включають композитні матриці з біоінспірованою дією, біогенні гідроксиапатити або біоміметичні органіди. Вони вказують на розвиток біоматеріалів, які копіюють тканини / умови, що зустрічаються в природі, завдяки нашому вдосконаленому розумінню фізіологічних механізмів у поєднанні з високорозвиненими сьогодні методиками. Поширена проблема використання біоматеріалу – повільна інтеграція імплантатів. Нанотехнологія та інтеграція мікроелементів в біоматеріали – це додаткові стратегії для посилення формування кісток за допомогою біоматеріалів. Для біомедичних застосувань розроблено три покоління наночастинок. Перше покоління складалося з нових наноматеріалів, функціоналізованих за допомогою простої хімії поверхні для оцінки біосумісності і наступних токсичних ефектів. Друге покоління – наноматеріали, оптимізовані для більш складних хімічних процесів на поверхні, які підвищують їх стабільність і спрямованість в біологічних системах. Досліджувані в даний час моделі третього покоління розширили свій дизайн від стабільних наноматеріалів до «інтелектуальних» систем, що реагують на навколишнє середовище, з поліпшеною цільовою здатністю доставки з'єднань. При оцінці безпеки наноматеріалів слід враховувати їх вплив на такі найважливіші біологічні характеристики, як проникність біомембран, генотоксичність, активність окислювально-відновних процесів, включаючи перекисне окислення ліпідів, біотрансформація і елімінація з організму. Одним з питань методики оцінки ризику наноматеріалів є наявність високочутливих методів виявлення, розпізнавання і якісного виявлення наноматеріалів в об'єктах навколишнього середовища, біологічних середовищах і харчових продуктах. Методи, що застосовуються для характеристики фізико-хімічних властивостей:

– хімічний склад частинок;

- фазовий склад частинок;
- розподіл часток за розмірами;
- форма наночастинок;
- оцінка взаємодії з біологічними макромолекулами, можливість проникнення через біологічні бар'єри.

Визначальним моментом в оцінці ризику є встановлення можливої токсичності наноматеріалів. В даний час існує незначна кількість досліджень у цьому напрямку, що вказує на токсичність наноматеріалів. Навіть одноразова інгаляція вуглецевих нанотрубок і наночастинок деяких інших типів призводить до запального процесу в легеневій тканині з подальшим розвитком фіброзу і некрозом клітин. Наноматеріали володіють нейротоксичністю за рахунок подолання гематоенцефалічного бар'єру, викликаючи окислювальний стрес в клітинах мозку. При оцінці ризику існують три найважливіші характеристики наноматеріалів. По-перше, в більшості проведених досліджень вказується на те, що визначальним в токсичності наноматеріалів є розвиток окисного стресу і пошкодження ДНК, що може призводити до апоптозу, некрозу клітини і запальної реакції. По-друге, важливою характеристикою є їх нерозчинність у воді і біологічних середовищах. Ще однією важливою характеристикою наночастинок є показник їх форми - «аспектне відношення», тобто ставлення довжини частинок до їх мінімального лінійного розміру. Наступним важливим етапом є оцінка надходження, розподілу і виведення наноматеріалів з організму. В даний час існують три основних способи залучення наноматеріалів в організм людини: перорально, інгаляційний і через шкіру. Питання про можливі шляхи надходження наночастинок різної природи в організм, їх проходження через біологічні бар'єри, розподілу і накопичення в органах і тканинах в даний час інтенсивно досліджується. Але сьогодні на шляху дослідників є наступні перешкоди:

- відсутність погоджувальної міжнародної термінології в області нанотехнологій;
- відсутність погоджувальних міжнародних протоколів визначення токсичності наночастинок;
- відсутність стандартизованих протоколів оцінки впливу наночастинок на об'єкти оточуючого середовища; відсутність критеріїв оцінки небезпеки наночастинок;
- відсутність стандартних методик вимірювання фізико-хімічних властивостей наночастинок;
- відсутність стандартних методик визначення наночастинок в об'єктах оточуючого середовища та живих організмах.

Таким чином, розробка методів оцінки ризиків впливу біополімерних наноматеріалів на здоров'я людини є важливим напрямом для подальшого ефективного розвитку вітчизняного виробництва та використання наноматеріалів.



## БУДОВА РАМИ FPV КВАДРОКОПТЕРА

*Рева Б.С., студент, МТ-61*

Рама для міні квадрокоптера - це конструкція, до якої кріпляться всі інші комплектуючі. Щоб вибрати гарну раму, потрібно врахувати досить багато параметрів.

В першу чергу, дизайн рами визначає де будуть розташовані компоненти квадрокоптера і наскільки складно буде зібрати такий квадрокоптер.

По-друге, рами дуже сильно впливають на характеристики польоту: розподіл ваги, жорсткість, аеродинаміку і т.д.

По-третє, дизайн рами і її матеріал визначають на скільки добре вона буде тримати удар при аварії.

Рама для мінікоптера може бути зроблена практично з будь-якого матеріалу, який тільки зможете уявити: дерево, пластик з 3D принтера, литий пластик, скловолокно, алюміній або навіть пластикові водопровідні (каналізаційні) труби. Однак, найпопулярніший матеріал - карбон, все це завдяки відносно низькій вартості і чудовим характеристикам.

Раму можна розділити на 2 основні частини: тушка (фюзеляж) і промені.

Тушка потрібна для розміщення і захисту електроніки: польотного контролера, відеопередавачі, FPV- камери PDB, і т.д.

Зазвичай тушка складається з нижньої пластини, верхньої пластини і декількох стійок між ними.

На променях встановлюються мотори, і як правило регулятори. Промені робляться довговічними і міцними, з карбону завтовшки 3 або 4 мм.

Розмір рами впливає на момент інерції, опір повітрю, загальну вагу, максимальний розмір гвинтів.

Оскільки мотори кріпляться на кінцях променів, то чим далі вони від центру, тим більше момент інерції. За інших рівних умов, чим менше рама, тим більше вертким стає квадрокоптер.

Крім того, чим більше рама, тим більше опір повітрю при польоті вперед. Ну і, очевидно, що зі збільшенням розміру рами її вага теж зростає.

### Список літератури

1. Яценков В. С. Электроника. Твой первый квадрокоптер. Теория и практика // СПб.: БХВ-Петербург. — 2017. — 256 с.

2. Авиация: Энциклопедия / гл. ред. Г. П. Свищёв. — М.: Большая Российская энциклопедия, 1994. — 736 с.

*Під керівництвом к.т.н., доц. Дегули А.І.*

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИЧИН ЗНОСУ КУЛАЧКІВ РОЗПОДІЛЬНОГО ВАЛУ ДВИГУНА

*Руденко П.В., асистент кафедри прикладного  
матеріалознавства і ТКМ, Данільченко В.О., студент гр. МТ-61*

Міцність деталей автомобілів залежать від фізико-механічних характеристик матеріалу з якого вони виготовлені. Але ресурс різних деталей при достатній міцності основного матеріалу зазвичай пов'язаний з властивостями поверхневого шару деталі, якістю їх поверхні і умов експлуатації.

Відомо, що для створення поверхневих шарів з необхідними характеристиками (склад, структура, товщина та ін.) застосовують різні методи обробки – механічні, термічні, електрофізичні, електрохімічні та їх поєднання. В результаті формуються поверхневі шари товщиною від кількох мікрметрів до одного мм і більше, які забезпечують зменшення зносу і підвищення експлуатаційної надійності [1].

Підвищення працездатності деталей розподільного валу двигуна шляхом нанесення хромових покриттів різними методами (гальванічним, дифузійним та електроіскровим легуванням) є актуальним питанням на сьогоднішній день.

Визначено основні деталі двигуна для яких актуальне підвищення властивостей поверхні. Зроблено критичний аналіз рекомендованих сталей, що працюють в умовах тертя.

Для проведення досліджень покриттів отриманих різними методами були вивчені фізико-хімічні умови формування захисних покриттів, зносостійкість, структура та властивості, фазовий та хімічний склад, структура, мікротвердість, мікротвердість карбідних покриттів на основі хрому, різні способи зміцнення сталі хромуванням (гальванічним, дифузійним та методом ЕІЛ).

В ході проведення експериментів були отримані покриття хромом на зразках зі сталі 45 гальванічним, електроіскровим і дифузійним методами. Провели випробування отриманих покриттів на тріщиностійкість та зносостійкість.

За результатами роботи встановлено зв'язок між процесами, що протікають в матеріалі покриття, мікротвердістю, показниками крихкості матеріалу та особливостями поведінки виробів з покриттями в умовах контактної взаємодії. Досліджено вплив нанесення хромових покриттів різними методами (гальванічним, дифузійним та електроіскровим легуванням) та проведена порівняльна характеристика цих методів.

### Список літератури

1. Когаєв В.П. Міцність та зносостійкість деталей машин / В.П. Когаєв, Ю.Н. Дроздов. – М.: Вища школа, 1991. – 319 с.

## ВИБІР МАТЕРІАЛУ ТА МЕТОДУ ЗМІЦНЕННЯ ЛЕЗА ЛАНЦЮГОВОЇ БЕНЗОПИЛИ

*Льїних А.А., завідувач навчальної лабораторії кафедри  
прикладного матеріалознавства і ТКМ*

В сучасному світі технічний прогрес потребує пошуку нових альтернативних методів створення та обробки деталей машин та механізмів.

Підвищення довговічності деталей машин інструменту є однією з найважливіших проблем матеріалознавства. Деталі машин в процесі експлуатації піддаються дії великих контактних навантажень, абразивному зношуванню, різним видам тертя.

Підвищення зносостійкості деталей досягається завдяки нанесенню спеціального зносостійкого покриття на поверхню деталі. При цьому зносостійкість деталі без покриття може бути набагато нижча, ніж у деталі зі зносостійким покриттям.

Бензинові і електричні пили суттєво спростили виконання лісозаготівельних і побутових операцій. Ріжучим механізмом цього інструменту є пильний ланцюг, який приводиться в рух паливним або електричним двигуном.

При терті у поверхневих шарах контактуючих поверхонь деталей виникають складні процеси. Найчастіше ножі виходять з ладу через абразивне зношування.

Корозійно-механічне зношування відбувається при терті матеріалів, що вступають у хімічну взаємодію із середовищем.

Газова корозія найбільш часто відбувається внаслідок окислення металу при високих температурах.

Матеріал для виготовлення леза повинен мати твердість 55-60 одиниць. При тривалому впливі вологи, матеріалів біологічного походження на поверхні леза не повинна з'являтися іржа. Також матеріал ножа повинен довготривало зберігати рівень початкового загострення.

В ході досліджень був проведений аналіз існуючих методів нанесення покриттів на сталь 9ХФ різними методами: дифузійним та катодно-іонного бомбардування (КІБ).

Під час проведення експериментальних досліджень на зразках зі сталі 9ХФ отримали однофазні бориди FeB дифузійним методом та нітрид титану TiN методом катодно-іонного бомбардування (КІБ).

Досліджено вплив методів нанесення покриттів на експлуатаційні характеристики, визначено фазовий склад, проаналізовано вплив термічної обробки на властивості покриттів.

За результатами роботи встановлено зв'язок між процесами, що відбуваються в матеріалі покриття, структурною мікротвердістю та особливостями поведінки виробів з покриттями в умовах близьких до експлуатаційних.

## ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ 12Х18Н9ТЛ МЕТОДОМ НАНЕСЕННЯ ЗАХИСНИХ НІТРИДНИХ ПОКРИТТІВ

*Вареник С.В., магістрант, гр. МТ.м-91,  
Говорун Т.П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

Останнім часом нітриди привертають увагу широкого кола фахівців, що займаються синтезом цих сполук, вивченням їх структури і різноманітних властивостей, а також застосування матеріалів на основі нітридів в різних галузях сучасної техніки.

Найбільш вивченими серед нітридів металів IV групи є нітрид титану і покриття TiN, конденсовані як за допомогою фізичних (PVD), так і за допомогою хімічних (CVD) методів осадження. Але покриття TiN легко окислюються при температурах 550-600 °С, що обмежує область їх можливого застосування. Ефективним способом підвищення стійкості покриттів на основі нітриду титану до окислення є додавання в них легуючих елементів, зокрема алюмінію. Покриття TiAlN не окислюється практично до температури 900 °С. Це обумовлено формуванням при підвищених температурах на поверхні даних покриттів тонкого щільного шару Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, який виконує роль дифузійного бар'єру, перешкоджаючи проникненню кисню в покриття. Також поряд зі збільшенням корозійної стійкості введення алюмінію в покриття на основі нітриду титану забезпечує підвищення їх твердості і зносостійкості.

Покращити корозійно- та зносостійкість поверхні сталі 12Х18Н9ТЛ можна шляхом нанесення покриття TiAlN. Матеріал 12Х18Н9ТЛ є корозійностійкою та жаростійкою сталлю аустенітного класу. Основною перевагою сталей даного класу є їх високі службові характеристики (міцність, пластичність, корозійна стійкість в більшості робочих середовищ) і хороша технологічність. Тому аустенітні корозійностійкі сталі знайшли широке застосування як конструкційний матеріал в різних галузях машинобудування.

Покриття TiAlN наносили методом магнетронного розпилення комбінованої мішені, що складалась із Ti (50%) і Al (50%) в реактивному середовищі з суміші газів аргону і азоту при температурі 280 °С. Товщина покриттів становила 3 мкм. Проведені дослідження показали, що попередня іонна обробка сталеві підкладки має істотний вплив на структуру і механічні властивості покриттів TiAlN. Бомбардування підкладки іонами Ti призводить до модифікації її поверхневого шару і формування на ній тонкого покриття Ti, яка трансформується в TiN після заповнення робочої камери азотом. Утворення даної плівки, а також істотне підвищення температури підкладки після її іонної обробки викликають зміну структури покриттів, що забезпечує підвищення твердості покриттів TiAlN в 1,3 рази в порівнянні з покриттями, нанесеними на необроблену підкладку.

## ВИКОРИСТАННЯ НАНОТЕХНОЛОГІЙ В ПРИЛАДОБУДУВАННІ

*Тягно С.В., студент гр. МТ-81,  
Говорун Т.П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

Нанотехнології відкривають новий світ з багатьох напрямків і докорінно змінюють уявлення про навколишній світ. Застосування нанотехнологій надає можливості отримання нових матеріалів з цінними властивостями. Фулерени і нанотрубки придатні для використання в якості наповнювачів для композиційних матеріалів, адсорбентів, джерел електричного струму і інших. Велику перспективу має використання нанотрубок для виготовлення надмініатюрних електронних пристроїв, емітерів електронів в джерелах струму, зондів мікроскопів, сенсорів.

У приладобудуванні для підвищення щільності запису інформації (на сьогоднішній день максимальний об'єм пам'яті жорстких дисків становить 600 Гбіт/од.<sup>2</sup>) та створення чутливих елементів багатофункціональних сенсорів (температури, магнітного поля, тиску тощо) застосовують нові функціональні наноматеріали з покращеними магнітними, електрофізичними та високостабільними фізичними властивостями.

Створення наноприладів і нанопристроїв пов'язано, перш за все, з новими мембранними технологіями. У Массачусетському технологічному інституті (США) розроблено плівки-мембрани з дендримерів для розподілу рідин і газів. За допомогою пучка іонів  $Ar^+$  можна формувати отвори розміром від 1,8 до 60 нм. Ці результати дуже важливі для виготовлення в майбутньому селективних мембран і різних нанопристроїв.

Наноматеріали в сонячних батареях – нові перспективи альтернативної енергетики. Повне забезпечення потреб людства енергією може бути досягнуто тільки при використанні невичерпної енергії навколишнього середовища. До таких джерел належать енергія сонячного випромінювання, тепла енергія надр Землі, гравітація і інші. Для збирання сонячної енергії можуть бути використані різні способи. Серед цих способів: перетворення сонячного випромінювання в електрику за допомогою фотоелементів і в теплову енергію за допомогою концентраторів; використання енергії вітру на вітряних електростанціях; утилізація енергії хвиль на хвильових електростанціях; отримання біопалива з усіх видів біомаси; використання розсіяного тепла довкілля за допомогою теплових насосів.

Різні нанопристрої і наномашини стануть в майбутньому звичайною справою. Серед них – актуатори, що перетворюють електричну енергію в механічну, або навпаки. Величезний інтерес представляють одномолекулярні наномашини, які відкривають фантастичну можливість здійснювати перетворення одного виду енергії в інший всього лише на одній молекулі.

Наногенератори здатні перетворювати механічну енергію людини в електричну. Наногенератор – це мініатюрний пристрій, що складається з нановолокон оксиду цинку, які мають всім відомий п'єзоелектричний ефект під впливом незначних механічних енергій.

Фахівці не без підстав стверджують, що нанотехнології додадуть мобільним телефонам «органи чуття». Прогнозують, що скоро у мобільника з'являться «рідкі очі» і «електронний ніс», а до 2060 року буде створено комп'ютер, який за швидкістю обробки даних можна порівняти з людським мозком. У наступному десятиріччі буде створено набір технологій, які дозволять мобільним телефонам розпізнавати запахи, звуки і візуальні образи. Вчені прагнуть досягти якості передачі звуку, що створює ілюзію повної присутності співрозмовника поруч з розмовляючим. Провідні виробники мобільних телефонів вже працюють над створенням тонких, як бритва, і гнучких мобільних телефонів.

На зміну існуючій мікроелектроніці приходить наноелектроніка. За прогнозами через 20-25 років замість напівпровідникових кремнієвих комп'ютерів будуть працювати молекулярні комп'ютери. А ще через наступні 10-20 років прогнозують прихід нового покоління комп'ютерів - квантових і ДНК-комп'ютерів. У молекулярних комп'ютерах замість кремнієвих чіпів будуть працювати супермолекули і супрамолекулярні ансамблі. Методи їх отримання і властивості вивчаються органічною та супрамолекулярною хімією. Багато таких об'єктів можна з достатньою підставою назвати «інтелектуальними молекулами».

У молекулярних комп'ютерах перемикачами можуть слугувати супермолекули ротаксанов або катенанів, як пам'ять будуть застосовуватися стабілізовані ансамблі наночастинок, а дротами стануть нанотрубки. Надпотужний процесор розміром з порошинку можна буде помістити будь куди. Якщо ж навчитися будувати не тільки пласкі, а й тривимірні обчислювальні схеми, їх можливості зростуть ще більше. У найближчі десятиліття можлива не тільки поява подібних мікроскопічних комп'ютерів, але і запуск їх в серійне виробництво, що автоматично означає швидке зростання сфери їх застосування. Людина навчиться імплантувати ці надмініатюрні пристрої в свої тканини і органи. Розпочнеться широке впровадження в організм датчиків і інших приладів. Реальні обриси буде мати створення «штучного інтелекту». Наступний етап – «оптичні» комп'ютери. Це логічне продовження оптичних систем зв'язку. В даний час оптоволоконно застосовується все частіше і частіше, і, схоже, скоро буде використовуватися всюди. Щоб оптичний сигнал, отриманий по дротах, не доводилося постійно перетворювати в електричний і навпаки, вчені почали розробки комп'ютерів, заснованих на фотонних технологіях.

Нанокомп'ютер буде складатися з поєднання молекул ДНК і молекул ензимів, речовин, що «аналізують» ДНК. Дослідники розраховують, що наступним кроком стане створення пристрою, здатного аналізувати живі молекули ДНК. Він допоможе в пошуках патологій і в розробці нових ліків.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ВИБІР МАТЕРІАЛУ ДЛЯ ДЕТАЛІ «НАПІВМУФТА»

*Осічев Д.Р., студент гр. МТ-61,  
Говорун Т.П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

Сучасні вимоги до надійності, безвідмовності та компактності обладнання різних галузей промисловості призводять до необхідності підвищення навантажувальної здатності його деталей, вузлів і складальних одиниць. Одними із найбільш напружених є напівмуфти і муфти. Ці деталі розробляють, використовуючи принцип передачі навантаження за рахунок тертя. Виходячи із цього вибір матеріалу та удосконалення термічної обробки є важливою задачею у розрізі підвищення експлуатаційної безвідмовності механічного обладнання [1].

Муфтами та напівмуфтами в техніці називають деталі, які служать для з'єднання кінців валів, стрижнів, труб, електричних проводів і т. д. Потреба в з'єднанні валів пов'язана з тим, що більшість машин компонують з ряду окремих частин з вхідними і вихідними валами, які з'єднують за допомогою напівмуфт чи муфт.

З'єднання валів є основним, але не єдиним призначенням напівмуфт чи муфт. Так, наприклад, муфти використовують для включення виконавчого механізму при безперервно працюючому двигуні (керовані муфти); запобігання машини від перевантаження (запобіжні муфти); компенсації шкідливого впливу неспіввісності валів (компенсуючі муфти); зменшення динамічних навантажень (пружні муфти) і інше [2].

Напівмуфта (рис. 1) – пристрій, призначений для з'єднання одного чи іншого кінців валів і деталей, які вільно садять на них, для передачі крутного моменту, або застосовується для з'єднання двох валів, розташованих на одній осі або під кутом один до одного. Напівмуфта передає механічну енергію без зміни її величини [1].



Рисунок 1 – Зовнішній вигляд деталей «напівмуфта»

Муфти (напівмуфти) з'єднання валів служать для передачі руху між ведучим і веденим валами. Також вони дозволяють вирішити проблему неспіввідності: горизонтальної, вертикальної й кутової похибок.

Крім зазначеного, муфти приводів можуть виконувати інші важливі функції: компенсацію невеликих монтажних відхилень взаємного розташування вузлів і агрегатів, роз'єднання валів, автоматичне керування роботою машини, плавне повідомлення валів при запуску машин, захист машин від поломок в аварійному режимі і інше.

При виборі матеріалів для роботи виробів необхідно враховувати специфічні умови служби конструкції, забезпечення її працездатності і ресурсу, вимоги економічності матеріалів, пов'язані з зменшенням вмісту нікелю і інших дорогих легуючих елементів, необхідність уніфікації матеріалів і скорочення кількості застосовуваних марок сталі [3].

Залежно від вимог, що пред'являються до напівмуфт, їх виготовлять зі сталей, чавунів та алюмінієвих сплавів. Допускається виготовляти напівмуфти із сірого чавуну СЧ 15...32, наприклад, марки СЧ 21-40 або високоміцного чавуну марки ВЧ-35. Муфта сильфонна сполучна складається з пари алюмінієвих втулок і однієї втулки зі сталі, що нагадує пружину, та зробленої з нержавіючої сталі. Внаслідок чого, такі муфти володіють хорошими показниками жорсткості при крученні і вигині. Сильфонні з'єднувальні муфти відшкодовують неспіввідність, осьове і радіальне биття приводів, це підвищує довговічність вузлів устаткування. Муфту спіральну виготовляють із цілісного шматка алюмінію, центральна частина муфти має точне поперечне розпилювання.

Найбільш широко вживаними матеріалами для деталі «напівмуфта» є сталі. Для напівмуфт не відповідального призначення застосовують вуглецеві сталі типу Ст.5 (кування), сталі 30, 40, 45, 50 або ливарні – сталі 20Л, 25Л, 30Л, 35Л (лиття). Для більш відповідальних деталей використовують леговані сталі 15Х, 20Х (із цементацією робочих поверхонь); термополішувані сталі 35Х, 40Х, 40ХН; сталі 18ХГТ, 25ХГТ, 30ХГТ (із нітроцементацією робочих поверхонь). Напівмуфти особливо відповідального призначення виготовляють із сталей 20Х2Н4А, 40ХН2МА, 38Х2МЮА (із застосуванням азотування робочих поверхонь).

#### Список літератури

1. В.О. Проценко, О.Ю. Клементьєва, Підвищення експлуатаційної безвідмовності профільних запобіжних муфт модифікацією їх структури // Вісник ХНТУ: інженерні науки, №1 (60), С. 67-71 (2017).

2. В.О. Малащенко, Навантажувальна здатність приводів великомасових систем : монографія / В.О. Малащенко, Г.П. Куновський. – Львів : «Новий світ-2000», 150 с (2016).

3. Л.Ф. Руденко Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун – Суми: СумДУ. 171 с. (2012).



## РОЗРОБЛЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМУ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЛЯ СТАЛІ МАРТЕНСИТНОГО КЛАСУ 20X13

*Лутир О.В., аспірант,  
Говорун Т.П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

Все більше виробів вимагає розроблення матеріалів, зокрема сталей, які володіють унікальним поєднанням механічних властивостей, включаючи міцність, пластичність, холодостійкість, зносостійкість, стійкість проти різних видів корозійного і корозійно-ерозійного руйнування. Таке поєднання властивостей має забезпечити високу експлуатаційну надійність обладнання, конструкцій різного призначення в розглянутих умовах, а також є важливим і для інших видів техніки, в тому числі для навантажених деталей, що використовуються в авіації, машинобудуванні, інших галузях. Аналіз світового досвіду свідчить, що перспективними для досягнення зазначеного комплексу властивостей є корозійностійкі хромисті сталі мартенситного класу.

Традиційно до хромистих сталей мартенситного класу відносять сталі, що містять в якості основного легуючого елемента тільки хром в концентрації 10–18 %. Найбільш широкого поширення зі сталей мартенситного класу отримали марки 20X13, 30X13 та 40X13. Очевидно, що для сталей, які містять в якості легуючих елементів тільки хром, кожному вмісту хрому має відповідати певний вміст вуглецю, перевищення якого призводить до формування повністю мартенситної структури. Сталі мартенситного класу містять тим більше вуглецю, чим вище концентрація хрому.

Одним з основних напрямків підвищення комплексу властивостей сучасних високоміцних хромистих сталей мартенситного класу з вмістом хрому на рівні 13–16 % є оптимізація хімічного складу сталі, а саме, обмеження вмісту вуглецю – не більше 0,03 %, легування нікелем (до 2–5 %), молібденом (до 2–2,5 %), а також азотом (до 0,3 %) і карбонітридоутворюючими елементами (до 0,1 %). Зниження вмісту вуглецю, а також легування хромом, молібденом і азотом має привести до підвищення стійкості сталі проти пітингової корозії. Низький вміст вуглецю, а також легування карбонітридоутворюючими елементами забезпечують формування більш дрібнодисперсної структури, що має позитивно вплинути на стійкість сталі проти пітингової корозії, на її пластичність і холодостійкість.

Іншим методом покращення характеристик високохромистих мартенситних сталей є термічна обробка, яка полягає в гартуванні і відпуску на задану твердість. Для сталей типу X13 при вмісті вуглецю 0,1–0,4 %, переважними є високі температури гартування – 975–1050 °С. У цьому випадку досягається більш повна розчинність карбідів, а також висока твердість після гартування. Корозійна стійкість сталей мартенситного класу також залежить не тільки від вмісту хрому та вуглецю, а й від виду термічної

обробки, яка формує структуру сталі.

Сталь 20X13 відноситься до хромистих нержавіючих мартенситних сталей і її використовують в тих випадках, коли виробі повинні мати досить високу міцність, а також високу пластичність і в'язкість. Ця сталь задовільно зварюється. Після гартування в мікроструктурі сталі 20X13 містяться мартенсит і карбіди. При використанні відпалу структура сталі змінюється на суміш високохромистого фериту і карбідів.

Термообробка досліджуваних зразків зі сталі 20X13 проводилася в інтервалі температур від 930 до 1040 °С, після чого охолодження здійснювалося на повітрі або у воді. Відпуск тривалістю 1–1,5 годин проводили в інтервалі від 500 °С до температури утворення аустеніту ( $A_{C1}$ ). Після відпуску охолодження проводили на повітрі. При підвищенні температури від 920 до 1020 °С після охолодження на повітрі спостерігається закономірне зростання твердості (від 42 до 49 HRC), пов'язане з розчиненням карбідів хрому  $Cr_{23}C_6$ . При подальшому підвищенні температури нагрівання твердість практично не змінюється. При знижених температурах аустенізації значення твердості зразків, загартованих в воду, трохи вище, ніж у охолоджених на повітрі. Після нагріву до температури 1020 °С ці відмінності зникають. Таким чином, при певних режимах обробки після повітряного і водяного гартувального охолодження досягається однакова твердість, яка дорівнює 48 HRC, що однозначно свідчить про отримання в сталі з вмістом вуглецю ~ 0,2 % повністю мартенситної структури. При ізотермічній витримці або повільному охолодженні в інтервалі 800–550 °С після аустенізації сталь зазнає розпад аустеніту на ферито-карбідну суміш, яка складається з високохромистого фериту і карбідів типу  $Cr_{23}C_6$ .

Для сталі 20X13 притаманний приріст твердості при збільшенні температури гартування до 1020 °С. При гартуванні від температур вище 1020 °С помітно збільшується кількість залишкового аустеніту. При температурах вище 1100 °С подальшого збільшення залишкового аустеніту не спостерігається. Мікроструктура сталі марки 20X13, яка формується в результаті гартування при охолодженні на повітрі, є безструктурним мартенситом, в якому присутня деяка кількість частинок, що не розчиняються при аустенізації карбідної фази. Для зменшення розміру зерна досліджуваної сталі в подальшому термообробку проводили із застосуванням більш низької температури нагріву під гартування (960 °С). Це призвело до деякого підвищення дисперсності структурних складових, середній розмір зерна зменшився від 50 до 15 мкм. При зниженні температури гартування з 1000 °С до 960–940 °С властивості міцності сталі 20X13 незначно знижуються, що пов'язано з неповним розчиненням карбідів хрому при аустенізації. При відпуску високохромистої сталі 20X13, загартованої від 950 або 1000 °С, спостерігається мале вторинне тверднення при температурі 500 °С. Подальше падіння твердості, ймовірно, пов'язано з тим, що карбід  $Cr_7C_3$  трансформується в карбід  $Cr_{23}C_6$ .

## СТРУКТУРА І МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ПОКРИТТІВ ДЛЯ РІЗУЧИХ ІНСТРУМЕНТІВ НА ОСНОВІ Cr, W та N

*Говорун Т.П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ;  
Вареник С.В., магістрант гр. МТ.м-91, Осічев Д.Р., студент гр. МТ-61*

Останнім часом все більш широкого застосування знаходять нітридні покриття складного елементного та фазового складу. При створенні функціональних покриттів різного призначення найбільш перспективною є концепція багат шарової архітектури покриттів, так як подібні покриття здатні задовольняти багатьом часто суперечливим вимогам. Передбачається використання багатоелементних композицій для виконання умов одночасного зародження острівців різних взаємно нерозчинних або малорозчинних фаз, що обмежують зростання центрів їх зародження. Багат шарова архітектура дозволяє створювати покриття, які одночасно включають метастабільні і багатоконцентні матеріали в єдиному геометричному тілі, і таким чином дає можливість поєднувати різні концепції окремих шарів в багат шаровому покритті [1].

В роботі було досліджено вплив структурно-фазового стану, механічних і трибологічних характеристик, на формування нанокompatитних та наночарових зносостійких покриттів на основі Cr, W та N, отриманих методом магнетронного розпилення. Покриття на основі Cr, W та N були отримані методом магнетронного розпилення на підкладки із швидкоріжучої сталі Р6М5 стандартного складу за методикою, детально описаною в [2].

Проведені рентгенографічні дослідження нанокompatитних покриттів показують, що до складу отриманого покриття входять такі фази як WN, W<sub>2</sub>N, CrN (глибина інформаційного шару складала близько 200 нм) з кубічною (структурою типу NaCl) кристалічною решіткою без явно вираженої вісі орієнтації зерен. Відбувається модифікація спектру зі зміною концентрації компонент у покритті. Так для покриття з більшим вмістом W суттєво істотнішими стають піки що відповідають фазам нітридів вольфраму.

Щоб утворити багат шарові наноструктурні покриття з нітриду хрому та нітриду вольфраму CrN/WN, їх конденсували послідовно методом магнетронного розпилення з системи із двома мішенями. Для порівняння отримували також покриття CrWN. Двошаровий період наночарового покриття CrN/WN контролювали при 10 і 24 нм. Композитні CrWN та наночарові покриття CrN/WN наносили на підкладки із сталі Р6М5 та поліровані пластини Si, використовуючи дві металеві мішені з чистого Cr та W. Час осадження окремих шарів багат шарового нітриду покриття CrN/WN під час послідовного напилення модифікували від 100 до 240 с.

Наночарову мікроструктуру CrN/WN оцінювали за допомогою скануювальної (SEM) та просвічувальної (ПЕМ) електронної мікроскопії. В ПЕМ зображенні спостерігалася нанокристалічна структура і розмір зерна до

30–50 нм. Дифрактограма також вказувала на нанокристалічну мікроструктуру із випадковим чином розподіленими зернами в покритті CrWN.

Методом магнетронного розпилення була отримана щільна і гладка мікроструктура багат шарових покриттів. 51-шарове покриття CrN/WN має шарувату конфігурацію, яка складається з більш темного і світлого шарів, розміщених послідовно. Товщина двошарових періодів у 51-шаровому покритті CrN/WN складала 24 нм. Контроль товщини шару в нанощаровому покритті було досягнуто шляхом коригування часу осадження. Зображення SEM перерізу у 121-шаровому покритті CrN/WN має подібну гладку і однакову конфігурацію, як 51-шарове покриття. Товщина покриття складала приблизно 640 нм. Характеристики нанощарових покриттів CrN/WN узагальнено в таблиці 1.

Таблиця 1 – Характеристики шару, твердість комплексних нанощарових покриттів CrWN та CrN/WN

Позначення покриттів	Товщина покриття, нм	Кількість шарів	Модуляція, нм	Твердість, ГПа
CrN/WN	650	26-CrN	24	30,5
51-шар		25-WN		
CrN/WN	640	61-CrN	10	28,8
121-шар		60-WN		
CrWN	650	-	-	22,3

Результати фазової ідентифікації показали, що наноккомпозитне CrWN покриття складалося з фази CrN із твердим розчином W, тоді як CrN та аморфна/нанокристалічна фаза WN/W<sub>2</sub>N спостерігались в нанощарових покриттях CrN/WN. Обмеження розміру кристалітів до декількох нанометрів за шарами інтерфейсів вважалося домінуючим фактором, що веде до збільшення твердості покриття. Нанощарова структура з обмеженими зернами нітридів в нано-діапазоні була сприятлива для підвищення механічних характеристик наноккомпозитних і наноструктурованих покриттів.

#### Список літератури

1. Т.Р. Novorun, О.В. Pylypenko, К.В. Berladir, К.О. Dyadyura, М.Н. Dunaeva, С.І. Vorobiov, А. Panda, Physical-mechanical properties and structural-phase state of nanostructured wear-resistant coatings based on nitrides of refractory metals Ti and Zr // *Funct. Mater.* 2019; 26 (3), С. 548-555 (2019).
2. Т.П. Говорун, К.О. Дядюра, О.В. Пилипенко, В.І. Перерва, С.В. Вареник, Д.Р. Осічев, Вплив шорсткості підкладки на структуру і механічні властивості покриттів WCrN різного складу // *Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції 26-27 вересня 2019 року, Харків: ХНАДУ, С. 18-21 (2019).*

## ПОКРАЩЕННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ СТАЛІ Р6М5 ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «ЦИЛІНДРИЧНА ФРЕЗА»

*Мартиненко Є.М., магістрантка гр. МТ.м-91,  
Говорун Т.П., доцент кафедри ПМ та ТКМ, СумДУ*

Фрези використовують як інструменти для механічного оброблення металу різанням. Особливістю фрезерування є уривчастість процесу різання. Врізання зубів фрези в заготовку з ударами призводить до виникнення вібрації, що негативно позначається на точності і шорсткості процесу оброблення. Для інструментів найважливішою вимогою є високі міцність і твердість, які забезпечують високу зносостійкість. Ця вимога пояснюється тим, що при механічному обробленні виникають високі контактні тиски, які викликають зношування робочих поверхонь інструмента.

Найчастіше циліндричні фрези виготовляються із швидкорізальних сталей: вольфрамових – Р18, Р12, Р9; вольфрамомолібденових і вольфрамкобальтових – Р6М3, Р6М5 і Р9К5, Р9К10; вольфрамомолібденкобальтових – Р6М5К5 і інших [1].

Виходячи з того що деталь «циліндрична фреза» працює в періодичних динамічних і теплових навантаженнях, існує необхідність в підвищенні міцнісних й експлуатаційних характеристик сталі для її виготовлення, особливо поверхневих шарів.

Необхідну зносостійкість можна забезпечити гартуванням і відпуском сталей, після чого вони набувають високої твердості і зберігають мартенситну структуру. Для поліпшення поверхневих властивостей ріжучого інструменту останнім часом широко застосування знайшли покриття із хімічно інертних і тугоплавких сполук, таких як карбід і нітрид титану, оксид алюмінію; хіміко-термічна обробка (ХТО) (карбонітрація, азотування, хромування); лазерна обробка; електроіскрове зміцнення і т.п. [1].

Дослідження проводилися на швидкорізальній сталі Р6М5. Склад сталі Р6М5: 0,85 % С; 4,0 % Cr; 6,0 % W; 5,0 % Мо; 2,0 % V [2].

Для поверхневого зміцнення сталі Р6М5 обираємо дифузійну карбонітрацію в неціаністих порошкових середовищах. Карбонітрація – це вид хіміко-термічної обробки для поверхневого зміцнення сталевих і чавунних деталей, що полягає в одночасному насиченні їх поверхні азотом і вуглецем. Технологія використовується для підвищення зносостійкості; втомної міцності і, в поєднанні з оксидуванням, для збільшення корозійної стійкості. Карбонітрація є високоефективною технологією поверхневого зміцнення ріжучого інструменту, штампової та пресової оснастки різного призначення, деталей машин [1].

Для додавання структурної однорідності зразки зі сталі Р6М5 перед дифузійним насиченням (карбонітрацією) піддавали типовий термічній

обробці: гартуванню при температурі 1220 °С з охолодженням у маслі і триразовому відпуску за температури 550 °С [2].

Хіміко-термічну обробку (ХТО) – карбонітрацію – проводили в порошковому середовищі, яке складалося із деревного вугілля, соди  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  і залізісінеродистого калію  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$  при температурах 450, 500 і 550 °С протягом шести годин. Дослідження мікроструктури дифузійних шарів показало, що кількість, форма і характер розподілу карбонітридних включень в шарах, отриманих при різних температурах обробки, відрізняються. Збільшення температури проведення процесу насичення призводить до отримання дифузійних шарів з великою кількістю карбідних і карбонітридних включень, що мають менші розміри і більш округлу форму.

Дослідження з вивчення впливу умов проведення дифузійної карбонітрації на твердість покриттів, що формуються на сталі Р6М5, показали, що характер ходу кривих зміни мікротвердості за глибиною шару при різних температурах ХТО не змінюється. Максимальні значення (рис. 1) мікротвердість карбонітридного шару на сталі Р6М5 має в поверхневих зонах шару, потім вона плавно зменшується від поверхні в глибину зразка до твердості осердя, мікротвердість якого має значення 8300 МПа при всіх досліджуваних температурах обробки.

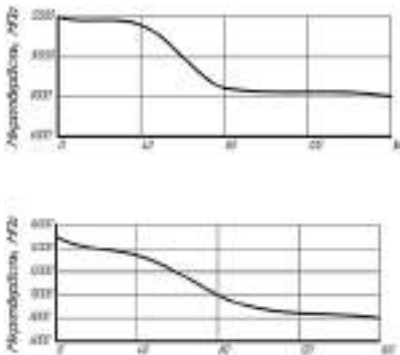


Рисунок 1 –  
Розподіл  
мікротвердості за  
товщиною  
карбонітридного  
шару на сталі  
Р6М5 при  
температурі  
450 °С (а) та  
550 °С (б)

Збільшення температури проведення процесу карбонітрації (рис. 1) дозволяє підвищити поверхневу твердість від 10150-11850 МПа при 450 °С до 13450-15250 МПа при 550 °С і протяжність зони підвищеної твердості від 80 до 120 мкм.

#### Список літератури

1. Мартиненко Є. М., Говорун Т. П., Зміцнююча термічна обробка циліндричної фрези // Сучасні технології у промисловому виробництві : матеріали та програма VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 16–19 квітня 2019 р.) / редкол.: О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний університет. С. 91-92 (2019).

2. Л.Ф. Руденко Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л. Ф. Руденко, Т.П. Говорун – Суми: СумДУ. 171 с. (2012).

## ФАЗОВІ ПЕРЕТВОРЕННЯ В ТИТАНОВИХ СПЛАВАХ Ti-Nb-Mo

*Мисливченко О.М., н.с., Бондар А.А., зав. відділу, Тіхонова І.Б., м.н.с.,  
Петюх В.М., с.н.с; ІПМ ім. І.М. Францевича НАНУ, м. Київ*

Найбільш розповсюдженими матеріалами для виготовлення кісткових імплантів на сьогоднішній день є титан та сплави на основі нікеліду титану TiNi. Нікелід титану широко застосовується в медичній практиці, але в його склад входить нікель, який негативно впливає на живий організм [1]. У зв'язку із вказаними вище обставинами та з огляду на значний інтерес і перспективу використання низькомодульних титанових сплавів, які не містять шкідливих для живого організму легуючих елементів, нами були отримано безнікелеві сплави системи Ti-Nb-Mo.

Метою даної роботи є встановлення фазового складу та температур фазових перетворень литих сплавів системи Ti-Nb-Mo після субсолідосного відпалу.

Сплави для досліджень отримали плавкою в електродуговій печі, використовуючи вольфрамовий безвитратний електрод, на мідному поду з водяним охолодженням. Злитки були відпалені при температурі 1600 °C протягом 10 год у печі опору СШВЛ-0,6.2/25 у середовищі аргону, гетерованого титановою стружкою. Ця температура на 80–125 °C нижча температур початку плавлення, отриманих методом ДТА.

Рентгенівські дослідження проводили у випромінюванні Co-K $\alpha$  на дифрактометрі ДРОН-3. Дифрактограми знімали методом покрокового сканування з інтервалом 0,05° і експозицією 1–2 с. Диференційний термічний аналіз (ДТА) проводили на установці із датчиком, аналогічний розробленому Ю.А. Кочержинським із співавторами [2]. Як захисне середовище виступав гелій високої чистоти під тиском 100 кПа. Зразки поміщали в керамічні тигли із Sc<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

Згідно даних рентгенівського фазового аналізу (РФА) фазовий склад чотирьох досліджених сплавів, відпалених при субсолідусній температурі, представляє собою суміш двох фаз: гексагональної  $\alpha'$  та кубічної  $\beta$  (рис. 1). Виявилось, що у всіх досліджених сплавах періоди ґраток близькі і мало залежать від складу. Збільшення вмісту легуючих елементів (особливо молібдену) призводить до певного зростання вмісту  $\beta$ -фази

Температури фазових перетворень визначені за допомогою ДТА, дані наведені в таблиці 1. На кривих ДТА всіх сплавів можна виділити дві ділянки: термічний ефект низькоенергетичного  $\alpha' \rightarrow \beta$  перетворення (розтягнутий пік на кривій нагріву при 522–682 °C), якому відповідає розтягнутий пік  $\beta \rightarrow \alpha'$  перетворення (ділянка на кривих охолодження в області температур 771–816 °C), і піки, які відповідають плавленню (на ДТА кривій нагріву) та кристалізації (на охолодженні). Варто відмітити, що  $\alpha' \rightarrow \beta$

поліморфне перетворення при нагріві відбувається при значно нижчій температурі, ніж  $\alpha \rightarrow \beta$  в чистому титані (882 °С). Як і очікувалося, найвищу температуру плавлення має сплав з мінімальним вмістом титану, а найнижчу – з максимальним.

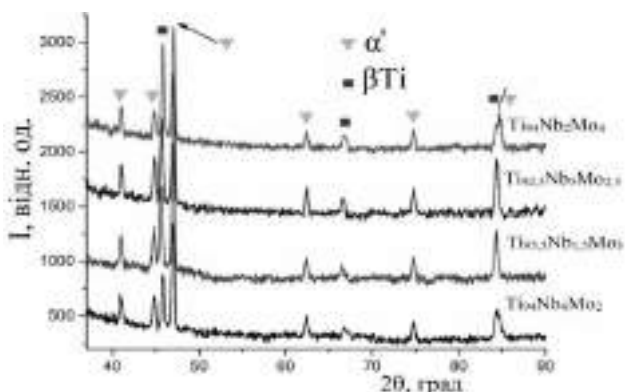


Рисунок 1 – Дифрактограми сплавів системи Ti-Nb-Mo за кімнатної температури.

Таблиця 1 – Температури фазових перетворень (°С) в сплавах системи Ti-Nb-Mo.

Сплав	Нагрів				Охолодження	
	Почат. $\alpha' \rightarrow \beta$ перетв.	Кінець $\alpha' \rightarrow \beta$ перетв.	Почат. плавл.	Кінець плавл.	Почат. кристал.	Почат. $\beta \rightarrow \alpha'$ перетв.
Ti <sub>94</sub> Nb <sub>4</sub> Mo <sub>2</sub>	570	794	1726	1765	1777	774
Ti <sub>95.5</sub> Nb <sub>1.5</sub> Mo <sub>3</sub>	522	816	1683	1750	1758	798
Ti <sub>92.5</sub> Nb <sub>5</sub> Mo <sub>2.5</sub>	560	771	1725	1773	1774	716
Ti <sub>94</sub> Nb <sub>2</sub> Mo <sub>4</sub>	682	796	1718	1763	1768	743

*Робота проводилася в рамках програми наукових досліджень ВФТПМ НАН України, тема III-10-19 (№ держреєстрації 0119U100778).*

#### Список літератури

1 Rae T. The toxicity of metals used in orthopedic prostheses. An experimental study using cultured human synovial fibroblasts // The Journal of Bone and Joint Surgery. British volume. – 1981. – 63, No. 3. – P. 435-440.

2. Кочержинский Ю. А., Шишкин Е. А., Василенко В. И. Аппарат для ДТА с термопарным датчиком до 2200 °С // Диаграммы состояния металлических систем / Под ред. Н. В. Агеева, О. С. Иванова. – М.: Наука, 1971. – С. 245–249.



## ТЕРМІЧНА ОБРОБКА ДЕТАЛІ «ВАЛ НАСОСУ»

*Студент Д.В. Кайдаш, група МТ-61, к.т.н., доц. Н. А. Харченко,  
асистент Л. Ф. Руденко, зав. лаб. А. А. Ільїних*

Відцентрові насоси використовуються для транспортування рідин шляхом перетворення кінетичної енергії обертання в гідродинамічну енергію потоку рідини. Рідина надходить у робоче колесо насоса вздовж або поблизу до осі обертання, і прискорюється крильчаткою, тече радіально назовні в дифузор або спіральну камеру (кожух). В ньому рідке середовище переміщується через робоче колесо від центра до периферії [1].

Для деталі «вал насосу», виготовленого зі сталі 14X17H2, були розроблені режими термічної обробки, загальними операціями в яких були відпал, гартування, відпуск, які відрізнялись температурою нагріву під гартування, швидкістю охолодження, кількістю та (чи) температурою відпуску. Рекомендації щодо призначення оптимального режиму термічної обробки валу насоса зі сталі 14X17H2 [2] були зроблені на основі комплексного аналізу результатів випробувань механічних властивостей, стійкості до міжкристалітної корозії (ГОСТ 6032-84, метод АМУ) та мікроструктурного аналізу.

Встановлено, що найбільш раціональним та економічно вигідним є термічна обробка, яка включає послідовні етапи: відпал  $t=800$  °С, впродовж 10-20 г.; гартування  $t=1040-1050$  °С, 0,5 г., охолодження в маслі; перший відпуск  $t=600-610$  °С, 4,5-5,0 г., другий відпуск  $t=600-610$  °С, 3,5-5,0 г.



Рисунок 1 – Зразки сталі 14X17H2 після випробувань на МКК, метод АМУ

Результатом роботи стали відомості про структурно-механічні характеристики матеріалу валу насоса. Крім того, дослідивши умови, в яких працює деталь, був призначений оптимальний режим термічної обробки.

### Список літератури

1. Аникин Ю. В. Насосы и насосные станции : учеб. пособие / Ю. В. Аникин, Н. С. Царев, Л. И. Ушакова ; [науч. ред. В. И. Аксенов] ; М-во образования и науки Рос. Федерации; Урал. федер. ун-т. — Екатеринбург : Изд-во Урал. ун-та, 2018. — 138 с.
2. Руденко Л. Ф. Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л. Ф. Руденко, Т.П. Говорун Суми: СумДУ, 2012. — 171 с.

**СЕКЦІЯ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ  
І МАШИНОЗНАВСТВО»**

## ВПЛИВ ІЗОХРОННОСТІ В ПРИНЦИПІ МОЖЛИВИХ ПЕРЕМІЩЕНЬ ДЛЯ ЧОТИРЬОХЛАНКОВОГО МЕХАНІЗМУ

*Голуб Н.Р. студент, група МБ-81/1 МТ, Жигилій Д.О., доцент*

Принцип можливих (віртуальних) переміщень є базовим принципом механіки, що придатний до вираження загальних умов рівноваги механічної системи. Він накладає необхідну і достатню умову рівноваги системи зі стаціонарними ідеальними зв'язками, яка полягає в рівності нулю суми елементарних робіт задаються сил на будь-якому можливому переміщенні системи з розглянутого положення рівноваги або віртуальна робота заданих силових факторів, прикладених до системи з ідеальними зв'язками і такої, що знаходиться в рівновазі, дорівнює нулю.

Для чотирьохланкового механізму цей принцип складе:

$$\begin{aligned}
 & -M_{BPIB} + l_1 \cdot \delta\theta \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) \cdot G_1 + \frac{l_1 \cdot \delta\theta \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) - l_{32} \cdot \delta\psi \cdot \cos\psi}{2} \times \\
 & \times G_2 + \frac{l_{32} - l_{31}}{2} \cdot \delta\psi \cdot \cos(\psi_1) \cdot G_3 + l_{31} \cdot \delta\psi \cdot \cos\psi \cdot F_{KOP} = 0
 \end{aligned}$$

де співвідношення узагальнених переміщень знайдеться з першої ізохронної варіації рівняння 2-ї ланки:

$$\left( l_1 \cdot \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + l_{32} \cdot \cos\psi - X \right)^2 + \left( -l_1 \cdot \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + l_{32} \cdot \sin\psi + Y \right)^2 = l_{32}^2$$

і складе

$$\frac{\delta\theta}{\delta\psi} = \frac{\left( l_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + l_{32} \cos\psi - X \right) l_{32} \sin\psi - \left( -l_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + l_{32} \sin\psi + Y \right) l_{32} \cos\psi}{\left( l_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + l_{32} \cos\psi - X \right) l_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + \left( -l_1 \sin\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right) + l_{32} \sin\psi + Y \right) l_1 \cos\left(\frac{\pi}{2} - \theta\right)}$$

Заміна ізохронної першої варіації за можливими переміщеннями на скінчені переміщення призведе до втрати точності відносно аналітично точного розв'язку. В роботі оцінений величина впливу неізохронних скінчених переміщень в принципі можливих переміщень і покладена границя у 5% відносної похибки для практичного застосування в аналітико-графічному наближеному методі.

## РАЦІОНАЛЬНЕ ПРОЕКТУВАННЯ ДВОШАРОВОЇ СУТТЕВО НЕОДНОРІДНОЇ БАЛКИ ПРИ ЧИСТОМУ ПРЯМОМУ ЗГИНАННІ

*Тягно С.В. студент, група МБ-81/9, Жигилій Д.О., доцент*

Багатошарові балки при належному конструюванні надають перевагу в жорсткості, міцності або витратності.

Сумісна робота композитних стержнів визначається умовою сумісності деформації. При застосуванні гіпотези плоских перерізів геометричний бік задачі записується у вигляді рівняння гіпотези Кірхгофа-Лява:  $\varepsilon(y) = y/\rho$ .

Положення ж нейтральної вісі буде зміщеним відносно геометричного центру мас перерізу і з рівняння нулю повздовжніх сил складе:

$$\int_{A_1} \sigma_1(y) dA + \int_{A_2} \sigma_2(y) dA = 0.$$

Додаючи закон Гука у інтегральне рівняння рівноваги в напруженнях отримаємо:

$$\int_{A_1} -(E_1 \cdot y/\rho) dA + \int_{A_2} -(E_2 \cdot y/\rho) dA = 0; \quad E_1 \cdot \int_{A_1} y dA + E_2 \cdot \int_{A_2} y dA = 0.$$

Таким чином найбільші напруження знайдуться на границях різнорідних шарів з рівнянь в системі координат, пов'язаній з нейтральною лінією:

$$\sigma_1(y) = -\frac{M \cdot E_1}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2} \cdot y; \quad \sigma_2(y) = -\frac{M \cdot E_2}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2} \cdot y.$$



Рисунок 1 – Розрахункова схема чистого прямого згинання двошарової суттєво неоднорідної балки

В роботі визначена залежність співвідношення товщин шарів прямокутного перерізу з заданим аспектом  $h/b$  від співвідношення границь міцності для кожного шару  $\sigma_{1u}/\sigma_{2u}$ .

## РОЗТЯГАННЯ ДВОШАРОВОГО СУТТЕВО НЕОДНОРІДНОГО СТЕРЖНЯ ПОЗА ЦЕНТРОМ ЖОРСТКОСТІ

*Хвостенко Р.О. студент. група МБ-81/9, Жигилій Д.О., доцент*

Композитні балки, що складаються більше ніж з одного матеріалу, призначені для збільшення жорсткості або міцності (або для зниження витрат). Гуртова робота шарів при розтяганні визначається умовою сумісності деформацій  $\varepsilon = \varepsilon_1 = \varepsilon_2$ .

Якщо визначення нормальних напружень доповнити рівнянням рівноваги отримаємо  $A_1 \cdot \sigma_1 + A_2 \cdot \sigma_2 = P$ .

Де координата центру жорсткості визначається взаємоположенням статично еквівалентних повздовжніх сил для шарів  $m$  і  $n$  та утворюють ексцентриситет центру жорсткості  $e$ .

$$m = \frac{A_1 \cdot \sigma_1}{A_1 \cdot \sigma_1 + A_2 \cdot \sigma_2} \cdot \frac{h}{2}; \quad n = \frac{A_2 \cdot \sigma_2}{A_1 \cdot \sigma_1 + A_2 \cdot \sigma_2} \cdot \frac{h}{2}; \quad e = \frac{h}{2} - m - \frac{h_2}{2} = n + \frac{h_1}{2} - \frac{h}{2}.$$

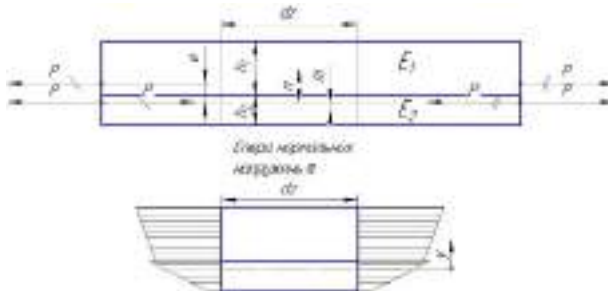


Рисунок 1 – Розрахункова схема приведення розтягання поза центром жорсткості двошарового стержня до розтягання зі згинанням

При навантаженні в геометричному центрі прямокутного перерізу з заданими розмірами шарів  $h_1/b$  та  $h_2/b$  призведе до складного напруженого стану розтягання з згинанням. Таким чином максимальні напруження від розтягання будуть скоректовані згинанням і складуться

$$\sigma_1(y) = \frac{P \cdot e \cdot E_1}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2} \cdot y + \frac{P}{A_1 + (A_2 \cdot E_2 / E_1)};$$

$$\sigma_2(y) = \frac{P \cdot e \cdot E_2}{E_1 \cdot I_1 + E_2 \cdot I_2} \cdot y + \frac{P}{(A_1 \cdot E_1 / E_2) + A_2}.$$

В роботі досліджено залежність відношення найбільших нормальних напружень в поперечному перерізі двошарового суттєво неоднорідного стержня навантаженого в геометричному центрі мас від співвідношення повздовжніх модулів пружності шарів  $E_2/E_1$

## ВДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ПРИСТРОЇВ ДЛЯ ВІДРИВУ БОРТІВ ШИНИ ВІД ОБОДУ КОЛЕСА ВСЮДИХОДА

*Сергієнко М.С., Національний технічний університет «Харківський  
політехнічний інститут»,  
Калінін П.М., Шабалін О.Ю., Жережон-Зайченко Ю.В. Національна академія  
Національної гвардії України,,  
Сергієнко А.М., ТОВ «Інтехресурс», м. Харків*

Питання демонтажу шин коліс сучасних повноприводних колісних транспортних засобів високої прохідності, зокрема, всюдиходів, бронетранспортерів є актуальними. Ремонт коліс всюдиходів у польових умовах враховуючи їх габарити, відсутність спеціалізованих ділянок ремонту, ефект «приварювання» бортів шини до обода колеса і демонтаж шини є складним, викликає великі труднощі і потребує розробки спеціальних конструкцій пристроїв для демонтажу шин.

Відомі конструкції спеціальних пристроїв для відриву бортів шини від обода колеса, які відрізняються за масогабаритними параметрами, величиною необхідних прикладених фізичних зусиль, вартості, витрат часу на проведення ремонтних робіт, ймовірності не пошкодження обода колеса та шини, можливості використання штатного силового пристрою або у автономному виконанні, універсальності тощо.

В роботі обговорені результати розробок в зазначеному напрямку, які були проведені в НТУ «ХП» та НАНГУ.

Розроблена конструкція пристрою для демонтажу коліс з роз'ємним ободом [1] включає плиту у вигляді нижнього опорного диска, до якого на шарнірах рівномірно по колу кріплять віджимні лапки, та плиту у вигляді верхнього опорного диска, що через шпильки-захвати кріпиться до обода колеса. Верхній і нижній опорні диски мають однаково і рівномірно розташовані по колу, розмір якого визначається розміром ободу колеса, що демонтують, наскрізні отвори, через які проходять напрямні шпильки-захвати. Пристрій є розбірним, компактним, зручним у транспортуванні і зберіганні, а використання у якості силового органу штатного домкрата значно підвищує ефективність ремонтних робіт. Проте ця конструкція орієнтована на конкретний типорозмір шини колеса, що обмежує сферу його застосування.

З метою розширення експлуатаційних можливостей пристрою для обслуговування різних типорозмірів шин коліс всюдиходів запропонована удосконалена конструкція [2], де опорні диски мають наскрізні та рівномірно розміщені по колу у радіальному напрямку пази, через які проходять шпильки-захвати, а ребра жорсткості рухомого диска використовують як опори та напрямні для зміни положення віджимних лапок в залежності від типорозміру ободу демонтованого колеса. До недоліків пристрою [2] слід

віднести обмеженість діапазону типорозмірів демонтованих шин коліс, неефективне використання верхнього диска пристрою у разі демонтажу коліс малого розміру та зростання зусиль, що деформують верхній диск, у разі демонтажу коліс великих розмірів.

Для спрощення конструкції та розширення експлуатаційних можливостей використання пристрою для обслуговування різних типорозмірів шин коліс запропонований пристрій [3], у якому нерухомий упорний елемент виконаний у вигляді шайби з рівномірно розміщеними по колу виступами типу «вилка» і шарнірно з'єднаний з похилими тяговими стрижнями, що шарнірно кріпляться до захватів обода колеса.

Суттєве удосконалення технології відриву бортів шини від обода колеса має дати запропонований спосіб відриву бортів шини від обода колеса, що полягає в силовому впливі отбортовочного механізму у вигляді віджимних роликів на шину у обода колеса і пристрій для його здійснення [4]. У порівнянні з відомим запропоноване технічне рішення дозволяє проводити відрив бортів шини від обода колеса в польових умовах безпосередньо на транспортному засобі без демонтажу колеса, використовуючи двигун і трансмісію транспортного засобу без використання спеціалізованого стаціонарного обладнання, забезпечуючи при цьому підвищення оперативності, автономності, мобільності і зниження трудовитрат на ремонт коліс.

Поряд з розробкою конструкцій означеного пристрою для відриву бортів шини паралельно проведено аналіз напружено-деформованого стану елементів пристрою у робочому стані та результати його параметричного синтезу. Працездатність пристрою підтверджена чисельними експериментами з використанням методу кінцевих довжин на тривимірній його моделі. Аналіз проведених чисельних експериментів по конструктивно-параметричній оптимізації елементів пристрою з метою забезпечення необхідної міцності, достатньої жорсткості при одночасному зменшенні маси дозволяє запропонувати раціональний варіант технічного проекту пристрою для його виготовлення та використання.

#### Список літератури

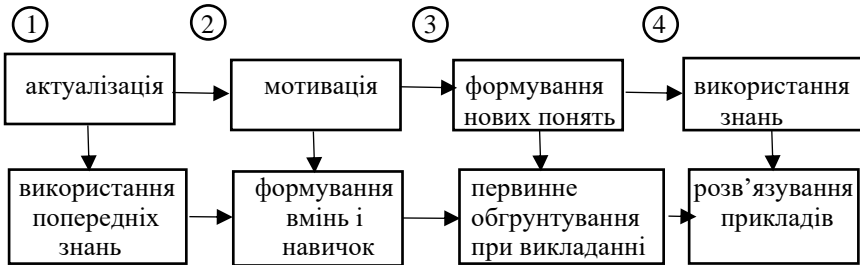
1. Пристрій для демонтажу коліс з роз'ємним ободом. Пат. на корисну модель України № 116622, В60В 29/00, В60В 31/00, В60С 25/00, Заявка у 2016 13160. Заявл. 22.12.2016. Опубл. 25.05.2017, Бюл. №10.
2. Пристрій для демонтажу шин коліс. Пат. на корисну модель України № 122257, В60С 25/00, В60В 29/00, В60В 31/00, Заявка у 2017 07832. Заявл. 25.07.2017. Опубл. 26.12.2017, Бюл. №24.
3. Пристрій для відриву бортів шини від обода колеса. Пат. на корисну модель України № 135235, В60В 29/00, В60В 31/00, В60С 25/00, Заявка у 201900122. Заявл. 03.01.2019. Опубл. 25.06.2019, Бюл. №12.
4. Спосіб відриву бортів шини від обода колеса транспортного засобу і пристрій для його здійснення. Пат. на винах. України №120799, В60С 25/128, В60 С 25/125, В60 С25/04, Заявка а2018 05034. Заявл. 07.05.2018. Опубл. 10.02.2020, Бюл. №3.

**ПОБУДОВА КАЛЕНДАРНОГО ГРАФІКА ОБЧИСЛЕННЯ  
ЗНАЧЕНЬ ВСФ ДЛЯ СХІДЧАСТОГО СТЕРЖНЯ З ВИКОРИСТАННЯМ  
АКТУАЛІЗАЦІЇ, МОТИВАЦІЇ І МЕТОДІВ НАВЧАННЯ**

*Момот С., учениця 10 класу, Діденко Д., учень 11 класу, школа № 2,  
м. Білопілля*

*Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Розглянули 4 задачі по знаходженню небезпечних перерізів при навантаженні поздовжніми силами  $F$ . Сформувавши основні блоки в календарному графіку.



Розглянули більш детально позначки 1-4.

- 1
  - принцип незалежності й додавання дії сил;
  - поняття первинних механічних елементів;
  - внутрішня сила: додатна і від'ємна;
  - гіпотези: суцільності матеріалу, однорідності та ізотропності, малості деформації, плоских перерізів;
  - види основних та складних деформацій;
  - одиниці вимірювання  $F, q, \Delta l$ .
- 2
  - метод перерізів, види перерізів;
  - знаходження проєкції сили на вісь;
  - поняття про напруги: повне, нормальне, дотичне;
  - поняття про абсолютне, відносне подовження, жорсткість;
  - розташування перерізу з нахилами вздовж осі стержня.
- 3
  - розв'язання: статичної, фізичної, геометричної задач та їх синтез;
  - поняття про епюри;
  - поняття про «стрибки», внаслідок дії сил  $F$ ;
  - напруження допустиме, тобто умови міцності  $\sigma = \frac{N}{A} \leq [\sigma]$ ;
  - знаходження небезпечного перерізу.
- 4
  - розгляд трьох типів задач з умов міцності  $N = [\sigma] \cdot A$ ,

$A = \frac{N}{[\sigma]}, \frac{N}{A} \leq [\sigma]$ , а також з умов жорсткості  $\Delta l \leq \frac{Nl}{EA} \leq [\Delta l]$ , з урахуванням двох видів умов: міцності та жорсткості.



## ЗНАХОДЖЕННЯ ПРОЄКЦІЙ ГОЛОВНОГО ВЕКТОРА І ГОЛОВНОГО МОМЕНТА У НАХИЛАХ ПЕРЕРІЗІВ ГВИНТОВИХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПРУЖИН ТА РОЗГЛЯД ОКРЕМИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ

*Охрименко А., Охрименко О., учні 11 класу, школа № 2, м. Білопілля  
Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Пружини, як правило виготовляють із сталевих стержнів. Перерізи можуть приймати різноманітну форму: кола, прямокутника, квадрата і таке інше. Головним завданням для подальшого розрахунку, є знаходження ВСФ – повздожньої сили  $N$ , поперечної сили  $Q$ , згинального моменту  $M$ , крутного моменту  $M_{кр}$ , які виникають з проєкцій головних векторів  $R$  та  $M$ . В кожному випадку проведені перерізи проходять під різноманітними кутами до повздожньої осі пружини, де діє ЗСФ-  $F$ . Використовуючи метод перерізів можна знайти внутрішні зусилля. Отже при малих кутах нахилу витків пружини можна знехтувати згинальним моментом і подальший розрахунок вести, враховуючи лише: деформацію кручення,  $M_{кр}$ , зсуву,  $Q$ .  
Всі проєкції ВСФ знаходилися в різноманітних перерізах з подальшим зведенням в таблицю, з якої і був зроблений висновок. Можливе допущення, що в перерізах пружини діють наступні групи дотичних напружень:  $\tau = \frac{Q}{A}$ ,

$\tau = \frac{M_{кр}}{W_{\varphi}}$ , тобто напруження від деформації зрізу та кручення, тоді остаточно

можливе визначення умов міцності для розрахунку пружин

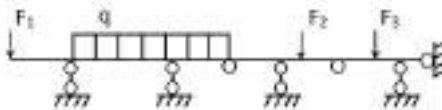
$\frac{Q}{A} \leq [\tau], \frac{M_{кр}}{W_{\varphi}} \leq [\tau]$ . Ці умови дозволяють розглядати наступні завдання:

знаходження допустимого навантаження, вибір поперечного перерізу, перевірка умов міцності. Крім розглянутих гвинтових пружин є інші конструктивні схеми у вигляді: конічних, призматичних, параболічних формах і таке інше. Види і класифікація пружин зведені в таблицю. Слід відзначити, що розрахунок пружин досить складний і буде розглядатися в майбутньому.

# ПОБУДОВА ПОПОВЕРХОВИХ СХЕМ БАГАТОПРОЛЬОТНИХ ШАРНІРНО-КОНСОЛЬНИХ БАЛОК З МЕТОЮ СПРОЩЕННЯ НАХОДЖЕННЯ $Q$ і $M$

*Целуйкин Д., учень 11 класу центру позашкільної освіти,  
школа № 5, м. Лебедин  
Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

В роботі розглядалися три завдання: з розташуванням шарнірів у всіх прольотах балки крім одного, з розташуванням 2 шарнірів в одному прольоті та з консолями на кінці балки. Спочатку визначалась ступінь статичної невизначеності за формулою  $L=C_{on} - 3$ , враховуючи, що відносно шарнірів розташованих у тілі балки можливе зіставлення одного додаткового рівняння,



тобто ліворуч та праворуч частини балки. В даному випадку вибрана система рівнянь дуже складна. Виникає потреба в побудові так званої поповерхової схеми балки і ділячи їх на основні, підвісні, передаточні. Знаходимо реакції опор та побудову епюр і поперечної сили, згинаючого моменту починають з верхніх балок, послідовно переходячи до нижчих, враховуючи напрям опорних реакцій. Контроль правильності побудови епюр виконувався за допомогою «стрибків» на епорах:  $Q$  від  $m$  від  $F$ ,  $M$ , а також враховуючи

теорему Д.І. Журавського  $q = \frac{dQ}{dz}$ ,  $Q = \frac{dM}{dz}$ . З метою подальшого

розрахунку на міцність та жорсткість, з урахуванням типів задач встановлювалися несприятливі особливості всіх ВСФ на всіх ділянках балок з подальшим зведенням результатів розрахунків в окремі таблиці. Розглянуто питання практичного застосування так званих «рівномоментних» балок, тобто балок, де значення згинального моменту на опорах і в прольоті дорівнюють один одному. Це можливо при іншому ніж у даному випадку, розташуванні шарнірів в прольоті балки та зміною положення шарнірно-рухомих, шарнірно-нерухомих опор. Головне, щоб багатопрольотна балка була статично-визначувана та геометрично-незмінною з урахуванням структурного аналізу:  $P=3A-(C_{on}+2Ш+3Ж) \leq 0$ .

## РОЗГЛЯД КРИВОЛІНІЙНОГО РУХУ МАТЕРІАЛЬНОЇ ТОЧКИ У БЛОКОВОМУ ВИГЛЯДІ

*Мартусенко А., учень 11 класу, школа № 3, м. Білопілля,  
Бабченко В., учень 11 класу, школа № 1, м. Білопілля.  
Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Спочатку розглядалася швидкість криволінійного руху, потім прискорення з урахуванням методологічних особливостей і середнє прискорення, надалі миттєве  $a_{cp} = \frac{\Delta V}{\Delta t}$ ,  $a = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta V}{\Delta t}$ . У вибраній прямокутній системі координат встановлювалися певні обмеження щодо завдання руху матеріальної точки: це завдання її траєкторії і рівняння руху по цій траєкторії, а також тільки рівняння руху ( $S = F(t)$ ;  $x_1 = f_1(t)$   $y_1 = f_2(t)$

$z_1 = f_2(t)$ ). Проекція швидкості на прямокутні координати має наступний вигляд

$V_x = \frac{dx}{dt}$ ,  $V_y = \frac{dy}{dt}$ ,  $V_z = \frac{dz}{dt}$ . Враховуючи рівняння руху можна записати

вираз для  $V = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2}$ , повної швидкості матеріальної точки, а також

направляючі косинуси  $\cos \alpha = \frac{V_x}{V}$ ,  $\cos \beta = \frac{V_z}{V}$ ,  $\cos \gamma = \frac{V_y}{V}$ . Далі

розглядалося питання про знаходження прискорення

$a_x = \frac{d^2x}{dt^2}$ ,  $a_y = \frac{d^2y}{dt^2}$ ,  $a_z = \frac{d^2z}{dt^2}$  на прямокутні осі координат та її повне

значення  $a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2}$ . Нормальне і дотичне прискорення: середнє,

миттєве, повне розглядалось більш детально у графічному режимі з

побудовою траєкторії руху  $a_n = \frac{dv}{dt}$ ;  $a_\tau = \frac{v^2}{\rho}$ . Поняття кривизни руху і радіусу

кривизни траєкторії матеріальної точки може мати наступний вигляд

$K_{cp} = \frac{\varphi}{MM_1}$   $K = \lim_{MM_1 \rightarrow 0} \frac{\varphi}{MM_1} = \frac{1}{K}$ . При розгляді складного руху

матеріальної точки будувались рухома і нерухома прямокутна система координат  $(x, y, z)$   $(x \ y \ z)$ , в яких розглядалася ця точка з умовною

позначкою і напрямом  $V^n, V^\tau, \Delta V^n, \Delta V^\tau, a^\tau, a^n$  для відносного, переносного і абсолютного руху.

Наприкінці давалися певні пояснення величин у використаних формулах.

## РЕАБІЛІТАЦІЯ ПАЦІЄНТІВ З СУДИННИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ НИЖНІХ КІНЦІВОК

*Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ,*

*Пазинюк Б.В.*

*Керей Д.М., хірург, Стовбур О.А., завідувач  
хірургічним відділенням № 2, лікарня № 5, м. Суми*

Вихідні дані для дослідження виконані в табличній формі, де вказані: дата народження пацієнтів, стать, вік, час надходження і виписки, дата операції, клінічний аналіз крові, біохімічний аналіз, глюкоза крові і т.і. Аналіз вихідних даних базувався на підставі роботи проведеної хірургом Керей Д.М.

Розглядалися наступні розрахункові схеми:

1, 2 – статично визначувана балка;

3 – статично невизначувана балка, один раз;

4 – статично невизначувана балка, два рази;

5 – статично невизначувана балка, один раз (використовувалась для побудови ліній впливу).

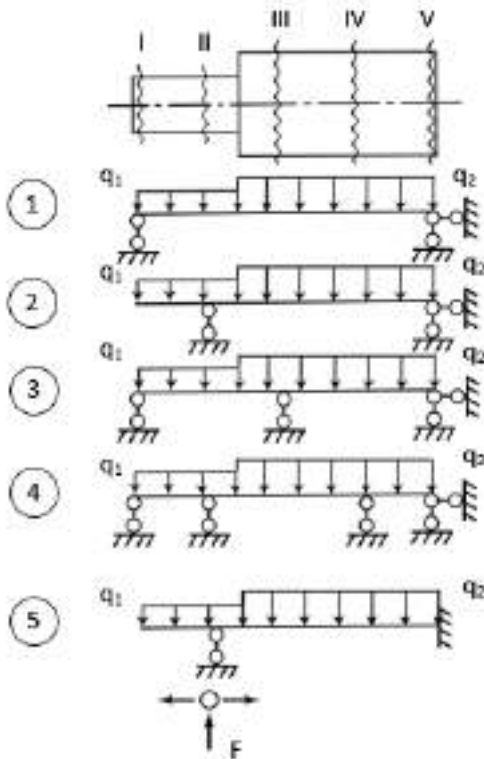
Кількість розглянутих балок поз. 1, 2 – 6 штук, поз. 3 – 3 штуки, поз. 4 – 2 штуки, поз. 5 – 9 штук.

Спочатку виконувалася умовна аксонометрична схема з метою знаходження розподільного навантаження  $q_1, q_2$ . Далі знаходилися найбільш небезпечні розрахункові схеми, тобто статично визначувані, статично невизначувані, однопрогонові, двопрогонові, трипрогонові балки. Перш за все знаходилося значення і напрям опорних реакцій в шарнірно-рухомій та нерухомій опорах. Будування епюр  $Q_1M_1$  - поперечної сили та згинаючого моменту виконувалося на підставі знаходження їх значень. Для статично невизначуваних балок використовувалось рівняння 3-х моментів. Розглядалось значення згинальних моментів і нормальних напружень в графічній формі з урахуванням діаметрів:  $d = 6,4\text{см}$ ,  $d = 7,6\text{см}$ ,  $d = 8,8\text{см}$ ,  $d = 10\text{см}$ ,  $d = 11,2\text{см}$ ; види і характери деформацій з напруженнями розтягання та стискання.

Проводилась побудова і обчислення ліній впливу для знаходження значень опорного моменту в жорсткому закріпленні балки. Аналіз епюр згинаючого моменту, поперечної сили, поздовжньої сили в заданих перерізах виконані для знаходження їх максимальних значень. Застосовувався модульний принцип установки, який включав у собі наступні елементи: базовий елемент ( $l = 55\text{см}$ ,  $b = 8\text{см}$ ,  $h = 2\text{см}$ ), брус дерев'яний ( $l = 16\text{см}$ ,  $b = 4\text{см}$ ,  $h = 2\text{см}$ ), модуля ( $l = 16\text{см}$ ,  $b = 8\text{см}$ ,  $h = 2\text{см}$ ), циліндр дерев'яний ( $l = 16\text{см}$ ,  $d = 3,5\text{см}$ ). З урахуванням розрахункових схем, а також значень

згинаючих моментів і напружень є можливість застосування різних елементів установки. Виходячи зі стану реабілітації. Для статично визначених балок – це схема № 6, переріз III, для статично невизначених балок – це схеми № 9, 11, переріз III, для динамічного навантаження схеми № 17-19. Зв'язок між фізичними властивостями рідини і з також клінічним і біохімічним аналізом крові в судинах буде розглядатися в експериментальному порядку у відділенні судинної хірургії № 2, яке очолює хірург вищої категорії Стовбир О.А.

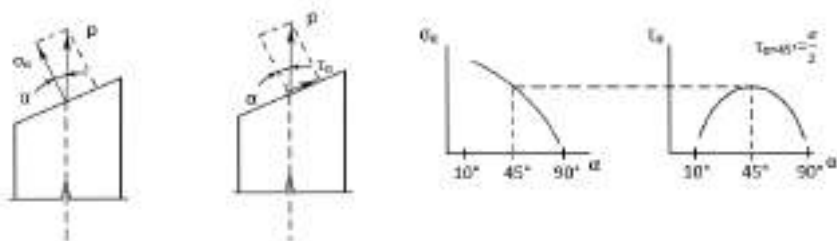
Для більш повного пояснення і порозуміння можливих явищ у судинах потрібно розглянути фізичні властивості рідини: густина тіла, питомий об'єм, вага, стисливість, а також поняття ідеальної та реальної рідини і таке інше. Можливе розглядання основних понять гідравлічного удару коли в рідині утворюється процес чергування різкого підвищення і зниження тиску з урахуванням зменшення швидкості і двома режимами течії.



## ЗНАХОДЖЕННЯ НОРМАЛЬНИХ І ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ ДЛЯ СХІДЧАСТОГО СТЕРЖНЯ БЕЗ УРАХУВАННЯ ЙОГО ВЛАСНОЇ ВАГИ З ВИЗНАЧЕННЯМ НАПРУЖЕНЬ НА ПОХИЛИХ МАЙДАНЧИКАХ

*Літвіненко О., учень 10 класу, школа № 2, м. Суми  
Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Розглядали дві задачі на побудову епюр поздовжніх сил, нормальних напружень та переміщень. Використовували для виявлення і визначення внутрішніх сил метод перерізів (знаходження головних центральних осей, з визначенням  $N$ , що діють на одну із частин розсіченого стержня з урахуванням алгебраїчної суми проєкцій як зовнішніх так і внутрішніх зусиль). Подальше проводилась побудова епюр  $N$ , з урахуванням «стрибків», що дорівнюють  $F$ , адже сама епюра паралельна осі оскільки на стержень діють тільки зосереджені сили. За добутими даними розглядали статичний, геометричний, фізичний аспект цих епюр з знаходженням небезпечного перерізу. Далі на підставі формул  $\sigma_\alpha = \sigma \cdot \cos^2 \alpha$ ,  $\tau_\alpha = \frac{\sigma}{2} \sin 2\alpha$  обчислювали значення нормальних та дотичних напружень на похилих перерізах. Кути нахилу перерізів приймали від  $0^0$  до  $90^0$ . Усі знайдені значення  $\sigma_\alpha$ ,  $\tau_\alpha$  зведені в таблицю. На підставі цих значень будували графіки  $\sigma_\alpha = f(\alpha)$ ,  $\tau_\alpha = f(\alpha)$ , з яких видно, що при зменшенні кута  $\alpha$ , значення ( $\sigma_\alpha$ ) нормальних напружень зростає, і навпаки, при зростанні кута  $\alpha$  значення ( $\sigma_\alpha$ ) напружень зменшується і дорівнює  $\sigma_\alpha = 0$  при  $\alpha = 90^0$ . Дотичне напруження ( $\tau_\alpha$ ) спочатку зростає до  $\tau_\alpha = \frac{\sigma}{2}$  при  $\alpha = 45^0$ , а потім зменшується  $\tau_\alpha = 0$  при  $\alpha = 90^0$ . Далі розглянули питання про знаходження значень  $\sigma_\alpha$  і  $\tau_\alpha$  як проєкцій ( $P$ ) повного напруження з точки зору звичайного прямокутного трикутника.



## ЗІСТАВЛЕННЯ ГОЛОВНИХ ЦЕНТРАЛЬНИХ І ГОЛОВНИХ МОМЕНТІВ ІНЕРЦІЇ СКЛАДНИХ ПЛОСКИХ ПЕРЕРІЗІВ АНАЛІТИЧНИМ І ГРАФІЧНИМ МЕТОДАМИ

*Глеба Д., учень 11 класу, центру позашкільної освіти, школа № 5, м. Лебедин  
Горовой Р., Калашнік С., учні 10 класу, школа № 2, м. Суми  
Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Спочатку розглядали знаходження центрів ваги простих фігур і прямокутників, їх площі. Далі проводили довільну систему прямокутних координат. Знаходили відстань центрів ваги простих фігур с. Визначали

центр ваги складового перерізу за формулою  $X_c = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$   $Y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$  та

центральні моменти інерції простих перерізів  $I_x = \frac{bh^3}{12}$ ,  $I_y = \frac{hb^3}{12}$  відносно

власних центральних осей. Надалі користуючись формулами переходу до паралельних осей

$I_{x_c} = I_{x_1} + a_1^2 A_1 + I_{x_2} + a_2^2 A_2 + \dots$   $I_{y_c} = I_{y_1} + b_1^2 A_1 + I_{y_2} + b_2^2 A_2 + \dots$  знаходимо

значення головних центральних моментів інерції складного перерізу. Далі визначили кут нахилу цих осей  $tg 2\alpha = \frac{I_{x_c} y_c}{I_{y_c} - I_{x_c}}$ . В цих формулах  $I_{x_c y_c}$  -

відцентровий момент інерції знаходження якого є обов'язковим.  $a_1 a_2 \dots b_1 b_2 \dots$

- відстань між центральними та головними центральними осями.  $A_1 A_2 \dots$  -

площі простих прямокутників. Визначення головних осей інерції

визначається за формулою  $I_u = 0,5 \left[ (I_{x_c} + I_{y_c}) \pm \sqrt{(I_{x_c} - I_{y_c})^2 + 4I_{x_c y_c}^2} \right]$

$I_v = 0,5 \left[ (I_{x_c} + I_{y_c}) \mp \sqrt{(I_{x_c} - I_{y_c})^2 + 4I_{x_c y_c}^2} \right]$

Далі розглядали зображення і визначення моментів інерції за допомогою графічної побудови. По-перше, пряма задача, по-друге, зворотна. Головні вимоги до використання, є певний масштаб величин  $I_{x_c}, I_{y_c}, I_u, I_v$ .

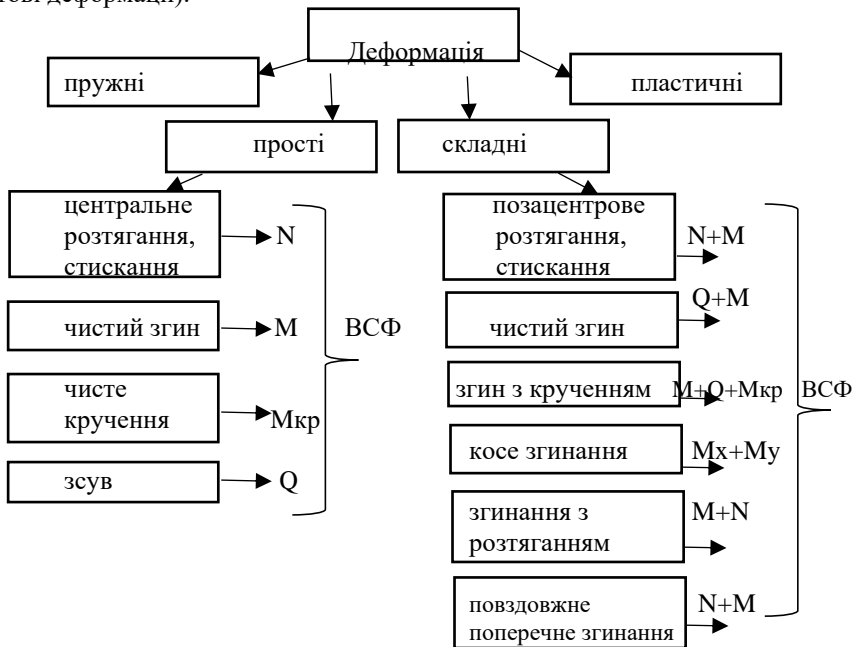
Проводили порівняння значень геометричних характеристик міцності. Знайдені двома способами, розглядаючи недоліки та переваги обох способів рішення. Таким чином можна зробити деякі висновки. Значення ГХМ збільшується та зменшується від форми складового перерізу, а не від площі при певних умовах. Окремо розглядати ГХМ плоских складових перерізів для стандартних поперечних перерізів: кутових рівнобоких та нерівнобоких, швелерних, двотаврових.

## ВИДИ ДЕФОРМАЦІЙ СТЕРЖНІВ З УРАХУВАННЯМ КОНСТРУКТИВНИХ ТА РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ ВИКОНАНИХ В АКСОНОМЕТРИЧНИХ ПРОЕКЦІЯХ

*Вільбой Д., учень 11 класу, центру позашкільної освіти, школа № 5,  
м. Лебедин; Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Запропонована наступна схема видів деформацій. При навантаженні тіла в ньому виникають додаткові внутрішні силові фактори, тобто сили взаємодії, що протидіють зовнішнім силам (ЗСФ). ВСФ можливо привести до двох головних векторів  $R, M$ , проекції яких на осі  $x, y, z$  дають  $Q_x, Q_y$  - поперечну силу,  $N$  - поздовжню силу,  $M_x, M_y$  - згинальний момент,  $M_{кр}$  - крутний момент.

У разі переміщення перерізів стержня виникають:  $\Delta l$  - абсолютне подовження,  $\Delta S$  - абсолютний зсув,  $\Delta \theta$  - абсолютний кут закручування. Поряд з цими  $\Delta l, \Delta S, \Delta \theta$  розглядали так звані відносні - подовження, зсув, закручування  $\frac{\Delta l}{l}; \frac{\Delta S}{S}, \frac{\Delta \theta}{\theta}$ . Описані види деформації і переміщення дають уявлення про зміну форми і розміри елемента. Адже характер можуть дати лише відносні  $\varepsilon_x, \varepsilon_y, \varepsilon_z$  та відносні  $\gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}$  (лінійні відносні та кутові деформації).





## ВИБІР РАЦІОНАЛЬНОЇ ФОРМИ ПЕРЕРІЗУ БАЛКИ ПРИ ДЕФОРМАЦІЇ ПОПЕРЕЧНОГО ЗГИНУ

*Древаль Є., учень 11 класу, центру позашкільної освіти, школа № 5,  
м. Лебедин; Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Для заданої статично визначеної балки будували епюри поперечних сил, згинаючих моментів з урахуванням «стрибків» теореми

$$q = \frac{dQ}{dz}, Q = \frac{dM}{dz} \text{ і таке інше. Виходячи з умови міцності } \sigma = \frac{M}{W} \leq [\sigma]$$

розглядали геометричну задачу, тобто  $W = \frac{M}{[\sigma]}$ , де  $W = \frac{a^3}{\sigma}$ . Далі визначали

потрібний момент опору балки і вибирали певний профіль поперечного перерізу та його розміри. Площа усіх перерізів, квадрата, прямокутника, тавра однакова. Згинальний момент вибирали у самому небезпечному перерізі, без урахування знаків -  $M_{\max}$ . Можна допустити, що в цьому перерізі матеріал балки перебував в найбільш напруженому стані, для якого і нормальні і дотичні напруження досягають найбільшого значення. Виконували розрахунок та побудову епюр  $\sigma, \tau$  за допомогою формул

$$\sigma = \frac{M_{\max}}{I} y, \tau = \frac{Q_{\max} S}{I b}, \text{ враховуючи відстань } (y) \text{ від центру ваги}$$

вибраних перерізів: квадрата, прямокутника, тавра до крайніх точок перерізів. Напрями напружень можна визначити за направленням внутрішніх зусиль  $Q$  та  $M$  з урахуванням знаків у вибраних перерізах. Слід пам'ятати, що крім форми перерізу балки, значення має і його орієнтування відносно силової площини дії  $Q$  та  $M$ , тому найбільш раціональним буде переріз, де нейтральна лінія збігається з віссю, відносно якої  $I_x = I_{\max}$  і нераціональної, де  $I_y = I_{\min}$ . Викладені висновки справедливі для будь-якої балки, яка зазнає плоского згинання. Схема балки (однопрольотна, багатопрольотна, консольна) та характер її навантаження ( $F, q, m$ ) впливають тільки на значення поперечної сили та згинального моменту.

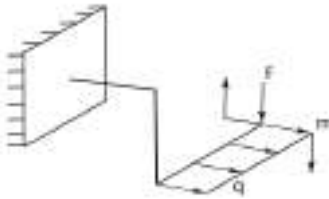
## МЕТОДИКА ПОБУДОВИ ЕПЮР ВНУТРІШНІХ СИЛОВИХ ФАКТОРІВ ДЛЯ ПРОСТОРОВИХ РАМ З УРАХУВАННЯМ РІЗНОМАНІТНИХ КОНСТРУКТИВНИХ СХЕМ

*Морозова Л., учениця 11 класу центру позашкільної освіти, школа № 5,*

*м. Лебедин*

*Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

З метою більшої наочності вибрані варіанти декількох аксонометричних проєкцій. Застосували принцип суперпозиції (принцип незалежності і додавання дії сил). Для даної розрахункової схеми в поперечних перерізах елементів діють чотири ВСФ– $N$  – повздовжня та  $Q$  поперечна сили.  $M$  – згинаючий та  $M_{кр}$  – крутний моменти. Всі епюри будували способом «характерних» точок, починаючи із вільної частки рами. Епюри згинаючих моментів будували на розтягнутих волокнах, це було необхідно для схематичного розташування окремих елементів: так званого «гнучкого» армування (плоскі та об'ємні металеві каркаси) і «жорсткого» армування (кутники, швелера). Бажано при розгляді повздовжньої осі стержня, одного із елементів просторової рами, суміщати вісь ( $x$ ) або ( $y$ ) ( $z$ ) з віссю стержня, що розглядали. Епюри  $N, M_{кр}$  можуть мати довільну орієнтацію. Поперечні сили ( $Q$ ) у перерізі знаходяться та будуються на підставі звичайних правил знаків, а епюри згинаючих моментів ( $M$ ) будують так, щоб її площина збігалася з площиною дії зовнішнього силового фактору, в даному випадку ( $M$ ). Використали перевірку вузлів рами, яка включала наступні рівняння: ( $\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum Z = 0, \sum M_x = 0, \sum M_y = 0, \sum M_z = 0$ ), тобто алгебраїчна сума всіх  $Q, N$  на вісь  $x, y, z$  та алгебраїчна сума моментів  $M, M_{кр}$  має дорівнювати нулю. Розглянуті варіанти конструктивних схем, наприклад із деревини (цільної та склеєної). Розрахунки на міцність та жорсткість не виконувались.



МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ВИКЛАДАННЯ ЗАКОНІВ  
Д. ДЖОУЛЯ, Е. ЛЕНЦА, Г. ОМА

*Ткаченко І., учень ІІ класу, центр позашкільної освіти, школа № 5,  
м. Лебедин  
Смірнов В.О., керівник, директор центру НТТУМ*

Висвітлені основні питання, що стосуються проаналізованих законів, а саме: зв'язок між величинами, що виражають закони, їх фізичний та математичний вираз, досліди, які підтверджують справедливість законів, а також врахування використання і їх межі.

Розглядали різноманітні типи задач: знаходження сили струму напруги, опору, теплоємності, часу. Ці задачі, як правило, розв'язують простими математичними методами, можливо з використанням експериментальних даних. Одиниці вимірювання величин:  $I, U, R, t, Q$  були представлені у різноманітних системах:  $(СИ)$  – інтернаціональної,  $(МКСА)$  – технічної,  $(СГС)$  – фізичної та їх співвідношення. Більш детально розглядали і аналізували висновки цих прикладів розрахунку.

При проведенні досліджень - мали на увазі історичні факти - особливу увагу приділяли принципу дії приладу, основним частинам та їх взаємодії, правилам користування і т.ін.

З фізичної точки зору розглядали правило Ленца, теплову дію струму, теплоємність, активний опір, падіння напруги, електростатичну силу та скалярну величини.

Наприкінці коротко розглянули бібліографічні дані цих вчених.

**СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ,  
КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА»**

## ВИТРАТНІ ТА СТАТИЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ АВТОМАТИЧНОГО РОЗВАНТАЖУВАЛЬНОГО ПРИСТРОЮ З УРАХУВАННЯМ ВИПАДКОВОЇ ЗМІНИ ЦИЛІНДРИЧНОГО ЗАЗОРУ ТА МІСЦЕВИХ ВТРАТ

*Яковчук В.В., студент, група КМ-71, Сovenко Н.В., доцент*

Найчастіше для розвантаження осьової сила, що діє на ротор відцентрового насоса, використовують автоматичні розвантажувальні пристрої. Такі пристрої мають важливу перевагу, а саме завдяки властивості саморегулювання параметрів вони можуть врівноважувати осьову силу на різних режимах роботи насоса. Крім розвантажувальної функції такі пристрої виконують роль ущільнення, знижуючи тиск рідини від тиску нагнітання до тиску на вході у насос.

Класична конструкція автоматичного розвантажувального пристрою складається з двох послідовних циліндричного та торцевого дроселів, що розділені розвантажувальною камерою. В процесі виготовлення та збірки насоса виникають деякі похибки, що визначають геометрію поверхні ущільнювачів - циліндричного та торцевого дроселів. Більш того ерозійний знос поверхонь змінюють провідність циліндричного дроселя. Ці геометричні параметри, що мають стохастичний характер, обумовлюють робочу характеристику автоматичного пристрою, як випадкову функцію низки параметрів.

Статичний розрахунок автоматичного розвантажувального пристрою зводиться до знаходження залежності величини торцевого зазору від врівноважуючої осьової сили, що діє на ротор з боку робочих колес. При цьому основною метою такого розрахунку є підбір геометрії циліндричного та торцевого дроселів за умови, щоб в заданому діапазоні осьової сили торцевий зазор і витрата рідини не виходили за допустимі межі.

У роботі представлена методика розрахунку статичних та витратних характеристик автоматичного врівноважуючого пристрою з урахуванням ймовірнісної природи геометричних характеристик дроселюючих каналів. А саме - з урахуванням впливу випадкового характеру місцевих гідравлічних опорів і параметра конусності торцевої щілини, а також випадкової зміни середнього циліндричного зазору під час роботи насоса, обумовленого насамперед корозією. Проведено аналіз впливу кожного з розглянутих випадкових факторів. На підставі отриманих силових та витратних ймовірносних характеристик, представлені рекомендації по впливу випадкових параметрів на ці величини, та необхідності їх урахування під час статичного розрахунку автоматичного врівноважуючого пристрою.

## ВЛАСТИВОСТІ НАПРУЖЕНЬ В РУХОМІЙ РІДИНІ

*Мищенко С.О., зав. навч. лаб., Калініченко П.М., доцент*

Дослідження напруженого стану в рідині, що рухається проводилися в рамках моделі ідеальної рідини на базі отриманих авторами рівнянь руху рідини, що включають в себе перенесення маси за напрямками. Для виділеного в рідині елементарного паралелепіпеда, слідуючи основному закону динаміки, його рівняння руху запишуться у вигляді

$$\delta m \vec{F} + d\vec{P}_x \Delta S_x + d\vec{P}_y \Delta S_y + d\vec{P}_z \Delta S_z = \delta m \vec{a} \quad (1)$$

Представляємо

$$\begin{aligned} \delta m \vec{a} = \delta m (\vec{a}_v + \vec{a}_m) = & \left[ \delta m \frac{d\vec{V}(\vec{r}, t)}{dt} \right] + \left[ \frac{d(\delta m)}{dt} \right] V_x \cdot \vec{i} + \\ & + \left[ \frac{d(\delta m)}{dt} \right] V_y \vec{j} + \left[ \frac{d(\delta m)}{dt} \right] V_z \vec{k} \end{aligned} \quad (2)$$

Проекція рівняння (1) з урахуванням (2) на вісь  $x$  матиме вигляд

$$x: \delta m F_x + dP_x \Delta S_x = \delta m \frac{dV_x(x, t)}{dt} + \left[ \frac{d(\delta m)}{dt} \right]_x V_x$$

Так як  $\lim_{\Delta S_x \rightarrow 0} \frac{\delta m}{\Delta S_x} = 0$ ;  $\frac{1}{\Delta S_x} \left[ \frac{d(\delta m)}{dt} \right]_x V_x = d \frac{\rho V_x^2}{2}$ ,

то  $dP_x = d \frac{\rho V_x^2}{2} \Rightarrow P_x = \frac{\rho V_x^2}{2} + C$ . Із  $P_x|_{V_x=0} = P_x^{CT}$

Маємо:  $P_x = P_x^{CT} + \frac{\rho V_x^2}{2} \quad (3)$

Тут  $P_x$  - повне напруження;  $P_x^{CT}$  - статичне напруження. Дотримуючись класичної гідромеханіки для рідини, що знаходиться в стані спокою  $P_x^{CT} = P_y^{CT} = P_z^{CT} = P_n = -P$  статичні напруження в точці не залежать від розташування площадки. Проводячи аналогічні викладки для двох інших осей матимемо

$$P_{ii} = P_{ii}^{CT} + P_{ii}^{дин}, \quad (4)$$

де  $P_{ii}^{дин} = \frac{\rho V_i^2}{2}$  динамічне напруження.

Таким чином, повні напруження в точці ідеальної, а отже і реальної рідини, що рухається, залежать від розташування площадки. Це і складає основну властивість напружень в рухомій рідині.

## ВПЛИВ ОБ'ЄМУ ТА ГЕОМЕТРІЇ КАМЕР БАГАТОШПАРИННИХ УЩІЛЬНЕНЬ НА ВІБРАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

*Слинько Д.Ю., студент група КМм-91, Позовний О.О., аспірант*

В насосах високого тиску та відносно малою подачею об'ємні витоки суттєво впливають на загальний К.К.Д., тому являється більш доцільним зменшення цих витоків з застосуванням більш складних конструкцій ущільнень. Багатошпаринні ущільнення з декількома шпаринами розташованими на різних діаметрах один над другим, дозволяють значно зменшити витоки зберігаючи габарити по довжині. Проте такі ущільнення мають властивість викликати автоколивання ротора, оскільки виникаючі в них гідростатичні радіальні сили при деяких умовах направлені в сторону збільшення ексцентриситету.

Теоретичний аналіз показав, що в таких ущільненнях вирішальний вплив на напрямок радіальної сили визначає геометрія торцевих камер А (рис. 1). Якщо торцеві камери достатньо великі та тиск в них вирівнюється по колу, то кожна кільцева шпарина буде працювати як незалежно розміщене по відношенню до других дроселів шпаринне ущільнення. В кожному ущільненні виникає центруюча гідростатична сила, а результуюча представляє собою їх суму.

З метою визначення впливу камер на кожен з шпарин було проведено числовий експеримент при різних конструкціях та об'ємах камер. Були отримані розподілу тиску, сили, витоки та проаналізовані лінії токів, що дозволяє по новому розглядати вплив ущільнень на динаміку ротора.

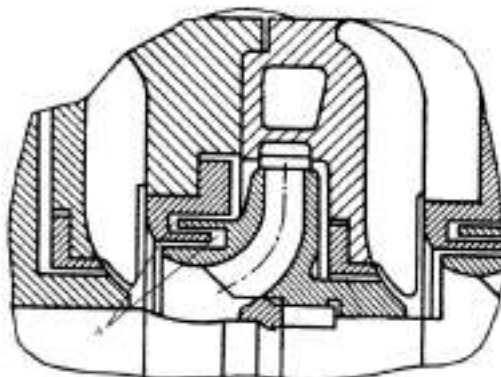


Рисунок 1 – Проміжна ступінь відцентрового насоса: А – торцеві камери трьохшпаринного ущільнення

## ЧИСЛОВИЙ АНАЛІЗ ВИТРАТНИХ І РОТОРОДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛАБІРИНТНО-ЛУНКОВИХ УЩІЛЬНЕНЬ

*Ізменко В.В., студент група КМ-71, Загорулько А.В., зав. кафедри, доцент*

Зменшення витоків та підвищення ротородинамічних демпфуючих характеристик шпаринних ущільнень є важливою задачею ущільнювальної техніки. Цілий ряд демпферних ущільнень використовується для герметизації валів відцентрових компресорів, такі як: стільникові, з сіткою отворів, кишенькові та лункові ущільнення. Для зменшення собівартості та часу виготовлення все більше використовуються лункові ущільнення. У даній роботі представлені результати розрахунку ротородинамічних та витратних характеристик лункових ущільнень в залежності від робочих параметрів та геометрії ущільнення за допомогою методів обчислювальної гідродинаміки (ОГД) та планування експерименту (ПЕ). ОГД метод використовувався для розрахунку гідродинамічних та ротородинамічних характеристик ущільнення з прецесією валу. Ротородинамічні коефіцієнти були отримані за допомогою методу збурень. Метод ПЕ використовувався для аналізу впливу глибини та ширини лунки, осової відстані між лунками та кількості лунок в окружному напрямку на герметичність та ротородинамічну ефективність лункового ущільнення. Такий комплексний підхід до розрахунку з використанням обчислювальних методів дозволить покращити існуючі конструкції лункових ущільнень.

Досліджено фізику течії та механізм втрат на тертя в термінах тангенціальних коефіцієнтів тертя стінки та їх вплив на динамічні характеристики та витоків в лунковому ущільненні. Також вивчено вплив геометрії ущільнення на втрати на тертя та значення падіння тиску по довжині ущільнення. Наведено порівняння розрахункових характеристик лункового ущільнення з експериментальними даними, які доступні в літературі, для шпаринного, лабіринтного та демпферних ущільнень. Це дослідження підтвердило досить високі динамічні характеристики лункових ущільнень, а також їх частотні залежності. Аналіз результатів показав, що серповидні лунки створюють перешкоди для окружного потоку робочого середовища. Зниження окружної витрати газу збільшує гідравлічний опір лунок, і в той же час зменшує циркуляційні сили, що створюють прецесійний рух валу, який викликає вібрацію.

Крім того, виконано розрахунок високоефективної гібридної конструкції лабіринтно-лункового ущільнення зі зниженою величиною витоків та підвищеними ротородинамічними характеристиками, що дозволяє зробити висновок про доцільність використання ступінчастих та гібридних конструкцій лункових ущільнень, які дозволяють знизити величину витоків ущільнювального середовища при досить високих динамічних характеристиках.



## ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДАМИ ОБЧИСЛЮВАЛЬНОЇ ГІДРОДИНАМІКИ РІДИННИХ ДИНАМІЧНИХ СИЛ, ЯКІ ДІЮТЬ НА ОБОЙМУ КРІОГЕННОГО КУЛЬОВОГО ПІДШИПНИКА КОЧЕННЯ ПРИ ГІДРОДИНАМІЧНОМУ РЕЖИМІ ЗМАЩЕННЯ

*Яковчук В.В., студентка, група КМ-71, Міщенко С.О., зав. навч. лаб.  
Загорулько А.В., зав. кафедри, доцент*

Моделювання кульового підшипника за допомогою методів обчислювальної гідродинаміки розглядає турбулентний потік рідини кріогенного середовища (гомогенна бінарна рідинно-парова суміш азоту) у обертальній області з прецесійним рухом обойми та кульками, що обертаються при різній швидкості обертання. Граничні умови: швидкість обертання, масова витрата на вході, температура, тиск, та осереднена прецесійна траєкторія обойми взяті з існуючого експерименту. Дослідження було зосереджене на аналізі динамічних сил рідини, що діють між обертовими кульками та прецесуючою обоймою (сепаратором), а також між прецесуючою обоймою та обертовим внутрішнім та нерухомим зовнішнім кільцями кульового підшипника з кріогенним змащенням. Проведено порівняння результатів моделювання та експериментів для моменту тертя при різних швидкостях обертання в умовах гідродинамічного змащення. Тепловий аналіз проводився з адіабатними стінками і не враховував теплопередачу між рідиною і твердими тілами. Отримано поле течії рідини, розподіли тиску, температури та масової частки рідкого азоту, що дозволяє краще зрозуміти природу гідродинамічного змащення кріогенним середовищем.

З картини розподілу масової частки рідкого азоту видно, що у розглянутій області течії співвідношення рідини та пари в рівних пропорціях і становить близько 50 відсотків. Зі збільшенням швидкості обертання частка рідини дещо зменшується. Максимальні значення рідкої фракції знаходяться в областях зазорів на передній стороні кульок, а також на зовнішній та внутрішній стінках доріжок у напрямку обертання підшипника. Між несучими частинами: кульками, обоймою і доріжками утворюються вихрові зони. Вихрові зони з мінімальною швидкістю потоку утворюються за задньою поверхнею кульок завдяки сповільненню потоку рідини. Зі збільшенням швидкості обертання збільшується і максимальна швидкість потоку. При цьому максимальний тиск виникає в зоні де зазор звужується у напрямку обертання кульки між кульками та нерухомою стінкою зовнішнього кільця. Відповідно до розподілу тиску, можна сказати, що радіальна сила на обойму від стінки зовнішнього кільця більша, ніж від стінки внутрішнього кільця. Картина розподілу температури подібна до розподілу тиску. Більш висока температура знаходиться у зазорі, що звужується. Зі збільшенням швидкості обертання зростає перепад тиску та температури.

# РОЗРАХУНКОВИЙ АНАЛІЗ ХАРАКТЕРИСТИК ТУРБИНИ РАДІАЛЬНОГО ПОТОКУ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВЕЛИЧИНИ ЗАЗОРУ ТА ТИПУ УЩІЛЬНЕННЯ МІЖ КРОМКОЮ ЛОПАТКИ І СТІНКАМИ РОТОРА ТА СТАТОРА

*Шовкопляс М.О., студент, група КМ-71,  
Загорулько А.В., зав. кафедри, доцент*

3D моделювання течії у триступеневій радіальній турбіні з зазорами між кромкою лопатки і стінками ротора та статора виконувалось за допомогою ANSYS CFX вирішувача методами обчислювальної гідродинаміки. Методом скінченних об'ємів з високороздільною центральною різницевою схемою другого порядку для дискретизації потоку розв'язувалися стаціонарні тривимірні рівняння в'язкої течії Нав'є-Стокса осередненні за Рейнольдсом, які замикалися стандартною  $k-\epsilon$  моделлю турбулентності з масштабованою функцією стінки. Визначалась модель повної енергії для теплопередачі в потоці з адіабатними стінками без ковзання. 3D-модель геометрії трьох ступенів лопаток статора і ротора турбіни створювалася за допомогою програми AxStream та передавалась до модуля Blade Modeler програми Ansys Workbench для створення криволінійних профілів лопаток, основного та покривного дисків. Обчислювальні структуровані гекса сітки ступенів лопаток турбіни створювалися за допомогою сіткового генератора Ansys TurboGrid. Для трьох різних сіток перевірялась сіткова незалежність. Значення зазору між кромкою лопатки і стінками ротора та статора знаходилися у діапазоні 0,1-0,5 мм. Безрозмірний параметр  $y^+$  пограничного шару для всіх сіток становив від 10 до 120. У якості граничних умов на вході були задані повний тиск, який дорівнював 0,7 МПа та повна температура, яка дорівнювала 433.13 К, масовий потік у межах від 0,208 до 0,5 кг/с був заданий на виході. Між роторами і статорами ступенів турбіни був заданий «заморожений» ротор/статор інтерфейс. Критерій збіжності розрахунку дорівнював  $10^{-5}$  за усіма нев'язками. У дослідженні в якості робочої рідини використовувався ідеальний газ для повітря та реальна рідина для сухої пари (бібліотека ANSYS CFX IAPWS EOS IF97 для термодинамічних властивостей пари).

В роботі виконано серію обчислювальних експериментів для визначення повного ізотропного к.к.д. розширення і потужності турбіни при різних масових витратах та зі збільшенням швидкості обертання від 6000 до 30000 об/хв. Це дозволило отримати робочу зону характеристик турбіни. Також проведено ряд обчислювальних експериментів по визначенню характеристик турбіни зі стільниковими та лабіринтними ущільненнями різної глибини, які розташовані на поверхні стінки ротора та статора. Незважаючи на те, що використання стільникових ущільнень призводить до зменшення витоків в зазорах між кромкою лопатки і стінками ротора та статора, але завдяки вихровим витратам та витратам на тертя в комірках ущільнень потужність та к.к.д. всієї турбіни дещо знижуються.

# ТЕРМОГІДРОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ УПОРНОГО КОЛОДКОВОГО ПІДШИПНИКА КОВЗАННЯ З ОХОЛОДЖЕННЯМ МАСЛЯНОЇ ПЛІВКИ

*Кайота Д.О., аспірант, Шерстюк В.І., студент, група КМ-71,  
Загорулько А.В., зав. кафедри, доцент*

Упорні підшипники є важливими компонентами сучасних турбомашин і використовуються для врівноваження осьових навантажень валів, що обертаються. Аналіз наявних наукових досліджень показав, що існує можливість підвищення несучої здатності упорних підшипників ковзання з колодками, що самоустановлюються, за рахунок покращення їх теплового стану.

У роботі розглянуті результати числового аналізу з використанням програми Ansys CFX оригінальних технічних рішень, які дозволяють збільшити несучу здатність та зменшити витрати мастила при збереженні основних розмірів упорного підшипника ковзання. Виконано перевірку результатів моделювання для традиційної конструкції упорного підшипника ковзання з наявними експериментальними даними. Досліджено механізм змащування та тепловий стан. Проаналізовано вплив масляних скребків та охолодження термонавантаженої зони на тепловий стан упорного підшипника ковзання. В результаті були отримані поля тиску та температури в масляній плівці. Максимальну температуру, крутний момент тертя та товщину плівки в залежності від швидкості обертання при постійних осьових навантаженнях для восьми колодкового упорного підшипника визначали за допомогою методів планування експерименту.

Дослідження конструкції упорного підшипника ковзання зі скребками і охолодженням термонавантаженої зони колодки показало, що завдяки скребкам частина гарячого масляного шару відводиться з вихідної кромки колодки та не потрапляє на вхідну кромку наступної колодки (рис. 1), що дозволило 2,25 рази збільшити несучу здатність досліджуваного підшипника при подібній максимальній температурі (різниця 8 0С, 9 %) та моменті тертя (різниця 1,6 Нм, 27 %) в порівнянні з традиційною конструкцією підшипника при однакових геометричних розмірах.

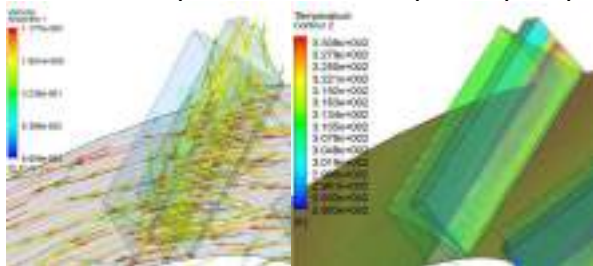


Рисунок 1 – Лінії току і розподіл температури на скребку

ЧИСЛОВІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РЕГУЛЯТОРА  
ПЕРЕПАДУ ТИСКУ СИСТЕМИ СУХИХ ГАЗОВИХ УЩІЛЬНЕНЬ:  
КОНТРОЛЬ ПЕРЕПАДУ ТИСКУ ТА ДИНАМІЧНИХ ВІБРАЦІЙ

*Афанасьев С.В., студент, група КМ-71,  
Загорулько А.В., зав. кафедри, доцент*

У розглянутих в обзорі літератури роботах запропоновані лінійні та нелінійні моделі розрахунку для аналізу динамічної стійкості різних конструкцій регулятора. Але ці конструкції мають деякі відмінності порівняно з конструкцією регулятора перепаду тиску (РПТ) для системи сухих газових ущільнень (СГУ), також вищезазначені розрахункові моделі є досить складними та спосіб розв'язання рівнянь вимагає використання числових методів. Тому на основі комплексних числових та експериментальних досліджень необхідно розробити нескладний аналітичний метод розрахунку характеристик газового РПТ прямої дії для системи СГУ, що дозволить відстроїтись від можливого режиму динамічної нестабільності та забезпечити підтримання необхідного перепаду тиску у всьому діапазоні роботи компресора. З досвіду попередніх досліджень відомо, що в першу чергу необхідно вдосконалювати динамічні характеристики нових модернізованих конструкцій РПТ, застосовуючи в газових регуляторах демпферні камери з ламінарними дроселями потоку, що фактично підвищить динамічну стійкість і придушить створення можливого режиму самозбуджених вібрацій.

В даному дослідженні було проведено числовий аналіз за допомогою методів обчислювальної гідродинаміки проточної частини РПТ для визначення вихрових і нестационарних зон та зон падіння тиску, обчислення об'ємної витрати, а також з використанням технології деформованої обчислювальної сітки розв'язати задачу динаміки рухомої частини РПТ. Експериментальна перевірка односідельних та двосідельних конструкцій РПТ була задовільно узгоджена з числовими результатами розрахунку. Так було отримано, що при перепаді тиску на золотнику більше 2,4 МПа при постійних зовнішніх діях може статися втрата стійкості рухомої частини РПТ. Демпфуюча камера з ламінарним дроселем потоку при відповідному виборі його геометрії забезпечує необхідне зниження вібраційного процесу. Провідність живильного каналу на вході суттєво впливає на статичні характеристики РПТ. За умови значного опору вхідного дроселя забезпечується досить вузький діапазон змінення перепаду тиску через золотник. У результаті, на основі розв'язання рівнянь балансу масових витрат та сил, що діють на золотник, одномасової динамічної моделі рухомої частини та балансу масової витрати у верхній і нижній камерах створено аналітичний метод аналізу статичних та динамічних характеристик регулятора.

## СТАТИЧНИЙ ТА ДИНАМІЧНИЙ РОЗРАХУНОК ЗАПІРНОГО ІМПУЛЬСНОГО УЩІЛЬНЕННЯ З РЕГУЛЯТОРОМ ПЕРЕПАДУ ТИСКУ

*Лісовенко Д.В., провідний фахівець, Олійник Є.О., студент, група КМ-71,  
Загорулько А.В., зав. кафедри, доцент*

Двоступеневі безконтактні торцеві ущільнення на газовому і рідинному змащенні останнім часом набувають все більшого застосування в хімічних насосах і компресорах. Найбільш перспективними серед них є конструкції ущільнень з радіальним розташуванням ступенів, які виконані на одній загальній парі тертя, оскільки це значно спрощує конструкцію ущільнювального вузла. Основний функцією двоступневих безконтактних торцевих ущільнень є створення гарантованого запірання перекачуваної агресивної, токсичної, вибухопожежонебезпечної рідини та газу і підтримання гарантованого зазору в парі тертя при допустимому рівні витоків у всьому робочому діапазоні параметрів.

У таких конструкціях запірних торцевих імпульсних ущільнень зазор в торцевій парі створюється регульованим тиском запірного середовища, що подається від зовнішнього джерела. Постійна різниця між запірним і ущільнювальним тиском може підтримуватися спеціальним регулятором перепаду тиску. Використання запірних імпульсних ущільнень з регулятором перепаду тиску потребує створення надійної методики розрахунку статичних та динамічних характеристик ущільнювального вузла. Тим більше, що запірне імпульсне торцеве ущільнення має подібну герметичність з конструкціями газодинамічних ущільнень, але за рахунок зведеної конструкції, відпадає необхідність застосування проміжного лабіринтного ущільнення, що дозволить суттєво збільшити к.к.д. відцентрового насоса і компресора.

Статичний розрахунок ущільнювального вузла показав, що використання регулятора перепаду тиску спільно з запірним імпульсним ущільненням з внутрішніми живильниками забезпечує стабільну роботу цього ущільнення, тобто величина торцевого зазору мало змінюється при змінненні тиску запірного середовища. Амплітудні частотні характеристики запірного імпульсного ущільнення з регулятором перепаду тисків показують, що небезпечних областей частот не виявлено, амплітуди коливань кільця не виходять за допустимі межі.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШПАРИННИХ УЩІЛЬНЕНЬ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ ЗА РАХУНОК ВИКОРИСТАННЯ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Гудкова О.В., аспірантка*

Експлуатаційні характеристики відцентрових насосів у значній мірі визначаються ефективністю шпаринних ущільнень їх проточних частин. Зі зростанням робочих параметрів відцентрових насосів, зокрема їх частоти обертання, підвищуються вимоги до шпаринних ущільнень, оскільки від них залежать не тільки об'єми витоків, а значить і ККД насоса, але й вібраційний стан насоса. Це обумовлено наявністю в ущільнень жорсткісних і демпфуючих властивостей, які визначаються параметрами утворюваних ними циліндричних дроселюючих каналів, і в першу чергу - величиною їх радіального зазору.

Зменшення зазору в шпаринних ущільненнях можливе за рахунок виготовлення елементів їх конструкції зі зносостійких композиційних матеріалів. Використання композиційних матеріалів дозволяє підвищити експлуатаційні характеристики шпаринних ущільнень при значних температурних навантаженнях, крім того, вони мають менший знос поверхонь тертя за умови відсутності ущільнювального середовища.

Проте, зазначені переваги до теперішнього часу залишаються нереалізованими через ряд невирішених задач проектування і технології намотування армуючих шарів композитних матеріалів. До таких задач можна віднести створення надійної методики розрахунку оболонок шаруватої структури і змінної товщини в меридіональному напрямку з наявністю міжшарових дефектів структури матеріалу.

На основі методу скінченних елементів в роботі досліджено термопружний напружений стан композитної оболонки під дією зовнішнього тиску та температурних навантажень. Зокрема, у роботі розглянуто шпаринне ущільнення робочого колеса відцентрового насоса, виготовлене з композитного матеріалу. На основі модифікованого критерію міцності, який включає трансверсальні напруження і враховує вплив ослабленого міжфазного контакту шарів, досліджені питання конструкційної міцності оболонки шаруватої структури та змінної товщини в меридіональному напрямі.

## ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ КЕПСТРАЛЬНОГО АНАЛІЗУ НА ОСНОВІ ЙОГО РЕАЛІЗАЦІЇ В СЕРЕДОВИЩІ ВІЗУАЛЬНОГО ПРОГРАМУВАННЯ LABVIEW

*Пестун М.О., студент, гр. КМ.м -91; Савченко Є.М., доцент*

У технічному обслуговуванні роторних машин вібраційний моніторинг і діагностика займають особливе місце в силу своїх можливостей виявлення змін стану задовго до настання аварійної ситуації. Ця обставина і визначила широке поширення контролю за працездатним станом обладнання за вібраційними параметрами і методів вібраційної діагностики для машин різного класу. На даний момент існує велика різноманітність підходів і методів аналізу вібраційного стану машини, але на практиці не можна виокремити будь-який універсальний спосіб, що дозволяє по сигналу точно визначити стан механізму. Тому існує тенденція до пошуку і впровадження все нових і більш ефективних способів дослідження вібрації.

Традиційним для вібродіагностики є спектральний аналіз - метод обробки сигналів, що дозволяє виявити частотний склад сигналу. На практиці, отриманий спектр для сигналу може бути складним і малоінформативним і явно неможливо виділити періодичності, пов'язані з певного роду дефектом в механізмі, тому, для розшифровки спектру пробують отримати кепстр сигналу («спектр логарифма спектру»). В цілому, кепстр сигналу - це швидке перетворення Фур'є від логарифму спектра сигналу.

Метою даної роботи є дослідження можливостей кепстрального аналізу на основі його реалізації в середовищі візуального програмування LabVIEW. Для її досягнення в роботі проведено огляд сучасних методів діагностування вібраційного стану роторних машин. Кепстральний аналіз, як найменш вивчений і нестандартний, був обраний для подальшої перевірки. Вивчено основні можливості середовища візуального програмування LabVIEW для аналізу і обробки вібросигналів.

У лабораторних умовах отримано інформацію для аналізу у вигляді вібросигналів з підшипників кочення, що мають різні види дефектів. На основі середовища візуального програмування LabVIEW була складена програма для кепстрального аналізу сигналів і проведена обробка отриманої експериментальним шляхом інформації.

Отримані результати носять неоднозначний характер: з одного боку кепстр сигналу підтверджує інформацію спектрального аналізу, але з іншого - відображає додаткову інформацію, інтерпретація якої є складним і неоднозначним процесом.

# ВИКОРИСТАННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ LABVIEW ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНІЧНИХ СИСТЕМ

*Логоша В.В., студент, гр. КМ.м -91; Савченко Є.М., доцент*

LabVIEW - це середовище графічного програмування, яке використовують технічні фахівці, інженери, викладачі та вчені по всьому світу для швидкого створення комплексних програм в задачах вимірювання, тестування, управління, автоматизації наукового експерименту. В основі LabVIEW лежить концепція графічного програмування - послідовне з'єднання функціональних блоків на блок-діаграмі. LabVIEW містить великий список стандартних інструментів та готових рішень. До того ж, існують відповідні доповнення і модулі, які значно розширюють можливості середовища LabVIEW для обробки та аналізу сигналів. Поряд зі стандартними інструментами LabVIEW має додаткові модулі, які значною мірою розширюють можливості обробки та аналізу даних. Програма, написана в середовищі LabVIEW, називається віртуальним приладом (ВП). «Віртуальним» - тому, що її складові існують тільки в програмному коді і на екрані монітора. «Приладом» - тому, що користувач взаємодіє з нею, як з панеллю приладів, «намальованою» на екрані. Дані, з якими працює ВП є реальними, це не симуляція.

LabVIEW містить повний набір інструментів для збору, аналізу, представлення і збереження даних. LabVIEW є ідеальним програмним засобом для створення систем вимірювання, а також систем автоматизації управління на основі технології віртуальних приладів. LabVIEW-програма в комплексі з такими апаратними засобами, як багатоканальні вимірювальні аналого-цифрові перетворювачі, а також вимірювальні прилади, що підключаються до комп'ютера через стандартні інтерфейси, дозволяє розробляти системи вимірювання, контролю, діагностики та управління практично будь-якої складності. LabVIEW незамінний для організації та проведення модельного експерименту, відмінність якого від реального полягає в тому, що в модельному експерименті можуть бути реалізовані будь-які ситуації, в тому числі «неможливі» та аварійні, що в силу різних причин буває неприпустимо при роботі з реальними об'єктами.

Мета даної роботи: створення у програмному комплексі LabVIEW, як середовищі візуального програмування, віртуального приладу для дослідження частотних характеристик реальних механічних систем. Для досягнення вказаної мети в роботі розглянуто можливості середовища візуального програмування LabVIEW для моделювання реальних механічних систем і дослідження їх характеристик, розглянуто приклади побудови віртуальних приладів у програмному комплексі LabVIEW та створено за його допомогою віртуальний прилад для моделювання та дослідження частотних характеристик реальних механічних систем.



## ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВІБРАЦІЙНОЇ НАДІЙНОСТІ ВІДЦЕНТРОВИХ МАШИН ЗА РАХУНОК УТОЧНЕННЯ ПАРАМЕТРІВ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІЛЬНИХ КОЛИВАНЬ РОТОРА

*Вербовий А. Є., аспірант; Серік М. Л., студент; Вашист Б. В., аспірант;  
Павленко І. В., доцент каф. ЗМ і ДМ; Симоновській В. І., професор  
каф. ЗМ і ДМ, Сумський державний університет, Україна;  
Неамцу К., доцент, Технічний університет м. Клуж-Напоки, Румунія*

У галузевому машинобудуванні має місце стійка тенденція до постійного зростання виробничих потужностей. Для збільшення робочих характеристик насосних агрегатів існує декілька способів, найбільш уживаним з яких є збільшення робочої частоти обертання ротора [1]. Разом з тим ротор є джерелом вібрацій, підвищений рівень яких призводить до зношування основних вузлів, і як наслідок, – до несправностей і аварій. На виробництві ця проблема вирішується шляхом проведення процедури балансування ротора на розгінно-балансувальному стенді.

На практиці одного тендового балансування, як правило, недостатньо, оскільки після встановлення ротора в корпус на його динаміку крім системи залишкових дисбалансів також впливають конструкційні особливості, зокрема податливість кріплень насосного агрегата до установочної платформи.

З огляду на вищезазначене, метою роботи є створення математичної моделі динаміки ротора як елемента системи «агрегат – платформа», що враховує податливість кріплень корпусу насоса до фундаменту або вібраційної платформи. Для досягнення цієї мети необхідно вирішити такі завдання:

1) створення скінченноелементної моделі динаміки системи «ротор – корпус – опори» (рисунок 1);

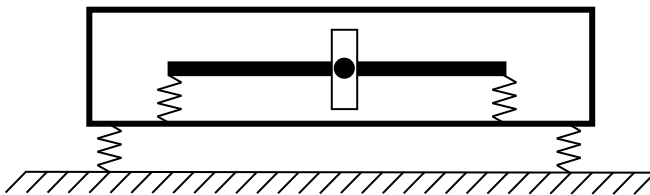


Рисунок 1 – Розрахункова схема з шістьма скінченними елементами

2) визначення локальних і глобальних матриць жорсткості  $[K]$  та інерції  $[M]$ ;

3) вирішення узагальненої проблеми власних значень (критичних частот  $\omega$ ):

$$\det([K] - \omega^2[M]) = 0; \quad (1)$$

4) визначення критичних частот ротора із застосуванням робочого файлу «Critical frequencies of the rotor» [2] системи комп'ютерної алгебри MathCAD без урахування податливості опор кріплення;

5) порівняння отриманих результатів і визначення впливу податливості кріплення системи «агрегат – платформа» на власні частоти ротора;

6) визначення ступеня достовірності створеної математичної моделі шляхом порівняння з результатами розрахунків із застосуванням багатоцільового програмного комплексу ANSYS [3].

У результаті роботи створено скінченноелементну математичну модель власних коливань системи «агрегат – платформа». У результаті визначено власні частоти вільних коливань ротора.

Слід зазначити, що для забезпечення вібраційної надійності насосних агрегатів завдання створення достовірної математичної моделі має більше переваг, ніж використання програмного комплексу ANSYS із наступних причин. По-перше, сумарна відносна похибка результатів обчислень не перевищує 10 %. По-друге, істотно скорочується витрачений час на підготовку до розрахунків, зокрема на введення вхідних даних; також суттєво скорочується машинний час. По-третє, розрахунок із реалізацією запропонованої моделі не вимагає значних обчислювальних потужностей.

#### Список літератури:

1. Яценко А. С. Підвищення вібронадійності відцентрових насосів АЕС на основі створення достовірних математичних моделей динамічної системи ротор-корпус : дис. ... канд. техн. наук: 05.02.09 – динаміка та міцність машин / А. С. Яценко; наук. кер. В. І. Симоновський. Суми : АТ «ВНДІАЕН», 2018. 152 с.

2. Комп'ютерна програма “Critical frequencies of the rotor” : а. с. № 59855, Україна / І. В. Павленко, В. І. Симоновський. Дата реєстрації 27.05.2015.

3. Леонтьев Н. В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006. 101 с.

# ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ВЗАЄМОДІЇ ГАЗОРІДИННОГО ПОТОКУ З ДЕФОРМІВНИМИ ЕЛЕМЕНТАМИ МОДУЛЬНОГО СЕПАРАЦІЙНОГО ПРИСТРОЮ ЗА ДОПОМОГОЮ РІВ

*Дем'яненко М. М., аспірантка, каф. ЗМ та ДМ, СумДУ, Україна;  
Старинський О. Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ; Янович В. П., н. с.,  
каф. енергетичних систем, Західночеський університет, м. Пльзень, Чехія;  
Павленко І. В., доцент, каф. ЗМ та ДМ, СумДУ, Україна;  
Ляпощенко О. О., професор, каф. ПОХНВ, СумДУ, Україна*

Попутний нафтовий газ є сировиною для багатьох підприємств хімічної, нафтової та газопереробної промисловості. Проте на стадії первинної підготовки його потрібно очищувати від домішок, зокрема крапельної рідини. Одним із способів очищення є динамічна сепарація, під час якої дрібнодисперсні частки під впливом сил інерції коагулюють і осаджуються на робочі поверхні сепараційних пристроїв. При цьому аеропружна взаємодія функціональних елементів, виготовлених із пластику, з газокраплинним потоком призводить до появи флатеру. Ураховуючи особливості роботи цих сепараційних пристроїв, необхідно розв'язувати задачу аеропружності, математична модель якої достатньо складно піддається аналітичному розв'язанню. Тому було запропоновано застосування методів ідентифікації параметрів моделі за даними числових і фізичних експериментів.

Експериментальні дослідження проводились на експериментально-дослідному стенді Західночеського технічного університету. Стенд призначений для визначення гідродинамічних характеристик (векторного поля швидкості, турбулентної кінетичної енергії тощо) газодисперсних потоків. Принципова схема стенда подана на рисунку 1.

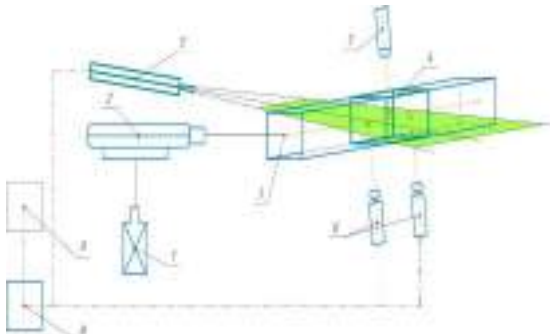


Рисунок 1 – Схема експериментального стенда:

- 1 – туманогенератор; 2 – газодувка; 3 – тестова секція; 4 – сепараційний пристрій; 5 – РІВ; 6 – високошвидкісні камери; 7 – стробоскоп;
- 8 – блок управління; 9 – ПК

Particle Image Velocimetry (PIV) працює у такий спосіб. Вектори швидкості виводяться з підсекцій цільової області потоку, насиченого дрібнодисперсними частинками, шляхом вимірювання руху останніх між двома світловими імпульсами. Потік підсвічується в цільовій області світлим листом; об'єктив камери відображає область цілі на матриці датчиків цифрової камери; камера здатна захоплювати кожен імпульс світла в окремих кадрах. Як тільки послідовність із двох світлових імпульсів записана, зображення діляться на підрозділи – області запиту. Останні попіксельно корелюються для кожного кадру. Ця кореляція створює пік сигналу, що визначає переміщення частинок. Вимірювання значення швидкості досягається за допомогою субпіксельної інтерполяції. Карта векторів швидкості у цільовій області створюється шляхом повторення взаємної кореляції для кожної області запиту за двома кадрами зображення, знятих камерою.

У результаті проведених експериментальних досліджень визначено частоту коливань відбійних елементів модульного сепараційного пристрою. Встановлено, що при швидкості газорідного потоку 6 м/с частота коливань пластин (флатеру) становить 19 Гц. На рисунку 2 подані поля швидкості, підфарбовані за турбулентною кінетичною енергією, у різні моменти часу.

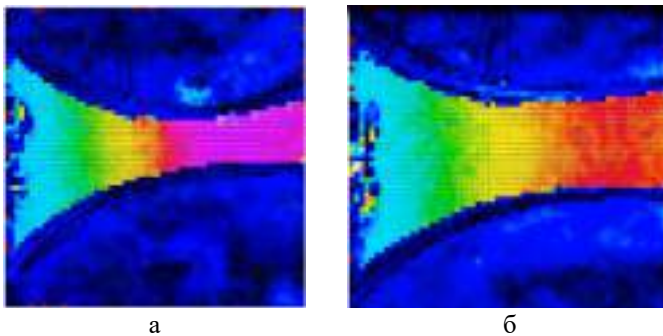


Рисунок 2 – Поля векторів швидкості, підфарбовані за турбулентною кінетичною енергією, у вертикальному перерізі тестової секції для моментів часу 5 с (а) та 10 с (б)

Робота виконана на кафедрі енергетичних систем Західночеського університету в рамках міжнародного наукового гранту «Проведення експериментальних досліджень розділення газорідних сумішей за рахунок використання вібраційно-інерційної сепарації», а також за підтримки Міністерства освіти і науки України у рамках НДР «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання» (ДР № 0117U003931).

**СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ І ОХОРОНА  
НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»**

## АНАЛІЗ ФАЗОВОГО СКЛАДУ ВІДХОДІВ БУРІННЯ ДЛЯ ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ УТИЛІЗАЦІЇ

*Луценко С. В., аспірант; Аблесва І. Ю., старший викладач;  
Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми*

Енергетична незалежність будь-якої країни ґрунтується на видобутку власних енергетичних ресурсів, тобто вуглеводнів, серед яких Україна має нафту та природний газ. Однак економічна ефективність процесу тісно пов'язана із зниженням рівня екологічної безпеки довкілля під час розвідки, спорудження та експлуатації свердловин у результаті утворення значної кількості бурових відходів. На підставі аналізу світового досвіду з утилізації бурових шламів встановлено, що попереднє розділення на окремі фази у полі дії відцентрових сил з наступною переробкою окремих фаз є найбільш раціональною технологією поводження з буровими відходами.

Очищення обважнених і необважнених бурових розчинів від надмірного вмісту твердої фази і регенерації обважнювача з обважнених бурових розчинів у процесі буріння нафтових і газових свердловин ефективно проводити на центрифугах безперервної дії із шнековим вивантаженням осаду типу ОГШ-490У-01, ОГШ-490К-04, ОГШ-350У-01, ОГШ-350У-02. Відділена тверда фаза підлягає утилізації, але перш ніж перейти до вибору методу та способу її переробки, необхідно встановити фазовий склад та ступінь екологічної безпеки і токсичності для навколишнього середовища зневодненого бурового шламу. Встановлено, що ефективність ступеня осушення у центрифугі для бурового шламу з буровим розчином на глиняно-полімерній основі досягає 80–85 %.

Загалом, склад бурового шламу не є постійним та однаковим для різних родовищ, оскільки утворений вибуреною породою та відпрацьованим буровим розчином. Основа, на якій виготовлений буровий розчин і визначає склад та властивості утворюваного бурового шламу. На підставі аналізу фазового складу зразків бурового шламу, відібраних на різній глибині родовища, встановлено для рівня 0,4 км, %: кварц – 65; карбонат кальцію маґнію (кальцит маґнію)– 32; силікат заліза маґнію – 3. Для глибини 5–6 км, %: кварц – 50; маґнетит (маґнітний залізняк)  $FeO \cdot Fe_2O_3$  – 31; гідроксид алюмосилікату (каоолініт)– 13; селеніт міді – 6.

Зразок шламу на виході з центрифуги сухої фракції шламу на полімерній основі, %: кварц – 87; оксид алюмінію – 9,9; натрій – 3,1; на вуглеводній основі, %: оксид силіцію – 61,7; кварц – 25,8; натрій – 12,5.

Таким чином, результати аналізу фазового складу зразків бурового шламу свідчать про переважаючий вміст кварцу у відході, що вказує на можливість використання відходу у якості дрібного заповнювачу під час виготовлення будівельної конструкції типу бетон. Отже, подальший вибір методів утилізації шламу буде відрізнятися для цих зразків проб, що обумовлено відмінністю серед переважаючих фаз.

## ЗАБРУДНЕННЯ ПІДЗЕМНИХ ВОД ПІД ЧАС ОСВОЄННЯ РОДОВИЩ НАФТОГАЗОВИДОБУВНОГО КОМПЛЕКСУ

*Янченко І. О., аспірантка; Аблієва І. Ю., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

Підземні води є однією з найбільш динамічних складових природного середовища, яка в умовах надмірного антропогенного навантаження виступає індикатором екологічного стану ландшафту. Наша країна потребує збільшення видобутку нафти і газу для досягнення енергетичної незалежності. У зв'язку з чим, захист підземних вод від забруднення нафтопродуктами та хімічними реагентами, на сьогоднішній день, повинен бути одним з найважливіших напрямів водоохоронної системи в Україні.

На різних етапах розробки родовищ виділяють такі джерела нафтохімічного забруднення підземних вод:

1) протоки й аварійні розливи нафти та нафтопродуктів на ділянках експлуатації нафтових родовищ, а також під час їх транспортуванні;

2) втрати нафти та нафтопродуктів на ділянках їх переробки, зберігання та відвантаження;

3) порушення герметичності устаткування, внаслідок якого відбуваються протоки і перетоки токсичних хімічних речовин та нафтопродуктів;

4) закачування у підземні горизонти величезної кількості хімічних реагентів, що використовуються нафтовидобувною промисловістю для збільшення нафтовіддачі родовищ;

5) заводнення продуктивних пластів.

Заводнення продуктивних пластів запроваджується з метою підтримання пластового тиску та інтенсифікації процесів видобування нафти. Заводнення є найбільш водоемним процесом, у якому втрачається більше ніж 90 % всієї води, що використовується під час видобування нафти.

Крім того, небезпечними джерелами забруднення є буровий шлам, відпрацьований буровий розчин та бурові стічні води, що відносяться до категорії відходів буріння. Бурові стічні води містять залишки бурового розчину, нафти та хімічних реагентів. Внаслідок їх високої акумулюючої здатності до забруднювальних речовин бурові стічні води є найбільш небезпечним відходом під час буріння, здатним до забруднення великих зон гідросфери.

Буровий шлам – водна суспензія, до складу якої входить вибурена порода (близько 60–80 %), органічні речовини (8 %), водорозчинні солі (до 6 %), глина, нафта. Буровий шлам є забруднювачем за рахунок присутності в ньому великої кількості хімічних реагентів: обважнювачів (бариту, оксидів заліза), кислот (хлоридної, етанової, плавикової), метанолу.

Досить значний вплив на стан підземних вод мають поверхнево-активні речовини (ПАР). Під час закачування їх у нафтові пласти, ПАР

потрапляють до джерел водокористування, переважно, через негерметичність обладнання, відсутність запобіжних пристроїв, внаслідок аварій і порушень технологічного режиму. Завдяки своїм миючим властивостям, ПАР вимивають нафту і нафтопродукти з ґрунту, що призводить до додаткового забруднення підземних вод. Внаслідок витоку, розливу, перетоків нафти у підземних водах можуть утворюватися так звані «нафтові плівки». При цьому, води, які фільтруються крізь плівку, забруднюються розчинними нафтопродуктами, що досить важко окиснюються мікроорганізмами.

Ділянки забруднення підземних вод розрізняють за загальними та спеціальними показниками якості води. До загальних показників відносяться: мінералізація, загальна жорсткість, окиснюваність, температура, величина рН, вміст хлоридів, сульфатів, нітратів, фтору, заліза, марганцю, міді, цинку, свинцю, вміст нафтопродуктів. Спеціальні показники включають у себе набір визначень, які виконуються за повного хімічного аналізу, вміст хлорорганічних пестицидів, бенз(а)пірену, СПАР, фенолу, специфічні речовини, характерні для конкретних об'єктів.

Методи, які використовуються на цей час для визначення нафти і нафтопродуктів у природних водах, прийнято розділяти на три основні групи: неспецифічні; ті, які мають специфічність по відношенню до тих чи інших нафтових вуглеводнів; високо специфічні по відношенню до індивідуальних компонентів нафти, які підходять для ідентифікації джерела забруднень і кількісної оцінки.

Як правило, всі методи є "гібридними", включають процедуру виділення нафтопродукту із зразка (екстракція, адсорбція тощо) у поєднанні з тим або іншим способом кінцевого вимірювання. Неспецифічні методи мають обмежене застосування і низьку чутливість. До методів, які мають ґрупову специфічність, можна віднести спектрофотометричні методи, засновані на поглинанні в інфрачервоній (ІКС), ультрафіолетової (УФС) області спектра або на флуоресценції.

Методологічний підхід до контролю нафтових забруднень у підземних водах, у першу чергу, ґрунтується на даних про особливості міграції і розсіювання нафтових вуглеводнів у підземній гідросфері. Основними фізичними факторами розсіювання нафтопродуктів у навколишньому середовищі є процеси їх випаровування, розчинення, адсорбції, а головними факторами руйнування – хімічне та біохімічне окиснення.

Зважаючи на особливості руху нафтових забруднень у пористих середовищах, особливу небезпеку для забруднення підземних вод нафтовими вуглеводнями представляють нафта і нафтопродукти, що володіють малою в'язкістю і помітною розчинністю, зокрема, бензин, гас, також дизельні палива та сама нафта.

Отже, враховуючи масштаби поширення забруднення підземних вод нафтопродуктами та хімічними реагентами, необхідне вивчення та розроблення ефективних методів оцінки техногенного впливу на підземні води у зоні впливу нафтовидобувної галузі.



## ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО РИЗИКУ ВІД АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ НА ПОВЕРХНЕВІ ВОДИ

*Безсонний В. Л., доцент, Буц Ю. В., доцент, Доронін Є. В., доцент,  
ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків*

Забезпечення екологічної безпеки припускає попередню оцінку величини екологічного ризику, пов'язаного з техногенним об'єктом стосовно людини та навколишнього середовища.

При визначенні екологічного ризику за «еталонну» якість води прийнято екологічні нормативи якості поверхневих вод, що являють собою науково обґрунтовані кількісні значення показників (гідрофізичних, гідрохімічних, гідробіологічних, бактеріологічних, специфічних речовин), які відображають природний стан екосистеми водного об'єкта та цілі водоохоронної діяльності з покращання або збереження його екологічного благополуччя.

Відповідно до ст. 35 Водного кодексу України у галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів встановлюються такі нормативи:

- 1) нормативи екологічної безпеки водокористування;
- 2) екологічний норматив екологічного стану поверхневих вод масивів поверхневих та підземних вод;
- 3) нормативи гранично допустимого скидання забруднюючих речовин;
- 4) галузеві технологічні нормативи утворення речовин, що скидаються у водні об'єкти;
- 5) технологічні нормативи використання води.

Законодавством України можуть бути встановлені й інші нормативи в галузі використання і охорони вод та відтворення водних ресурсів.

При застосуванні методики оцінювання екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів у роботі [1] пропонується в якості екологічного нормативу приймати верхню межу 3 категорії класифікації якості поверхневих вод відповідно до ДСТУ 4808:2007. При оцінці екологічного ризику погіршення стану водних об'єктів окремо обчислюється екологічний ризик, пов'язаний з органолептичними властивостями води та екологічний ризик, пов'язаний із санітарно-токсикологічними властивостями води. Ризик, пов'язаний з органолептичними властивостями води передбачає оцінку ризику за показником забарвленості, за водневим показником, за запахом і присмаком й іншим показникам, що нормуються відповідно до їхнього впливу на органолептичні властивості води.

Згідно [1] ризик за показником забарвленості визначається відповідно до рівняння:

$$Prob = -3,33 + 0,067(C - \Phi_{он} + 20), \quad (1)$$

де  $\Phi_{он}$  – природна забарвленість води, отримана за даними багаторічних спостережень і характерна для даного сезону, градуси забарвленості;

$C$  – забарвленість води, у градусах забарвленості;

$Prob$  – пов'язаний з ймовірністю (ризиком) відповідно до закону нормального ймовірнісного розподілу.

Для визначення ризику за водневим показником використовуються наступні рівняння

$$Prob = 4 - pH \text{ при } pH \leq 7, \quad (2)$$

$$Prob = -11 + pH \text{ при } pH > 7,$$

При оцінці ризику за показником природного запаху і присмаку використовується формула:

$$Prob = -1 + 3,32 \cdot \lg(Bалу/2,5), \quad (3)$$

Ризик, пов'язаний із санітарно-токсикологічними властивостями води, визначається на основі рівняння:

$$Prob = -2 + 3,32 \cdot \lg(C_i/C_{ен}), \quad (4)$$

де  $C_i$  – концентрація  $i$ -ї речовини у водному об'єкті, од. вим.;

$C_{ен}$  – екологічний норматив для водних об'єктів.

Сумарний екологічний ризик погіршення стану водних об'єктів визначається за правилом множення ймовірностей, де як множник виступають не величини ризику, а значення, що характеризують ймовірність його відсутності [1]:

$$ER = 1 - (1 - ER_1) \times (1 - ER_2) \times \dots \times (1 - ER_n), \quad (5)$$

де  $ER$  – сумарний екологічний ризик погіршення стану водних об'єктів;

$ER_1, \dots, ER_n$  – екологічний ризик кожної забруднюючої речовини.

При трактуванні отриманих величин екологічного ризику пропонується користуватися спеціальною ранговою шкалою.

Очевидно, що для даної методики оцінювання ризиків [1], як видно із формули (5) значення  $ER_i$  повинні бути в інтервалі (0...1), інакше вираз не буде мати значення, про що свідчать розрахунки, виконані безпосередньо за формулою (5), проведені на підставі даних спостережень за 2015 – 2018 р. Тобто, методика не розрахована на значення показників, що в декілька разів, а в деяких випадках навіть на порядок перевищують норматив.

Неоднозначність підходів та критеріїв до розрахунків показників екологічного ризику для водних об'єктів на підставі гідрохімічних показників показує необхідність вибору інтегральних показників оцінки екологічного стану поверхневих вод.

#### Список літератури

1. Дем'янова О.О. Рибалова О.В. Новий підхід до оцінювання екологічного ризику погіршення стану басейну річки Інгулець в Херсонській області. Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2013. № 1/6. С. 45–49.

## ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ВИРОБНИЦТВА БІОМЕТАНУ НА ШЛЯХУ ДО ДЕКАРБОНІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО СЕКТОРУ

*Гуслева А. О., студентка; Аблесова І. Ю., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

Зміна клімату та якість повітря є одними з найбільших проблем у нашому суспільстві. За даними Євростату (2016 р.), на частку транспортного сектора припадає 51 % від загального обсягу використання нафти, що позначається на значному внеску у викиди парникових газів (ПГ). Наприклад, на транспортний сектор в Європі в 2014 році припадало 23 % від загального обсягу викидів ПГ в Європі.

За останні п'ятнадцять років використання біогазової технології надзвичайно зросло, особливо в Німеччині. На кінець 2017 року майже 9 500 з близько 13 400 європейських біогазових установок знаходились у Німеччині. Близько 450 модернізуючих установок у Європі перетворюють біогаз у цінний біометан, який може використовуватися тими ж способами, що й природний газ, також як транспортне паливо. Окрім відновлюваної енергії, біогазові установки виробляють високоцінні добрива та багаті гумусом добрива, що робить технологію біогазу екологічно безпечною.

У Європі ринок біометану швидко розвивається, з кожним роком збільшується двозначний показник: кількість європейських біометанових заводів за п'ять років збільшилася від 187 до 459. Німеччина займає найбільшу частку цього зростання, за цей же час збільшився з 87 до 185 заводів. 15 країн використовують методи модернізації для отримання біометану (Австрія, Швейцарія, Німеччина, Данія, Іспанія, Фінляндія, Франція, Угорщина, Ісландія, Італія, Люксембург, Нідерланди, Норвегія, Швеція, Великобританія). Від 43 % до 55 % усіх європейських біометанових заводів розташовані в Німеччині – точний відсоток змінюється з року в рік.

Транспортні засоби, що працюють на стисненому природному газі (СПГ) або скрапленому природному газі (СкПГ), відіграють важливу роль у розвитку екологічно чистого транспортного сектору. Вклад у заощадження викидів парникових газів у разі використання транспортними засобами біометану досягає 70–90 % у порівнянні зі звичайним автомобілем, що працює на бензині.

Основними еколого-економічними перевагами використання біометану як палива є: захист навколишнього середовища за рахунок низького вуглецевого сліду у порівнянні з його викопними еквівалентами та економія залежно від податкового режиму.

Отже, виробництво та використання біогазу є досить перспективною та ефективною технологією у декарбонізації транспортного сектору не лише з екологічної, а ще й з економічної точки зору. Встановлено, що скорочення викидів при використанні біометану становить для карбон (II) оксиду в 5–10 разів, вуглеводнів у 3 рази, нітроген (II) оксиду в 1,5–2,5 рази.

## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ УТИЛІЗАЦІЇ БУРОВИХ ВІДХОДІВ У НАФТОГАЗОВИДОБУВАННІ

*Сгорова Д. А., студентка; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Нафтовмісні відходи є одним з неминучих побічних продуктів нафтовидобувної і нафтопереробної промисловості, з яким доводиться стикатися на нафтоперегінних заводах, в промислових відстійниках і в безпосередній близькості від трубопроводів. Крім нафти такі відходи можуть містити велику кількість різних токсичних хімічних речовин, воду і тверді частинки різного діаметра.

Щоб уникнути забруднення навколишнього середовища всі виробництва, залучені в нафтовидобуток і нафтопереробку, зобов'язані переробляти або утилізувати небезпечні відходи своєї діяльності.

Процес спорудження свердловин супроводжується застосуванням матеріалів і хімічних реагентів різної міри екологічної небезпеки. Основними об'єктами забруднення при бурінні свердловин є геологічне середовище (підземні води), гідро- і літосфера (відкриті водойми, дно акваторій, ґрунтово-рослинний покрив).

Найбільшу небезпеку для об'єктів природного середовища представляють виробничо-технологічні відходи буріння, які накопичуються і зберігаються безпосередньо на території бурової. У своєму складі вони містять широкий спектр забрудників мінеральної і органічної природи, представлених матеріалами і хімреагентами, використовуваними для приготування і обробки бурових розчинів [1].

Один із способів утилізації бурових відходів включає риття котловану в мінеральному ґрунті. Витягнутий ґрунт використовується для обвалування котловану і гідроізоляції порожнини котловану шаром глини. Потім котлован заповнюється відходами буріння, проходить процес розшарування відходів буріння на загущену і рідку фази. Комори звільняють від рідкої фази, яку направляють в систему збору і підготовки нафти з подальшим використанням її в системі підтримки тиску пласта. Вода з рідкої фази може віддалятися шляхом випару. Потім загущені відходи буріння засипають мінеральним ґрунтом.

Інший спосіб ліквідації бурових відходів передбачає спорудження котлованів в мінеральному ґрунті з гідроізоляцією металевими листами, або синтетичною плівкою, або залізобетонними плитами, або дерев'яними щитами з бітумним покриттям, або композиціями на основі глини, вапна, цементу. Після відведення освітленої води і заповнення котловану-відстійника загущеним осадом, що відстоюється, його періодично чистять або назавжди вимикають з роботи. Така система широко використовується у бурінні, проте задовільною її назвати не можна, по-перше, тому, що вона не

вирішує проблеми обезводнення осаду в цілому і, по-друге, тому, що безперервно забруднює прилеглі до котлованів околиці і гідромережі.

Інший широко поширений метод зневоднення - фільтрування стоків через шар проникних ґрунтів з подальшим підсушуванням осаду до 80% вологості. Проте цей спосіб відділення твердої фази бурових відходів також неприйнятний.

Цікавий досвід зневоднення твердих відходів стічних вод методом заморожування-відтавання. Спільно з методом вакуумування вологозбереження твердого залишку вдається понизити до 64%. Проте із-за складності технології цей спосіб практичного використання не знайшов. Застосовуються фільтрувальні апарати, що діють під надмірним тиском з попередньою обробкою стічних вод хімреагентами (наприклад, вапном). При цьому отримують осад з до 95 %. Проте в господарстві бурової використання такого способу нетехнологічне.

Практичне застосування отримала останнім часом кислотна обробка загущених вологих відходів. В результаті додавання кислоти до вологого гідроокисного осаду утворюється реакційна суміш, рідка фаза якої є розчин регенованого коагулянта, а тверда фаза - нерозчинні в кислоті органічні і мінеральні речовини, а також гіпс, що утворюється при взаємодії солей кальцію з сірчаною кислотою. Після розділення фаз розчин регенованого коагулянта використовується для очищення початкової води, а вторинний кислий шлам піддається нейтралізації і обезводненню. Об'єм вторинного шламу зазвичай складає 8-20% початкового осаду [1].

Перспективним методом ліквідації бурових відходів можна вважати їх затвердіння з подальшим похованням під шар мінерального ґрунту або використанням в господарській діяльності.

Проведений аналіз методів утилізації показує, що відвертання забруднення середовища і скорочення використання природної води на буріння свердловин досягається багатократним використанням технічної води в технологічному обороті. Для цього потрібне комплексне очищення бурових стічних вод із застосуванням фізичних, хімічних і біологічних методів.

Переробка відходів нафтовидобутку, поза сумнівом, в першу чергу спрямована на зниження негативної дії на довкілля. Проте, важливий і соціально-економічний ефект для підприємства: зменшення плати за розміщення відходів, отримання прибутку від реалізації продуктів утилізації, розширення інфраструктури робочих професій підприємства, створення додаткових робочих місць.

#### Список літератури

1. Магун М. Я. Сучасні технології регенерації та знешкодження відпрацьованих бурових промивальних рідин / М. Я. Магун , С. А. Гурський , О. М. Верста , Р. В. Зіньков , О. Є. Забільська , Н. В. Магун // Екологічна хімія – 2013, С. 101-105.

## ФОРМУВАННЯ КРОНИ ДЕРЕВНИХ НАСАДЖЕНЬ ЯК СКЛАДОВА СТВОРЕННЯ СТІЙКОГО ЗЕЛЕНОГО КАРКАСУ МІСТА

*Богомолова А. В., студентка; Яхненко О. М., асистент, СумДУ, м. Суми*

Зелені насадження відіграють значну роль у формуванні зеленого каркасу міського середовища із сприятливими в екологічному аспекті умовами для життя населення. Отже, дуже важливим є підтримка науково-обґрунтованої роботи і розвитку сфери зеленого благоустрою міста.

Для формування зеленого каркасу міста недостатньо правильно розмістити рослини на території міста та підібрати стійкі до кліматичних умов регіону та мікроклімату міста рослини. Великого значення набуває правильний догляд за зеленими насадженнями з метою недопущення засихання та захворювань, для рівномірного формування крони, здорового та естетичного вигляду, виконання насадженнями захисних функцій. Заходи по догляду повинні проводитися цілеспрямовано і регулярно і, звичайно, потребують як певних грошових витрат, так і фахових вмій правильного догляду за рослинним організмом.

Регулярна обрізка згідно правил догляду допомагає підтримувати здоров'я рослин, дозволяє кожній гілці отримувати необхідну кількість світла, власного простору, рівномірно розвивається, регулює обмінні процеси в організмі дерева, сприяє формуванню красивої крони, гарно освітленої сонцем, через яку вільно циркулюють повітряні потоки.

Обрізка дерев проводиться в кінці зими або ранньою весною до початку сокоруху з певною метою: омолоджуюча — відсуває старіння і продовжує життя, формуюча — моделює зовнішній вигляд крони, санітарна — оздоровлює дерево, позбавляє від поламаних і вражених хворобами, сухих гілок, виступає попереджувальними заходами відламування ушкоджених гілок при сильних буревіях або снігопадах для безпеки містян, їх автомобілів, мереж електропередач, будинків тощо. Різновидом санітарної обрізки є видалення омели. Тільки якщо дерево частково чи повністю засохло, то за безпеки, його повністю або частково спилують.

Останнім часом в більшості міст України, і Суми не є виключенням, під виглядом санітарної обрізки з назвою «топінг» або «кронування» проводиться така обрізка дерев, що від дерев лишаються третини частин стовбурів або стовбури з невеликими залишками гілок першого прядку.

Така обрізка проводиться не за державними стандартами правил благоустрою і часто некомпетентними виконавцями, від неї страждають міські зелені насадження, втрачається естетичний вигляд вулиці і міста в цілому, що викликає справедливе обурення містян. Термін «топінг» запозичений з американської практики обрізки дерев, від якого в Америці вже давно відмовилися. Якщо при правильній (санітарній, формуючій тощо) обрізці дерев спеціалісти вирізають спочатку сухі, ушкоджені, а потім старі чи вражені живі гілки, що ростуть неправильно, загущуючи крону чи

змінюючи характер її росту, які часто сприяють створенню аварійної ситуації в місті в майбутньому, то «сучасний топінг» не має відношення до жодного з перелічених видів.

Правильне кронування - метод надання дереву естетичного вигляду, акуратної форми, при якому проводиться зрізування лише гілок третього порядку, а зрізування верхівки допускається лише при її засиханні, причому висота зрізаної частини не повинна перевищувати однієї третини стовбура дерева. Згідно рекомендаціям фахівців при потребі зниження висоти крони дерева – зниження проводять поступово і періодично – в 1 рік крону живого дорослого дерева зрізають не більше ніж на 1 метр загальної висоти ( в крайніх випадках не більше ніж на 30% крони за раз).

Щоб провести топінг, працівники комунальних підприємств повинні мати при собі обов'язковий документ - дефектний акт на кожне дерево із зазначенням причин кронування тих чи інших дерев, причому у документі вказується вік рослини і пояснюються причини всихання верхівки. Якщо у бригади комунальників замість такого акту наявна тільки проектна документація на капітальний ремонт, (бо дерева відносяться до об'єктів благоустрою) то вони не мають права на «топінгові» заходи. Виключенням на сьогодні є тільки дозвіл на обрізку дерев для працівників «Обленерго», які можуть достатньо сильно зрізати гілки, які мають загрозу обривання лінії електромереж. До речі, відсутність єдиного законодавчого акту чи правил для обрізки дерев для всіх служб і організацій благоустрою міста теж є актуальною проблемою.

При неправильному кронуванні, коли гілок не лишається зовсім або лишаються частини гілок першого порядку, дерево за сезон наростанням інтенсивно компенсує відсутню крону, гілки ростуть з більшою швидкістю, ніж звичайно, створюють велику кількість молодих довгих гілок порослі, що не встигають за теплий сезон накопичити достатню кількість органічних речовин з причини малої кількості фотосинтезуючої частини, і окріпнути, їх деревина не є міцною в порівнянні з вирослою повільним природним шляхом, і такі гілки в подальшому легко ламаються. Утворені при обрізці зрізи не обробляються захисними засобами, і часто при діаметрі зрізу від 2 см стають причиною грибкового ураження і швидкого відмирання гілки чи стовбура дерева.

Таким чином молоді неокріплені гілки і підгнивші зсередини стовбури стають причиною аварійної ситуації в місті. Особливо згубна така обрізка для кленів, в'язів, берез, ясенів, в той час як тополі і липи переносять таку процедуру легше. Але і такі дерева без додаткового щорічного догляду через 5-7 років знов стають аварійними і часто потребують повного зрубування.

Отже, в нашому місті правила догляду за деревами є застарілими або ігноруються, тому потрібно привертати увагу фахівців і громади для розв'язку цього питання та покращення загального стану зелених насаджень міста в цілому, враховуючі їх значення для створення комфортних умов життя міста.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ БЕЗПЛОТНИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ПРИ ЇХ МОДЕЛЮВАННІ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ КОНТРОЛЛЕРА ARDUINO

*Кобрина Н. В., доцент, НАУ «ХАІ», м. Харків*

Безпілотні транспортні засоби (БТЗ) мають значну перспективу підвищити екологічну безпеку цих засобів при їх використанні. До переваг БТС, що підвищує екологічну безпеку, перед автомобілями, керованими людиною, можна віднести: економію палива; підвищення ефективності використання доріг за рахунок централізованого управління транспортним потоком і, відповідно, зниження викидів від двигунів автомобілів; зниження потреби в індивідуальних автомобілях за рахунок розвитку систем типу каршерінга; економія часу, нині витрачається на керування транспортними засобами; перевезення вантажів в небезпечних зонах, під час природних і техногенних катастроф, а в більш віддаленій перспективі – зниження глобальної екологічної навантаженості як за рахунок кількісної оптимізації парку автомобілів, так і за рахунок більш широкого використання для їх пересування альтернативних видів енергії. Одним з достоїнств використання БТЗ може бути істотне зменшення кількості ДТП. За даними Європейської комісії, понад 85 % ДТП відбувається через людський фактор. При використанні роботизованих транспортних засобів людський фактор (водій) повністю виключається.

Для спрощення досліджень щодо підвищення різних аспектів екологічної безпеки можливо застосовувати технологію наскрізного проектування, яка позбавлена зайвих переходів від постановки завдання до моделі і її реалізації на різних платформах. Можна використовувати в якості навчального середовища наскрізного проектування MatLAB Simulink, і підтримувані їм на рівні компіляції програм для ядра мікроконтролерів.

Апаратно-програмний роботизований комплекс БТС, представлений на рис.1, складається з програмної і апаратної частин:

– програмна частина реалізована в середовищі MatLAB Simulink і на її основі побудована модель БТС, алгоритм технічного зору (ТЗ), конфігурація ядра мікроконтролера (МК), моделі модуля управління двигунами (УД) і датчика аварійної зупинки (ДАЗ). Конфігураційне ядро виконується на самому МК, а моделі БТС, УД, ДАЗ і алгоритм ТЗ термінально працюють на персональному комп'ютері (ПК) в середовищі MatLAB;

– апаратна частина складається з двох частин: ПК із середовищем MatLAB і плати Arduino UNO R3. З'єднує інтерфейсом ПК з МК є програмний тунель RS-232 через апаратний інтерфейс USB (Host-Client).



По інтерфейсу зв'язку (ІС) передаються команди конфігурації ядра МК, команди управління периферією БТЗ, а також в ПК з МК відправляється інформація про стан датчиків.

Етапи проектування конкретного завдання на основі комплексу БТЗ:

- проектування та складання моделі робота з сервоприводів і елементів жорсткості;
- підключення моделі БТЗ до платформи Arduino з блоком управління двигунами (з відповідним скетчем);
- конфігурація і «прошивання» ядра МК в середовищі MatLAB Simulink;
- складання кінематичної моделі і системи керування (СУ), робота в середовищі MatLAB Simulink;
- вибір або побудова алгоритму ТЗ і ДАЗ;
- настройка і налагодження алгоритму ТЗ і ДАЗ і кінематичної моделі для конкретної робочої середовища.

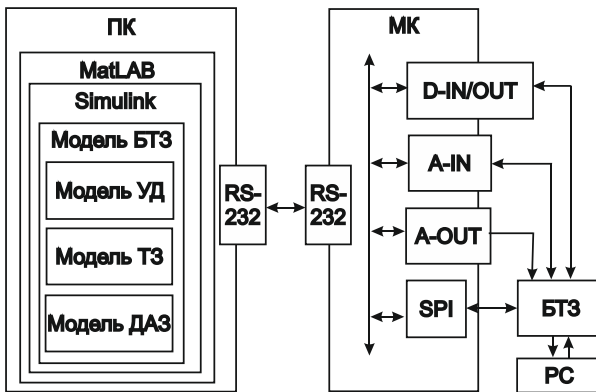


Рисунок 1 – Апаратно-програмна реалізація навчального комплексу безпілотного транспортного засобу

Викладені вище етапи описують загальні правила побудови моделі БТЗ з функцією ТЗ і ДАЗ, яка може бути використана для дослідження різних аспектів підвищення екологічної безпеки БТЗ. Підхід проектування від ідеї до реалізації на одній платформі забезпечує наскрізне проектування безпілотного транспортного засобу і спрощує його реалізацію як технічно, так і інструментально.

#### Список літератури

1. Программно-аппаратный комплекс для моделирования беспилотных транспортных средств (робомобилей) с использованием контроллера Arduino / Н. В. Кобрин // Наукове фахове видання України: Автомобіль і електроніка. Сучасні технології – Х. ХНАДУ, 2019. – Вып 15. – с. 28 – 38.

## ЗМЕНШЕННЯ ВИКИДІВ В АТМОСФЕРУ ЗА РАХУНОК АТОМНОЇ ГЕНЕРАЦІЇ

*Дударь А. В. студент; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми*

Атомна енергетика здатна допомогти у вирішенні глобальних екологічних проблем. Ввід в експлуатацію однієї АЕС дозволить зменшити об'єм парникових газів на 7–10 млн тонн на рік [1].

Для скорочення викидів необхідно, з одного боку закривати або кардинально модернізувати об'єкти, які мають найбільш негативний вплив на екологію, в першу чергу це теплові станції. Повністю відмовитися від них Україна не в змозі, отже слід вкладати кошти в їх технологічну модернізацію. В даний момент світ йде по шляху розвитку "чистих" джерел енергії, до яких відноситься й атомна енергетика, а також відновлювані джерела.

Нуклід уран-235 при використанні палива вигоряє не на 100 %, тому його можна регенерувати і задіяти повторно. Ядерна енергетика позитивно впливає на розвиток економіки. При зведенні АЕС створюють робочі місця на самій станції і в суміжних областях. АЕС не дають парникових викидів, на відміну від інших джерел енергії. Вважається, що атомні електростанції в Європі допомагають уникнути викидів 700 млн тонн CO<sub>2</sub> на рік.

Експлуатація атомних станцій не викликає жодних екологічних змін, які могли б свідчити про погіршення стану навколишнього середовища в районі їхнього розташування порівняно, що характеризує рівень безпеки атомних станцій України як такий, що відповідає вимогам національного законодавства, міжнародними рекомендаціями і світовій практиці

Але існують і негативні ефекти. Наприклад, ядерна бомба, халатність або некомпетентність працівників на АЕС може призвести до аварії; ядерні відходи. Наслідки від аварій на АЕС впливає на всю планету і наша країна має негативний опит.

Але ми можемо уникнути цих всіх негативних наслідків за рахунок наступних прикладів:

- збільшити кваліфікацію робітників АЕС,
- не проводити експерименти за відсутності систем безпеки або захисних куполів над АЕС, які зможуть здержати ядерну пилу.

Для нашої країни питання атомної енергетики дуже актуальне, так як інший вид «чистої» енергетики – в найближчій час не зможе вирішити наших проблем. З вище сказаного можна зробити висновок що продовження термінів експлуатації діючих блоків і будівництво нових має стати нашою основною метою в енергетиці.

### Список літератури

1. Атомна енергетика – рішення екологічних проблем [Електронний ресурс] / Українське ядерне товариство [Режим доступу] [https://drive.google.com/open?id=1nawsA2U9pNnJn2Fo17ONx\\_QHc2b2014v](https://drive.google.com/open?id=1nawsA2U9pNnJn2Fo17ONx_QHc2b2014v).

## РОЛЬ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ У ПРОГНОЗУВАННІ МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНИХ ТЕНДЕНЦІЙ

*Котова І. І., Безкровна А. В., Захарова В. А., студенти;  
Рой І. О., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Серед пріоритетних напрямків забезпечення національних екологічних інтересів, окрім збереження навколишнього природного середовища та раціонального використання природних ресурсів, важливе місце займає питання зміцнення фізичного здоров'я нації. Харчування залишається суттєвим чинником постійного впливу на стан здоров'я людини. Питання екологічної безпеки харчових продуктів є однією із ключових передумов забезпечення належного рівня здоров'я населення та створення безпечних умов життєдіяльності людини. Вирішення цієї проблеми потребує удосконалення механізмів забезпечення якості та безпеки продовольства [1].

Окремої уваги заслуговує відсутність масштабних досліджень впливу продуктів харчування на показники захворюваності населення, обумовлені використанням рослинних олій у продуктах харчування. Жири становлять незамінну частину харчування та є необхідною складовою збалансованого раціону. Однак не всі жири однаково корисні, та можуть сприяти появі небезпечних захворювань. Водночас надлишкова кількість жирів у раціоні харчування призводить до ряду захворювань [2].

Наразі використання різних видів рослинних олій в продуктах харчування не забороняється, але встановлені певні обмеження щодо їх вмісту. Неоднозначність впливу рослинних олій на здоров'я людини [2] потребує масових досліджень щодо встановлення або спростування їх негативного впливу. Перспективним є розвиток наукових засад із дослідження і встановлення взаємозв'язку між показниками захворюваності населення та вживанням продуктів харчування. Такий підхід передбачає науково обґрунтований аналіз статистичних даних із застосуванням математичного моделювання закономірностей формування рівня захворюваності населення залежно від обсягів спожитих продуктів харчування, які містять рослинну олію. Побудова достовірної моделі дозволить сформулювати ефективний інструмент для виявлення небезпек та прогнозування медико-екологічних тенденцій, та може знайти застосування для удосконалення механізмів забезпечення екологічно безпечних умов життєдіяльності населення.

### Список літератури

1. Древаль, О. Ю., Павленко О. О. (2009). Проблеми регулювання безпеки харчових продуктів в контексті екологічної національної політики України. Механізм регулювання економіки, №2, С. 19-23.
2. Міністерство охорони здоров'я України. Чи шкідлива пальмова олія. URL: <https://bit.ly/2vY8am3> (дата звернення: 07.11.2019).

## ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ СТВОРЕННЯ АЗОТНИХ ДОБРИВ ПРОЛОНГОВАНОЇ ДІЇ ШЛЯХОМ ЇХ КАПСУЛЮВАННЯ

*Макаренко Н. О., асистент; Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми*

Продуктивність землеробства залежить від рівня азотного живлення рослин, тому проблеми забезпечення сільськогосподарських культур азотними сполуками набувають важливого значення. Швидкорозчинні азотні добрива легко трансформуються в системі ґрунт-рослина і включаються до біологічного колообігу. Ця особливість перетворення азоту добрив обумовлює відносно низький коефіцієнт їх використання внаслідок високих втрат: до 15–30 % у вигляді газоподібних продуктів і 10–15 % в результаті вимивання. Одним з основних азотних добрив вважається карбамід.

У ґрунті карбамід під дією ферменту уреазы, що виділяється уробактеріями, швидко амоніфікується до  $\text{NH}_3$  і піддається трансформації до  $\text{NO}_3$  та інших газоподібних оксидів, це призводить до непродуктивних втрат азоту та забруднення навколишнього середовища. Для підвищення рівня екологічної безпеки азотних добрив використовують добрива у формі капсул.

Перспективною формою добрив є добрива пролонгованої дії, яка досягається шляхом капсулювання традиційних гранульованих добрив водопроникною оболонкою. Такі добрива дозволяють зменшити забруднення навколишнього середовища компонентами мінеральних добрив.

Капсульовані добрива мають низьку швидкість вивільнення елементів живлення навіть при незначній товщині покриття. В цілому тривалість вивільнення цільового компонента мінеральних добрив регулюється товщиною капсули та її складом. Це збільшує ймовірність його засвоєння рослиною, дозволяє контролювати живлення рослин під час вегетації подовжує час дії добрива і зменшує їх вимивання у водні басейни.

Такі гранульовані добрива, покриті плівками, мають поліпшені фізико-механічні властивості: вони менш гігроскопічні, механічно більш міцні, не злежуються під час зберігання. Шляхом підбору складу і товщини покриттів можна отримувати добрива пролонгованої дії з урахуванням біологічних вимог, періодичності живлення азотом сільськогосподарських культур, зв'язувати важкі метали у нерозчинні комплексні сполуки.

Існує ряд можливих методів процесу капсулювання, а саме: поліконденсації і полімеризація, затвердіння розплавів в рідких середовищах, розпилювальна сушка, фізична адсорбція, капсулювання за допомогою заряджених плівок, напилення, пресування, екструзія тощо.

Одним з ефективних шляхів зниження забруднення ґрунтів мінеральними добривами є використання добрив пролонгованої дії, що дозволить регулювати швидкість вивільнення компонентів добрив, значно зменшити втрати в навколишнє середовище, зменшити ступінь забруднення залишковими мінеральними добривами та здійснювати контрольоване живлення рослин під час вегетації.

## ОЦІНКА ЯКІСНОГО СТАНУ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА

*Пономаренко Р.В., старший науковий співробітник, НУЦЗУ, м. Харків;  
Пляцук Л. Д., професор; Аблєєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

На сьогоднішній день діяльність людини призводить до погіршення якості води і режиму річкового стоку, перетворення багатьох річок на канали та мережу водосховищ і ставків. Проблема оцінки якості води на сучасному етапі має важливе і першочергове значення.

Одна з основних проблем сьогодення є необхідність визначення причин погіршення екологічного стану основної водної артерії нашої держави та можливі шляхи вирішення проблеми оздоровлення водних систем басейну Дніпра.

Оцінку якості води в [1] пропонується проводити з врахуванням показників: БСК5 і O<sub>2</sub>, як обов'язкових, а інших за найбільшими відношеннями до ГДК зі списку: SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cl<sup>-</sup>, ХСК, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Fe загальний, Mn<sup>2+</sup>, Cu<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup>, Cr<sup>6+</sup>, Ni<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, Pb<sup>2+</sup>, Hg<sup>2+</sup>, As<sup>3+</sup>, НП, СПАР.

Виходячи з наявних даних [2,3], визначення зміни якості води Дніпра проводили з врахуванням зміни вмісту нормованих показників: суми аніонів (NO<sub>2</sub><sup>-</sup>, NO<sub>3</sub><sup>-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, Cl<sup>-</sup>), з перерахунком в молярну масу з метою нівелювання різниці між масою різного атомарного складу аніонів; розчиненого кисню у воді; біохімічного споживання кисню (БСК5); фосфатів PO<sub>4</sub><sup>3-</sup> нітритів, нітратів, а також амонію NH<sub>4</sub><sup>+</sup>.

Оцінку зміни складу води поверхневого джерела проводили шляхом ретроспективного аналізу даних моніторингу та екологічної оцінки водних ресурсів України Державного агентства водних ресурсів України за період з січня 2009 року по січень 2018 року по 14 постах контрольного забору води.

Із 17 основних приток Дніпра 15 впадає у річку у межах України. Найбільшими серед них є річки Прип'ять і Десна, що несуть до Дніпра основну масу води [4].

Притоки Дніпра протікають по території найважливіших промислових центрів і населених пунктів України, створюючи широко розгалужену складну річкову систему, яка має важливе економічне, соціальне й екологічне значення. Дніпро, що зазнав значних змін внаслідок будівництва каскаду водосховищ, більш не є річковою екосистемою, здатною до саморегуляції.

Таким чином, результати проведених досліджень дозволяють стверджувати про суттєве погіршення екологічного стану Дніпра, що вже сьогодні внаслідок антропогенного впливу, приводить до погіршення якості води і режиму його річкового стоку.

Проведена оцінка забруднення вод басейну Дніпра дає можливість стверджувати про характер та ступінь його забрудненості, при цьому потребує більш детальнішого вивчення впливу 15 приток Дніпра, які

впадаючи у річку у межах України, впливають на зміну його екологічного стану.

Виходячи з проведеного аналізу, водна екосистема річки Дніпро, як головної водної артерії України, знаходяться під постійним техногенним впливом, має тенденцію до постійного та стійкого погіршення її екологічного стану.

Враховуючи відсутність процесу покращення якості води та, як наслідок, погіршення екологічного стану води Дніпра в цілому, можна стверджувати, що поділ басейнової дирекції на верхній, середній і нижній Дніпро є неприпустимим, та потребує перегляду на законодавчому рівні.

В подальшому зміна екологічного стану поверхневих вод басейну Дніпра в напрямку його покращення не може відбуватися без розробки та запровадження в дію надійної та ефективної моделі прогнозування його екологічного стану.

Розв'язання комплексної проблеми екологічного оздоровлення басейну Дніпра необхідно здійснювати на якісно новому рівні відповідно до радикальних змін характеру природокористування та стратегії розвитку економіки країни і лише шляхом розробки загальнодержавної програми відродження його екологічного стану.

На сьогоднішній день єдиним можливим шляхом вирішення проблеми погіршення екологічного стану Дніпра може бути створення дієвих важелів управління басейновою дирекцією, в тому числі і через удосконалення методологічної бази системи її екологічного моніторингу.

#### Список літератури

1. Пономаренко Р.В. Визначення екологічного стану головного джерела водопостачання України / Р.В. Пономаренко, Л.Д. Пляцук, О.В. Третяков, П.А. Ковальов // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». Харків: НУЦЗ України. Випуск 6 (2/2019) с. 69-77.

2. Третяков О. В., Безсонний В. Л., Пономаренко Р. В., Бородич П. Ю. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневі водойми. // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2019. - № 1(29). - с. 61-78.

3. Науково-теоретичні основи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання регіону з урахуванням основних принципів басейнового управління водними ресурсами: монографія / Р.В. Пономаренко. – Харків: Планета-Прінт, 2020. – 112 с.

4. Bezsonnyi V., Tretiyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir (Дослідження динаміки та моделювання кисневого режиму Червонооскільського водосховища). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. № 5/10 (89). P. 32–38. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5546>.

## ПРОГНОЗ ЗМІНИ ПОКАЗНИКІВ КИСНЕВОГО РЕЖИМУ ПОВЕРХНЕВОГО ДЖЕРЕЛА В УМОВАХ ВОДНОЇ ЕКОСИСТЕМИ БАСЕЙНУ ДНІПРА

*Пономаренко Р.В., старший науковий співробітник, НУЦЗУ, м. Харків;  
Пляжук Л. Д., професор; Аблєєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Розв'язання комплексної проблеми екологічного оздоровлення басейну Дніпра необхідно здійснювати на якісно новому рівні відповідно до радикальних змін характеру природокористування та стратегії розвитку економіки країни і лише шляхом розробки загальнодержавної програми відродження його екологічного стану.

На сьогодні достатньо великого поширення здобули двокомпонентні прогнозні моделі екологічного стану води, де процеси формування якості води оцінюються споживанням кисню (процеси біохімічного окислення органічних сполук) та його надходженням (процес атмосферної аерації) [1].

Деякі відмінності відмічаються в прогнозуванні якості води: повернення до класичних моделей, в яких концентрація РК є функцією розпаду розчиненої органіки та природних процесів (атмосферна аерація).

Співвідношення «РК-БСК» описується класичною моделлю Стрітера – Фелпса, рівняння процесів у якій базуються на допущеннях кінетики першого порядку, були аналітично розв'язані Фелпсом і Стритером для ділянки ріки, і на сьогодні є досить широко використовуваними у розрахунках [2,3].

Враховуючи вищеперераховане є доцільним визначити адекватність математичної моделі для прогнозування показників кисневого режиму в умовах басейну Дніпра на основі класичної моделі Стрітера – Фелпса, з врахуванням даних ретроспективного аналізу його кисневих показників.

Аналіз багаторічних результатів спостереження за екологічним станом Дніпра дозволив встановити, що коригуючий коефіцієнт  $C1$  залежить від загального вмісту аніонів у воді, а коригуючий коефіцієнт  $C2$  залежить від  $BCK5/PK$ .

Таким чином, маючи фактичні дані спостережень за екологічним станом водного об'єкту, виникає можливість обрахувати параметри моделі індикаторних (сигнальних) показників (РК – БСК) у залежності від значень показників вмісту аніонів та відношення  $BCK5/PK$  ) [4].

Введення коригуючих коефіцієнтів  $C1$  і  $C2$  дозволяють суттєво підвищити надійність прогнозу екологічного стану води поверхневого джерела водопостачання за допомогою запропонованої математичної моделі, що гарантує високу адекватність оперативних рішень управління водними ресурсами.

Для визначення параметрів моделі динаміки кисневого режиму Дніпра значення коефіцієнтів  $k1$  (коефіцієнт біохімічного окислення органічних

речовин) та  $k_2$  (коефіцієнт реаерації), необхідно використати усереднені середньорічні значення відповідних показників кисневого режиму за певний період часу.

На підставі розрахованих коефіцієнтів  $k_1$  та  $k_2$  можливо розрахувати модельні значення БСК5 та дефіциту розчиненого кисню.

Перевірка адекватності моделі зміни БСК5 та РК проводилась по середньорічним значенням показників БСК5 та дефіциту розчиненого кисню за 2018 рік, значення, змодельованим за класичною моделлю Стритера – Фелпса, при цьому значення, отримані з врахуванням коригуючих коефіцієнтів.

Перевагами запропонованого підходу є можливість простої та оперативної обробки наявних даних моніторингу поверхневого джерела водопостачання. Використання запропонованої моделі дає змогу проводити розрахунки без застосування спеціальних комп'ютерних програм та профільних навиків.

Як недоліком все ж справедливо буде вказати на обмеженість складових моделі, що можливо може стати предметом подальших досліджень в напрямку визначення оперативних методів контролю зміни екологічного стану поверхневого джерела. Для випадку досягнення мети наших досліджень застосування запропонованої моделі є оправданим.

Основне призначення отриманої моделі – прогноз показників БСК та дефіциту розчиненого кисню за результатами оперативного моніторингу.

#### Список літератури

1. Пономаренко Р.В. Визначення екологічного стану головного джерела водопостачання України / Р.В. Пономаренко, Л.Д. Пляцук, О.В. Третяков, П.А. Ковальов // Науково-технічний журнал «Техногенно-екологічна безпека». Харків: НУЦЗ України. Випуск 6 (2/2019) с. 69-77.

2. Третяков О. В., Безсонний В. Л., Пономаренко Р. В., Бородич П. Ю. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневі водойми. // Проблеми надзвичайних ситуацій. - 2019. - № 1(29). - с. 61-78.

3. Науково-теоретичні основи зниження техногенного навантаження на системи водопостачання регіону з урахуванням основних принципів басейнового управління водними ресурсами: монографія / Р.В. Пономаренко. – Харків: Планета-Прінт, 2020. – 112 с.

4. Bezsonnyi V., Tretiyakov O., Khalmuradov B., Ponomarenko R. Examining the dynamics and modeling of oxygen regime of Chervonooskil water reservoir (Дослідження динаміки та моделювання кисневого режиму Червонооскільського водосховища). Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. № 5/10 (89). P. 32–38. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/5546>.



**МЕДИКО-ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ЗАХВОРЮВАНОСТІ НАСЕЛЕННЯ  
СУМСЬКОЇ ОБЛАСТІ НА ХВОРОБИ СИСТЕМИ КРОВООБІГУ  
У РАЙОНАХ ВИДОБУТКУ НАФТИ І ГАЗУ**

*Корнус А. О., доцент; Крикун А. С. магістрантка, СумДУ, м. Суми;  
Корнус О. Г., доцент; Кругліченко М. М., магістрант,  
СумДПУ імені А. С. Макаренка, м. Суми*

Базою дослідження стали дані щорічних статистичних звітів медичних закладів Сумської області, підпорядкованих системі МОЗ України, опрацьовані у географічному аспекті. Проаналізовано наступні хвороби системи кровообігу (ХСК): ішемічна хвороба серця (ІХС), гострий інфаркт міокарда (ІМ), цереброваскулярні хвороби (ЦВХ), інсульти (МІ) та інсульти з гіпертонічною хворобою (МІ з ГХ). Спочатку були проаналізовані кількісні показники первинної захворюваності та поширеності ХСК у розрізі адміністративних районів, де ведеться видобуток нафти і/або газу (Охтирському, Роменському, Лебединському та Липоводолинському) [1]. Далі, для встановлення територіальних відмінностей первинної захворюваності мешканців названих районів на ХСК, було застосовано процедуру рангування за 5-ступеневою шкалою, де ранг 1 відповідав найгіршим показникам (найвища первинна захворюваність на ХСК), а ранг 5 – найменшим (найкращим) показниками. Рангування проводилося також з огляду на середньообласні показники первинної захворюваності та поширеності ХСК й охоплювало усі адміністративно-територіальні одиниці регіону.

Нафтогазовидобувні райони мають високу первинну захворюваність населення на більшість нозоформ ХСК. У багатьох випадках показники захворюваності у названих районах є набагато вищими, ніж у середньому для області (табл. 1). Це дозволяє передбачити наявність вливу чинників довкілля, пов'язаних з видобутком нафти і газу, що зумовлюють такий високий рівень захворюваності.

Таблиця 1 – Первинна захворюваність мешканців нафтогазовидобувних районів Сумської області на ХСК у 2018 р.

Адміністративний район	Первинна захворюваність, випадків на 100 тис. осіб					
	ХСК	ІХС	ІМ	ЦВХ	МІ	МІ з ГХ
Роменський	5315,9	1324,1	1130,6	391,25	213,03	5315,92
Охтирський	4696,4	1385,4	851,92	280,34	202,77	119,76
Липоводолинський	5325,9	1645,0	1106,2	507,23	221,24	59,36
Лебединський	4112,7	1381,97	502,74	303,41	236,97	159,46
Сумська область	3962,8	1075,8	731,17	313,80	188,54	114,46

Слід зазначити, що за окремими нозологіями ранги одних і тих же районів дещо різняться (табл. 2). Однак в цілому за загальною захворюваністю населення на ХСК Липоводолинський і Роменський райони

лідують в області. Щороку тут фіксується понад 5000 нових випадків таких діагнозів на 100 тис. осіб. Липоводолинський район взагалі виділяється високими показниками первинної захворюваності на більшість нозоформ ХСК, зокрема ІХС (1 645,8 випадків на 100 тис. осіб), ЦВХ (1 106,19 на 100 тис. осіб) та інсульти (507,23 на 100 тис. осіб). Також тут фіксуються високі показники захворюваності на інсульти з ГХ (221,24 на 100 тис. осіб). Лише захворюваність мешканців на ІМ є набагато нижчою (59,4 випадки на 100 тис. осіб, при середньообласному показнику 114,46 випадків).

За результатами рангування адміністративно-територіальних одиниць області, нафтогазовидобувні райони отримали високі або найвищі (найгірші) ранги (табл. 2). Особливо напружена ситуація склалася в Роменському і Липоводолинському районах (що може бути пояснене географічним сусідством з потужними нафтогазовидобувними районами Полтавської області Лохвицьким і Гадяцьким й транскордонним перенесенням полютантів) [2], а також у Охтирському районі, де видобуток вуглеводнів ведеться найбільш тривалий час. Порівняно краща (хоча й напруженіша, ніж у середньому по області) ситуація у Лебединському районі, для якого даний вид надрокористування є відносно новим.

Таблиця 2 – Рангування нафтогазовидобувних районів Сумської області за рівнем первинної захворюваності населення на ХСК у 2018 р.

Адміністративний район	Первинна захворюваність ХСК					
	ХСК	ІХС	ІМ	ЦВХ	МІ	МІ з ГХ
Роменський	1	2	2	1	2	2
Охтирський	2	2	2	2	4	2
Липоводолинський	1	1	4	1	1	2
Лебединський	3	2	1	4	3	2
Сумська область	4	4	3	3	3	3

Встановлені вище закономірності вказують на необхідність подальшого пошуку причин підвищеної захворюваності мешканців нафтогазовидобувних районів Сумської області на ХСК, встановлення надійних кореляційних залежностей, з метою посилення як екологічної, так і лікувально-профілактичної роботи.

#### Список літератури

1. Корнус А. О. Географічні аспекти розміщення родовищ рідких паливних корисних копалин у Сумській області / А. О. Корнус, М. М. Кругліченко, О. Г. Корнус // Наук. зап. СумДПУ імені А. С. Макаренка. Геогр. науки. 2019. Вип. 10. С. 79–84. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.2641137>.
2. Сахнюк Т. В. Сучасний стан системи природно-заповідного фонду Лохвицького району Полтавської області / Т. В. Сахнюк, А. О. Корнус // Наук. зап. СумДПУ імені А. С. Макаренка. Геогр. науки. 2018. Вип. 9. С. 63–69. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1218351>.

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА У СФЕРІ ПОВОДЖЕННЯ З РАДІОАКТИВНИМИ ВІДХОДАМИ

*Котова І. І., студентка; Черниш Є. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми*

Останнім часом дедалі більшої актуальності у світі набуває проблема радіоактивної безпеки, тісно пов'язана із вимогою нерозповсюдження радіоактивних матеріалів[1]. В Україні продовжують проявлятися негативні екологічні наслідки Чорнобильської катастрофи. Передусім ідеться про широкомасштабне радіоактивне забруднення довкілля, велику кількість радіоактивних матеріалів і радіоактивних відходів на території промислового майданчика ЧАЕС і зони відчуження, що потребує безпечного поводження з ними. Як і раніше, проблемою залишається повернення до нормального життя територій за межами зони відчуження, що також зазнали радіоактивного забруднення внаслідок аварії на ЧАЕС [2].

Основними джерелами утворення радіоактивних відходів (РАВ) в Україні є [3]:

- АЕС (Чорнобильська, Запорізька, Південноукраїнська, Рівненська, Хмельницька);

- підприємства з видобування та переробка уранової руди (Державне підприємство «Східний гірничо-збагачувальний комбінат» у м. Жовті Води і виробниче об'єднання «Придніпровський хімічний завод» у м. Дніпродзержинськ);

- науково-дослідні організації, що використовують радіоактивні речовини або джерела іонізуючого випромінювання (Інститут ядерних досліджень НАНУ, Інститут прикладної фізики НАНУ, Харківський фізико-технічний інститут НАНУ тощо);

- промисловість і медицина.

Усі рідкі РАВ переробляються на заводі з переробки рідких радіоактивних відходів. Тут вони проходять процедуру затвердіння (імобілізації) і перетворюються на цементну суміш. Суміш упаковується у 200-літрові бочки, які у свою чергу пакуються по 4 штуки у залізобетонний контейнер. Контейнер з переробленими рідкими РАВ відправляється на захоронення у спеціально обладнане при поверхнєве сховище твердих радіоактивних відходів комплексу виробництв «Вектор»[4].

Ключовим елементом розвитку системи поводження з радіоактивними відходами в Україні є будівництво ряду споруд з поводження з радіоактивними відходами в зоні відчуження, включаючи [5]:

- споруди поводження з радіоактивними відходами на майданчику «Вектор», призначені для завершального етапу поводження з РАВ (централізоване захоронення та тривале зберігання) усіх виробників відходів в Україні, а також переробка деяких видів радіоактивних відходів із зони відчуження та незначні виробники відходів;

- будівництво об'єктів поводження з радіоактивними відходами на майданчику ЧАЕС;
  - обстеження ділянок для геологічного сховища.
- Також мають місце такі заходи згідно з [6]:
- ізоляція РАВ – захист РАВ від зовнішніх впливів шляхом фізичного відділення РАВ від оточуючого середовища;
  - забезпечувати безпеку під час проектування, вибірки майданчика, будівництва, експлуатації та зняття з експлуатації споруд та обладнання, призначених для поводження з радіоактивними відходами;
  - своєчасно здійснювати переоцінку безпеки діючих об'єктів, призначених для поводження з радіоактивними відходами;
  - забезпечувати розробку та реалізацію програм якості щодо безпеки поводження з радіоактивними відходами;
  - вести облік радіоактивних відходів;
  - забезпечувати радіаційний моніторинг місць зберігання та захоронення цих відходів;
  - живити заходи щодо ліквідації радіаційних аварій та їхніх наслідків.
- Більшість методів перероблення рідких радіоактивних відходів зводиться до утворення концентрованих відходів, які необхідно утримувати. Вони твердіють і їм надають зручної для безпечного зберігання і захоронення форми. Переведення радіонуклідів та інших безпечних сполук у тверді форми досягається вилученням вільної та кристалізованої води. Слід зазначити, що на сьогодні актуальним є пошук екологічно безпечних альтернатив поводження з РАВ.

#### Список літератури

1. Що таке радіоактивні відходи, які вони бувають і як утворюються? Інформація із сайту Державного агентства України з управління зоною відчуження. URL: <http://dazv.gov.ua/novini-ta-media/vsi-novyny/shcho-take-radioaktivni-vidkhodi-yaki-voni-buvayut-i-yak-utvoryuyutsya.html>
2. Іванюта С.П. Загрози у сфері екологічної безпеки та їх вплив на стан національної безпеки. Інформація із сайту Національного інституту стратегічних досліджень. URL: <http://old2.niss.gov.ua/content/articles/files/Monitoring-Eco-Ivaniuta-01d1c.pdf>
3. Пузік В.К., Рожков Р.В., Долгова Т.А. та ін. Знешкодження та утилізація відходів в агросфері: навч. посібник. Х: ХНАУ, 2014. 220 с.
4. Камінська Н.В. Особливості правового регулювання поводження з радіоактивними відходами на національному та міжнародному рівнях. *Право і суспільство*. 2014. № 6.1(2). С. 134-138.
5. Plachkov H. Report on nuclear and radiation safety in Ukraine for 2018. Kyiv: State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine, 2019. 63 p.
6. Наказ «Про затвердження Загальних положень безпеки при поводженні з радіоактивними відходами до їх захоронення», наказ Держатомрегулювання України від 01.08.2017 р. № 279.

## SMALL RIVER BIOCENOSIS IN THE CONDITIONS OF HIGH LEVEL OF ALLOCHTHONOUS ORGANIC POLLUTION

*Kuzmina T., Associate Prof., Sumy State University, Sumy;*

*Kapusta A., Head of Dep. Ichthyology, Inland Fisheries Institute, Olsztyn, Poland;*

*Pliashcheyk V., Senior lab. assist., Uzhgorod National University, Uzhgorod;*

*Babko R., Senior researcher, Institute of Zoology NAS of Ukraine, Kyiv*

Among the factors determining the quality of the aquatic environment in surface water bodies, an important place is occupied by industrial wastewater and sewage from municipal wastewater treatment plant (WWTP). Usually, the point sources of pollution have a local effect. As a rule, the volume and quality of effluents are monitored. Exceptions are accidents.

The sources of pollution for the investigated Raciążnica river are wastewater discharged from the “Polmlek” plant and the municipal WWTP of Raciąż (Poland). The study was conducted in August 2019, a few months after the accident at the WWTP of Raciąż and the discharge of large amounts of activated sludge into the Raciążnica river. The species composition and diversity of fish and bottom protozoa were studied at the 40 km section of the Raciążnica River downstream the Raciąż. Temperature and dissolved oxygen were measured at each station.

The diversity of protozoa was low for this type of river. In total, 54 species of ciliated protozoa were found in bottom sediments. Most species were indicators of high levels of organic pollution – alpha-mesosaprobies and polysaprobies.

The diversity of protozoa downstream from the source of pollution was clearly increasing (Fig. 1).



Fig. 1 – Protozoa diversity (Shannon index) in Raciążnica river at the sites of the sewage discharge (stations 1-2) and downstream (stations 3-8).

Although the increasing diversity was observed, the species - indicators of a high level of organic pollution were dominated among the protozoa. Calculation of the saprobity index showed that the level of organic pollution was high along the investigated section of the river, and the water quality in the river corresponded to the alpha-mesosaprobic zone (Fig. 2).

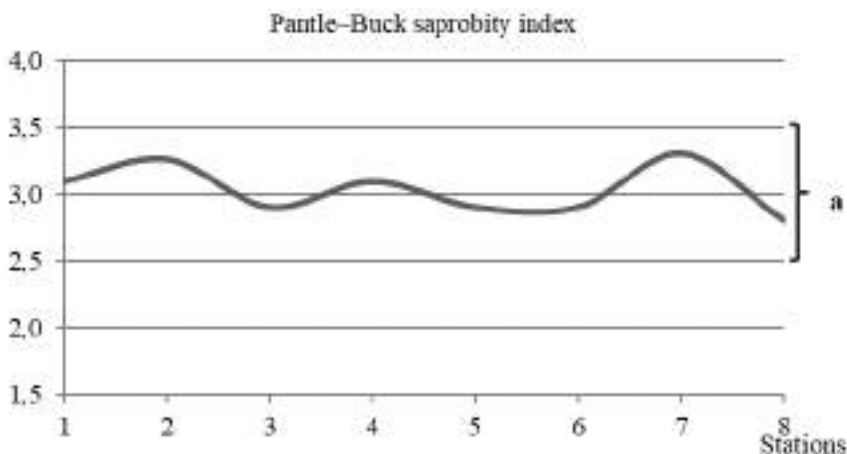


Fig. 2 – Saprobity index (Pantle and Buck) in Raciążnica river at the sites of the sewage discharge (stations 1–2) and downstream (stations 3–8); a – alpha-mesosaprobic zone

At all stations the presence of a large number of ciliate species characteristic for activated sludge was noted, which indicates a large amount of organic pollution in the river and their source.

Organic matter in bottom sediments determines water quality and low oxygen levels in the river. River water quality slowly improved with increasing distance from the source of pollution.

Before the accident, 17 species of fish inhabited the Raciążnica river. Rheophilic species prevailed. After the accident, tench (*Tinca tinca*), crucian carp (*Carassius carassius*), and sunbleak (*Leucaspius delineatus*) were not found downstream.

The majority of fish populations declined significantly. The composition and distribution of fish in the river were determined by the low oxygen content.

The accident affected the species composition of fish in the river, the level of saprobity and the oxygen content in the water. The restoration of the composition of fish fauna and the quality of water in the river will depend on the balance of the inflow and utilization of organic matter in the river, as well as on hydrological conditions.

## УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ ВОДОПІДГОТОВКИ НА ПІДПРИЄМСТВАХ ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ

*М'якаєв О. В., аспірант, СумДУ, м. Суми*

Підприємства електроенергетики є одним з основних споживачів природних ресурсів і джерелом негативної дії на довкілля. Споживання прісної води цими підприємствами в 2015 р. становило 2715 млн м<sup>3</sup>. У зв'язку з цим актуальним є завдання скорочення водоспоживання і скидання стічних вод теплоенергетичними підприємствами. Рішенням цього завдання є створення маловідходних систем водокористування, які дозволяють максимально використати воду, що поступає в технологічний цикл, і скоротити скидання стічних вод.

На теплових електростанціях (ТЕС) основна частина води використовується для охолодження конденсаторів турбін і допоміжного устаткування. Скорочення цієї частини вод в комплексі водокористування ТЕС реалізується застосуванням оборотних систем охолодження (ОСО). При цьому з'являється можливість утилізувати в ОСО зливи і талі води з території ТЕС, а також технологічні стічні води, забруднені нафтопродуктами після очищення. Подальше скорочення водоспоживання ТЕС можливе за рахунок використання продувальної води ОСО як початкової води установок водопідготовки.

У технологічному циклі ТЕС використовується надчиста глибоко знесолена вода для живлення котлів і пом'якшена вода для підживлення теплових мереж. Підготовка води такої якості в основному здійснюється методом іонообмінного знесолювання, що пов'язано із застосуванням хімічних реагентів і утворенням великої кількості мінералізованих стічних вод. Такі води містять значну кількість хлорид- і сульфат-іонів, що негативно впливає на довкілля при скиданні цих вод у водні об'єкти чи системи каналізації. Окрім негативного впливу на біологічні організми, сульфати і хлориди чинять руйнівну дію на конструкції з бетону і заліза. У зв'язку з цим останнім часом приділяється підвищена увага і іншим технологіям отримання знесоленої води - мембранним і термічним. Застосування їх дозволяє значно скоротити кількість реагентів, об'єми водоспоживання та скидання стічних вод.

Широке застосування мембранних методів для підготовки води енергетичних котлів на вітчизняних ТЕС обмежене відсутністю серійного виробництва якісних мембран і складністю технологічного процесу. Фільтрат, що отримується при застосуванні мембранних процесів, необхідно додатково знесолювати, що у свою чергу вимагає поєднання мембранних і іонообмінних методів. Зберігається проблема утилізації стічних вод. Використання термічного знесолювання дозволяє утилізувати основну частину мінералізованих стічних вод ТЭС при мінімальній витраті хімічних реагентів і наблизитися до створення маловідходних технологічних процесів.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІНОЇ БЕЗПЕКИ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕРМІЧНОЇ УТИЛІЗАЦІЇ НАФТОШЛАМІВ

*Сіра А. Ю., студентка; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Проблема екологічної безпеки нафтогазовидобувної галузі обґрунтовується переважанням підприємств по всій території країни, непроникною мережею нафтогазопроводів і впливом відходів на екологічну ситуацію навколишнього природного середовища. Специфіка територіального розміщення підприємств нафтогазового комплексу безумовно впливає на екологічний стан окремих областей України. Систематичне накопичення відходів буріння вважається вирішальним для галузі, але утилізація є важливою для зменшення антропогенного впливу на навколишнє природне середовище. Майже всі виробничі об'єкти нафтогазової промисловості у відповідних умовах забруднюють всі компоненти природного середовища різноманітними шкідливими речовинами. Тому нафтогазові підприємства за рівнем шкідливої дії на природне середовище вважаються об'єктами підвищеного екологічного ризику [1]. Актуальність проблеми поводження з нафтошламом, пов'язаної зі зберіганням та утилізацією утвореного шламу стоїть на першому місці після відкриття нових родовищ, обумовлюється підвищенням рівня захисту об'єктів довкілля, що перебувають у зоні впливу відходів та місць їхнього розміщення і захоронення.

З бурінням свердловин виникає проблема – буровий шлам. Для її вирішення застосовуються інноваційні методи, спеціалізована техніка та обладнання. У цій області удосконалюються технології для знешкодження цієї небезпечної речовини. Переробка та утилізація нафтошламів проводиться із застосуванням різних технологічних прийомів, залежно від складу відходів. Для спалювання нафтошламів широко застосовуються печі різних типів і конструкцій: камерні, барботажні, циклонні і печі з киплячим шаром.

Термічний метод дозволяє спільно з нафтошламами спалювати забруднені фільтри, тверді побутові відходи. Вторинні відходи, що утворюються при цьому, відносяться до 4 класу небезпеки і підлягають вивозу на полігони поховання. Об'єм вторинних відходів в порівнянні з первинним зменшується до 10 разів.

Таким чином, термічна утилізація бурових відходів дозволяє не тільки захистити навколишнє природне середовище від токсичних елементів, але і отримати цінні і безпечні будматеріали.

### Список літератури

1. Орфанова М. М. Напрямки покращення екологічної ситуації на підприємствах нафтогазового комплексу України / М.М. Орфанова, Энергосбережение . Энергетика. Энергоаудит. – 2014, № 4(122) – 69–73 с.



## РОЗРАХУНОК ЗАХОРОНЕННЯ ВІДХОДІВ ГАЗОВИДОБУТКУ

*Рикусова Н. І., аспірантка; Шестопалов О. В., доцент;  
Гетта О. С., аспірантка, НТУ «ХПІ», м. Харків*

Утилізація відходів газовидобутку – одна з невирішених галузевих проблем сьогодення. Захоронення відходів буріння вуглеводневих свердловин не вирішує завдання в повній мірі.

Зазвичай на буровому майданчику облаштовують два або три амбара-накопичувача, в яких рідкі відходи буріння самопливом перетікають з одного амбару в інший. Частина рідких відходів може просочуватися через негерметичність ізолюючої плівки в ґрунт та водоносні горизонти, тим самим погіршуючи стан навколишнього середовища. Також, частина землі, де відбувається захоронення відходів у шламових амбарах на довгі роки вважається забрудненою та засів сільськогосподарських культур на таких територіях стає нерентабельним. Не менш шкідливими також є випаровування нафтопродуктів з дзеркала амбару [1].

На сьогоднішній день існують амбарна технологія поводження з буровими відходами (захоронення в амбарі) та безамбарна технологія (відходи відразу проходять очистку у спеціальній ємності, а далі відбувається їх повторне використання). Наприклад, на буровому майданчику використовується очищена бурова стічна вода. Перспективним напрямком утилізації твердих відходів буріння є переробка їх в різну будівельну продукцію. Тверда фаза відпрацьованого бурового розчину використовується в якості наповнювача для виготовлення полімерного композиційного матеріалу.

Приведемо розрахунок вартості амбарного захоронення у двох шламових амбарах, які мають такі характеристики (таблиця 1):

Таблиця 1 – Характеристики шламових амбарів

Характеристика амбару	Амбар 1	Амбар 2
Площа дзеркала	560 м <sup>2</sup>	495 м <sup>2</sup>
Площа дна	272 м <sup>2</sup>	195 м <sup>2</sup>
Площа стінок	403 м <sup>2</sup>	420 м <sup>2</sup>
Площа дна і стінок	675 м <sup>2</sup>	615 м <sup>2</sup>
Об'єм	1223 м <sup>3</sup>	1007 м <sup>3</sup>

Орієнтовний розрахунок ціни амбарного захоронення відходів буріння дорівнює:

$$C_{\text{зах}} = V_{\text{буд}} + (C_{\text{пл}} \times m^2) + P_{\text{тех}} + P_{\text{біо}} + E_{\text{под}} + K \quad (1)$$

$V_{\text{буд}}$  – витрати на будівництво шламових амбарів (земляні роботи, укладання ізолюючої плівки та ін.). Орієнтовна ціна 500 000,00 грн.

$C_{\text{пл}}$  – ціна 1 м<sup>2</sup> ізолюючої плівки, яка вистилає дно та стіни шламового амбару; Орієнтовна ціна складає 145 грн/м<sup>2</sup>;

$m^2$  – необхідна кількість ізолюючої плівки;

Краї полімер-бітумного матеріалу виводять за межі амбару по всьому периметру на ширину не менше 1 м. Розміри гідроізоляційної плівки (1,5 м × 10,0 м). Необхідна кількість плівки з урахуванням швів складає 1508 м<sup>2</sup>.

$$C_{пл} + m^2 = 145 \times 1508 = 218\,660,00 \text{ грн}$$

P<sub>тех</sub> – ціна рекультивації технічної (захоронення відходів);

P<sub>біо</sub> – ціна рекультивації біологічної;

$$P_{тех} + P_{біо} = 536\,250,00 \text{ грн}$$

E<sub>под</sub> – екологічний податок;

$$E_{под} = E_{від} + E_{внк} \quad (3)$$

E<sub>від</sub> – екологічний податок за розміщення відходів;

E<sub>внк</sub> – екологічний податок за викиди в атмосферу;

$$E_{под} = 12\,154,00 + 8\,772,00 = 20\,926,00 \text{ грн}$$

K – контроль забруднення;

$$K = K_{заб} + K_{внк} \quad (2)$$

K<sub>заб</sub> – контроль забруднення ґрунтів та води. Становить 13 700,00 грн

K<sub>внк</sub> – контроль викидів в атмосферу, та оцінка забруднення атмосферного повітря на межі СЗЗ. Становить 8 500,00 грн.

$$K = 13\,700,00 + 8\,500,00 = 22\,200,00$$

При спорудженні двох шламонакопичувачів ціна амбарного захоронення складе:

$$C_{зах} = 500\,000,00 + 218\,660,00 + 536\,260,00 + 20\,926,00 + 22\,200,00 \\ = 1\,298\,046,00 \text{ грн}$$

З формули 1 слідує, що орієнтовна вартість амбарного захоронення відходів буріння становить приблизно 1,3 млн грн [2]

В залежності від діаметру та глибини свердловини залежить кількість вибурених відходів, і звісно, розміри амбарів. При будівництві амбарів вирубуються дерева, чагарники та відбувається відчуження земель.

Тому безамбарна технологія буріння з подальшою очисткою, утилізацією та переробкою відходів буріння є більш екологічно та економічно доцільною [3].

#### Список літератури:

1. Вплив на навколишнє природне середовище (НПС) бурових робіт та відходів буріння нафтогазових свердловин/ Рикусова Н. І. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Хар-ків : НТУ «ХП», 2017. – № 20(1242). – С.98–102. – Бібліогр.: 14 назв. – ISSN 2079-5459

2. Звіт з оцінки впливу на довкілля спорудження розвідувальної свердловини №714 Пролетарського ГНКР 04-04/18-ОВД. Вик.: ТОВ «Ромірет», Полтава, 2019 р, 179 с.

3. Пичугин Е. А. Эколого-экономический анализ предотвращенного ущерба почве как объекту окружающей среды при утилизации буровых шламов // Молодой ученый. — 2014. — №14. — С. 84-87.

## ПРОЦЕС ЗНЕШКОДЖЕННЯ ОСАДІВ СТІЧНИХ ВОД РАЗОМ ІЗ ФОСФОГІПСОМ З УТВОРЕННЯМ БІОГАЗУ

*Руденко В.В., студентка; Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми*

У процесах механічного, біологічного і фізико-хімічного очищення побутових, промислових і сільськогосподарських стічних вод на очисних спорудах утворюються різного виду осади, які розрізняються за складом, властивостями і дією на довкілля. Осади стічних вод (ОСВ) міських очисних споруд характеризуються значним вмістом органічної речовини, макро- і мікроелементів, біологічно активних речовин. За ефективністю багато видів ОСВ не поступаються традиційним органічним добривам.

За результатами досліджень агроекологічних властивостей ОСВ встановлено, що вони мають значні запаси поживних елементів, необхідних для росту рослин. При цьому було визначено, що в ОСВ відзначається збільшення вмісту важких металів (ВМ) зі збільшенням їх терміну зберігання внаслідок міграції металів із верхніх (свіжих) шарів осаду. Коливання мікроелементного складу ОСВ різної глибини залягання обумовлено вимиванням хімічних сполук із верхнього шару і їх накопиченням у нижньому, що залежить від метеорологічних умов і сезонної інтенсивності біохімічних процесів, а також варіації компонентів складу стічних вод, які надійшли у різний час до міських очисних споруд. Саме тому, проблема знешкодження та утилізації ОСВ є актуальною.

На сьогоднішній день до найбільш розповсюджених напрямків переробки та утилізації ОСВ відносяться наступні: піроліз, газифікація, виробництво твердих паливних брикетів, компостування, вермикомпостування, реагентна обробка, аеробна стабілізація і біогазові технології тощо.

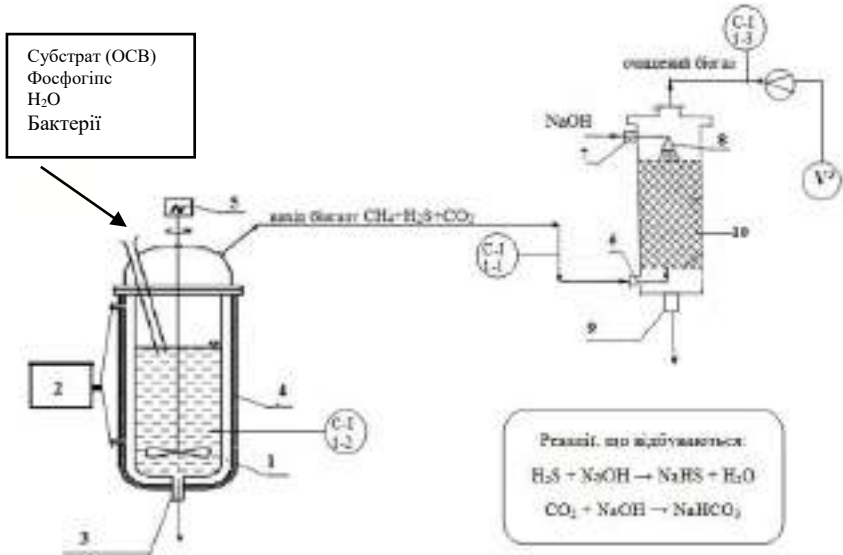
З ціллю зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище від об'єктів складування ОСВ доцільним і перспективним є використання екологічно безпечної біотехнології знешкодження ОСВ разом із фосфогіпсом. Використання у процесі біохімічної сульфатредукції різного роду органічних і мінеральних відходів, які можуть стимулювати ріст сульфатвідновлюючих бактерій. Технологія знешкодження ОСВ разом із фосфогіпсом у процесі їх анаеробного мікробіологічного розкладання з біохімічним видаленням іонів ВМ біогенним сірководнем у вигляді нерозчинних сульфідів дозволить знизити техногенне навантаження від об'єктів накопичення відходів.

Кінцевий органо-мінеральний продукт знешкодження ОСВ повинен мати ряд важливих еколого-агрохімічних характеристик:

- зв'язування важких металів у форму, не доступну для рослин, і видалення їх із міграційних процесів в екосистемі;
- зниження концентрації токсичних органічних речовин;

– відновлення поживними речовинами в біодоступну форму.

Для дослідження процесу біосульфідного знешкодження ОСВ наведена технологічна схема утворення біогазу із осадів стічних вод та додаванням фосфогіпсу основним елементом якої є біореактор (рис. 1).



1 – біореактор; 2 – термостат; 3 – порт для відведення зброженої маси ОСВ; 4 – ізоляція; 5 – перемішувальний пристрій; 6 – вхідний патрубок; 7 – патрубок для подачі NaOH; 8 – розбризкувач; 9 – патрубок для відведення забрудненої рідини; 10 – абсорбер

Рисунок 1 – Експериментальна установка

Ця технологічна схема обробки ОСВ забезпечує:

- розширення можливостей застосування анаеробного біореактора за рахунок введення рециклінгу матеріальних потоків із багатократним повторним використанням у технологічному циклі детоксикації ОСВ;
- виробництво екологічно чистого органічно-мінерального продукту з можливістю його утилізації в сільському господарстві;
- високоякісне розділення біогазу;
- збільшення частки утилізації відходів хімічного виробництва, використовуючи їх, як цінний мінеральний ресурс.

Отже, використання технології знешкодження ОСВ разом із фосфогіпсовими відходами забезпечить раціональне використання вторинних сировинних ресурсів та одержання біогазу та екологічно чистого органічно-мінерального продукту переробки.

## ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

*Федоришин П. В., студент; Козій І. С., доцент, СумДУ, м. Суми*

В останні роки екологічна політика України була направлена на гармонізацію вимог екологічної безпеки промислових підприємств для довкілля з нормативами, що діють в ЄС. Це зумовлене тим, що вимогою, згідно якої для набуття членства в ЄС країна-кандидат має прийняти *Acquis Communautaire* – масив спільного законодавства ЄС, важливою і невід’ємною частиною якого є екологічна складова (понад 200 Екологічних Директив – нормативних актів, рішень і стратегій).

Зараз в Україні відбувається адаптація діючого законодавства України в сфері дозвільної системи до вимог системи інтегрованого дозволу та принципу використання найкращих з доступних технологій та методів керування. Даний принцип застосовується для визначення: обсягів викидів забруднюючих речовин у повітря, обсягів скидів у воду та ґрунт, раціонального використання ресурсів та електроенергії, обсягів утворення відходів, параметрів шуму, вібрації та ін.

Відповідно до директиви про промислові викиди установ, які повинні дотримуватись цих норм належать підприємства харчової промисловості, в тому числі і кондитерська промисловість. Кондитерська промисловість є однією з найбільш ємних, її частка в продажі продовольчих товарів складає близько 8 %. На ринку кондитерських виробів України працює близько 800 підприємств.

Підприємства кондитерської промисловості є значним джерелом забруднення навколишнього середовища. В процесі виробництва відбуваються викиди шкідливих речовин в повітряний та водний басейни, накопичується значна кількість твердих побутових відходів, виникає шум та вібрація від устаткування та ін.

Згідно з класифікацією забруднень Стадницького Г. В. та Родіонова А. І. антропогенні забруднення діляться на інгредієнтні (хімічні), параметричні (фізичні), біоценотичні та стаціонально-деструкційні. До параметричних забруднень відносяться: шумове та вібраційне забруднення, теплове, світлове, радіаційне, електромагнітне. Параметричне забруднення є не менш шкідливим для навколишнього середовища ніж інгредієнтне забруднення, яке вважається найнебезпечнішим, тому, що впливає безпосередньо на зміну клімату, порушення природнього біохімічного кругообігу речовин та сприяє накопиченню токсичних речовин в живих організмах та рослинах. Параметричні забруднення викликають деградацію екосистеми. Під впливом параметричних забруднень відбувається міграція живих організмів із зони впливу, або їх загибель, що призводить до порушення цілісності екосистеми, порушуються зв’язки, обмін речовини та енергії і як наслідок – екосистема може загинути.

На підприємствах кондитерської промисловості найбільш впливовими параметричними забрудненнями є шум та вібрація. Кондитерська промисловість

включає велику кількість обладнання, яке є джерелом шуму та вібрації: технологічне обладнання, котельні, компресорні, насосні та холодильні станції, трансформаторні підстанції, системи вентиляції та кондиціонування, пневмотранспорт, аспіраційні установки, тощо. Шум від кондитерських виробництв має неоднорідний характер. Характерний однорідний шум генерують поточні агрегати, однак деякі окремі машини, такі як млин какао бобів, сортувальні машини, створюють значний шум, який перевищує допустимі рівні в декілька разів.

За рекомендаціями Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ) норма шуму в навколишньому середовищі обмежується значенням 55 дБА. В Україні нормативно допустимий рівень шуму в навколишньому середовищі: 55/45 дБА (день / ніч) для селитебної зони, 40 дБА для зони відпочинку, 65/55 дБА (день / ніч) для першого ешелону будівель від рейкового шляху. Максимальні рівні звуку 80/70 дБА (день / ніч) для селитебної зони, 60 дБА для зони відпочинку.

Підприємства кондитерської промисловості налічують близько 30 видів виробничого обладнання в цехах, 15 відділень ремонтної майстерні, котельня, компресорні, вентиляційне обладнання, які є джерелом шуму та вібрації.

Боротьба з шумом здійснюється методами, позначеними чотирма групами: усунення причин шуму в джерелі його утворення, звукоізоляція, звукопоглинання та застосування організаційно-технічних заходів. Найбільш ефективними методами боротьби з вібрацією є віброізоляція та вібропоглинання.

Основними напрямками технічних і технологічних рішень, що знижують екологічну небезпеку параметричних навантажень, створюваних підприємствами кондитерської промисловості є: модернізація вентиляційного обладнання, впровадження нових технологій гасіння шуму та вібрації, удосконалення конвеєрних ліній з впровадженням систем гасіння шуму та вібрації, створення шумопоглинаючих бар'єрів та ін. Але є потреба в систематизації методів боротьби з шумом та вібрацією для подальшого створення стандартних алгоритмів дії при переведенні підприємств кондитерської промисловості з екологічно небезпечного рівня на рівень екологічно безпечного підприємства для навколишнього середовища.

В процесі розвитку української кондитерської промисловості велика увага приділялась екологічній безпеці підприємств. Проте в найбільшому ступені розглядалися проблеми інгредієнтного забруднення, хоча параметричні забруднення є не менш значущими і впливовими як для людини, так і для навколишнього середовища. Своєчасне впровадження заходів по зменшенню параметричного навантаження на навколишнє середовище кондитерськими підприємствами є економічно вигідним, а створення стандартних алгоритмів дії по зменшенню параметричного навантаження на навколишнє середовище дозволить підприємствам за короткий час розробити та впровадити заходи по зменшенню параметричного навантаження на навколишнє середовище.

## WORK-FLOW ANALYSIS OF BIOGAS PLANT

*Liulin Denys, student; Roman Vaskin, Assos. Prof.;*  
*Iryna Vaskina, Senior Lecturer, SSY, Sumy, Ukraine*  
*Marek Jelinek, PhD student, Czech University of Life Sciences,*  
*Prague, Czech Republic*

Biogas is renewable source of energy and development of its production is one of the priority directions of the state policy of the European countries. For Ukraine, bioenergy is one of the strategic directions for the development of the renewable energy sector, given the country's high dependence on imported energy, primarily natural gas, and the large potential of biomass available for energy production. As stated at the First International Forum of Bioenergy Technologies and Alternative Energy in Agribusiness held in Kyiv, the National Plan of Action for Renewable Energy has planned by the government that by 2020 in the overall structure of energy consumption of the country 11% of energy should be produced on bioenergy complexes installations (the Plan was approved in 2014).

In Ukraine, the share of bioenergy in the overall structure of energy consumption is very low compared to the EU. If in the EU bioenergy occupies 18-20 % of the market, then we have level – 5 %. On 2019, there were 18 active biogas stations in Ukraine. The total installed capacity of the projects at the end of 2018 reached 27.3 MW. The capacity of individual projects ranges from 0.125 to 5.7 MW. The largest are the Globinsky Bioenergy Complex, Oril-Lider poultry farm, Myronivsky Bakery. For the most part, biogas projects in the agrarian sector are focused on generating electricity and reselling it at a “green” tariff. Only a few biogas plants (BGP) in Ukraine make good use of biogas-produced heat. The process of BGP's operation was studied on the example of BGP on Rokytno sugar plant. There are some potential problems of work flow was identified. According to the research team's assessment, there are two groups of problems: problems resulting from design of BGP and problems of BGP's operation. This factors include:

- There was no ways to utilize heat. It is not reflected in the profitability of the plant. Thermal energy is mainly released into the atmosphere (60-80%). Only a small portion is used to preheat fermenters in cold season.

- Nitrogen loss from the final product (sediment). The sediment obtained in the fermentation process is rich by nitrogen. It can be used into as a nutrient in liquid form. In the separation of sediment, nitrogen remains in the liquid phase and does not fall into the solid degistate used in the fields.

- Low methane productivity. The part of methane in biogas is only 45-50%. (also biogas contains 25 % CO<sub>2</sub>, about 20 % H<sub>2</sub>S). It is very low level of methane. When using a waste of such composition, the methane content should reach 60-65%.

- High H<sub>2</sub>S content - about 20%. Hydrogen sulfide interacts with water to form sulfur oxides, which are released into the air. There, by interacting with water vapor, they can form sulfuric and sulfurous acids and fall down as acid precipitation.

At the plant, the treatment of sulfur is carried out by the method of adding air to the fermenter, which stimulates the activity of sulfur bacteria. Judging by the proportion of hydrogen sulfide in biogas, no effective decomposition of sulfur-containing compounds occurs.

- Lack of a system for purification of flue gas from generators. This gas contains carbon oxides, sulfur oxides and nitrogen oxides. Even if its levels don't do not exceed the standards it is important to reduce air pollution.

- Large volume of liquid waste that removed to the filtration fields. The nitrogen contained in the waste in soluble form ( $\text{NH}_4$ ). So most of all doesn't enter the solid phase during separation. On the filtration fields the nitrogen is mostly evaporated.

Research team analyses all aspects and propose following ways to improve the work-flow of BGP:

1. Excess heat. Heat is partly used in the cold season to heat the fermenters. 60-80% of heat is still lost to the atmosphere. It is advisable to use this heat for drying grain by agribusinesses, for greenhouses to grow vegetables, convert heat to electrical energy by a cogeneration unit to (estimated cost € 18,000).

2. Poor methane productivity may have such reasons: low raw material potential (cow manure) or insufficient mixing of the waste in the fermenter. In order to increase the productivity of raw materials, it is advisable to mix animal manure with plant material (silage, energy plants). To avoid second reason it's necessary to monitor the normal operation of the mixers for decreasing effectiveness of methane-forming bacteria.

3. High Hydrogen sulfide content. Filters, absorbers and other equipment can be used to clean sulfur compounds. It needs the extra costs.

4. Lack of a system for purification of flue gas from generators. Catalysts, filters can be installed to purify the generator exhaust gas from sulfur, nitrogen and carbon oxides.

5. Nitrogen loss. Using the technology of the introduction of harsh fertilizers in the fields. Filtration fields require the removal of the ground beneath them, as well as causing an unpleasant odor around. Therefore, it is necessary to reduce its area. It is necessary to detail study the content of the liquid phase of the waste (because it contains valuable nitrogen) and to consider its use as a liquid fertilizer.

Implementation of such measures will increase productivity of the Rokytne BGP and therefore financial profit. This given cash has been used for decreasing the man-made impact of BGP on environment.

#### References

1. Success stories of the Members of the European Biogas Association: Good Practices and Innovations in the Biogas Industry. 2017
2. Kovalev, A., Kovalev, D. 2012. Possible ways to improve energy efficient of biogas plant / Vestnik VNIIMG, Vol.4(8). P.36-41
3. Eder, B., Schultz, H. 1996. Biogas digesters. Practical guide.



## ЕКОЛОГІЧНО-БЕЗПЕЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ОЧИЩЕННЯ НАСОСНО-КОМПРЕСОРНОГО ОБЛАДНАННЯ ВІД РАДІОАКТИВНИХ ВІДКЛАДЕНЬ

*Івлева А. В., студентка; Бурла О. А., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

В кінці минулого століття у більшості країн світу і в Україні з'явилася нова проблема, пов'язана із забрудненням нафтового устаткування і середовища регіонів продукції нафтового палива і природного газу натуральними радіонуклідами, – радієм, торієм і калієм. Першими науковцями в Україні, які мали на меті охорону працівників і НПС, розробку ефективних технологій, знезараження нафтового устаткування і особливо насосно-компресорних труб, були В. О. Шумлянський, М.Ю. Журавель, А. Г. Субботін.

На підприємствах нафто-газової промисловості України забруднене устаткування збирається в значних кількостях. Тому необхідним є терміново опрацювати і впровадити на практиці ефективну та екологічно-безпечну технологію очищення насосно-компресорного обладнання (НКО) від радіоактивних відкладень.

Обеззараження в умовах поверхневого забруднення відбувається у водному середовищі, а також в результаті механічної дії. Дезактивація забруднень, що знаходяться в глибині поверхні отримується через усунення верхнього забрудненого шару разом з радіоактивними речовинами, які в ній знаходяться. Цього можна досягти за допомогою знезаражувальних розчинів, а також механічного видалення забрудненого шару.

Відомий є спосіб видалення металічних або мінеральних відкладень з поверхні бурильного устаткування хімічними методами з участю як ресурсу хелатоутворюючого агенту. У той же час, проводиться певний контакт поверхні з первинним водним розчином, який заключає хелатоутворюючий чинник.

Іншим способом дезактивації постійних радіоактивних відходів є рециклінг рідких радіоактивних відходів і фіксація радіоактивних елементів в стабільному постійному середовищі. За допомогою суспензії, яка заключає глину, абразивний складник, діатоміт і фосфорну кислоту, проводять дезактивацію внутрішніх поверхонь труб.

Згідно з результатами аналізу досліджень науковців встановлено, що найефективнішим способом знезараження нафтового устаткування є хімічний спосіб з використанням кислот. Впровадження цього методу зменшить обтяження на навколишнє середовище під час свердлення бурових нафтових свердловин і забезпечить повторне використання труб в технологічному процесі після їх дезактивації.

На даний момент у світі застосовуються різноманітні методи дезактивації НКО, наприклад: пневматичне очищення, установки індукційного нагріву, переплавка в металургійних підприємствах.

## ОЦІНКА ЯКОСТІ АТМОСФЕРНОГО ПОВІТРЯ В МІСТАХ УКРАЇНИ

*Катриченко А. К., студентка; Фалько В. В., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

У останні декілька десятиліть стан навколишнього середовища почав викликати занепокоєння по усьому світу. Усі три складові середовища – повітря, вода та ґрунти зазнали значного забруднення, викликаного людською активністю та деякими природними процесами, що мають серйозний вплив на довкілля.

Незважаючи на те, що люди завжди мали вплив на навколишнє середовище, об'єми та темпи цього впливу збільшилися завдяки різкому росту та розвитку населення. Особливо помітними стали проблеми забруднення навколишнього середовища у густонаселених регіонах, таких як Європа, а зокрема у великих містах.

За даними Всесвітньої організації охорони здоров'я, у 2018 році 91% світового населення проживало у регіонах, що не відповідають стандартам якості повітря ВООЗ. Також, у 2018 році, неякісний стан атмосферного повітря викликав приблизно 4,2 млн. передчасних смертей. Тому якість повітря є надважливою проблемою для усього населення світу.

Україна є однією з урбанізованих країн Європи та світу. За даними перепису населення 2001 року, частка міського населення України складала 67,2%, а за даними Держкомстату України на 1 січня 2018 року – вже 68,9%. Отже, екстраполюючи, можна передбачити, що у 2020 році частка міського населення складе приблизно 69,8%. Тож, незважаючи на стрімке скорочення загальної чисельності населення у останні приблизно два десятиліття, процеси урбанізації протікають невпинно. Цим забезпечується актуальність роботи, адже частка населення, що піддається впливу забрудненого повітря висока та постійно збільшується.

Забруднення повітря у містах та густонаселених регіонах – це складна сукупність газів та твердих частинок, що негативно впливають на населення, що проживає у даному регіоні. Воно проявляється характерною сірою димкою, що покриває міста по усьому світу, особливо улітку, що називається фотохімічний смог. Діоксид нітрогену ( $\text{NO}_2$ ), озон ( $\text{O}_3$ ) та тверді частинки є трьома основними забрудниками атмосферного повітря у містах і їх вплив на здоров'я людини добре задокументовано. Ці елементи, а також чадний газ ( $\text{CO}_2$ ) та діоксид сірки ( $\text{SO}_2$ ) регулюються у правилах якості повітря ВООЗ для забезпечення встановлення чітких показників якості повітря та впливу на здоров'я людини.

Основна маса забруднення повітря є результатом спалювання корисних копалин. У містах та густонаселених регіонах це у більшості викликано викидами транспортних засобів, промислових об'єктів та індустріальних парків.

## ЗМЕНШЕННЯ НАВАНТАЖЕННЯ НА ПОЛІГОН МЕТОДОМ СОРТУВАННЯ СУХИХ ВІДХОДІВ

*Новомирська В. О., студентка; Трунова І. О., доцент, СумДУ, Суми*

В Україні накопичилась велика кількість відходів — близько 25 млрд тонн промислових і близько 5 млрд побутових (за вагою близько 1 млрд тонн) — тобто близько 500 кг на одного жителя України.

Однією з головних проблем поводження з відходами є правильний поділ побутових відходів, що дозволяє переробити їх більш якісно, з меншими витратами енергії, часу і людського ресурсу і, що важливо, зменшити об'єм відходів, які вивозяться на полігон і забруднюють навколишнє середовище.

Сухі відходи – це відходи, що придатні для вторинної переробки, зокрема картон, папір, плівка, поліетилен, скло, пластикові пляшки, жерстяні банки, пластмаса. Мокрі відходи – це вологі харчові відходи, зокрема залишки їжі, овочів, фруктів тощо.

У багатьох країнах макулатура є найважливішим джерелом для паперу в целюлозно-паперовій промисловості, гранульованого, брикетованого і порошкоподібного твердого палива, а також рідкого і газоподібного палива. Пакувальний папір, гігієнічні вироби з паперу, газети виробляються повністю з макулатури і вторинної сировини, завдяки чому зберігають ліс, повністю переробляють паперові відходи.

Мало хто знає, але сміттеві звалища небезпечні не тільки забрудненням ґрунтів і підземних вод. Уся справа в метані. Його виробляють специфічні бактерії, що плодяться у сміттєвих покладах багатометрової товщини і розкладають органічні відходи, виділяючи газ і тепло.

Нагромадження гарячого біогазу призводить до самозаймання відходів, збільшуючи і без того критичний стан повітря над смітниками, тому що метан у 20 разів шкідливіший для кліматичної системи за вуглекислий газ. Але проблему можна зробити джерелом енергії.

Щоб досягти бажаного ефекту слід дотримуватися декількох правил. По-перше, потрібно підвищувати екологічну культуру громадян. По-друге, потрібно унормувати наше законодавство до європейського рівня. Закони, які існують у нашій державі вже не відповідають тим стандартам, що встановлено в усьому світі. По-третє, кожен громадянин має зробити свій особистий внесок у зменшення сміттєвих звалищ. Потрібно намагатися купувати продукти без упаковки (на вагу); надавати перевагу упаковці, яку потім можна буде віддати в місце прийому (скло, металотара); брати з собою «старий» поліетиленовий пакет і не купувати новий. І четверте — варто збирати «домашню» макулатуру, склотару в окремі пакети і віддавати в пункти прийому.

За словами експертів, перший крок до сортування сміття – відмовитися від тих відходів, які нам насправді непотрібні.

## ПІДХОДИ ДО СТВОРЕННЯ ІНФРАСТРУКТУРИ ОБРОБЛЕННЯ ІНФЕКЦІЙНО НЕБЕЗПЕЧНИХ МЕДИЧНИХ ВІДХОДІВ

*Ахрамєєва В. М., студентка; Лазненко Д. О., доцент, СумДУ, м. Суми*

Управління медичними відходами є важливою епідеміологічною та екологічною складовою безпеки населення країни та світу в цілому. Особливої уваги заслуговують інфекційно небезпечні медичні відходи (категорія В).

Термічне знешкодження медичних відходів категорії В у спеціалізованих установках:

- а) децентралізованим способом;
- б) централізованим способом:
  - створення окремих установок для спалювання медичних відходів категорії В;
  - створення установок для спільного спалювання медичних відходів категорії В, відходів тваринництва (у т.ч. побічними продуктами тваринного походження) та трупів домашніх і безпритульних тварин. Можливо також спалювання окремих видів небезпечних відходів.

Допускається застосування комбінованого підходу з використанням усіх або декількох з наведених варіантів термічного знешкодження відходів.

Створення об'єктів централізованого оброблення медичних відходів потребує придбання та встановлення необхідного технологічного обладнання, а також створення системи транспортування медичних відходів від місць утворення до об'єктів їх оброблення та розроблення відповідної логістики організації збирання та транспортування цих відходів для відповідних територій.

При плануванні діяльності з розвитку інфраструктури централізованого оброблення (термічного знешкодження) медичних відходів доцільно враховувати, що в області існують подібні завдання відносно інших видів відходів, а саме (спалювання) відходів тваринництва (у т.ч. побічних продуктів тваринного походження) та трупів домашніх і безпритульних тварин. З точки зору технологічного забезпечення ці завдання є близькими між собою та можуть розглядатися з позиції створення спільної інфраструктури.

Крім того, установки для зазначених відходів, з технічної точки зору, можуть бути використані для оброблення окремих видів небезпечних відходів.

Враховуючи відносно невеликі обсяги утворення кожного з видів відходів, що потребують термічного знешкодження, такі завдання є сенс розглядати спільно.

## КОНЦЕПЦІЯ БЕЗВІДХОДНИХ ТЕХНОЛОГІЙ В ХІМІЧНІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ В КОНТЕКСТІ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ

*Порохня М. Ф., аспірант; Шестопалов О. В., доцент, НТУ «ХПІ», м. Харків*

Як правило, ступінь негативного впливу на навколишнє середовище промисловим підприємством визначається якістю та рівнем оптимізації технологічних процесів, на яких заснована його діяльність. Концепція сучасного хімічного виробництва повинна базуватися на маловідходних (в ідеалі безвідходних) технологіях, що забезпечують ефективне використання матеріальних та енергетичних ресурсів, та відповідають державним стандартам в області дотримання гранично допустимих викидів (ГДВ) та гранично допустимих скидів (ГДС) забруднюючих речовин у навколишнє середовище.

У зв'язку з цим виникає об'єктивна необхідність розробки та здійснення комплексу заходів по впровадженню маловідходних та безвідходних технологічних процесів. Цей комплекс включає у себе питання як технологічного, так і організаційного характеру: забезпеченість підприємств сировиною, засобами контролю, енергією та іншим [1].

Характерною рисою безвідходних технологій (БВТ) є таке використання сировини та енергії, при якому процес виробництва продукції не супроводжується забрудненням навколишнього середовища, тобто не залишає екологічно шкідливого сліду.

Концепція БВТ має два підходи. Один з них заснований на законі збереження речовини. Згідно з іншим підходом, повністю безвідходну технологію не можна створити ні практично, ні навіть теоретично, у зв'язку з тим, що це певним чином суперечить другому началу термодинаміки [2].

На сьогоднішній день не існує єдиного універсального критерію для кількісної оцінки ступеня безвідходності виробництва. В різних галузях промисловості існують різні відповідні показники [3].

Саме тому дослідження в цьому напрямку на сьогоднішній день мають актуальне наукове значення.

### Список літератури

1. Сутягин В.М., Бондалетов В.Г., Кукурина О.С. Принципы разработки малоотходных и безотходных технологий / В.М. Сутягин, В.Г. Бондалетов, О.С. Кукурина. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 184 с

2. Декларация о малоотходной и безотходной технологии и использовании отходов// Химия и жизнь. – 1980. - №4. – С.25-28

3. Тарасова Наталия Павловна, Зайцев Валентин Алексеевич, Кузнецов Владимир Алексеевич Безотходные, чистые и зелёные технологии // Успехи в химии и химической технологии. - 2014. Т.2 №4. – С. 19-22.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИКОНАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РЕГЛАМЕНТІВ СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ВОДООЧИЩЕННЯ

*Штепа В. М., науковий співробітник, КНУТД, м. Київ*

Аналізуючи склад технологічних регламентів (ТР) та особливості функціонування промислового водоочисного обладнання [1], можна зробити висновки, що ключовими та дуже складними завдання, при виконанні технологічного регламенту безпосередньо на виробництві, являються:

- контроль та аналіз технологічних процесів у проектно-встановлених точках відбору проб стічної води та осаду;
- технологічний аналіз: роботи обладнання згідно виробничих експлуатаційних показників, витрат ресурсів, ефективності очищення згідно встановлених критеріїв та показників.

При чому чим складніше завдання водоочищення, тим більш громізка та менш надійна (ефективна) система технологічного контролю за дотриманням нормативних вимог. Наприклад, при реалізації схеми хімічного способу видалення забруднювачів міжнародного концерну «Siemens», необхідно одночасно контролювати понад 40 технологічних величин.

Однак, стоки (побутові, виробничі та атмосферні) містять зазвичай велику кількість неорганічних і органічних компонентів, точний склад їх, навіть в якісному відношенні, не завжди можна заздалегідь передбачити – у переважній більшості випадків цього зробити неможливо. Навіть при простому змішуванні стоків від різних цехів підприємства відбуваються хімічні реакції між компонентами цих стоків, що призводять до утворення нових речовин. При хлоруванні, наприклад, з'являються продукти окислення неорганічних і органічних речовин і їх хлорпохідні. Якщо біохімічному очищенню піддаються промислові стічні води, змішані з господарсько-побутовими, то можна виявити непередбачувані органічні сполуки у загальному скидіві підприємства.

Саме тому доцільно використовувати еколого-енергетичний критерій [2] для оперативного аналізу функціональної відповідності систем видалення забруднювачів зі стоків показникам вказаним у ТР. Такий підхід створює передумови щодо управління у режимі реального часу екологічною безпекою промислових об'єктів за каналом «очищення стічних вод».

### Список літератури

1. Мазоренко Д.І., Цапко В.Г., Гончаров Ф.І. (2006) Інженерна екологія сільськогосподарського виробництва. Знання, 376 с.
2. Штепа В. М., Гончаров Ф. І., Сироватка М. А. (2007) Обґрунтування та розробка критерію енергоефективності функціонування електротехнологічних систем водопідготовки. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Вип. 161, С. 187–193.

## АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ МЕТОДИКИ ПРОГНОЗУВАННЯ НАСЛІДКІВ ПРИ АВАРІЯХ НА ХІМІЧНО НЕБЕЗПЕЧНИХ ОБ'ЄКТАХ

*Рибка Є. І., Котова І. І., студенти; Рой І. О., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

Аналіз статистичних даних [1] щодо небезпек і загроз виникнення надзвичайних ситуацій (НС) свідчить, що не зважаючи на відносно стабільний стан техногенної безпеки проблема захисту населення і територій від НС залишається одним із пріоритетних напрямів роботи центральних і місцевих органів виконавчої влади. Запровадження в Україні процесів управління ризиками виникнення НС та проведення наукових досліджень у напрямку удосконалення процесів реагування на НС є одними із основних напрямків діяльності під час забезпечення техногенної безпеки в країні.

Прийнятний рівень безпеки і якості життя населення базується на основних цінностях: визнання на всіх рівнях влади і управління абсолютного пріоритету людського життя, закріпленні прав громадянина в галузі забезпечення безпеки та формування правових механізмів регулювання взаємовідносин між особистістю, владою і суспільством. Крім того, передбачається інформування населення про потенційні небезпеки і готовність його до дій в НС природного і техногенного характеру [2]. Принципи достатньої безпеки і прийнятного ризику є основою програм в галузі цивільного захисту, а їх реалізація вимагає застосування адекватних математичних моделей прогнозування обстановки в НС [2].

Особливу небезпеку з можливими тяжкими наслідками та кількістю жертв становлять собою аварії з викидом в навколишнє середовище небезпечних хімічних речовин (НХР). Під хімічною обстановкою при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах (ХНО) розуміють ступінь хімічного забруднення атмосфери і місцевості, що чинять дію на життєдіяльність населення та проведення аварійно-рятувальних і відновлювальних робіт. Актуальним завданням залишається завчасне прогнозування зон ймовірного хімічного забруднення довкілля відповідно до реальних умов з метою забезпечення високоефективного управління та прийняття найбільш оптимальних рішень під час попередження, локалізації чи ліквідації НС.

Діюча в Україні методика [3] прогнозування масштабів забруднення при аваріях з викидом НХР сформована у вигляді таблиць, що звільняє від тривалих розрахунків і дає змогу оперативно здійснювати довгострокове і аварійне прогнозування масштабів забруднення. Математичне моделювання розмірів забруднення територій є ефективним інструментом для прогнозування обстановки в НС, що зумовлено використанням математичних методів опису процесів переносу і розсіювання газоподібних, рідких і твердих дисперсних компонентів забруднення. Недоліком діючої методики оцінювання розмірів зон хімічного забруднення є спрощене уявлення про процеси дифузії домішок в приземному шарі, що практично повністю

виключає врахування впливу рельєфу місцевості [4]. При вирішенні задач прогнозування зон забруднення НХР такий підхід є неприйнятним. Рельєф місцевості і тип підстилаючої поверхні, безумовно, впливають на формування рівня забруднення. Про це красномовно свідчить той факт, що теоретичні і фактичні значення концентрації забруднюючої речовини мають меншу розбіжність для рівної плоскої місцевості і дуже відрізняються в умовах складного рельєфу і різнотиповості підстилаючої поверхні.

Складний рельєф, елементи якого мають характерний просторовий масштаб від декількох метрів до декількох сотень метрів, веде до утворення неоднорідностей в полі вітру, що, в свою чергу, призводить і до зміни глибини зон забруднення [5]. Основна проблема врахування вплив рельєфу на розміри зон забруднення НХР, полягає в складності обліку фізичних ефектів, що виникають при обтіканні перешкод повітряним потоком і грають ключову роль в процесах турбулентного перемішування повітря [6].

На сьогодні діюча методика [3] враховує лише вплив окремих типів масивної забудови або лісових масивів. Однак під час прогнозування розмірів зон хімічного забруднення не враховується вплив окремих ізольованих перешкод (наприклад, гребінь, гряда, пасмо, бугор, уступ, балка, западина, яр), які можуть знаходитись на шляху розповсюдження хмари НХР.

Перспективним напрямком удосконалення моделей математичного прогнозування зон забруднення НХР при аваріях і розливах НХР є підключення до них моделей просторового розподілу швидкості вітру в умовах місцевості, елементи рельєфу якої мають масштаби від 10 і більше метрів.

#### Список літератури

1. УкрНДІЦЗ. Аналітичний огляд стану техногенної та природної безпеки в Україні. URL: <https://bit.ly/36sHXZB> (дата звернення: 30.10.2019).
2. Цивільний захист: навч. посіб. / Зеркалов Д. В. та ін. К. : «Основа», 2014. 234 с.
3. Методика прогнозування наслідків вилу (викиду) небезпечних хімічних речовин при аваріях на промислових об'єктах і транспорті : наказ від 27.03.2001 р. № 73/82/64/122. URL: <https://bit.ly/37vdKdx> (дата звернення: 27.10.2019).
4. Шевченко С. О., Шквар Є. О. Аналіз досліджень моделювання обтікання рельєфу міської забудови. Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних Сил. 2012. 4 (33). С. 255-263.
5. Абрамов Ю. А., Тарасенко А. А. Математическая модель локальных воздушных течений над поверхностью рельефа. Научный вестник будівництва. 2008. № 45. С. 132-139.
6. Ковалец И. В. Ассимиляция метеорологических данных в системах поддержки принятия решений. Математичні машини і системи. 2005. № 2. С. 154-167.



## РОЛЬ ЛЮДСЬКОГО ЧИННИКА У ФУНКЦІОНУВАННІ СИСТЕМИ ОХОРОНИ ПРАЦІ НА ВИРОБНИЦТВІ

*Мигаль Г. В., професор, НАУ ім. М. С. Жуковського «ХАІ», м. Харків;  
Протасенко О. Ф., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків*

У сучасному світі принципи організації і роботи виробництва швидко змінюються. Логічним наслідком цього процесу є активна зміна вимог до персоналу: кваліфікації, стану здоров'я, психологічних якостей та інших характеристик. При цьому серед наявних вимог до працівника найбільшу увагу приділяють здоров'ю, оскільки воно є найціннішим ресурсом, від якого безпосередньо залежить ефективність і продуктивність виробництва. Цей факт обумовив потребу у створенні принципово нового підходу до питання організації і функціонування системи охорони праці на виробництві, внаслідок чого з'явилась концепція «Vision Zero» – міжнародна настанова, яку сьогодні успішно впроваджено у багатьох країнах світу.

Концепція «Vision Zero» містить сім керівних принципів виробництва з нульовим травматизмом і безпечними умовами праці і стосується трьох основних сфер застосування: безпека праці, здоров'я (гігієна праці) і добробут працівників. Центральним елементом концепції є людина – ключова ланка життєвого циклу будь-якого виробництва. При цьому у концепції зазначено, що ефективність, безпечність поведінки і рішень працівника залежить як від кваліфікації, рівня знань, досвіду, так і від його психофізіологічних можливостей та обмежень. Отже, надійність і безпечність виробництва в концепції «Vision Zero» напряму пов'язана з людським чинником і саме у цьому полягає її основна відмінність від інших підходів до питання забезпечення безпеки працівника на виробництві.

Підтвердженням ефективності такого підходу є наступний крок у цьому напрямку – введення в дію з 2018 року стандарту ISO 45001 (Health & Safety) «Система менеджменту охорони здоров'я й безпеки праці». Стандарт позиціоновано як ключовий для будь-якої організації, залученої в охорону праці та забезпечення безпеки на робочому місці та є інструментом для поліпшення загального стану здоров'я персоналу і підвищення рівня безпеки в організаціях. Таким чином, на сьогодні ефективність роботи системи охорони праці на виробництві визначає процес управління людським чинником.

Сучасні технології з управління людським чинником на виробництві поєднують у собі три основних напрямки науково-практичної діяльності [1-3]:

1) ергономіку (використовує узагальнені технології контролю стану здоров'я працівників: професійний відбір, регулювання режимів праці і відпочинку, медичний контроль тощо);

2) інформаційні технології (застосовує системи інформаційної допомоги і підтримки працівника);

3) когнітивні технології (створюють базу для безперервного навчання й оновлення знань працівника).

Ефективні дії з управління людським чинником можливі лише на перетині цих трьох напрямків [4, 5], коли поєднують традиційні підходи до забезпечення безпеки працівника (ергономічні методи) з сучасними досягненнями (інформаційні і когнітивні технології).

Наочним прикладом з підвищення ефективності функціонування охорони праці на виробництві через управління людським чинником є впровадження у систему підвищення кваліфікації працівників навчального курсу «Людський чинник на виробництві», метою якого є підвищення ефективності, безпечності та надійності діяльності людини у виробничій системі за рахунок розуміння зв'язків між станом людини, його психофізіологічними особливостями та поведінкою, розуміння індивідуальності людини як першоджерела проблем безпеки на виробництві. Програма навчального курсу «Людський чинник у виробництві» повинна включати розкриття проблеми надійності, стійкості й ефективності діяльності і прийняття рішення людиною у різних умовах діяльності; психічні властивості та процеси, які є основою в процесі прийняття рішень людиною, з погляду сучасної нейроергономіки; психофізіологічне підґрунтя феномену людського чинника; аналіз проблеми помилок людини-виконавця та їх попередження; проблема прийняття рішень, в основі яких когнітивні викривлення, моделі та мотиви поведінки; питання мотивації та само мотивації, лідерства та роботи в команді.

Головним результатом для слухачів має стати розробка індивідуального підходу до формування навичок і вмій людини, що приймає рішення у виробничому середовищі з урахуванням своїх властивостей, формування культури безпечного функціонування у виробничому середовищі.

#### Список літератури

1. Мигаль, Г.В. (2015). Управление безопасностью: психофизиологические аспекты. Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии, вып. 70, С. 216-225.
2. Dul, Jan. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. Ergonomics, vol. 55, no. 4, P. 377-395.
3. Parasuraman, R. (2003). Neuroergonomics: research and practice. Theoretical issues in ergonomics science, vol. 4, no. 1, P. 5-20.
4. Mygal, G., Mygal, V. (2018). Interdisciplinary approach to informational teaching environment formation. Праці Одеського політехнічного університету, вип. 1(54), С. 92-98, DOI 10.15276/opu.1.54.2018.13.
5. Мигаль, Г. В., Протасенко, О. Ф. (2019). Проблеми сучасної ергономіки: визначення структурної надійності. Комунальне господарство міст, том 5, вип. 151, С. 81-86, DOI 10.33042/2522-1809-2019-5-151-81-86.

## ВИКОРИСТАННЯ ЦЕНТРИФУГ ЯК УНІВЕРСАЛЬНИЙ МЕТОД РОЗДІЛЕННЯ СУСПЕНЗІЙ

*Аблесва І. Ю., старший викладач; Лук`яненко Є. В., студентка,  
СумДУ, м. Суми*

Найбільш поширеним способом розділення рідких неоднорідних систем під дією відцентрових сил є центрифугування (або фугування), яке здійснюється у машинах-центрифугах. Основна частина центрифуги – барабан (корзина) з суцільними або дірчастими стінками, що обертається з великою швидкістю на вертикальному або горизонтальному валу. Відцентрове фільтрування забезпечує процес розділення суспензій у центрифугах з перфорованими барабанами. Відцентрове фільтрування у загальному випадку складається з трьох фізичних процесів, що протікають послідовно: 1) фільтрування з освітленням осаду; 2) ущільнення осаду; 3) видалення з осаду рідини, що утримується молекулярними силами.

Промислові центрифуги класифікують за такими ознаками:

1) за принципом розділення: відстійні (осаджувальні) та освітлювальні – для розділення суспензій із малим розміром частинок і з низькою концентрацією твердої фази; фільтрувальні, розділювальні та сепарувальні – для розділення емульсій; комбіновані – у яких сполучаються два принципи розділення;

2) за розміщенням вала як основною конструктивною ознакою: горизонтальні, похилі, вертикальні – із вертикальним розміщенням вала; вертикальні з підпертим валом та пружною верхньою опорою; підвісні – з валом, підвішеним на верхній шарнірній опорі та верхнім приводом; маятникові – підвісні з нижньою опорою і нижнім приводом;

3) за способами розвантаження осаду із центрифуги: із ручним розвантаженням осаду через борт або через днище; із механізованим ножовим або зі шнековим розвантаженням; із поршневым розвантаженням осаду виштовхувальним механізмом; із гравітаційним вивантаженням, а також вібраційно-поршневым вивантаженням.

Для видалення осадів із стічних вод можуть бути використані фільтрувальні і відстійні центрифуги. Відцентрове фільтрування досягається обертанням суспензії у перфорованому барабані, обтягнутому сіткою або фільтрувальною тканиною. Осад залишається на стінках барабана, звідки видаляється вручну або ножовим зніманням.

Фільтрувальні центрифуги застосовують для розділення суспензій, якщо необхідний високий ступінь зневоднення осаду і ефективно його промивання, а також у тих випадках, коли використовується зневоднений осад і досить чистий фільтрат. Центрифуги періодичної дії застосовують при витратах суспензії менше 5 м<sup>3</sup>/год у широкому діапазоні концентрацій суспензій з частинками діаметром більше 10 мкм. Найбільшого поширення набули центрифуги з механізованим вивантаженням осаду. Цикл їх роботи

складається з таких операцій: наповнення, центрифугування, промивання осаду, центрифугування після промивання і вивантаження осаду. Серед центрифуг безперервної дії найбільш поширені центрифуги з пульсуючим і шнековим вивантаженням осаду. Застосовуються для розділення концентрованих суспензій з розміром частинок більше 100 мкм. Завдяки універсальності, малим розмірам і простоті обслуговування центрифуги періодичної дії широко використовуються у малотоннажних виробництвах різноманітних продуктів – оксидів, солей, хімічних реактивів, харчових і фармацевтичних продуктів.

Можливість широкого застосування центрифуг безперервної дії обмежується технологічними вимогами і властивостями оброблюваних матеріалів. Більша частина центрифуг безперервної дії – фільтрувальні, за винятком відстійних центрифуг зі шнековим вивантаженням осаду. З відстійних центрифуг безперервної дії у системах очищення стічних вод найбільшого поширення набули горизонтальні шнекові центрифуги типу ОГШ. Їх використовують для виділення часток гідравлічною крупністю приблизно 0,2 мм/с і 0,05 мм/с.

Для очищення обважнених і необважнених бурових розчинів від надмірного вмісту твердої фази і регенерації обважнювача з обважнених бурових розчинів у процесі буріння нафтових і газових свердловин найбільш ефективними є центрифуги безперервної дії із шнековим вивантаженням осаду: ОГШ-490У-01, ОГШ-490К-04, ОГШ-350У-01, ОГШ-350У-02, які відрізняються за своїми технічними характеристиками. Усі центрифугальні установки автономні і можуть використовуватися у різних типах циркуляційних систем з монтажем на жорсткій основі або пересувній платформі.

Для центрифуг ОГШ-490У-01 та ОГШ-350У-01 ступінь видалення глини з бурового розчину становить не менше 50 %, а ступінь регенерації баритового обважнювача з бурового розчину – не менше 90 %. Для центрифуг ОГШ-490У-04 та ОГШ-350У-02 концентрація твердої фази для необважненої суспензії за глиною становить не більше 15 %, а для обважненої суспензії – не більше 10 %, що відповідає високому ступеню ефективності.

Важливою характеристикою роботи промислових центрифуг є фактор розділення, що характеризує максимальну напруженість відцентрового поля. Досліджувані центрифуги забезпечують фактор розділення за максимальної частоти обертання ротора близько 2000, а ступінь осушення шлама на рівні не нижче 80 %. Фактична тривалість центрифугування залежить від робочого об'єму ротора, конструкції шнека і відносної швидкості його обертання, фактора розділення, гідравлічного навантаження тощо.

Таким чином, вибір технологічного типу центрифуги залежить від властивостей суспензії, що розділяється – розмірів і форми частинок, їхньої об'ємної концентрації у суспензії, вимог до властивостей одержуваних продуктів – вологості осаду і чистоти фугату.

## ОЦІНКА ЗАЛЕЖНОСТІ ФІЗИКО-ХІМІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ АТМОСФЕРНИХ ОПАДІВ ВІД ВІДДАЛЕННОСТІ ВІД АВТОДОРІГ З ІНТЕНСИВНИМ РУХОМ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ У МІСТІ ХАРКІВ

*Тихомирова Т. С., доцент; Стаднік В. Ю., аспірант, НТУ «ХПІ», м. Харків;  
Грекова А. В., старший викладач, ОНМедУ, м. Одеса*

Харків є одним із найбільш промислово розвинених міст України, як наслідок проблема техногенного забруднення атмосферного повітря хімічними речовинами є досить актуальною. Також у місті склалася проблема щодо розміщення дитячих майданчиків поблизу автодоріг з інтенсивним рухом транспортних засобів.

Сніговий покрив здатний якісно і кількісно охарактеризувати стан навколишнього середовища, а саме вміст забруднюючих речовин в атмосферних опадах, що накопичуються у товщі снігу впродовж зимового періоду.

У зв'язку з цим він має ряд властивостей які дозволяють оцінити не тільки забруднення атмосферних опадів, а й атмосферного повітря, надалі ґрунтового покриву та води.

Тверді часточки забруднюють сніговий покрив переважно за рахунок технічного фактора, шляхом осадження пилу, золи, сажі. Основними джерелами твердих забруднюючих речовин у м. Харків є автомобільний транспорт, промисловість, ТЕЦ, та котельні. В зимовий період кількість спалюваного палива значно збільшується та досягає максимуму, важкі часточки внаслідок гравітаційного осадження забруднюють сніговий покрив. Потрапляння таких компонентів в сніговий покрив може впливати на рН у талому вигляді.

Було проведено аналіз фізико-хімічних показників талого снігу, який було відібрано на дитячих майданчиках (просп. Перемоги), що знаходяться поблизу автодороги та віддалені від неї. Проби були відібрані за методикою на 12 ділянках, по 3 проби з кожної, дослідження проводилось у лютому 2020 року. Результати приведені у таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати дослідження фізико-хімічних показників талого снігу

Показник	Результат
Водневий показник (рН)	зі зменшенням відстані збільшується лужність
Електропровідність	майже не впливає на відстань
Солоність	Зі збільшенням відстані зменшується
Жорсткість	не змінюється

За результатами проведених досліджень було виявлено, що водневий показник та солоність води змінюються залежно від відстані від автодороги, як джерела забруднення, а такі показники як електропровідність та жорсткість маже не змінюються.

## ВІДМОВА ВІД ПЛАСТИКОВИХ ПАКЕТІВ ЯК ВИРІШЕННЯ ОДНІЄЇ З ЗАДАЧ СТРАТЕГІЇ СТАЛОГО РОЗВИТКУ

*Тарасенко Є. А., студентка; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми*

Поліетилен – унікальний матеріал, який був відкритий ще в кінці XIX століття, але тільки з 1950-х років став повсюдно використовуватись в якості упаковки. Його виробництво дешевше обходиться, ніж будь-якого другого полімеру. Цей матеріал поєднує в собі властивості, які і зумовили широке використання поліетилену в побуті та в промисловості.

Бурхливе використання поліетилену можна розглянути на прикладі пластикових пакетів – таких звичайних для побуту та одночасно руйнівних для навколишнього середовища.

Актуальною проблемою світу стали викинуті пакети, які за своїми фізико-хімічними властивостями не піддаються біологічному розкладанню та зберігають тривалий час та утворюють стійке забруднення. В залежності від щільності, можуть розкладатися від 100 до 400 років.

Багато країн дійсно поступово відмовляються від використання поліетилену. Так, наприклад, до 2019 року в Європейському Союзі було введена норма 90 пакетів на рік від однієї людини, до 2015 року норма зменшиться до 40 пакетів. А в деяких країнах поліетилен повністю заборонений. Так, в Гонконзі пакети заборонені ще з 1992 року. Також не можна використовувати поліетиленові пакети в країнах Індокитаю.

Для вирішення проблеми поводження з полімерними пакетами застосовують різні методи. Наприклад: Танзанія - штраф за виробництво, імпорт або продаж пластикових пакетів (2000 доларів або рік в'язниці); Латвія – введений податок на поліетиленові пакети, які використовуються в супермаркетах, щоб зменшити їх використання; Фінляндія – в супермаркетах встановлені автомати з прийманням використаних пакетів та пляшок, які служать сировиною для переробки та виробництва нових виробів пластику, за кожен здану пляшку ви отримуєте символічну плату; Італія – з 1 січня 2011 року в країні заборонено використання поліетиленових пакетів, тепер для придбання товару покупці повинні мати сумки багаторазового використання або біопакети.

Україна планує відмовитись від поліетилену. Верховна Рада планує заборонити продаж пластикових пакетів. У відповідному законопроекті, ухвалено у першому читанні, передбачені штрафні санкції за порушення законодавства.

Таким чином, одним з перспективних рішень у сфері поводження з відходами поліетилену є запровадження комплексного рішення – відмова від пластикових пакетів; перехід на багаторазові пакети або біопакети; встановлення автоматів з приймання використаних пакетів та пластиків; в кафеетеріях використовувати крафтові пакети.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВМІСТУ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ В ОПАЛОМУ ЛИСТІ

*Васькіна І. В., старший викладач; Джафарова В. Р., студентка,  
СумДУ, м. Суми*

З метою зменшення забруднення повітря в містах широко використовується рослинність, особливо деревна, адже вона має здатність очищати повітря від забруднювачів. Деревна акумулює на своїй поверхні значну кількість забруднюючих речовин [1]. Листя дерев поглинають забруднювачі повітря через свої продири, тому захоплюють шкідливі частинки на свої листя і гілки [2]. Ефективність цього процесу залежить від метеорологічних і особливостей самої рослини. В той же час, опале листя є одним з відходів міського середовища, повторному використанню якого зараз приділяється багато уваги. Широко пропонується методом утилізації опалого листя є компостування. Однак виникає питання його екологічної безпеки – тобто наявності в ньому забруднюючих речовин, що впливатимуть на якість отриманого компосту. Одним із найбільш токсичних забруднювачів є солі важких металів тому дослідження їх вмісту є важливою характеристикою екологічної безпеки опалого листя.

Вміст важких металів у листі деревних порід рослин, що ростуть у межах міста в основному формується під впливом викидів автотранспорту. Даний факт був визначальним при виборі районів дослідження. При цьому було враховано інтенсивність руху автомобільного транспорту на досліджуваних ділянках та відсутність/наявність транзитного вантажного транспорту. Також враховувалось наявність однакових порід дерев на досліджуваних ділянках для забезпечення репрезентативності результатів. Це такі райони: Парк культури та відпочинку ім. Кожедуба; пр. Курський; вул. Харківська (район вул. СКД); вул. Харківська (район СумДУ).

Контрольна ділянка була обрана поза містом (с. Могриця, Сумського р-ну), яка характеризується практичною відсутністю руху автотранспорту.

Для дослідження використовували фонові види деревних рослин, які зустрічаються у кожному досліджуваному районі в екологічно однакових умовах за вологістю й освітленістю. Спільними породами дерев для всіх обраних для дослідження ділянок є береза повисла (*Betula pendula* Roth) і тополя чорна (*Populus nigra* L.), які й були обрані для проведення дослідження. З огляду на різну інформативність обраних листяних рослин [3] їх спільна оцінка дає найбільш комплексну характеристику техногенного впливу на довкілля.

Дослідження проводили у жовтні-листопаді 2019 р. Збір та підготовку листя проводили за встановленою методикою [4]. Для дослідження вмісту важких металів опале листя озоловали та готували розчини, які були проаналізовані на спектрофотометрі С115-М1 з електротермічним атомізатором на кафедрі прикладної екології. Для оцінки визначали вміст купруму та цинку.

Найбільше накопичення важких металів в тканинах тополі чорної і берези повислої виявлено в зразках, які ростуть у придорожній зоні на пр. Курському та вул. Харківській. Тут простежується не тільки висока інтенсивність потоку автотранспорту, але й, найголовніше, наявний інтенсивний рух вантажного автомобільного транспорту. Отже простежується чітка залежність між вмістом важких металів у опалому листі та кількістю викидів, адже від вантажного автотранспорту їх завжди більше.

Концентрація цинку досягає максимуму 203,44 мг/кг (тополя чорна) та 252,55 мг/кг (береза повисла) і перевищує ГДК цинку в рослинній сировині (100 мг/кг) у 2 рази. Слід зазначити, що перевищення ГДК цинку спостерігалось на трьох з чотирьох досліджених ділянок. Максимальна концентрація купруму 8,23 мг/кг відповідає вул. Харківській (інтенсивність руху автотранспорту 1072 авт./год., при чому 10% складає транзитний вантажний транспорт). Однак перевищень ГДК (505 мг/кг) не зафіксовано.

Мінімальне значення вмісту важких металів зафіксовано вздовж ділянки по вул. СКД (73,52 мг/кг цинку та 3,05 мг/кг купруму). Інтенсивність руху на цій ділянці склала 942 авт./добу. При цьому вантажні автомобілі лише поодинокі, бо рух вантажного транспорту в цій зоні заборонений. Таким чином на досліджуваних ділянках міських автодоріг, де кількість вантажних автомобілів вища, спостерігається і підвищення рівня техногенного навантаження на придорожні екосистеми, що зумовлює зміни у компонентах екосистем, в першу чергу рослинні організми.

Аналіз отриманих даних показав, що різні породи дерев по різному накопичують окремі важкі метали. Наприклад, береза повисла інтенсивніше накопичує цинк, тоді як тополя чорна – купрум.

Спираючись на отримані результати вмісту важких металів у опалому листі, особливо берези повислої, виявлено підвищений вміст цинку. Для формулювання рекомендацій щодо можливості використання такого листя в якості рослинної сировини для виготовлення якісного компосту необхідно провести подальші дослідження, а саме – визначити вміст цих металів у готовому компості, що є предметом нашого подальшого дослідження.

#### Список літератури

1. Внукова Н. В., Желновач Г. М., Підгорна Т. В. Оцінка автомобільної дороги з точки зору її екологічної безпеки. Вестник ХНАДУ: сб. науч. трудов. 2010. Вип. 48. С. 108–111.

2. Gromke, C. and Ruck, B. (2007). Influence of trees on the dispersion of pollutants in an urban street canyon — experimental investigation of the flow and concentration field. Atmos Environ, 41, 3287–3302.

3. Ільницький О. А. Бойко М. Ф., Федорчук М. І. Основи фітомоніторингу. Херсон, 2007. 345 с.

4. Методические указания по определению тяжелых металлов в почвах сельхозугодий и продукции растениеводства. Москва, 1989. 62 с.



## ПРОВЕДЕННЯ ЕНЕРГОАУДИТУ НА ПІДПРИЄМСТВАХ

*Твердохлебова Н. Є., старший викладач, НТУ «ХПІ», м. Харків*

Досвід показує, що на кожному українському підприємстві є проблема нерационального використання та втрати енергоресурсів. Проблему посилює підвищення тарифів на енергоресурси, що позначається на платоспроможності багатьох об'єктів економіки. Тому підприємства країни обирають курс на зниження споживання енергоресурсів і енергоживлення, тобто на підвищенні енергетичної ефективності.

Енергетична ефективність будівель визначається відповідно до методики, що розробляється з урахуванням вимог актів законодавства Європейського Союзу, Енергетичного Співтовариства, гармонізованих європейських стандартів у сфері енергетичної ефективності будівель та затверджується центральним органом виконавчої влади, що забезпечує формування державної політики у сфері будівництва [1]. Є дві основні методики контролю і аналізу енергоспоживання: методика питомого нормування (як правило, застосовується на вітчизняних підприємствах) і методика Контролю і Нормалізації (застосовується за кордоном).

Енергоаудит (або енергетичне обстеження) – це комплексне дослідження всіх аспектів діяльності підприємства для визначення структури й ефективності його витрат паливно-енергетичних ресурсів і виявлення найбільших енерговитрат.

Мета енергоаудиту – визначити причини та обсяги витрат енергії й потенціалу його енергозбереження, на основі зібраних даних розробити рекомендації для підвищення енергоефективності, тобто скорочення обсягів споживання енергоресурсів і зниження витрат на їх сплату.

Технічний облік енергоресурсів – це комплекс сучасних автоматизованих засобів обліку, за допомогою яких можна здійснювати оперативний контроль витрат тих чи інших енергоресурсів та їх параметри.

Енергоаудит складається з комплексу таких заходів:

- збирання даних про поточні енерговитрати;
- складання балансів споживання і розподілу енергії;
- аналіз фінансових показників;
- аналіз технічної документації;
- визначення джерел втрат енергоресурсів у системах водопостачання, каналізації, опалення, вентиляції;
- вивчення систем електропостачання та автоматики;
- розробку заходів, спрямованих на підвищення енергоефективності;
- визначення ефекту від впровадження заходів з енергозбереження.
- Енергоаудит будівель охоплює всі або частину таких обстежень:
- огорожувальних конструкцій (стін, вікон, дверей, даху);
- систем опалення і вентиляцій;

- електропостачання, освітлення, ліфтів та устаткування холодного й гарячого водопостачання;
- мікроклімату будівлі.

Термографія як інструмент проведення енергоаудиту дає змогу виявляти проблеми експлуатації промислового встаткування.

Грамотно організований енергоаудит і впровадження всіх його рекомендацій дають змогу в опалювальний сезон скоротити тепловитрати будівлі, а отже, і витрати на її утримання на 20–60 %. Але існує проблема рівня професійного досвіду й знань експертів з енергоаудиту, тому що жоден навчальний заклад їх не готує. Енергоаудитор повинен, зокрема, уміти використовувати сучасні засоби вимірювання енергетичних параметрів, знати методи обробки даних і технології споживання теплової й електричної енергії. Крім того, аудиторська компанія повинна мати потрібні дозволи й сертифікати.

Сучасні організації пропонують кілька різновидів енергоаудиту: експрес-аудит, аудит окремого виробничого процесу, комплексний аудит об'єкта, а також первинний, перед експлуатаційний, черговий і позачерговий енергоаудити.

Сформулюємо основні етапи проведення енергоаудиту [2]:

1. Підписання договору з організацією, яка проводить енергоаудит, у якому обов'язково повинна бути чітко зазначена мета його проведення.
2. Документальний енергоаудит. Його мета – зрозуміти чи потрібний підприємству докладніший енергоаудит.
3. Інструментальні виміри й тепловіне обстеження.
4. Визначення ступеня ефективності використання ресурсів.
5. Визначення причин енерговитрат.
6. Об'єктивна оцінка втрат, потенціал збереження енергії, можливості виконання заходів з енергозбереження.
7. Підготовка рекомендацій і розробка проекту з підвищення енергоефективності.
8. Розробка звітної документації й енергетичного паспорта об'єкта.
9. Упровадження програми усунення причин енерговитрат і модернізація встаткування.

Сертифікація енергетичної ефективності об'єктів будівництва здійснюється на замовлення та за рахунок замовника.

Таким чином, енергоаудит дозволяє визначити реально досяжні оптимальні рівні енергоспоживання.

#### Список літератури

1. Про енергетичну ефективність будівель : Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII.
2. Моїсеєнко О. Енергоаудит: для чого він нам? *Охорона праці*. 2018. № 11. С. 24–27.

# METHODOLOGY FOR CALCULATING THE ASSESSMENT OF TECHNOGENIC LOAD ON MARINE ECOSYSTEMS (BY THE EXAMPLE OF THE CASPIAN SEA)

*Plyatsuk L. D., Professor; Ablieieva I. Yu., Senior Lecturer;  
Gabbassova S. M., PhD student, SumDU, Sumy*

An analysis of the results of long-term observations of the state of the environmental situation in the coastal zone of the Caspian Sea showed that oil pollution is one of the most frequently recorded technogenic emergencies, accompanied by significant damage to natural ecosystems and some types of economic activity.

To preserve marine ecosystems in areas of oil and gas production offshore, it is necessary to introduce a new approach that combines integrated and differential estimates of marine pollution. The first of them is characterized by a general anthropogenic load in the water area, and the second by the contribution of certain factors to the total pollution, including external and local sources, various pollutants, etc. This approach is designed to facilitate the prioritization of environmental policies of companies producing oil on the shelf, the development and planning of environmental measures.

This approach cannot be implemented on the basis of the official methodology for assessing pollution of sea waters, since it is carried out using the only criterion - MPC of pollutants for fishery reservoirs - and only four indicators, one of which is the concentration of dissolved oxygen.

Assessing the degree of pollution by oil hydrocarbons (HC) of the anthropogenic origin of the Caspian Sea and taking into account transboundary transport of pollutants (P) over the sea can only be effective if the existing picture of the oil pollution is correctly assessed and the background spatio-temporal distribution of oil concentration is analyzed (HC).

In a first approximation, complex P (petroleum hydrocarbons, household organics) are described as a single P, that is, a binary medium (water + P) is considered. If we neglect the effect of P concentration on circulation, then the P evolution problem in the basin is divided into two independent tasks. The first task is the purely thermohydrodynamic problem of determining the circulation in the pool, the second is the P propagation problem, which is described by the two-dimensional equation for the evolution of the concentration  $C(x, y, t)$  of the pollutant:

$$\frac{\partial C}{\partial t} + U \frac{\partial C}{\partial x} + V \frac{\partial C}{\partial y} = D \Delta C - \frac{q}{\rho_0} + \frac{p}{\rho_0}, \quad (1)$$

$$\frac{\partial C}{\partial n} = 0$$

where  $U, V$  – are the horizontal velocity projections on the  $Ox$  and  $Oy$  axes, respectively, obtained from the thermodynamic model or directly from measurements (or calculations from measurement data, for example, satellite altimetry);  $D$  – is the coefficient of turbulent diffusion;  $p(x, y)$  – is the rate of entry of  $P$  into the medium;  $q(x, y)$  – is the rate of removal of impurities from the pool;  $p_0$  – average density of low-water water.

According to the results of numerous experiments, the temperature factor  $T$  is the determining factor in the kinetics of the decomposition of petroleum hydrocarbons in sea water. An increase in temperature by  $10^\circ\text{C}$  increases the decomposition rate of petroleum hydrocarbons in the general case by 2–4 times, which is 25 times more than the effect due to changes in pH by one unit, and approximately 10 times more than the effect caused by changes in salinity by 1 ‰.

The destruction process proceeds according to the law of a first-order monomolecular reaction, i.e., the kinetic curve of the decomposition of petroleum products is described by the equation:

$$C(t) = C_0 \exp(-kt),$$

where  $C_0$  – initial concentration of  $P$ ;  $t$  – is the  $P$  conversion time;  $k$  – is the rate of the chemical reaction, which depends on  $\tau$  – the half-life of  $P$   $k = \ln(2/\tau)$ . In a first approximation, the processes of deposition and evaporation of  $P$  can be described by a linear function:

$$C(t) = C_0 \beta t.$$

Thus, the rate of removal of impurity + from the pool  $q$  is parameterized as:

$$q = \lambda C p_0 \exp(-\lambda t) + C p_0 \beta t, \quad (2)$$

where  $\lambda$  – is a parameter determining the rate of biochemical and microbiological destruction (oxidation) of  $P$ ;  $\beta$  – is a parameter characterizing the evaporation of an impurity into the atmosphere and its removal due to deposition (bio-sedimentation).

Model (1) and (2) is applicable to  $P$  of two types: the first type is conventionally called "organic", since the most striking example of such a  $P$  is HC, the destruction of which, in a first approximation, is described by a law exponential in time; and evaporation and precipitation are linear functions in time; the second type of "inorganic" is  $P$ , the destruction of which is considered insignificant compared to evaporation and deposition.

Unfortunately, spatial resolution and the use of the algorithm for assimilation (assimilation) of operational data from satellite, meteorological and oceanographic information in modern hydrodynamic models for the Caspian Sea are not possible. This is due to strong interannual sea level variability, which complicates the separation of synoptic level variability from satellite altimetry data and, therefore, complicates data assimilation procedures.

The next step in the development of operational monitoring will be the development of operational models for calculating the concentration of various  $P$ , including HC. However, this problem can be successfully solved only if the background concentrations of  $P$  are set as the initial conditions.

## ОЗЕЛЕНЕННЯ ДАХІВ ЯК ЕЛЕМЕНТ ЗЕЛЕНОГО БУДІВНИЦТВА

*Гурець Л. Л., доцент; Назарук О. І., магістр, СумДУ, м. Суми*

Зелене будівництво – це сукупність підходів до проектування, будівництва та експлуатації будівель, спрямованих на зниження споживання енергоресурсів та створення екологічно чистого середовища для проживання і роботи людей. Ці цілі досягаються за рахунок використання екологічно чистих будівельних матеріалів та технологій, заходів з енергозбереження, застосування відновлюваних джерел енергії, внутрішніх планувань будівлі, комфортних для роботи та проживання людей.

Основні принципи зеленого будівництва такі:

- оптимальний вибір місця будівництва, включення будівлі в інфраструктуру міста;
- максимальне використання сонячної енергії для освітлення приміщень;
- мінімальне енергоспоживання, використання альтернативних джерел енергії;
- вентиляція з поверненням тепла в опалювальну систему;
- використання нешкідливих, відновлювальних та таких, що переробляються, матеріалів;
- використання місцевих матеріалів;
- нешкідливі, автоматизовані опалювальні системи;
- ефективне споживання води, можливість повторного використання води;
- покращення якості повітря в приміщеннях;
- сприятливий вплив на здоров'я та самопочуття людини;
- зручне утримання будівель;
- зниження кількості твердих відходів у процесі зносу та демонтажу будівлі.

У 2016 році Україна увійшла до Всесвітньої ради по зеленому будівництву. Основними завданнями країни на початковому етапі членства є розуміння плану розвитку ситуації, створення регіональної мережі представництв протягом поточного року, а наступним етапом має бути створення системи проектування, будівництва й оцінювання за показниками, які висуваються до зеленого будівництва [1].

В Україні зелені технології ще не отримали належного розповсюдження. Одним із елементів зеленого будівництва є озеленення дахів, їх застосування є об'єктивною необхідністю, особливо у великих містах і промислових регіонах через низку екологічних та економічних переваг:

1. Зменшення кількості стічних вод, які надходять у дощову каналізацію (зелені покрівлі затримують від 50% до 90% вологи від опадів);

2. Поліпшення мікроклімату приміщень за рахунок ефекту кондиціонування;
3. Очищення повітря, виділення фітонцидів;
4. Звукоізоляція (рівень шуму зменшується на 8 дБ);
5. Збереження флори і фауни (є альтернативою природних ландшафтів);
6. Збільшення теплоізоляції;
7. Використання простору дахів для рекреації.

Є два види зелених дахів: інтенсивні, які займають 5 % світового ринку, і екстенсивні – відповідно, 95 % світового ринку [2].

До інтенсивних відносять дахи з активною вегетацією рослин, кущів, дерев. В системах для інтенсивного використання асортимент рослин представлений декоративно квітучими багаторічниками, злаками, пряними травами, чагарниками і деревами заввишки не більше 10 м. На таких дахах також можливі майданчики для відпочинку людей або виїзду автомобілів. Висота рослинного покриву на дахах такого типу досягає 300–1000 мм, маса – 500 кг/м<sup>2</sup>. Вони потребують постійного догляду й додаткового поливу. Облаштування таких зелених дахів призводить до додаткових навантажень на конструкцію будівлі, що необхідно враховувати на початкових етапах будівництва або реконструкції будівлі.

Екстенсивні зелені дахи передбачають посадку тільки низькорослих і ґрунтопокривних багаторічних рослин з компактною і поверхневою кореневою системою, стійких до посухи, вітру і сонячного випромінювання. Таким видам зазвичай буває достатньо дощової вологи, тому додатковий полив не потрібен. Ці варіанти застосовують на покрівлях з невеликим ухилом та на дахах-терасах. Асортимент рослин складають невибагливі види: очитки, ломикамені, молодило, манжетки, гвоздики, газонні трави та ін. Рослини висаджують у спеціально підготовлений субстрат. Рослинний покрив має висоту 60–100 мм і масу до 100 кг/м<sup>2</sup>. Доступ людей на такий дах не обов'язковий. Ходити можна тільки по спеціальних проходах-доріжках. Особливого догляду таке озеленення не вимагає.

Таким чином, зелені дахи є одним із шляхів забезпечення екологічності та енергоефективності житла.

#### Список літератури

1. «Зелене» будівництво в Україні: однієї енергоефективності замало [Електронний ресурс]. – Режим доступу : <http://uk.vnews.agency/exclusive/19131-zelene-budvnicтво-v-ukrayin-odnyeyi-energoefektivnost-zamalo.html>.

2. Ткаченко Т. Н. Возможность создания энергоэффективных экологически чистых зеленых технологий в условиях Украины// Строительство, материаловедение, машиностроение: сб. научн. трудов. / “Приднепр. гос. академия стр-ва и архитектуры”. – Днепропетровск, 2015. – Вып. 81. – С. 256–260.

## ТЕРМОЯДЕРНА ЕНЕРГЕТИКА ЯК АЛЬТЕРНАТИВЕ ДЖЕРЕЛО ЕНЕРГІЇ

*Борсук С. А. студент; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми*

У зв'язку з технологічним прогресом з кожним роком людство потребує все більше і більше енергії. Щорічне споживання енергії у світі наближається до 30 млрд т умовного палива, і в найближче десятиліття прогнозується його подвоєння.

За останні 100 років із земних надр було видобуто 137 млрд т вугілля, майже 47 млрд т нафти, 20 трлн м<sup>3</sup> газу. За цей самий період людство збільшило свої енергетичні ресурси в 1000 разів.

Все це призводить до вичерпання природних ресурсів та збільшенню викидів парникових газів, що впливає на потепління нашої планети. Через це людство шукає альтернативні джерела енергії. Одним із рішень цієї проблеми може бути термоядерна енергетика.

Термоядерна енергетика – галузь енергетики, що базується на принципах керованого термоядерного синтезу.

Керований термоядерний синтез (КТС) – синтез важких атомних ядер з легких з метою отримання енергії, який носить керований характер. Природним прикладом КТС є зірки у Всесвіті, найближчою з яких є Сонце.

Першим етапом до комерційного використання термоядерної енергії є будівництво та запуск Міжнародного Експериментального Термоядерного Реактора (англ. International Thermonuclear Experimental Reactor, ITER) на території Франції. У ITER є кілька завдань [1]:

- десятикратна віддача енергії (500 МВт при вхідній потужності 50 МВт) без її перетворення у придатну використання у мережі;
- випробування та експлуатація технологій для майбутньої термоядерної електростанції;
- підтримка реакції шляхом внутрішнього нагрівання плазми;
- тестове розведення тритію;
- демонстрація безпеки термоядерного синтезу.

Перші випробування ITER заплановані на 2025 рік [1].

Перехідною ланкою між ITER та першими комерційними термоядерними електростанціями (ТЯЕС) стане проект DEMO (англ. DEMONstration Power Plant) завданням якого є постійна генерація 2 ГВт електричної енергії. Рік здачі в експлуатацію DEMO залежать від реалізації проекту ITER і експериментального відпрацювання на ньому окремих елементів DEMO.

### Список літератури

1. What is ITER? [Електронний ресурс] / ITER Organization – Режим доступу: <https://www.iter.org/proj/inafewlines>.

## ІНТЕГРАЛЬНА ОЦІНКА ЕКОЛОГІЧНОГО СТАНУ ПОВЕРХНЕВИХ ВОДОЙМ В УМОВАХ ПРОМИСЛОВОГО НАВАНТАЖЕННЯ

*Безсонний В. Л., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків;  
Дашковська О. В., старший науковий співробітник ДНУ «ІМЗО»,  
доцент НТУ «КПІ», м. Київ;  
Третьяков О. В., професор, ХДАФК, м. Харків*

Інтегральні оцінки безпечності поверхневих водойм та водотоків можуть базуватися на абсолютних вимірах системи моніторингу, показниках ступеня зміни в просторі й часі якісного стану водних об'єктів, визначенні ступеня впливу на реципієнтів, впливу та антропогенного навантаження на водне середовище, критеріальних показниках стану водної екосистеми. Водним об'єктам призначається клас чи категорія якості відповідно до величин кратності перевищення фактичного рівня концентрацій речовин їхніх гранично-допустимих концентрацій чи екологічних нормативів, відношенням фактичного рівня до фонового, середнього або абсолютною різницею між цими рівнями.

Концентрація розчиненого кисню (РК) у воді залежить від споживання його при окисненні органічної речовини, тобто від біохімічних факторів. Розкладання органічної речовини можна вважати еквівалентним реакції окиснення, що приводить до зниження РК у воді та до порушення екологічної рівноваги. Критерієм, що характеризує сумарний вміст у воді органічних речовин, є показник біохімічного споживання кисню, що виражає кількість кисню (мг), необхідну для біохімічного окиснення органічних речовин, що втримуються у воді, за певний проміжок часу. Нормованим показником є БСК<sub>5</sub> – кількість кисню, витрачена за п'ять діб в процесі біохімічного окиснення органічних речовин, що містяться в аналізованій воді. Дослідженнями [1] підтверджено, що кисневі показники відіграють важливу роль в якості та безпечності поверхневого джерела питної води. Тому в якості інтегральних показників для оцінки якості поверхневої водойми обрані показники кисневої характеристики. Взаємодія між РК і БСК – досить складний процес, що залежить від великої кількості факторів. Внутрішня структура моделі взаємодії РК і БСК визначається множиною  $\{S_1\}$  функцій споживання РК і множиною  $\{S_2\}$  функцій виробництва / споживання БСК. Аргументами кожної функції, що входять до  $\{S_1\}$  і  $\{S_2\}$  є РК і БСК (що, в свою чергу, є функціями координат і часу), а також їх похідні та фактори зовнішнього середовища – функції сторонніх джерел і стоків РК і БСК. Немає розглянути всі моделі, які були запропоновані для опису РК–БСК взаємодії, оскільки опубліковано занадто багато робіт, присвячених цьому питанню. Однак очевидно, що вирішального впливу на всю еволюцію моделей РК і БСК завдало класичне дослідження Стритера і Фелпса. Ці автори припустили, що баланс між концентраціями РК і БСК залежить тільки



від двох процесів: реаерації потоку та споживання РК при окисненні (або розпаді) БСК, тобто

$$\begin{aligned} \{S_1\} &= \{-k_1x_1\} \\ \{S_2\} &= \{k_2(C_s - x_2) - k_1x_1\} \end{aligned}$$

де  $x_1$  – концентрація БСК<sub>5</sub>, мг/дм<sup>3</sup>;  $x_2$  – концентрація РК, мг/дм<sup>3</sup>;  $C_s$  – концентрація насичення РК, мг/дм<sup>3</sup>;  $k_1$  – константа швидкості розпаду БСК<sub>5</sub> (коефіцієнт мінералізації), 1/с;  $k_2$  – константа швидкості реаерації для РК, 1/с.

Задля подальшого спрощення моделі Стритер і Фелпс припустили стаціонарність (незмінність у часі) водного потоку, стаціонарність функцій  $S_1$  і  $S_2$  (потоків БСК і РК) для всіх точок річки та рівномірність розподілу  $x_1$ ,  $x_2$  по перерізу потоку. У цьому випадку  $x_1 = x_1(z, t)$ ,  $x_2 = x_2(z, t)$ , де  $z$  – відстань від джерела скиду вздовж русла річки,  $t$  – час, а незалежні змінні  $z$  і  $t$  зв'язані одне з одним простим співвідношенням:  $z = ut$  (тут  $u$  – швидкість течії). Відповідно, модель Стритера і Фелпса зводиться до системи звичайних диференціальних рівнянь і набирає наступного вигляду:

$$\begin{cases} u \frac{dx_1}{dz} = -k_1x_1; \\ \frac{dx_2}{dt} = u \frac{dx_2}{dz} = k_2(C_s - x_2) - k_2x_2. \end{cases}$$

Розв'язок цієї системи рівнянь має такий вигляд:

$$\begin{cases} x_1 = x_{1,0}e^{-k_1z/u} + C_1; \\ x_2 = x_{2,0}e^{-k_2z/u} + C_s(1 - e^{-k_2z/u}) + \frac{k_1}{k_2 - k_1}x_{1,0}(e^{-k_2z/u} - e^{-k_1z/u}) + C_2; \end{cases}$$

де  $x_{1,0}$ ,  $x_{2,0}$  – концентрації, відповідно, БСК<sub>5</sub> і РК у початковій точці, мг/м<sup>3</sup>;

$C_1$ ,  $C_2$  – коригувальні коефіцієнти, введені для підвищення точності прогнозу.

Таким чином, маючи фактичні дані спостережень за якістю води в поверхневому джерелі, виникає можливість обрахувати параметри моделі інтегральних показників (РК – БСК).

Введення коригуючих коефіцієнтів  $C_1$  і  $C_2$  дозволяє суттєво підвищити надійність прогнозу екологічного стану води поверхневого джерела водопостачання за допомогою запропонованої математичної моделі, що гарантує високу адекватність оперативних рішень управління водними ресурсами.

#### Список літератури

1. Третьяков О. В., Безсонний В.Л., Пономаренко Р.В., Бородич П.Ю. Підвищення ефективності прогнозування впливу техногенного забруднення на поверхневі водойми Проблеми надзвичайних ситуацій. 2019. № 1(29) DOI: 10.5281/zenodo.2602648 С. 61–78.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ СУМСЬКОЇ ТЕЦ ДЛЯ ВИКОРИСТАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ БУДІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Гурець Л. Л., доцент; Фесенко О. А., студентка, СумДУ, м. Суми*

Технологія виробництва електричної енергії на ТЕС пов'язана з утворенням великої кількості відходів. Гостра проблема, пов'язана з вугільними ТЕС – золовідвали, які є джерелом забруднення навколишнього середовища, осередками нагромадження важких металів і мають підвищену радіоактивність. Ця проблема виникає через використання гідравлічного способу золовидалення. При використанні гідравлічної системи золошлаковидалення, золошлакові матеріали (ЗШМ) складаються на спеціалізованих відвалах.

Золошлаковідвали є об'єктами підвищеної екологічної небезпеки, що спричиняють: відчуження територій; пилове забруднення прилеглих територій; міграцію забруднюючих речовин крізь профіль ґрунтів; забруднення ґрунтів; забруднення атмосферного повітря; забруднення поверхневих, ґрунтових та підземних вод; міграцію забруднювачів по трофічним ланцюгам та вплив на організм людини; естетичне забруднення територій [1].

Одним з можливих шляхів вирішення даної проблеми є використання золошлакових відходів (ЗШВ) в якості сировини для виробництва будівельних матеріалів, що має вагоме екологічне, економічне та енергозберігаюче значення.

В Україні питома вага переробленої золи складає приблизно всього 15 %, тоді як в Європі вугільну золу активно використовують в якості сировини в цементно-будівній промисловості починаючи з 1950 років – замість таких природних матеріалів, як пісок і щебінь. У США цей показник досяг 20 %, у Великій Британії – 60 %, у Франції – 72 %, у Фінляндії – 84 %, а в Нідерландах, Індії та Данії – 100 %. Країни Тихоокеанського регіону створили свою організацію Азіатську асоціацію вільної золи (Asian Coal Ash Association). Ця організація регулярно публікує звіти та нові технічні рішення, щодо перероблення золи та шлаку. Аналогічні асоціації існують і в Європі (ЕСОВА – European Coal Combustion Product Association) та США (АСАА – American Coal Ash Association).

На даний час в Україні зростає попит на теплоізоляційні матеріали, які мають такі властивості як пожежо- та екологічна безпека, довговічність. Цим вимогам в значній мірі відповідає піноскло, яке застосовується в промисловому та цивільному будівництві. Від звичайних теплоізоляційних матеріалів піноскло відрізняється високою механічною міцністю, волого-, паро- і газонепроникністю, негорючістю, морозостійкістю й довговічністю (на відміну від волокнистих утеплювачів, строк експлуатації яких 7-10 років, пінопластів – 10-20 років).

Незважаючи на велику міцність, піноскло легко піддається механічній обробці. Піноскло не виділяє шкідливих речовин при нагріванні. Піноскло є екологічно чистим матеріалом, дозволяє зменшити витрати на теплоізоляцію, знизити навантаження на фундамент і несучі конструкції, підвищити безпеку житла [2].

Добавка ЗШВ до склабою при виробництві піноскла призводить до зниження температури склоутворення за рахунок участі оксиду кальцію цих компонентів в процесі плавлення.

Для оцінки можливості використання ЗШВ Сумської ТЕЦ у виробництві піноскла були відібрані зразки із тіла золошлаконакопичувача.

Попередні дослідження ЗШВ Сумської ТЕЦ, проведені підприємством, показали, що зразки золошлакових відходів мають ефективну питому активність природних радіонуклідів  $A_{\text{эф}} = 46$  Бк/кг, яка нижче допустимого нормативного рівня питомої активності природних радіонуклідів ( $A_{\text{эф}}$ ) у будівельних матеріалах та мінеральній будівельній сировині, яка відповідно до НРБУ-97 повинна становити не більше 370 Бк/кг. Тобто, вміст радіоактивних речовин у ЗШВ Сумської ТЕЦ дозволяє використовувати їх в будівництві. Токсикологічні дослідження ЗШВ, які утворюються при спалюванні вугілля різних марок на Сумській ТЕЦ, показали, що відходи відносяться до 4 класу небезпеки.

Відібрані зразки золошлаків за зовнішнім виглядом представляють собою масу темно-сірого кольору.

Об'ємна насипна маса золошлакової суміші в сухому стані становить  $1238 \text{ кг/м}^3$ , в стані природної вологості становить  $1453 \text{ кг/м}^3$ . Природна вологість проби 15 %. 23,5 % матеріалу по масі відносяться до крупнорозмірного заповнювача (КРЗ), решта, 76,5 % по масі, відноситься до шлакового піску. По групі зернового складу шлаковий пісок відноситься до дрібного. Насипна густина шлакового піску –  $1100 \text{ кг/м}^3$ . За вмістом органічних домішок втрати при прожарюванні склали 13,6 %.

Раніше проведені дослідження [3] показали, що для виробництва пористих скломатеріалів більшою мірою підходить скловидний шлак, тому на основі проведеного аналізу можна стверджувати про доцільність вилучення ресурсномісної фракції ЗШВ для подальшої переробки.

#### Список літератури

1. Коваленко А.М. Утилизация отходов тепловых электростанций Украины, использующих пылеугольное и жидкое топливо. *Вестник ХНАДУ*. 2011. № 52. С. 39-42
2. Демидович Б.К. Пеностекло. Минск, Наука и техника. 1975. 247 с.
3. Дамдинова Д.Р., Зонхийев М.М., Беппле Р.Р. Пеностекло на основе стеклобоя и высококристаллических горных пород. *Научное обозрение*. 2015. № 8. С. 191 – 197.

## ЕКОЛОГІЧНО БЕЗПЕЧНА ТЕХНОЛОГІЯ УТИЛІЗАЦІЇ ТЕХНОЛОГІЧНИХ РІДИН НАФТОВИДОБУВНОЇ ГАЛУЗІ

*Аблесва І. Ю., старший викладач; Лук`яненко Є. В., студентка,  
СумДУ, м. Суми*

Важливим завданням еколого-економічного зростання України до цього часу залишається забезпечення енергоресурсами, у тому числі й за рахунок збільшення власного видобутку вуглеводневої сировини. Задача інтенсифікації видобутку вуглеводнів розв'язується переважно за рахунок застосування технології гідравлічного розриву пласта нафтогазових свердловин. Утворення великої кількості відпрацьованої рідини гідророзриву пласта свердловин становить значну загрозу для навколишнього середовища. Аналіз вітчизняних та зарубіжних наукових публікацій показав, що основними методами очищення цих відходів є їх випарювання, фільтрація за допомогою мембранних фільтрів та переробка на комунальних очисних спорудах. Однак варто зазначити, що ці технології не забезпечують розв'язання узваної проблеми у зв'язку з неможливістю відділення та знешкодження органічних речовин та амінів, які містяться у досліджуваних стоках, та є основними забруднювачами природного середовища та ґрунтових вод.

Застосування методів гідрокавітаційної активації у процесі виробництва й спалювання композиційних палив дозволяє утилізувати й знешкодувати вогневим методом екологічно небезпечні промислові стоки різного походження як паливні компоненти, зокрема відпрацьовану рідину гідророзриву пласта нафтогазових свердловин, технологічні рідини, нафтозмиви тощо.

Особливість методу гідрокавітаційної активації зводиться до попередньої гомогенізації та диспергуванню потоку рідких вуглеводнів разом з водою у роторно-пульсаційному апараті, з наступним ультрадиспергуванням та впливом кавітаційних полів. У кавітаційних зонах відбуваються процеси крекінгу вуглеводнів та часткова дисоціація води на іони  $H^+$  і  $OH^-$ , що сприяє гідрогенізації і гідролізу вуглеводнів та зміні їх властивостей. Тому одним з важливіших показників підготовки вихідних рідин до гідрокавітаційної активації є рівень попереднього диспергування та гомогенізації.

Для реалізації цієї технології науковцями з Інституту проблем машинобудування ім.А. М. Підгорного НАН України створено дослідницький енерготехнологічний комплекс для виробництва та спалювання композиційних палив з різними компонентними складами, до складу якого входить система підготовки промислових відходів, система виробництва й проведення гідрокавітаційної активації композиційного палива, пальниковий пристрій для спалювання виробленого енергоресурсу, система вимірювання енергетичних та екологічних показників процесу

горіння. Для визначення реологічних та калориметричних характеристик створених композиційних палив функціонує необхідне лабораторне обладнання і прилади.

Промислове впровадження технології виробництва й спалювання композиційних палив із застосуванням методів гідрокавітаційної активації може мати значний економічний ефект за рахунок зниження вартості отримуваної теплової енергії до 10 % у порівнянні з традиційними видами вуглеводнів, отримання очищеної води та супутніх речовин, придатних для повторного використання, а також додаткову економію за рахунок вогневої утилізації промислових відходів у складі спалюваних енергоресурсів.

Для удосконалення екологічно безпечної та енергетично ефективної технології виробництва та спалювання композиційного палива з утилізацією відходів нафтогазовидобувної та нафтопереробної галузей потрібно:

- визначити фізико-хімічні властивості та склад промислових відходів та технологічних рідин нафтогазовидобувної галузі, що дозволить обрати методи очистки з метою отримання очищеної води та супутніх речовин, придатних для повторного використання, а також визначити кількості і концентрації неочищених відходів, які утилізуються вогневим методом як паливні компоненти;

- провести експериментальні дослідження для визначення впливу кількості відходів під час виготовлення на його основі композиційного палива на калориметричні, реологічні та інші фізико-хімічні властивості одержуваних паливних сумішей, визначити оптимальні режими роботи гідрокавітаційного обладнання;

- визначити енергоекологічні показники процесу спалювання одержаних зразків композиційного палива для встановлення відповідності сучасним екологічним нормативам.

Таким чином, виконання поставлених вище задач дозволить знизити техногенне навантаження на довкілля за рахунок удосконалення роботи гідрокавітаційного обладнання з налаштуванням на оптимальний режим роботи для виробництва та ефективного спалювання композиційного палива з високими, заздалегідь заданими споживчими характеристиками.

#### Список використаних джерел

1. Kravchenko O., Suvorova I., Baranov I., Goman V. Hydrocavitation activation in the technologies of production and combustion of composite fuels. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2017. Vol. 4 /5 (88). P. 33-42.

2. Пат. 113894 (Україна), МПК В01F /16 Гідрокавітаційний пристрій для обробки рідин / Кравченко О.В., Гоман В.О, Сімбірський О.В., Момот В.І.; заявник і патентоутримувач Інститут проблем машинобудування НАН України. № а 2015004466; заявл. 07.05.2015; опубл. 27.03.2017, Бюл. № 6. 4 с.

3. Кравченко О.В., Суворова И.Г., Баранов И.А. Гидрокавитационная активация в технологиях получения и сжигания композиционных топлив и оценка ее эффективности. *Насосы. Турбины. Системы*. 2014. №4(13). С. 57–65.

## ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА ФУНКЦІОНУВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ (НА ПРИКЛАДІ СТАНУ ҐРУНТОВОГО ПОКРИВУ ТА ОВОЧЄВІЙ ПРОДУКЦІЇ У ЗОНІ ВАТ «БАЛЦЕМ»)

*Кривицька І. А., старший викладач, ХНЕУ ім. Семена Кузнеця, м. Харків*

Цементне виробництво є одним із найголовніших і потужніших джерел забруднення атмосферного повітря і ґрунтів. Балаклійський район має несприятливу екологічну ситуацію через високий рівень антропогенного навантаження, створеного великою кількістю промислових підприємств та розвитком сільського господарства.

ПРАТ «Балцем» – це найбільше підприємство та найбільший забруднювач на території Балаклійського району. Більше того, підприємство вважається одним з найбільших забруднювачів на території Харківської області. Навколо підприємства утворилась зона більше 20 км у діаметрі зі зміненими властивостями компонентів природного середовища.

Проблема антропогенного перетворення ґрунтів вивчається вже досить тривалий час різними вченими. Хімічні реакції та мікробіологічні процеси у ґрунті обумовлюють трансформацію токсичних сполук. Однак буферна здатність ґрунту по відношенню до промислових забруднень обмежена. Накопичення у ґрунті токсикантів й продуктів їх взаємодії з мінеральними та органічними компонентами призводить до зміни хімічного складу та фізико-хімічних властивостей [1, 2].

Метою дослідження є визначення хімічного складу овочів та ґрунтів під впливом природних та соціально-економічних умов на території Балаклійського району Харківської області.

Контроль та нормування вмісту важких металів у рослинній продукції та ґрунтах здійснювався у відповідності до законодавчо встановлених нормативів екологічної якості продукції. У хімічних елементів, що не мають ГДК, допустимою межею концентрацій є п'ятиразове перевищення над фоном. Підставою для цього є західноєвропейські розробки.

Для визначення екологічної якості рослинної продукції нами було відібрано зразки ґрунту та рослинної продукції (картоплі та моркви).

Аналіз результатів зразків ґрунту показав, що концентрація всіх хімічних елементів не перевищує ГДК. Порівняння з фоновими концентраціями показало, що залізо цинк, свинець та хром мають перевищення за фоновими показниками в 2,3, 3, 1,9 та 7,5 разів відповідно, що є властиво для даного природного регіону [3]. Пріоритетними металами для ґрунту дослідницької ділянки є Fe (24,8 %) та Mn (20,8 %).

Із проведених аналізів та результатів, з точки зору якості ґрунтів їх можна оцінити як задовільні.

Порівняння вмісту хімічних елементів у всіх видах овочевої продукції між собою та з ГДК показало, що картопля і морква мають різний вміст

важких металів, але в них зареєстровано перевищення ГДК по однакових елементах: концентрація Pb у моркві в 1,18 разів більше ніж ГДК, у картоплі в 1,1 разів, Ni у моркві в 1,42 та в 1,2 у картоплі більше ніж ГДК. Хром має перевищення ГДК у моркві в 4,4 рази та у картоплі в 1,6 разів. Перевищення ГДК за Cd складає у моркві в 3,7 рази та у картоплі в 4,3 рази. Причому перевищення ГДК хімічних елементів, що досліджуються спостерігається у моркві більше ніж у картоплі. Отже виявилось, що морква накопичує різні хімічні елементи більш ніж картопля.

Для картоплі пріоритетними є Fe (30,9 %) та Mn (26,0 %). Для моркви також спостерігається значний вміст Fe (35,5 %) та Mn (27,5 %). Найменший вміст мають Cd та Pb.

Аналіз вмісту хімічних елементів у рослинній продукції в порівнянні із ґрунтом, на якому вона була вирощена показав, що всі овочі мають значно вищу концентрацію Fe, Mn, Zn, Cu, Co та Cd ніж у ґрунті, це може говорити про те, що ці елементи потрапляють у рослинну продукцію аеральним шляхом. Концентрація Pb, а у картоплі ще й Cr у ґрунті спостерігається вище. Це свідчить про те що вони надходять у овочі саме з ґрунту.

Для виявлення особливостей накопичення важких металів у рослинній продукції та шляхів надходження важких металів до рослинної продукції, було розраховано коефіцієнт біоаккумуляції ( $K_b$ ) для кожного хімічного елемента для моркви та картоплі. Морква має більші коефіцієнти по Fe, Cu, Ni, Pb, Co та Cr. Максимальна різниця по Co у 2,8 та Cr – у 2,7 рази. Для картоплі значними є коефіцієнти біоаккумуляції по Mn, Cd, Zn.

Враховуючи, що коефіцієнт біоаккумуляції показує яку кількість важких металів сприймає рослина, чим вище його значення, тим більша кількість важких металів потрапляє до організму людини через харчові продукти.

Отже, можна сказати, що не зважаючи на велике антропогенне навантаження, стан ґрунту Балакліівського району задовільний, але овочева продукція, має деякі відхилення вмісту важких металів від ГДК, що звісно негативно впливає на стан здоров'я населення району.

#### Список літератури

1. Добровольский Г.В. Тяжелые металлы: загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия / Добровольский Г.В. – М.: Изд-во МГУ, 1980. – 312 с.
2. Ильин В.Б. Тяжелые металлы в системе почва-растение. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1991. – 151 с.
3. Ґрунтово-геохімічне обстеження урбанізованих територій. Методичні рекомендації. / Укладачі: чл.-кор. УААН, Балок С.А., Фатєєв А.І., Мірошніченко М.М. – Х: ННЦ „ІГА ім. О.Н.Соколовського” УААН, 2005. – 54 с.

## ЕКОТРЕНД: СМІТТЯ ПІД ЗЕМЛЕЮ

*Шуліна Є. О., Чорна Ю. В., студентки; Васькіна І. В., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

На сьогодні в Україні проблема смітників – одна з найважливіших і найактуальніших серед проблем забруднення навколишнього середовища. Коли більшість із нас виходить із під'їздів багатоповерхових будинків, перше, що бачимо, – це смітники. Перевантажені контейнери зі сміттям, яке розлітається усюди по вулицях – це реалії існуючої в Україні застарілої системи збирання відходів, через що наші міста, на жаль, все більше стають схожими на суцільні смітники. У Європі вже давно вирішили цю проблему – там встановлюють підземні контейнери для збору сміття. Що стосується України, Мінрегіонбуд унормував та узаконив будівництво вакуумних і підземних контейнерів для сміття лише торік. Відповідні зміни до Державних будівельних норм запровадили з 1 вересня. Проте більшість населення не мають уяви, що подібні установки взагалі існують та успішно функціонують в деяких містах України.

Тому було розроблено та реалізовано інформаційний проект щодо комплексної програми по встановленню сучасних підземних смітників на території міста Суми. Його метою визначено забезпечення населення інформацією щодо доцільності та ефективності заміни старих контейнерів на сучасні підземні; взаємодія з міською владою з питання реалізації вищезазначеної модернізації.

Останні дані показують, що в день середньостатистичний українець напрацьовує від 0,5 до 1,5 кг ТПВ. Норма накопичення відходів складає 1,2 м. куб.–1,5 м. куб. в рік на одну особу або 0,1–0,125 м. куб. відходів в місяць. А це значить, що на кожному майданчику повинна стояти достатня кількість контейнерів, чим часто нехтують підприємства з вивозу сміття.

Відсутність належних умов для збору та вивезення твердих побутових відходів створює передумови для забруднення території, порушення благоустрою, що не тільки негативно впливає на довкілля (передусім на якість підземних, поверхневих вод та ґрунтів), але й псує візуальне середовище. Це спричиняє незручності як для населення, так і для гостей міста, приводить до збільшення скарг від жителів, погіршення екологічної ситуації та естетичного вигляду населених пунктів.

Однією з ключових цінностей реалізації проекту є поліпшення естетичного вигляду вулиць міста. Встановивши практичні підземні контейнери для збору ТПВ можна зберегти архітектуру та створити комфортні умови для мешканців та гостей міста, на відміну від звичайних баків. Візуальна та санітарна чистота навколо точок збору відходів у свою чергу породжує другий аспект – підвищення туристичної привабливості міста.

Оскільки основна частина контейнеру, в якій накопичується сміття,



знаходиться під землею – це запобігає навмисному втручанню ззовні і розкиданню сміття, а відповідно, і забрудненню території довкола. Зникають такі негативні ефекти, як неприємний запах від розкладання харчових відходів та виділення фільтрату. Харчові та побутові відходи не розносяться птахами; точки збору сміття більше не сприяють розмноженню комах, щурів та інших шкідників. Варто зазначити, що у результаті цього покращуються санітарні та епідеміологічні умови на вулицях міста.

Не менш важливим є факт, що один підземних контейнер за об'ємом дорівнює 5-ти звичним смітцевим бакам. Відповідно кількість рейсів для вивезення сміття буде скорочуватись, а тому можливе зменшення вартості послуг з вивезення сміття для міста.

Ще останнім мотивом для органів влади є те, що завдяки встановленню та успішному функціонуванню подібних місць для збору сміття, представники міської влади зможуть значно покращити свій імідж та завоювати довіру місцевих жителів.

Окрім цього, якщо встановити систему підземного збору та зберігання твердих побутових відходів на три контейнери для різних типів відходів, то це може стати не просто експериментальним й інноваційним, але й просвітницьким проектом, оскільки стане підґрунтям для активнішого сортування сміття та очищення міста.

Для втілення ідеї проекту, а саме інформаційного забезпечення та популяризації встановлення підземних смітників, було визначено певні канали, завдяки яким цільова аудиторія отримувала інформацію. В першу чергу це проведення презентації для студентів–магістрів кафедри прикладної екології, створення публічної сторінки «Еко-тренд: сміття під землею» (посилання – <https://www.facebook.com/garbage.underground/>) у соціальній мережі Facebook. Авторами проекту також було надруковано статтю в щотижневу газету «ДС–експрес». Найбільш ефективним виявилася взаємодія через соціальні мережі, оскільки люди мали змогу висловлювати свої думки з цього приводу, коментуючи пости.

Отже, слід зазначити, що встановлення підземних контейнерів для сміття – це втілення успішних європейських технологій у нашому місті.

Звісно не існує жодного досконалого проекту. Контейнери для підземного збору сміття мають деякі недоліки, а саме: не визначено найкращі конструктивні рішення таких контейнерів; не досліджено проблему потрапляння води в контейнер у разі підтоплення; такі контейнери потребують додаткової техніки (крани); не вирішені питання з ділянкою землі на якій будуть встановлюватися такі контейнери. Саме останній факт і слугує найголовнішою перепорою подібного удосконалення системи збору ТПВ у нашому місті.

Але все одно ці проблеми вирішуються певними управлінськими рішеннями та діями, а результат може змінити кожен куточок країни на краще.

## ТЕНДЕНЦІЇ УДОСКОНАЛЕННЯ СИСТЕМ БІОЛОГІЧНОГО І МЕХАНІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ В ІНДУСТРІАЛЬНОМУ РИБНИЦТВІ

*Козир О. В., аспірант, ПолісДУ, м. Пінськ, Республіка Білорусь;  
Таразевич Є. В., доцент БДАТУ, м. Мінськ, Республіка Білорусь*

Установка замкнутого забезпечення (УЗЗ) для вирощування гідробіонтів є складною біотехнологічною системою. Для її ефективної роботи необхідні системи очищення технологічних вод, оскільки риби в процесі життєдіяльності виділяють як механічні, так і хімічні забруднювачі. Для реалізації таких завдань використовуються фільтри механічного (для видалення твердих суспензій) і біологічного (для видалення азотистих сполук) очищення. Такі системи в рибництві постійно розвиваються, стають більш ресурсоефективними, менш габаритними і екологічнішими.

Один із генеральних напрямків вдосконалення блоку очищення в складі замкнутих рибоводних установок – це зниження капітальних витрат на його спорудження. Зниження габаритів блоку біологічного очищення відповідає поставленому завданню. За цією ознакою можна порівняти три типи таких блоків: біологічні ставки; аеротенки і їх модифікації; біофільтри і їх модифікації.

Відношення обсягу блоку очищення до обсягу рибоводної ємності при інших рівних умовах становить 10,5–10 і 1,0–2,0 відповідно. Подальше удосконалення в цьому напрямі не вичерпано. Зниження габаритів і обсягів блоку очищення - шлях до зниження енергетичних витрат.

При виборі субстрату для заповнення біофільтра одночасно вирішується питання видалення надлишкового мулу. Субстрати у вигляді щебеню, гравію, кілець Рашига технічно не досконалі, так як видалення надлишкового мулу при їх застосуванні проблематичне [1]. Використовувані субстрати можна розділити на: завантаження у вигляді листів, об'ємних блоків із каналами, дисків, що обертаються фільтрів і завантаження у вигляді вініпластові кульок в барабанах, поліетиленових та інших гранул. Питома поверхня перших лежить в межах 50 – 200 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>, друге – до 1000 м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup> і більше. Збільшенню цього показника перешкоджають проблеми збереження субстрату від виносу із потоком води і проблема видалення надлишкового мулу, тобто проблема регенерації завантаження.

Вид використовуюваного субстрату диктує спосіб організації процесу контактування рідини, що очищається з біоценозом. При використанні статичних завантажень (плоских і об'ємних) вода подається зверху і, поступово очищаючись, рухається вниз.

Верхня частина завантаження у цьому випадку знаходиться в умовах максимальної концентрації забруднень. Нижня частина завантаження приймає стоки із меншою концентрацією забруднень, що знижує ефективність використання об'єму фільтра. Більше 60 % завантаження використовується у цьому випадку не ефективно. Часткове усунення цього

ефекту досягається при розподілі забруднень за висотою біофільтра. Пропускна здатність біофільтра може бути збільшена на 20%. Існують такі способи поліпшення використання обсягу фільтра, як рециркуляція очищених стоків, застосування багатоступеневих схем, застосування композитних завантажень за висотою біофільтра та інших компонентів таких споруд.

Для зниження навантаження на блок біологічного очищення, а також для збору надлишкового мулу біофільтра до складу рибоводних установок включається фільтр видалення суспензій. Найбільш прийнятними способами є відстоювання і фільтрування. При виборі механічного розділювача, що включається до складу замкнутої рибоводницької установки, враховуються чотири основних параметри: габарити, енергоємність, простота обслуговування і ефективність вилучення забруднень. Із усього спектру конструкцій фільтрів, що застосовуються в аквакультурі, виключаємо заздалегідь фільтри для очищення води від крупного сміття та діатомові фільтри освітлювачі [2].

Важливу роль у виборі обладнання грає також час фільтрації мулу. Дослідження властивостей рибоводного осаду показало, що перші 22–24 год осад працює як елемент біологічної очистки: знижується концентрація забруднювачів, практично стабілізуються значення  $\text{NH}_4$ .  $\text{NO}_2$ .  $\text{NO}_3$  [3]. У наступні години зберігання осад активно забруднює воду продуктами власного розпаду: зростає концентрація амонію та інших азотовмісних сполук.

Таким чином, фільтроцикл обмежений періодом 22–24 год, так як при більш тривалому зберіганні осаду в межах установки фільтр перетворюється у джерело додаткового забруднення води. Широке поширення отримали сітчасті блоки: барабанні і параболічні. Системи фільтрації такої конструкції дозволяють видаляти достатню кількість суспензій для підтримки сприятливого гідрохімічного режиму в УЗЗ у виробничих умовах.

Більш детального вивчення і розвитку вимагають блоки біологічного очищення, так як вони споживають більшу кількість ресурсів, великогабаритні, вимагають ретельного догляду, а також, у багатьох випадках, не забезпечують належного рівня очищення. Системи механічної фільтрації більш ефективні, і їх комбінації дозволяють проводити очищення технологічних вод від забруднювача до необхідного рівня достатнього для економічно ефективного функціонування УЗЗ.

#### Список літератури

1. Проскуренко І.В. (2003) Замкнутые рибоводные установки, М.: ВНИРО, С. 152.
2. Приверзенцев Ю. А. (2004) Рыбоводство, М.: Мир, С. 456.
3. Жигин А.В. Замкнутые системы в аквакультуре, М.: РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, С. 664.

## ВИКИДИ КАРБОН (II) ОКСИДУ ТА МЕТОДИ ЙОГО ЗНЕШКОДЖЕННЯ В УМОВАХ ХІМІЧНИХ ВИРОБНИЦТВ

*Михайлова Є. О., доцент, ХНЕУ ім. С. Кузнеця, м. Харків*

Карбон (II) оксид (CO) – безбарвний газ, який не має запаху, відомий також під назвою «чадний газ». Утворюється під час неповного згоряння викопного палива (вугілля, газу, нафти) за умов нестачі кисню та низької температури. При вдиханні CO через наявність в його молекулі потрійного зв'язку ( $C \equiv O$ ) утворює міцні комплексні сполуки з гемоглобіном крові людини і тим самим блокує надходження кисню в кров. Це викликає головні болі, нудоту, а при високих концентраціях в повітрі більше 0,1 об. % призводить до смерті протягом однієї години. Чадний газ відноситься до 4 класу небезпеки. Для нього встановлено наступні санітарно-гігієнічними показники (гранично допустимі концентрації): максимально разова ГДК – 5 мг/м<sup>3</sup>, середньодобова ГДК – 3 мг/м<sup>3</sup>, ГДК робочої зони – 20 мг/м<sup>3</sup>.

Одними з найбільш небезпечних об'єктів, які викидають значні кількості карбон (II) оксиду, є підприємства хімічної галузі, що потребують значних енергетичних витрат. До таких підприємств належить виробництво кальцинованої соди, оскільки у його технологічному циклі для одержання необхідного тепла та технологічних газів використовують викопне паливо. Основними джерелами утворення CO є стадія випалу карбонатної сировини та теплоагрегати ТЕЦ, де утворюється близько 27 кг чадного газу на 1 т кальцинованої соди. Отже, один содовий завод може викидати до 20 млн. т карбон (II) оксиду в атмосферне повітря на рік. Зазначимо, що згідно рекомендацій Міжурядової групи експертів з питань змін клімату CO відносять до парникових газів непрямої дії. Останні безпосередньо не є парниковими газами, але опосередковано впливають на парниковий ефект в результаті хімічних реакцій в атмосфері. Тому викиди чадного газу також рекомендовано обмежувати відповідно Паризької угоди, підписаної Україною [1]. Таким чином, знешкодження карбон (II) оксиду в газових викидах підприємств на сьогодні є досить актуальним завданням, яке потребує ефективного вирішення.

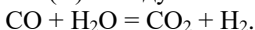
Для очищення викидних або технологічних газів від карбон (II) оксиду на хімічних підприємствах використовують два методи: адсорбційний і каталітичний [2].

Для вилучення карбон (II) оксиду з газів, у яких його вміст становить понад 10 об. %, найбільше поширення одержав адсорбційний метод очищення за допомогою розчинів купрум-аміачних солей різних кислот, які мають властивості утворювати з CO комплексні сполуки. На практиці застосовують аміачні розчини солей одновалентного купруму оцтової, мурашиної та карбонової кислот:



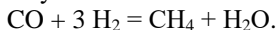
Іони двохвалентного купруму не можуть зв'язувати карбон (II) оксид, але їх наявність (до 20 мас. %) необхідна, так як це запобігає реакції, яка призводить до випадання металічного купруму. Для утворення катіонів двохвалентного купруму в систему подають повітря. Абсорбцію СО проводять при високому тиску 32 МПа та низькій температурі 5–15 °С, що створює великі проблеми в літній час. Регенерацію хемосорбенту здійснюють при атмосферному тиску та температурі близько 80 °С. Вищі температури призводять до інтенсивного виділення аміаку.

У деяких виробництвах також широко використовують каталітичний метод парової конверсії карбон (II) оксиду:



Процес проводять при значних концентраціях СО (12–13 об. %) як першу стадію очистки. У промислових умовах конверсію здійснюють у два ступеня під тиском 0,1–3,0 МПа. На першому ступені на середньотемпературному залізохромовому каталізаторі підтримують температуру 430–460 °С, забезпечуючи високу інтенсивність процесу, незважаючи на неповний ступінь перетворення СО в СО<sub>2</sub>. На другому ступені на низькотемпературному каталізаторі на основі оксидів купруму, цинку, хрому і алюмінію при 220–270 °С і низькій початковій концентрації СО (3–6 об. %) процес проходить практично до кінця. Така схема дозволяє підвищити ступінь перетворення карбон (II) оксиду та знизити витрати водяної пари. Кінцевий вміст СО у газі становить не більше 0,15–0,5 об. %.

Процес метанування призначений для видалення залишкових кількостей карбон (II) оксиду (до 0,6 об. %) із газів і використовується як заключна стадія очищення газу після каталітичного перетворення СО в СО<sub>2</sub>:



Процес проводять на нікель-алюмінієвому каталізаторі при температурі 250–400 °С і тиску до 29,6 МПа. Залишковий вміст карбон (II) оксиду в очищеному газі не перевищує 0,0003 об. %.

Таким чином, вибір методу знешкодження карбон (II) оксиду в умовах діючих хімічних виробництв, зокрема і содових заводів, буде здійснюватися з урахуванням обсягу та складу газу, що очищається, необхідного ступеня очищення, можливості утилізації вилученого СО або продуктів, які утворюються під час цього процесу. Але на сам перед визначальними стануть техніко-економічні показники обраного методу.

#### Список літератури

1. Михайлова Є. О. Питання екологічної безпеки виробництва кальцинованої соди. Проблеми екологічної безпеки: збірник тез доповідей XV міжнар. наук.-техн. конф. (Кременчук, 11–13 жовтня 2017 р.). Кременчук: ПП Щербатих О. В., 2017. С. 52.

2. Технологія зв'язаного азоту / Л. Л.Товажнянський, О. Я. Лобойко, Г. І. Гринь та ін.; за ред. О. Я. Лобойко. Харків: НТУ «ХП», 2007. 536 с.

## ЗАКОРДОННИЙ ДОСВІД ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕЧНОСТІ ОЧИЩЕННЯ ПОБУТОВИХ СТІЧНИХ ВОД

*Чорна Ю. В., студентка; Аблєєва І. Ю., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Протягом останніх років спостерігається стала тенденція до зниження якості води за вмістом біогенних та органічних речовин, синтетичних поверхнево-активних речовин, іонів важких металів майже в усіх поверхневих водах, що зумовлює погіршення питного водопостачання населення, виникнення замору риб та ускладнює рекреаційне використання водних об'єктів. Основна причина цих наслідків у тому, що на існуючих каналізаційних очисних спорудах використовують технології та методи очищення, які майже століття не зазнавали серйозних змін. Тому існує нагальна потреба у розв'язанні цієї проблеми з урахуванням досвіду зарубіжних країн.

У більшості Європейських країн застосовують повний комплекс загальноміських очисних споруд, що містить блоки: механічного і біологічного очищення, доочищення, знезараження, обробки осаду.

До складу блоку механічного очищення входять решітки, іноді з пісковловлювачами, дробарками, переаератори та первинні відстійники. Решітки призначені для уловлювання крупних включень, які за необхідності подрібнюються в дробарках. У пісковловлювачах завдяки різкому зниженню швидкості потоку рідини, що очищається, відбувається осадження зважених речовин (видаляється 40–60 % дрібних механічних домішок). У переаераторах відбувається первинне насичення стічних вод киснем шляхом подачі стислого повітря. Для видалення нафтопродуктів та інших домішок, що плавають на поверхні води, застосовують процес змішування стічних вод з бульбашками повітря. Видалення домішок відбувається у первинних відстійниках. З первинних відстійників стічні води подаються у блок біологічного очищення, де відбувається розпад органічних сполук, які піддаються біохімічному очищенню.

Серед споруд біологічного очищення найбільшого поширення набули аеротенки. В аеротенках відбувається контакт стічних вод з активним мулом за одночасного насичення їх киснем. Активний мул – це сукупність спеціально культивованих мікроорганізмів, які споживають органічні сполуки, що містяться у воді (нормальний вміст активного мулу – 2 г на 1 л стічної води). Для пришвидшення процесу в аеротенки подається стиснуте повітря у співвідношенні 1:10 до води, яку очищують. Аеротенки в блоці біологічного очищення розміщують послідовно таким чином, щоб стічна вода проходячи через аеротенки знаходилась в контакті з активним мулом протягом 18–20 годин (температура води +5...+40 °С).

Очищені в аеротенках стічні води потрапляють на вторинні відстійники. У цих відстійниках відбувається осідання активного мулу, який постачається разом із водою від аеротенків. Після вторинних відстійників

стічні води класифікуються такими, що пройшли біологічне очищення і можуть бути скинуті у водні об'єкти. Перед скиданням обов'язковим є знезараження, яке здійснюється шляхом обробки хлорною водою. Після хлорування вода проходить дегазацію (в Україні не застосовується), оскільки потрапляння активного хлору у водойму може призвести до загибелі риби та інших живих організмів. Дегазацію проводять у каналах та водотоках на шляху від місця хлорування до місця випуску стічних вод у водний об'єкт.

Якщо якість очистки стічних вод не відповідає умовам їх скидання у водні об'єкти або стічні води планують використовувати для технічного водокористування, то в таких випадках здійснюють додаткове доочищення води. Для доочищення стічних вод застосовують фільтри, установки пінної або напірної флоатації, коагуляцію, сорбцію, озонування, установки для вилучення з води сполук фосфору та азоту. Для надання очищеним стічним водам якості природної води їх доочищення проводять в каскаді біологічних ставків або на біоінженерних спорудах типу біоплато.

У процесі біологічного очищення стічних вод утворюється велика кількість осаду, що складається з відмерлого або надлишкового активного мулу (вологість 97–98 %), який видаляють з аеротенків та вторинних відстійників. Для зневоднення він спочатку обробляється в метантенках або в аеробних стабілізаторах, а потім підлягає механічному зневодненню у гідроциклонах, центрифугах, вакуум-фільтрах або прес-фільтрах. Після цього його відправляють на мулові майданчики для остаточного висушування. У метантенках протягом декількох годин відбувається бродіння мулу за температури 33–53 °С, вологість знижується до 92–94 %. Під час бродіння виділяється метан, який використовують у котельнях станцій біологічного очищення. В аеробних стабілізаторах активний мул підлягає посиленій аерації протягом декількох діб, вологість знижується на 2–3 % і він втрачає здатність утримувати вологу. В процесі механічного зневоднення вологість осаду понижується до 65–70 %, а об'єм зменшується в 15–20 разів. Остаточне висушування осаду здійснюється на мулових майданчиках. На них у природних умовах відбувається висушування та компостування мулу протягом до 1 року.

Скид стічних вод у водні об'єкти після очищення на загальноміських очисних спорудах регламентується нормативами гранично допустимих скидів забруднюючих речовин.

Таким чином, система очищення стічних вод зарубіжних країн, схожа з нашою, але зазнала багатьох модифікацій та оновлень. Реконструкція діючих очисних споруд та удосконалення систем очищення потребують значних матеріальних ресурсів та індивідуального підходу, що на цей час не є можливим. У зарубіжних країнах очищену воду використовують повторно в багаторазовому циклі, що забезпечує раціональне використання водних ресурсів. Втілення новітніх технологій та систем очищення стічних побутових вод більшості європейських країн пояснюється їх екологічною спрямованістю та фінансовою забезпеченістю.

## ДІАГНОСТИКА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ ШЛЯХОМ ПАРАМЕТРИЧНОЇ ВІЗУАЛІЗАЦІЇ ШУМУ

*Мигаль Г. В., професор; Мигаль В. П., професор,  
НАУ ім. М. Є. Жуковського «ХАІ», м. Харків*

Сьогодні актуальним є розробка систем онлайн діагностики функціонального стану складних систем, особливо в транспортній галузі (автомобільного двигуна, реактивного двигуна і т.п.), що є частиною загально технічної проблеми підвищення надійності машин. Одним з інформативних параметрів працюючого двигуна автомобіля є рівень шуму [1, 2]. Автомобілі є найбільш поширеними шумовіброактивними механізмами в навколишньому середовищі, а транспортний шум переважає серед його забруднювачів. Він становить реальну загрозу здоров'ю людей, змінює їх функціональний стан, погіршує самопочуття та ефективність діяльності. Наприклад, в процесі роботи поршневої двигун внутрішнього згоряння породжує різноманіття звуків, що є наслідком руху газів (впуск повітря і випуск відпрацьованих газів); механічної взаємодії зубчастих і кулачкових механізмів; роботи додаткових агрегатів двигуна (вентилятора охолодження, насоса високого тиску тощо). Їх суперпозиція створює шум, особливості якого для досвідченого механіка є джерелом інформації. Тому при діагностиці авто параметри шуму є діагностично значимими.

На сьогодні розвиток технічних засобів отримання і обробки діагностичної інформації випереджає можливості методів її аналізу, що обумовлює існування системних проблем в діагностиці. Одним з шляхів подолання цих проблем є візуалізація слабоформалізованих даних із застосуванням методів комп'ютерної когнітивної графіки. Зокрема, це надало можливість перетворити шуми різної природи в графічні образи. Порівняння таких образів з типовими, що є в базі даних, спрощує виявлення несправностей. Однак різноманіття цих графічних образів утруднює ідентифікацію функціонального стану елемента транспортної системи. Мова йде про множину станів системи, які складають певний простір станів, підмножинам якої можна поставити у відповідність певний вид порушень. Необхідним є такий простір станів роботи системи, який надасть можливість визначити порушення та його локалізацію у просторі та часі. Для цього найбільш перспективною є параметрична візуалізація шумового сигналу двигуна, яку можна здійснити за допомогою міждисциплінарного підходу до виявлення індивідуальності функціонування складних систем [4]. В основі його – параметричне представлення будь-якого сигналу об'єкта (електричного сигналу, звуку, шуму тощо) у просторі ймовірних динамічних подій. В ньому індивідуальні характеристичні ознаки структури будь-якого сигналу проявляються при перетворенні його в топологічну 3D-модель. Така геометризація сигналів різної природи супроводжується просторово-часовою декомпозицією на упорядковані та взаємопов'язані складові. Геометрично



вони відрізняються крутизною чи кривизною, а фізично – швидкістю чи прискоренням динамічних подій [5]. Просторово-часова впорядкованість складових найбільше проявляється в ортогональних проекціях траєкторії, конфігурації яких є індивідуальними графічними образами-сигнатурами джерела інформації 1-го і 2-го порядків. Вони є природними патернами просторово-часової структури сигналу, що надає можливість їх порівнювати та швидко ідентифікувати зміну стану об'єкта [3, 4]. На прикладі трансформації шуму сенсорів технічних систем, а також шуму різних двигунів в топологічну 3D-модель показано, що візуалізації у параметричному просторі ймовірних динамічних подій цифрованого шумового сигналу автомобільного двигуна без дефектів та двигуна із дефектом у випускному колекторі у вигляді тріщини відрізняються: а) щільністю динамічних подій; б) характером розподілу складових по квадрантам фазового простору; в) площею, яку охоплюють сигнатури. Важливими параметрами графічних образів-сигнатур також є підмножини мікростанів, потужності яких пропорційні площам конфігурацій сигнатур і статистично відображають ентропію. Отже, візуалізація динаміки сигналів різної природи у вигляді конфігурацій патернів надає можливість їх порівнювати, а також зрівнювати їх ентропії.

Таким чином, обробка та візуалізація акустичного сигналу за допомогою перетворення у 3D-топологічну модель відкриває можливості створення методу дистанційної діагностики механічних систем з можливістю раннього виявлення стану агрегатів, збоїв у їх функціонуванні та прогнозування ресурсу елементів механічної системи. Створення інформаційної системи на базі смартфона для онлайн діагностики функціонального стану двигуна дозволяє підвищити: а) екологічну безпеку автомобіля, спростити його експлуатацію, забезпечити раннє діагностування та виявлення несправностей; б) економічність експлуатації автомобіля, завдяки економії коштів та часу як самого користувача так й СТО.

#### Список літератури

1. Wail, M. Adaileh (2013). Engine Fault Diagnosis Using Acoustic Signals. *Progress in Environmental Protection and Processing of Resource*, p. 295 – 298.
2. Chomphan, S., Kingrattanaset, Th. (2014). An analysis of sound for fault engine. *American Journal of Applied Sciences*, № 11(6), p. 1005 – 1009.
3. Mygal, V. P., But, A. V., Mygal, G. V., Klimenko, I. A. (2016). An interdisciplinary approach to study individuality in biological and physical systems functioning. *Scientific Reports*, Nature Publishing Group, № 6, p. 387–391. DOI: 10.1038/srep29512
4. Mygal, V. P., But, A. V., Phomin, A. S. Klimenko, I. A. (2015) Geometrization of the dynamic structure of the transient photoresponse from zinc chalcogenides. *Semiconductors*, № 49, p.634–637. DOI: 10.1134/S1063782615050152.

## ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПЕРЕМІШУВАННЯ В МЕТАНТЕНКАХ

*Білоус О., студент; Васькін Р. А., доцент; Васькіна І. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Біогаз є високоякісним і повноцінним носієм енергії і може всебічно використовуватися як паливо в домашньому господарстві і в підприємстві для приготування їжі, виробництва електроенергії, опалення приміщень.

А в Індії, В'єтнамі, Непалі та інших країнах, що розвиваються будують малі, односімейні біогазові установки. Одержуваний в них газ використовується для приготування їжі. Найбільше малих біогазових установок в Китаї. Ще в кінці 1990 років їх там налічувалося понад 10 мільйонів. Щорічно все це обладнання виробляє близько 7 мільярдів кубометрів біогазу, що забезпечує паливом приблизно 60 мільйонів селян. В кінці 2016 року в Китаї діяло вже близько 18 мільйонів біогазових установок. І сьогодні їх застосування дозволяє замінити 10,9 мільйона тонн умовного палива. В Індії з 1981 по 2016 рік було встановлено 3,8 мільйона малих біогазових установок. У Непалі існує програма підтримки розвитку біогазової енергетики, завдяки якій в сільській місцевості цієї країни до кінця 2016 року було створено понад 100 тисяч малих біогазових установок [1].

Метантенки служать для забезпечення властивостей стабільності осаду при тривалому його зберіганні або зневодненні в природних умовах. Одночасно вирішується завдання підготовки осаду до внесення в ґрунт, так як після зброджування засвоєння елементів осаду рослинами поліпшується. Розпад органічних речовин протікає в 2 фази. У першій фазі з вуглеводів, жирів і білків утворюються жирні кислоти, водень, амінокислоти та ін. У другій - відбувається руйнування кислот з утворенням переважно метану і вуглекислого газу. Біологічний процес трансформації органічних речовин при зброджуванні здійснюється комплексом мікроорганізмів, провідна роль в якому належить групі метаноутворюючих бактерій. Культивування мікроорганізмів цієї групи представляє основну задачу служби експлуатації біогазової установки. Стійкий хід процесу забезпечується рядом режимних параметрів, найважливішими з яких є навантаження, збереження і відтворення біомаси, умови перемішування і підтримки температури бродіння маси [2].

Розрізняють мезофільне (при температурі 30–35 °С) і термофільне (при температурі 50–55 °С) зброджування. При термофільному зброджуванні процес розпаду проходить швидше, але зброжений осад гірше віддає вологу. Для збільшення обсягу утворюваного біогазу процеси зброджування в метантенке необхідно інтенсифікувати. Ефективність перемішування біомаси в біореакторі – один з основних параметрів, що впливають на роботу біогазової установки.

Перемішування вмісту метантенка необхідно проводити з метою забезпечення ефективного використання всього обсягу метантенка,

запобігання утворенню мертвих зон, запобігання розшарування осаду, відкладення піску і утворення кірки, вирівнювання температурного поля. Також перемішування сприяє вирівнюванню концентрацій метаболітів, що утворюються в процесі бродіння і є проміжними субстратами для мікроорганізмів або інгібіторами їх життєдіяльності, а також підтримці тісного контакту між бактеріальними ферментами і їх субстратами тощо. Таким чином, перемішування призначене для підтримування однорідності середовища.

Перемішування мулу в метантенку може здійснюватися кількома способами:

- гідроелеваторами, в яких робочою рідиною служить осад, що подається насосом з нижньої зони метантенка;
- пропелерними мішалками (у вертикальному напрямку), які розміщуються в центральній трубі в середині метантенка;
- насосами без гідроелеваторів;
- рециркуляцією газів бродіння за допомогою компресорів;
- пристроями для підігрівання осаду (паровими інжекторами).

Одночасно відбувається підігрів вмісту метантенка гострою паром.

Для перемішування біомаси у метантенку часто використовуються механічні мішалки. Подібні мішалки досить ефективні в невеликих реакторах при переробці важких субстратів. Однак якщо використовуються субстрати з малою в'язкістю, та до того ж які містять мало речовин, схильних до осадження або утворення плаваючої кірки, то механічні перемішувачі пристрої застосовують і в великих реакторах. Звичайно, механічні мішалки найбільш практичні для простих невеликих біогазових установок, які використовуються в індивідуальних господарствах. В якості такої мішалки може служити звичайний вал з лопатками, що приводиться в рух «від руки».

Недоліком такого способу є його мала інтенсивність, проте, вона цілком виправдана відсутністю енерговитрат.

Отже, вибір способу перемішування мулу та його конструктивного оформлення впливає на ефективність роботи метантенку. При правильному виборі перемішувача дозволяє підвищити ефективність отримання біогазу на 5–10 %.

#### Література

1. Roubík H. Small-scale biogas plants in central Vietnam and biogas appliances with a focus on a flue gas analysis of biogas cook stoves/ H. Roubík, J. Mazancová // *Renewable Energy* – 2019, V. 131, p. 1138-1145
2. Пляцук Л. Д. Екологічна біотехнологія: принципи створення біотехнологічних виробництв: навчальний посібник /Л. Д. Пляцук, Є. Ю. Черниш. – Суми: Сумський державний університет, 2018. – 293 с.
3. Шворов С. А. Обґрунтування конструктивно-технологічних параметрів мішалок метантенка біогазової установки / С. А. Шворов, В. М. Поліщук, В. В. Ільтьо // *Енергетика і автоматика* – 2018, №3. С.61 – 74.

## ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ВІД СТІЧНИХ ВОД ГАЛЬВАНІЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

*Зайцева К. О., студентка; Аблєєва І. Ю., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

Доволі гострою постає проблема потрапляння іонів важких металів у навколишнє середовище. Постійні скиди неочищених промислових і побутових стічних вод знижують рівень екологічної безпеки водних об'єктів та здійснюють деструктивний та дестабілізуючий вплив на гідробіотів і екосистеми в цілому.

Високою агресивністю володіють розчини шестивалентного хрому в стічних водах гальванічного виробництва [1]. Проведений літературний огляд показав, що існуючі методи очистки стоків гальванічних виробництв використовують механічні, хімічні, фізичні способи очистки, що дійсно видаляють осад шламу з забрудненого розчину, але не вирішують проблему його подальшої утилізації [2].

Актуальними на цей час є способи рекуперації хромовмісних розчинів, що дозволяють довгостроково їх використовувати та попереджають скиди шестивалентного хрому у навколишнє середовище. Метод електродіалізу застосовується для регенерації цінних компонентів із висококонцентрованих стічних вод, відпрацьованих травильних та інших технологічних розчинів [3].

Для впровадження даного методу в умови дійсного гальванічного виробництва без залучення великих капітальних витрат, було розроблено модуль електрохімічний катіонний, що включає анодну та катодну камери, розділені катіонообмінною мембраною RALEX®CM-PES 11-66 та фільтрувальною тканиною.

Після лабораторних випробувань, було досліджено якісний склад одержаного осаду та підтверджено, що дійсно на катоді відновлюються метали, які було додано у склад аноліту. Також, успішними були дослідження роботи модуля, що працював в умовах діючої гальванічної ванни.

Для оцінки зниження рівня техногенного навантаження та підвищення екологічної безпеки водних об'єктів після впровадження досліджуваної технології було проведено аналіз кількості гальванічних скидів на підприємстві до та після проведення експерименту.

Для визначення рівня екологічної небезпеки та якості поверхневих водних об'єктів після скиду розраховується індекс забруднення за формулою:

$$ІЗ = \frac{\sum C_i + ГДК_i}{n}, \quad (1)$$

де  $C_i$  – середня річна концентрація  $i$ -тої забруднювальної речовини у стічних водах, г/м<sup>3</sup>;

$ГДК_i$  – гранично допустима концентрація  $i$ -тої забруднювальної речовини, що надходить на очисні споруди, г/м<sup>3</sup>;

$n$  – загальна кількість забруднювальних речовин у стічних водах.

Розрахований за формулою (1) індекс забруднення становить 15,6.

При значенні індексу забруднення більшому ніж 10, стічні води вважаються екстремально забрудненими та майже не підлягають очищенню або відновленню у природних умовах.

За умови роботи електромембранного модулю, хромовмісний розчин ефективно регенерується, домішки важких металів видаляються з катоду з можливістю їх подальшого повторного використання, що виключає скиди концентрованого вмісту ванн у довкілля. Це не лише знижує рівень техногенного навантаження на навколишнє середовище, але й звільняє власників підприємства від сплати економічного податку за скиди забруднювальних речовин.

Річна сума податку за скиди забруднених стоків гальванічного виробництва у грн/рік розраховується за формулою:

$$P_c = \sum (M_{лi} \cdot N_{пi} \cdot K_{oc}), \quad (2)$$

де  $M_{лi}$  – обсяг скиду  $i$ -тої забруднювальної речовини за рік, т;

$N_{пi}$  – ставки податку в поточному році за тону  $i$ -того виду забруднювальної речовини, у гривнях з копійками;

$K_{oc}$  – коефіцієнт, що дорівнює 1,5 і застосовується у разі скидання забруднювальних речовин у ставки і озера (в іншому випадку дорівнює 1).

Розрахована за формулою (2) річна сума податку за скиди забруднених стоків гальванічного виробництва становить 56 113,72 грн/рік.

Отже, очевидно, що впровадження дослідженої технології очищення гальванічних стоків не тільки має природоохоронний характер, а ще й є економічно доцільним. Впровадження мембранного електролізу на робочу ділянку гальванічного виробництва повністю попереджує забрудненню навколишнього середовища та може бути віднесено до превентивних заходів захисту об'єктів гідросфери.

#### Список використаних джерел

1. Долина Л.Ф. Современная техника и технологии для очистки сточных вод от солей тяжелых металлов: Монография. Дн-вск.: Континент, 2008. С. 254.
2. Виноградов С.С. Экологически безопасное гальваническое производство / Под редакцией проф. В.Н. Кудрявцева. Изд. 2-е, перераб. и доп.; "Глобус". М., 2002. С. 352.
3. Запольський А. К., Мішкова-Клименко Н. А., Астрелін І. М., Брик М. Т., Гвоздяк П.І., Князькова Т. В. Фізико-хімічні основи технології очищення стічних вод. Підручник. К.: Лібра, 2000. 552 с.

## ВПЛИВ РЕЗЕРВУАРІВ ДЛЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ОТРУЙНИХ ТА ЛЕГКОЗАЙМИСТИХ РІДИН НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

*Серікова О. М., старший викладач, НУЦЗУ, м. Харків;  
Стрельнікова О. О., провідний науковий співробітник  
ІПМаш ім. А. М. Підгорного НАН України, м. Харків*

Результатом зовнішнього природного чи техногенного впливу може бути порушення герметичності резервуару, його пошкодження чи руйнування. Потрапляння отруйних та легкозаймистих рідин з резервуарів для їх зберігання в навколишнє природне середовище (НПС) та їх подальше розповсюдження на територію населених пунктів може бути причиною масових отруєнь людей, тварин, привести до забруднення об'єктів довкілля. Існує також можливість реалізації пожежної небезпеки об'єкта і ризику загибелі людей в результаті впливу небезпечних факторів пожежі у резервуарі для збереження отруйних та легкозаймистих рідин [1].

Метою роботи є попередження надзвичайних ситуацій (НС) та негативного впливу на довкілля при пошкодженні, руйнуванні та порушенні герметичності резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин.

Прогнозування впливу та аналіз техногенної небезпеки резервуару для збереження отруйних та легкозаймистих рідин передбачає [1]: аналіз пожежної небезпеки технологічної схеми і параметрів технологічних процесів на об'єкті; визначення частоти реалізації пожежонебезпечних аварійних ситуацій та параметрів для кожного технологічного процесу; побудову полів небезпечних факторів пожежі для різноманітних сценаріїв її розвитку; оцінку наслідків впливу небезпечних факторів пожежі на людей за різними сценаріями розвитку пожежі; наявність систем забезпечення пожежної безпеки [1]; оцінку технічного стану резервуару; оцінку стану НПС поблизу резервуару та можливість впливу на стан резервуару; оцінку реального та потенційного впливу резервуару на НПС; планування та впровадження управлінських та інженерних заходів із попередження техногенного впливу на резервуар; контроль за додержанням вимог попередження техногенного впливу на резервуар; планування та впровадження управлінських та інженерних заходів із попередження негативного впливу резервуару на НПС та виникнення НС; контроль за додержанням вимог попередження негативного впливу резервуару на НПС та виникнення НС.

Для управління впливом на НПС резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин було розроблено алгоритм дій при пошкодженні, руйнуванні та порушенні герметичності резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин під дією техногенних та природних факторів (Рис. 1.). На відміну від інших, даний алгоритм дозволяє враховувати окрім забруднених територій, що потребують ліквідації наслідків забруднення отруйними та легкозаймистими рідинами, також

території з ризиком забруднення від зовнішнього впливу, що значно підвищує рівень екологічної безпеки об'єктів довкілля. Для задовільної роботи алгоритму запропоновано вважати територію поблизу резервуару такою, що вимагає постійного контролю за негативними впливами на об'єкти довкілля протягом всього терміну експлуатації резервуару.

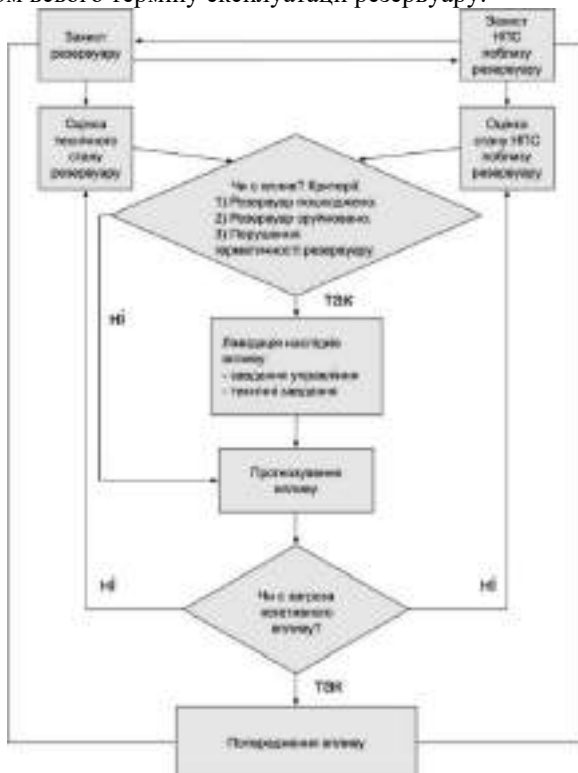


Рисунок 1 – Алгоритм дій при пошкодженні, руйнуванні та порушенні герметичності резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин під дією техногенних та природних факторів.

Важливим та необхідним є постійний контроль за територіями, на яких знаходяться резервуари отруйних та легкозаймистих рідин, прогнозування можливих впливів навколишнього середовища на ці об'єкти та цих об'єктів на довкілля, попередження пошкоджень, руйнувань і порушень герметичності резервуарів внаслідок техногенних та природних впливів, управління ризиками виникнення НС на цих об'єктах.

#### Список літератури

1. Липовий В.О., Удянський М.М. (2017). Техногенні ризики забруднення довкілля під час експлуатування та ремонтних робіт резервуарів з нафтопродуктами. Харків: НУГЗУ. 107 с.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДОВКІЛЛЯ ШЛЯХОМ ВИКОРИСТАННЯ БІОМЕТАНУ В ТРАНСПОРТНОМУ СЕКТОРІ

*Череватенко О. Д., студентка; Аблісева І. Ю., старший викладач,  
СумДУ, м. Суми*

Автомобільний транспорт створює значне техногенне навантаження на довкілля, переважно за рахунок викидів парникових газів (ПГ), які є однією з головних причин глобального потепління та змін клімату. Вся світова спільнота стає на шлях декарбонізації транспортного сектору, тобто зменшення вуглецевого сліду за рахунок відмови від викопного палива і переходу на альтернативні джерела, найбільш перспективними серед яких на сьогодні для більшості європейських країн є біогаз та виділений з нього біометан.

Виробництво та використання біогазу значно скорочує викиди парникових газів, замінюючи викопні енергоносії та енергоємні мінеральні добрива, і це дозволяє уникнути викиду метану  $\text{CH}_4$  в атмосферу, що є результатом зберігання засвоєної речовини: органічний матеріал, як гній або органічні відходи (наприклад, на сміттєзвалищах, відкритих полігонах або інших видах зберігання).

Створення двигунів автотранспортних засобів, що працюють на газі з низькою теплоотою згоряння, як у біогазу, становить труднощі, тому доцільніше використовувати не біогаз, а одержуваний з нього біометан, для чого з біогазу виділяють  $\text{CO}_2$  й інші домішки.

Викиди парникових газів розраховують за повний життєвий цикл (ЖЦ) палива, а саме: викиди від вирощування сировини (в основному, від застосування добрив); викиди в результаті зміни землекористування (переведення випасних земель в орні); викиди від переробки сировини та виробництва палива (від використання енергії при виробництві); викиди від транспортування та розподілу до споживача (від використання пального).

Поточні викиди ПГ від спалювання бензину та дизельного палива оцінюються відповідно в 164–156 г  $\text{CO}_2$ -екв./км. Природний газ, що використовується як альтернативне паливо, викидає 124 г  $\text{CO}_2$ -екв./км, що еквівалентно зниженню на 24 % у порівнянні з бензином. Викиди ПГ від використання біометану залежать від виду сировини. З біометаном, виробленим із таких культур, як кукурудза, викиди ПГ дорівнюють 66 г  $\text{CO}_2$ -екв./км, більше половини яких представлено вирощуванням та збиранням (використанням добрива) сировини та 28 % за рахунок очищення біогазу до біометану. Виробництво біометану з побутових відходів та його використання в якості палива для автомобілів забезпечує скорочення викидів парникових газів на км пробігу автомобіля приблизно на 70 % у порівнянні з легковим автомобілем, що працює на бензині.

Таким чином, заміна звичайного палива на біометан є екологічно безпечним кроком на шляху до декарбонізації транспортного сектору.



## ТЕХНОЛОГІЇ ПЕРЕРОБКИ ВІДХОДІВ НАФТОГАЗОВИДОБУВАННЯ З ПОДАЛЬШИМ ВИКОРИСТАННЯМ ЇХ РЕСУРСНОГО ПОТЕНЦІАЛУ

*Коваленко В. С., студент; Фалько В. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Майже всі виробничі об'єкти нафтогазової промисловості у відповідних умовах забруднюють компоненти природного середовища різноманітними шкідливими речовинами. Тому нафтогазові підприємства за рівнем шкідливої дії на природне середовище вважаються об'єктами підвищеного екологічного ризику.

Згідно з базовим сценарієм розвитку обсяги власного видобутку нафти з газовим конденсатом зростатимуть до рівня 5,4 млн тонн/рік. Усього за період 2006–2030 рр. буде видобуто 133,9 млн тонн нафти з газовим конденсатом.

Висока регіональна концентрація об'єктів видобутку, переробки, зберігання та транспортування нафти та газу на території України призводить до значного техногенного навантаження на навколишнє природне середовище в окремих областях [1].

Головними технологічними процесами нафтогазового виробництва є буріння нафтогазових свердловин і свердловин різного призначення, нафтогазовидобуток, переробка нафти і газу, транспортування та зберігання вуглеводнів.

Основний об'єм забруднюючих речовин, що входить до складу відходів, припадає на вуглеводні [2]. Крім власних природних вуглеводнів та їх супутників, продуктів переробки нафти та газу до складу забруднюючих речовин входять численні реагенти, каталізатори, ПАР, інгібітори, луги, кислоти, які обов'язково використовуються у технологічних процесах і після їх використання переходять в одну із складових відходів.

Відходи нафтогазової галузі утворюються в значних об'ємах. Вони є досить різноманітними та значно відрізняються один від одного за своїм складом і фізико-хімічними властивостями. Така своєрідна специфіка відходів галузі ускладнює можливість їх утилізації, що приводить до збільшення об'ємів нагромаджених відходів. На бурових майданчиках нафтогазових свердловин основними забруднюючими речовинами атмосферного повітря є NO, NO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, суміш насичених вуглеводнів C<sub>2</sub>-C<sub>8</sub>, граничні вуглеводні C<sub>12</sub>-C<sub>19</sub>, CO, сірчистий ангідрид, сажа. Одним з основних видів промислових відходів є бурові стічні води. Ці води забруднені буровими розчинами, хімічними реагентами диспергованими глинами, вибуреною породою та буровими шламами. Основну небезпеку для навколишнього середовища на території бурової складають речовини, які нагромаджуються в амбарах [1]. Існуючі технології утилізації відходів є енергоємними і вимагають значних капіталовкладень, що також ускладнює проблему зменшення об'ємів відходів.

Одними з наймасовіших відходів нафтогазової промисловості є нафтошлами та кислі гудрони. Нафтові шлами утворюються в резервуарах для збереження нафти і темних нафтопродуктів, на очисних спорудах, а також в системі оборотного водопостачання і при очистці резервуарів. Вони представляють собою важкі нафтові залишки, які вмішують в середньому: 10–56 % нафтопродуктів, 30–85 % води, 1,3–46 % твердих домішок. При зберіганні нафтошламів в шламонагромаджувачах і поповненні новими порціями відбувається перемішування та відстій. Питання їх переробки є актуальним, оскільки вони можуть бути цінною вуглеводневою сировиною як для подальшої переробки, так і для використання в якості палива.

У літературі наводяться різні методи утилізації нафтошламів: метод спалювання, метод грануляції, метод термічної обробки, метод аерозольного каталізу, метод плазмокаталітичної утилізації [3].

Розроблені технології переробки нафтошламів, передбачають їх подальше використання у будівництві, як добавку при коксуванні важкої вуглеводневої сировини, як добавку до композиційних сумішей для дорожнього будівництва.

Розглядаючи існуючі на сьогодні методи утилізації та переробки нафтошламів, їх основними недоліками можна вважати складне технічне забезпечення технології, значні капіталовкладення на їх впровадження, а також втрати органічної сировини.

Ще одною актуальною проблемою залишається проблема поводження з кислими гудронами. Вона полягає у тому, що свіжий гудрон містить 25–60 % сірчаної кислоти, 4–10 % води, 30–60 % органічної маси, в тому числі 10–35 % сульфокислот. Тому дані відходи на даний час практично не використовують. Вони, як правило, складуються у заводських ставках-накопичувачах, які займають великі площі.

Відходи є основними чинниками забруднення навколишнього середовища, тому для зменшення об'ємів їх утворення та нагромадження в першу чергу необхідно володіти достовірною інформацією про умови та об'єми їх утворення, фізико-хімічну характеристику, а також про можливі напрямки поводження з ними.

#### Список літератури

1. Орфанова М. М. Напрямки покращення екологічної ситуації на підприємствах нафтогазового комплексу України / М.М. Орфанова, ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ . ЭНЕРГЕТИКА. ЭНЕРГОАУДИТ. – 2014, № 4(122) – С. 69–73
2. Істомін О. М. Проблеми і перспективи підготування нафтогазових ресурсів в Україні. Проблеми нафтогазового комплексу України 1993-2002 / О. М. Істомін. – Львів: УНГА, 2002. – С. 14– 20.
3. Мазлова Е.А. Проблемы утилизации нефтешламов и способы их переработки / Е. А. Мазлова, С. В. Мещеряков – М.: “Ноосфера”, 2001. – 56 с.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ШЛЯХОМ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСОМ ГОРІННЯ

*Батальцев Є. В., завідувач лабораторії, СумДУ, м. Суми*

Звичайне спалювання палива на електростанціях призводить до викиду газів, що містять краплі рідини та твердих частинок. Ця суміш видаляється з електростанцій контрольованим чином через димові труби та завдає шкоди навколишньому середовищу. Досягти зменшення викидів, зокрема оксидів азоту, можливо шляхом регулювання температури горіння, адже, починаючи з температури 700 °С і до 900 °С, керуючи процесом горіння, можна уникнути викиду деяких компонентів техногенного походження, зокрема оксидів азоту. Спрогнозувати температуру у котлах при заданих параметрах дозволяє тривимірне моделювання.

Принципово, що технологія проведення тривимірного математичного моделювання топкових процесів котла при виборі варіантів реконструкції/модернізації складалася з наступних етапів:

1. Збір вихідних даних, необхідних для комп'ютерного моделювання процесу горіння в існуючому котлі, включаючи: існуючу геометрію котла і системи спалювання; інформацію по паливу (елементарний склад, мінеральний склад золи, фракційний склад пилу тощо); проектні дані (характеристики) котла; результати випробувань котла; поточні експлуатаційні дані.

2. Розробка моделі існуючого топкового пристрою котла і моделювання експлуатаційного режиму. При необхідності – підстроювання моделі або кінетики горіння вугілля для отримання збігу з результатами випробувань.

3. Розробка моделі для варіанта (варіантів) реконструкції котла і моделювання режимів його роботи.

4. Оптимізація конструктивних і режимних параметрів основних пальників, пристінного й нижнього дуття.

5. Визначення оптимального варіанта реконструкції на основі аналізу всіх розрахункових параметрів.

Чисельне комп'ютерне моделювання дозволяє досліджувати процеси, які важко спостерігати під час випробувань, але необхідно знати при проектуванні або реконструкції наявних потужностей теплових електростанцій. Для цього можливо використовувати програмний комплекс ANSYS Fluent для проведення ефективного розрахунку процесу горіння пилувугільного палива в енергетичному котлі.

Таким чином, при реалізації нових проектних рішень по модернізації теплових електростанцій із урахуванням моделювання температурного поля у котлах та дотриманням низькотемпературного горіння можна досягти значного зниження викидів забруднюючих речовин в атмосферу, зокрема повністю ліквідувати викиди оксиди азоту.

## СУЧАСНИЙ СТАН ТА ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ

*Аблєєва І. Ю., старший викладач; Бережна І. О., аспірантка,  
СумДУ, м. Суми*

Для України біоенергетика є одним із стратегічних напрямів розвитку сектору відновлюваних джерел енергії, враховуючи високу залежність країни від іноземних енергоносіїв. Однак, темпи розвитку біоенергетики в Україні досі істотно відстають від європейських. На сьогодні в Україні частка біоенергетики у загальній структурі споживання енергії дуже низька у порівнянні з країнами ЄС. Якщо у ЄС біоенергетика займає 18–20 % ринку, то у нас цей показник на рівні – 2 %. У новій редакції Енергетичної стратегії України поставлена мета до 2035 року довести обсяг виробленої в країні «зеленої» енергії до 25 % від загального енергоспоживання. Сенс цієї цифри полягає у скороченні рівня споживання природного газу.

Динаміка зростання біогазових установок в Україні позитивна. Зокрема, станом на початок 2019 року налічувалося 33 діючих біогазових установок, аналогічний показник у 2018 році був на рівні 21 установки [2].

В Україні спектр органічних відходів, придатних для виробництва біогазу є доволі широким. Практично всі види органічних відходів, переважно, відходи сільського господарства тваринного (гній) і рослинного походження можуть бути використані як сировина для зброджування. Практика показує, що використовуються й відходи промисловості (цукрових, спиртових, молочних, пивоварних заводів), а також станцій очищення комунальних стічних вод. Вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду сировини, що використовується. Крім відходів біогаз можна виробляти зі спеціально вирощених енергетичних культур, наприклад, із силосної кукурудзи або сільфії, а також водоростей. Вихід газу може досягати до 300 м<sup>3</sup> з 1 тони сировини [1]. Основні види відходів тваринництва: коров'ячий гній; свинячий гній; курячий послід птахокомплексів м'ясного напрямку; курячий послід птахокомплексів яєчного напрямку. Кожен із цих видів відходів має свою специфіку.

Свинячий гній зазвичай має найвищу вологість і, відповідно, найнижчий вміст органічної сухої речовини, з якої у процесі анаеробної ферментації і виробляється біогаз. Менш вологим є коров'ячий гній. Більше органічної речовини міститься у курячому яєчному посліді. Найбільше органіки у змішаному з підстилкою бройлерному курячому посліді. Найпростішим для отримання біогазу і найменш з усіх екологічно шкідливим є коров'ячий гній. Особливість системи травлення жуйних тварин зумовлює наявність у гною розвинених колоній анаеробних бактерій, відсутніх в інших видів тварин і необхідних для проходження процесів розкладання органічних речовин у безповітряному середовищі біогазових реакторів.

Гнойові відходи, особливо рідкі стоки свиноферм, часто характеризуються надмірним вмістом  $\text{NH}_4$  та не оптимальним для процесу метаногенезу співвідношенням C:N. Співвідношення C:N у різних типах гнойових відходах свиней та в рідких відходах ВРХ у більшості випадків не перевищує значення 15. Відомо, що для стабільного протікання процесу метанового бродіння оптимальним співвідношенням C:N є діапазон 10–30:1. Натомість, відходи рослинного походження характеризується низьким вмістом  $\text{NH}_4$  та високими значеннями співвідношення C:N, у більшості випадків перевищує значення 30. Тож, поєднання тваринного та рослинного видів субстратів допоможе отримати оптимальне співвідношення C:N та концентрацію  $\text{NH}_4\text{-N}$  у межах допорогової величини (3000 мг  $\text{NH}_4\text{-N}$ /л) та збільшити вихід біогазу [1].

Вихід метану з 1 тони рослинної сировини коливається межах від 250 м<sup>3</sup> до 400 м<sup>3</sup>. Натомість у біогазі, який отримали з рослинного субстрату містяться необхідні рослинам мікроелементи: цинк, кобальт, мідь, а також в невеликій кількості ртуть та кадмій. Необхідне очищення біогазу від зазначених домішок, що вимагає додаткових матеріальних витрат. З тони гною великої рогатої худоби виходить 50–65 м<sup>3</sup> біогазу з вмістом метану 60 %, 150–500 м<sup>3</sup> біогазу з різних видів рослин з вмістом метану до 70 %. Максимальна кількість біогазу – це 1300 м<sup>3</sup> з вмістом метану до 87 % – можна отримати з жиру.

За розрахунками Біоенергетичної Асоціації України, економічний потенціал відходів тваринництва у 5 разів нижчий за економічний потенціал соломи зернових культур, або у 4,5 разів нижчий за відходи перероблення кукурудзи. За іншими оцінками, зробленими Національним екологічним центром України, економічний потенціал відходів тваринництва нижчий за економічні потенціали соломи та відходів виробництва кукурудзи та зерна у 3,5 та 1,5 рази відповідно.

Інтенсивний розвиток біогазових технологій в Україні може дозволити у найближчій перспективі виробляти щорічно близько 1,5–6 млрд кубометрів. Це стане значним внеском у забезпеченні енергетичної незалежності України. Отже, для досягнення зазначених показників варто на законодавчому рівні стимулювати виробництво електроенергії з біогазу, активізувати залучення масштабних інвестицій в цю галузь, організувати сприятливі умови для виробництва біогазу в Україні, підвищити коефіцієнт «зеленого» тарифу.

#### Список використаних джерел

1. Кучерук П.П., Матвеев Ю.Б., Ходаківська Т.В., Грабовський М.Б. Перспективи виробництва біогазу з сумішей гнойових відходів тваринництва та рослинної сировини в Україні. Промислова теплотехніка. 2013. №1(35). С. 107–113.

2. Паламаренко Я.В. Сучасний стан та перспективи розвитку біогазової галузі України. Інвестиції: практика і досвід. 2019. № 1.

## ПРОЦЕСИ ТЕМНОВОЇ ФЕРМЕНТАЦІЇ ДЛЯ УТИЛІЗАЦІЇ ВІДХОДІВ З ОТРИМАННЯМ КОРИСНИХ БІООСНОВНИХ ПРОДУКТІВ

Шуліна Є. О., студентка; Черниш Є. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

В останні роки у дослідженнях та розробках приділяється значна увага таким технологіям відновлюваної енергії, як анаеробне перетворення органічної біомаси та відходів. Серед усіх альтернативних носіїв енергії водень може бути паливом майбутнього через високу енергоємність, екологічність виробництва, а також тому, що він може дати істотний соціальний, економічний та екологічний статус.

Саме темнова ферментація є перспективною технологією отримання біоводню через високі показники виробництва та здатність до утилізації органічних відходів.

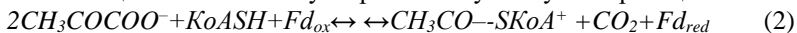
Темнове бродіння передбачає перетворення органічних сполук у різні неорганічні та органічні продукти. Під час цього частина органічної сполуки може окислюватися, тоді як інша частина зменшується. Саме завдяки цьому окисненню-відновленню сполук ферментативні мікроорганізми отримують енергію, утворюючи численні спрощені та розчинні органічні сполуки [1].

Основними субстратом слугують різноманітні органічні сполуки – такі як вуглеводи, цукри, білки і жири, комплексні органічні субстрати, наприклад, стічні води (СВ), багаті органічними речовинами: СВ харчової промисловості, СВ комунальних підприємств, відходи, які містять целюлозу та лігнінцелюлозу, СВ тваринних ферм, цукровмісні СВ, а також СВ, які містять залишки олій та гліцеролу [2].

Генерування водню здійснюється строгими або факультативними бактеріями в анаеробних умовах. Основним етапом у всіх процесах метаболізму глюкози є перетворення глюкози до пірувату (1). При цьому теоретично може утворитися 2 молі водню при генеруванні НАДН. У більшості бактерій метаболізм глюкози до пірувату відбувається по шляху Ембдена-Мейергофа-Парнаса:



Ключовим субстратом для отримання водню з органічних речовин є Ацетил-КоА, який утворюється з пірувату. Кількість Ацетил-КоА є фактором, який визначає кількість водню (2 молі чи 4 молі), що утвориться на моль спожитого цукру. В залежності від ферментної системи мікроорганізмів Ацетил-КоА може утворюватися у наступних реакціях:



Реакцію (2) каталізує фермент піруват фередоксин оксидоредуктаза, коензим якого – фередоксин виступає в якості акцептора електронів. Ацетил-КоА, швидко метаболізується до ацетату чи бутирату, в обох випадках при реоксидизації з одного моля фередоксину утворюється 1 моль водню. Якщо кінцевим продуктом виступає ацетат, то при гліколізі утворюється 1

додатковий моль водню. Коли кінцевим продуктом ферментації є бутират, вихід водню становить 2 моль на 1 моль глюкози, оскільки, утворені молекули НАДН витрачаються на окиснення Ацетил-КоА до бутирату [3].

Ферментативне утворення водню здійснює багато мікроорганізмів. Ключову роль у регуляції метаболічних шляхів мікроорганізмів відіграють параметри зовнішнього середовища. Продукування водню можуть здійснювати змішані культури, отримані з природних середовищ, таких як ґрунт, активний мул, компост, чи чисті спеціально селекціоновані культури.

Серед воденьпродукуючих мікроорганізмів виділяють строгі анаероби: *C. Butyricum*, *C. acetobutyricum* і *C. beijerinckii*, *C. Thermolacticum*, *C. tyrobutyricum*, *C. thermocellum* і *C. Paraputrificum*, *Clostridium tyrobutyricum*, і *paraputrificum*, *C. saccharoperbutylacetonicum*, метилотрофи, метаногенні бактерії, археї, факультативні анаероби: *E. coli*, *Enterobacter* (*E. aerogenes* і *E. cloacae*), *Citrobacter*, *Klebsiella* і навіть аероби (*Alcaligenes*, *Bacillus*) [4].

Процес темного бродіння має кілька переваг. Бактерії – зброджувачі мають високий потенціал до утворення водню. Крім того, процес не вимагає світла і може проходити безперервно, протягом тривалого часу. В результаті окрім водню утворюються і проміжні метаболіти - оцтова кислота, що також знаходять широке застосування. Для процесу можуть бути використані різні субстрати. Ферментативне виділення водню є вигідним, у порівнянні з фотохімічним виділенням водню мікроорганізмами. Але у міру збільшення парціального тиску водню, його кількість зменшується і відбувається зрушення в бік отримання проміжних продуктів, таких як молочна кислота, етиловий спирт, ацетон, бутанол і ін. Іншим недоліком є виділення  $CO_2$ , який повинен бути видалений з отриманої газової суміші [5].

#### Список літератури

1. Gerardi MH (2003) *The microbiology of anaerobic digesters*. Wiley, Hoboken.
2. Chong, M.-L., Sabaratnam, V., Shirai, Y., Hassan, M. A. (2009). Biohydrogen production from biomass and industrial wastes by dark fermentation. *International Journal of Hydrogen Energy*, 34 (8), 3277–3287.
3. Зубченко Л.С. Аналіз продуктивності біотехнологічного отримання водню за використання мікроорганізмів з різними типами метаболізму, перспективні напрямки подальших досліджень / Л. С. Зубченко, Є. В. Кузьмінський. - *Scientific Journal «ScienceRise» №10/6(15)2015*.
4. Claassen P. A.M., de Vrije T., 2006. Non-thermal production of pure hydrogen from biomass: H YVOLUTION. *International Journal of Hydrogen Energy*, 2006. 31: p. 1416-1423.
5. Chong, M.-L. Biohydrogen production from biomass and industrial waste by dark fermentation [Text] / M.-L. Chong, V. Sabaratnam, Y. Shirai, M. A. Hassan // *International Journal of Hydrogen Energy*. – 2009. – Vol. 34, Issue 8. – P. 3277 – 3287.

## РЕАЛІЗАЦІЯ ГЛОБАЛЬНИХ ЦІЛЕЙ СТАЛОГО РОЗВИТКУ В ЗАКЛАДАХ ВИЩОЇ ОСВІТИ

*Філоненко І., студентка; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми*

Однією з важливих місій закладів вищої освіти (ЗВО) є діяльність спрямована на реалізацію глобальних цілей Сталого розвитку, зокрема в частині управління відходами. Стратегічною метою Програми є мінімізація впливу на довкілля та людину, зумовленого утворенням відходів та поводженням з ними.

Операційними цілями є:

- вдосконалення та підтримання системи управління відходами;
- мінімізація обсягів утворення відходів;
- збільшення частки відходів, що направляються на перероблення;
- розвиток інформаційно-просвітницької, методичної та консалтингової підтримки з боку ЗВО.

Найпопулярнішими відходами в університеті є полімерні на пластикові матеріали. Відмовитись від використання полімерних та синтетичних матеріалів на сучасному етапі розвитку людства не можливо. На даний час полімери та синтетичні матеріали застосовуються скрізь і в побуті, і на виробництві як товарів повсякденного вжитку, так і меблів, тканин, та й усього, що нас оточує.

При розробленні програми враховувалися чинні вимоги національного законодавства у сфері поводження з відходами, принципи управління відходами закріплені Директивами ЄС та Національною стратегією управління відходами в Україні до 2030 року, схваленою розпорядженням Кабінету Міністрів України від 8 листопада 2017 р. № 820-р.

У якості шляхів зменшення обсягів використання пластику розглядаються наступні варіанти:

- використовувати пластик, що біологічно розкладається, та папір, отриманий з переробленої макулатури;
- відмовитися від використання окремих товарів, пакувальних матеріалів, виготовлених з пластику, або зменшення обсягів їх використання;
- використання окремих товарів, виготовлених з пластику, повторно.

Управління реалізацією програми здійснюється шляхом включення відповідальними виконавцями в свої плани поточної діяльності відповідних заходів програми з подальшим їх виконанням. Планування необхідного ресурсного забезпечення для реалізації програми здійснюється у розрізі окремих заходів при розробленні конкретних рішень щодо їх реалізації.

При реалізації діяльності за програмою необхідно забезпечувати постійне поліпшення екологічних показників у сфері управління відходами. Діяльність за програмою відповідає Цілям Сталого розвитку 12: «Відповідальне споживання та виробництво».



## ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ АТОМНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ

*Шевченко О. С., аспірант; Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми*

Соціально-економічний розвиток держави можливий на основі повноцінного енергетичного забезпечення. Рівень життя населення в умовах розвинутого промислового виробництва визначається значною мірою економікою виробництва електроенергії. Кожна держава прагне досягнення сталого, стабільного та незалежного енергетичного забезпечення.

Стійку енергетику можна охарактеризувати як забезпечення вироблення енергії з екологічно чистих джерел і за допомогою екологічно чистих технологій. Крім того, стійка енергетика – це грамотне і відповідальне використання енергоносіїв, тому розглядається повністю життєвий процес, починаючи від вироблення енергії і завершуючи її використанням кінцевим споживачем енергії (промисловістю, фізичними особами). Однак, на сучасному етапі існування людства за умови використання для виробництва енергії в основному природних ресурсів, тобто органічних видів палива, рідше використовують відновлювальні джерела енергії – сонячну та вітрову енергію, ядерну енергетику.

На підставі аналізу реальних макроджерел енергії встановлено, що в майбутньому особлива роль надається ядерній енергетиці (ядерні, термоядерні установки) [1]. Не зважаючи на очевидні переваги атомної енергетики та негативні наслідки від використання органічного палива для виробництва електроенергії, у світі не спостерігається прагнення до масштабного переходу використання ядерної енергетики. Основним стримуючим фактором широкого впровадження цього виду енергії виступають крупно масштабні аварії – Чорнобиль, Фукусіма. Така реакція населення повністю виправдана, оскільки атомна енергетика за умови недооцінювання прогнозування і запобігання можливих ризиків може призвести до колосальних загроз.

Актуальною проблемою під час впровадження й експлуатації об'єктів атомної енергетики є вплив на навколишнє середовище, що потребує обліку та контролю починаючи з моменту їх проектування. Наші дослідження спрямовані на прогнозне оцінювання негативних наслідків: вилучення земельних ресурсів, зміна рельєфу, флори, фауни, забруднення довкілля, вплив на мікроклімат територій тощо. Важливість досліджуваного питання не викликає сумнівів з огляду на масштабність шкоди, яка може бути заподіяна.

Розроблення прогнозних методів оцінювання техногенного впливу дозволяє ще на стадії проектування попередити негативні наслідки та як наслідок, створювати прогресивні технології майбутнього.

### Список використаних джерел

1. Беляев Л.С., Марченко О.В., Филиппов С.П. Энергетика мира как фактор устойчивого развития. *Энергия: экономика, техника, экология*. 2001. N 11. С. 2–11.

## ВИКОРИСТАННЯ ЗБРОДЖЕНОГО ВІДХОДУ БІОГАЗОВОЇ УСТАНОВКИ В ЯКОСТІ ОРГАНІЧНОГО ДОБРИВА

*Івлева А. В., студентка; Яхненко О. М., асистент, СумДУ, м. Суми*

Основою біогазової технології є процес анаеробного біорозкладання органічної речовини з утворення біогазу та ферментованого мулу (відходи виробництва). Під час горіння біогазу можна отримати тепло та електроенергію, а шлам доцільно використовувати як органічне добриво.

Ферментації підлягають 4 види відходів: стоки гною (30 %), тверда фракція (30 %), відходи рибного виробництва (20 %), відходи зернових культур (10 %) та рідкі ферментовані відходи (10 %). Зброджений осад має декілька назв: біодобриво, дигестат, біогазовий осад, біошлам та ін.

Після сепарування дигестату утворюється тверда (шлам) і рідка (фугат) фракції. Рідка фракція містить менше 5 % сухої речовини та основну кількість азоту та калію. Її розпорошують на поля або відправляють на повторну загрузку анаеробного реактора, змішавши з твердою сировиною. Тверда фракція компостується з іншими органічними відходами або змішується з сорбентами: торфом, деревною тирсою, ґрунтом тощо. У такому виді шлам є більш зручним для зберігання та транспортування. Після попереднього зневоднення в центрифугах тверду фракцію застосовують для розпушування та мульчування ґрунту.

Біошлам являє собою органічну масу (волога складає 87–98 % та рН 7,3–9,0) покращеного складу і практично позбавлену неприємних запахів. Цінність такої маси - це азот, який зберігається в амонійній (до 24–60 % від загальної кількості) та органічній формах. Фосфор зустрічається головним чином у вигляді фосфатів та нуклеопротеїнів, а калій – у вигляді солей, що забезпечує їх кращу засвоюваність рослинами. Крім того, зброджений осад містить мікроелементи, а також амінокислоти, ферменти гідролізу, гуміни, моносахариди, фітогормони, вітаміни групи В, деякі антибіотики та інші біологічно активні речовини. Враховуючи те, що дигестат утворюється в процесі анаеробного бродіння біомаси при мезо- (+36 °С) та термофільному (+54 °С) режимі, це сприяє знищенню мікробної флори, яєць гельмінтів, насіння бур'янів тощо, які могли бути присутні в вихідних органічному субстраті.

Щодо вмісту важких металів, то у біошламі після зброджування гною, рослинних решток, ферментованих відходів їх концентрації не вище за фонові, а біошлам після зброджування мулових осадів станції очищення може містити більші за фонові концентрації важких металів і потребує додаткової обробки для їх видалення і обмеження використання такого біодобрива на с/г угіддях.

Отже, використання дигестату в якості добрива є доволі гарною альтернативою класичним органічним добривам, сприяє збільшенню урожайності сільськогосподарських культур та покращенню якості ґрунтів.

**СЕКЦІЯ «ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ  
ТА ІНЖЕНЕРІЯ»**

# ОРГАНІЗАЦІЯ ВНУТРІШНЬОЇ ЦИРКУЛЯЦІЇ РЕТУРА У ВИХРОВОМУ ГРАНУЛЯТОРІ: ВИБІР ОПТИМАЛЬНОЇ КОНСТРУКТИВНОЇ СХЕМИ

*Потапов Д.Р., студент, ХМ.м-91;*

*Бугаков В.С., студент, ХМ-61;*

*Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Регулювання площі вільного перерізу міжкільцевого простору за рахунок зміни кута розкриття внутрішнього конуса і форми зовнішнього корпусу не дозволяє керувати часом перебування гранули в широкому діапазоні. Результати експериментальних досліджень показали, що за рахунок дії зустрічного потоку повітря на ретур також не можна досягти значного збільшення часу його перебування в міжкільцевому просторі. Затримати падіння ретура представляється можливим за рахунок вставок у вигляді перфорованих полиць, які затримують падіння ретура і забезпечують його багатоступінчастий контакт з теплоносієм. Основні варіанти внутрішньої циркуляції ретура наведено на рис. 1.

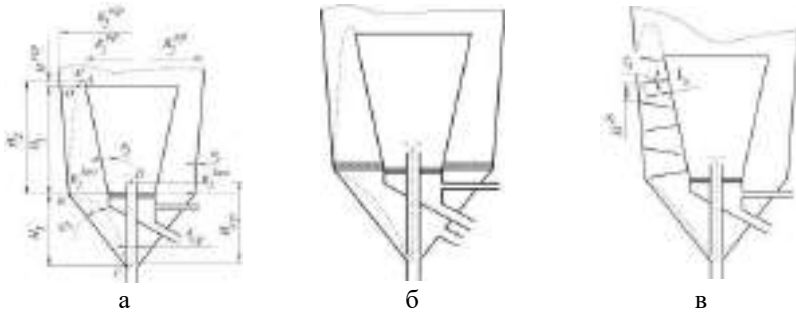


Рисунок 1 - Схеми циркуляції ретура у вихрових грануляторах: а - падіння ретура в нерухомому повітрі; б - падіння ретура в висхідному потоці повітря; в - рух ретура при багатоступінчастому контакті з теплоносієм.

Конструктивні характеристики внутрішнього конуса гранулятора (значення  $R_1^{up}$ ,  $R_1^{low}$ ,  $\gamma_1$  і  $H_1$ ) підбираються з умови здійснення класифікації полідисперсних гранул заданого фракційного складу на необхідну кількість фракцій. Конструктивні характеристики основного корпусу (форма, значення  $R_2^{up}$ ,  $R_2^{low}$ ,  $\varphi_2$ ,  $\varphi_3$ ,  $H_2$ ,  $H_3$ ,  $d_{c.p}$ ,  $H_{c.p}$ ) визначаються результатами оптимізаційного розрахунку по представленій в доповіді математичній моделі. Результати досліджень покладені в основу методики інженерного розрахунку апаратів вихрового типу для здійснення тепломасообмінних процесів в системі «газ-тверде», зокрема, грануляційних пристроїв.

*Робота виконана під керівництвом доцента Артюхова А.Є.*

## ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНИХ ПРОДУКТІВ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ ГІДРОДИНАМІКИ РУХУ ПОТОКІВ В АПАРАТАХ З ПСЕВДОЗРІДЖЕНИМИ ШАРАМИ РІЗНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

*Петренко С. В., студентка, ХМ-71;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Огляд сучасної бази програмних продуктів (систем імітаційного моделювання) для розрахунку установок хімічних виробництв (Aspen HYSYS®, PRO/II, GasCondOil, ChemCAD, DESIGN II, SIGMAFINE, gPROMS ModelBuilder, GIBBS і ін.) показав, що такі програмні продукти застосовуються переважно для технологічного розрахунку обладнання заданої конструкції і при конкретних технологічних показниках роботи хімічних установок. Для оптимізаційного розрахунку технологічного процесу необхідний багаторазовий введення вихідних даних; кількість таких введень може бути досить великим при оптимізаційному розрахунку.

Програмні продукти для розрахунку гідродинамічних і тепломасообмінних процесів в обладнанні хімічних виробництв (ANSYS Fluent, COSMOS FlowWorks, FlowVision, Flow-3D CFD, Ansys CFX, COMSOL Multiphysics і ін.) дозволяють прорахувати лише один конструктивний варіант апарату по заданій твердотільній моделі, що знижує швидкість оптимізаційного розрахунку. Системи імітаційного моделювання і програмні продукти для розрахунку гідродинамічних і тепломасообмінних процесів в обладнанні хімічних виробництв є ефективними для розрахунків установок із заданими технологічними параметрами і обладнання заданої конструкції. Світова практика показує, що застосування комп'ютерного моделювання гідродинаміки і тепломасообміну в апаратах хімічних виробництв досить успішно може замінити фізичний експеримент. Тому актуальною є розробка автоматизованого комплексу для оптимізаційного розрахунку вихрових грануляторів за кількома критеріями оптимізації (наприклад, мінімальний об'єм робочого простору, мінімальна витрата теплоносія, мінімальний час перебування гранул в апараті при забезпеченні показників їх якості). При цьому всі конструктивні рішення і сам пакет прикладних програм спрямовані на розробку механізмів управління часом перебування гранул в робочому просторі вихрового гранулятора.

Результати оптимізаційного розрахунку із застосуванням програмних продуктів дозволяє забезпечити, наприклад:

- використання різного температурно-вологісного потенціалу теплоносія в окремих частинах апаратів;
- варіацію конструкції апарату;
- можливість застосування рециркуляції теплоносія.

*Робота виконана під керівництвом доцента Артюхова А.Є.*

## ВПЛИВ ЗМІНИ ГУСТИНИ СТРУМУ ТА ПРИМУСОВОГО ПЕРЕМІШУВАННЯ АНОЛІТУ НА ПРОЦЕСИ КАТОДНОГО ВІДНОВЛЕННЯ КАДМІЮ ТА ЦИНКУ

*Сердюк В.О., аспірант, каф. ПОХНВ;  
Складінський В.І., професор, каф. ПОХНВ;  
Большаніна С.Б., доцент, каф. ТПХ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

З метою дослідження процесу регенерації розчинів ванн пасивації кадмієвих та цинкових електрохімічних покриттів за допомогою електрохімічних мембранних пристроїв[1,2] було вивчено вплив перемішування примембранної зони аноліту із застосуванням різних значень густини струму на мембрані.

Для вивчення впливу примусового перемішування при мембранній зоні аноліту, тобто електроліту ванни пасивації, були виготовлені штучні розчини ванн пасивації кадмієвих та цинкових електрохімічних покриттів. В склад розчинів входили 50г/л  $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  та 10г/л  $\text{H}_2\text{SO}_4$  як основні компоненти. Додатковими компонентами були іони  $\text{Cd}^{2+}$  та  $\text{Zn}^{2+}$  з концентрацією по 0,027моль/л в кожному розчині в якості католіту використовували 1% розчин сульфатної кислоти. Катодний простір був відділений від анодного за допомогою вікна[3,4] з катіонообмінної мембрани RALEX®CM-PES 11-66 розміром 5×5см. На відстані 5 мм від мембрани розміщували свинцевий анод (марка С2) аналогічний за робочою площею площі мембрани. В катодній камері розміщувати титановий катод (марка ВТ0) на відстані 20 мм від мембрани, з робочою площею 2×5см. Густина струму на мембрані складали 0,04А/см<sup>2</sup>, 0,06А/см<sup>2</sup>, 0,08А/см<sup>2</sup>, 0,1А/см<sup>2</sup> та 0,12А/см<sup>2</sup>. Електроліз проводили по 6 годин при кожній густині струму[1]. Через кожні дві години роботи катод витягували з католіту, промивали, висушували, зважували, фіксували приріст маси, проводили розрахунки середніх швидкостей виділення металів та виходу за струмом.

Отримані результати експериментів та розрахунки катодного виходу забруднюючих металів за певних гідродинамічних умов відображено в Таблиці 1 та зображено на Рисунку 1.

Таблиця 1 – Вихід за струмом металів на катоді залежно від густини струму та сталої концентрації забруднюючого іона в аноліті.

Густина струму на мембрані, А/см <sup>2</sup>	0,04	0,06	0,08	0,1	0,12
Вихід за струмом, Cd <sup>2+</sup> , Re=2977	3,15	4,39	5,39	6,41	6,78
% Zn <sup>2+</sup> , Re=3049	5,52	6,24	6,55	7,13	7,59

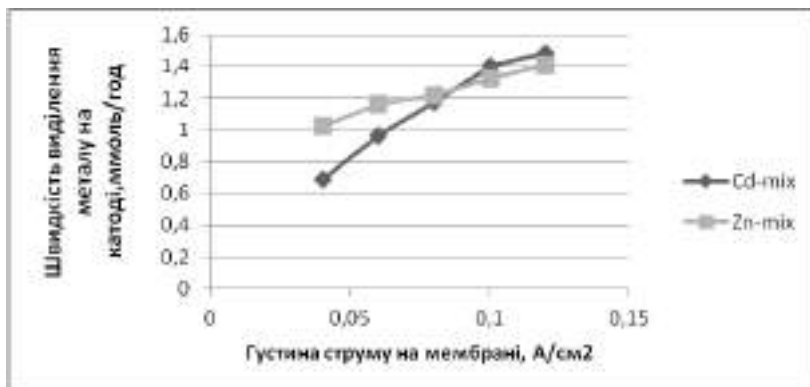


Рисунок 1 – Залежність виділення металів на катоді від густини струму на мембрані та застосування примусового перемішування:  $\blacklozenge$  Cd-mix - графік виділення кадмію;  $\blacksquare$  Zn-mix - графік виділення цинку.

Отримані результати свідчать, що швидкість виділення металів на катоді та вихід за струмом значно зростають з підвищенням мембранної густини струму, що також підтверджується в роботі [1,4], порівнюючи з якою результати, є також очевидним і вплив примусового перемішування аноліту.

#### Список літератури

1. Serdiuk V. O. Membrane Processes during the Regeneration of Galvanic Solution / V. O. Serdiuk, V. I. Sklabinskyi, S. B. Bolshanina, V. D. Ivchenko, M. N. Qasim, K. O. Zaytseva // Journal of Engineering Sciences. – Sumy: Sumy State University, 2018. – Volume 5, Issue 2. – P. F1-F6.
2. Пат. 109623 Україна, МПК (2006.01) C02F 1/46. Спосіб електролітичної регенерації хромовмісних розчинів/ Большанина С.Б., Аблевса І.Ю., Кириченко О. М., Алтуніна Л. Л., Кліманов О. Б., Сердюк В. О.; заявник та патентовласник Сумський державний університет. – № у 2016 02830; заявл. 21.03.2016; опубл. 25.08.2016, бюл. № 16. – 4 с.
3. Kruglikov S. S. 2016. Application of Electromembrane Processes in Chromium Electroplating Technology., Petroleum Chemistry, Vol. 56, No. 10, pp. 969–976.
4. Kruglikov S. S., Kolesnikov V. A., Nekrasova N. E., Gubin A. F.. 2018. Regeneration of Chromium Electroplating Electrolytes by the Application of Electromembrane Processes. Theoretical Foundations of Chemical Engineering, Vol. 52, No. 5, pp. 800–805.

## ПРОЦЕСИ ОХОЛОДЖЕННЯ ТА ВИПАРОВУВАННЯ У ВИРОБНИЦТВІ ЕТИЛАЦЕТАТУ

*Котенко Д.Р., студент ХМ-61;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Етилацетат як розчинник, будучи активним розчинником нітро - і етилцелюлози, широко використовується у виробництві лакофарбових матеріалів і чорнила для друкуючих машин. Також він входить в композиції розчинників нітрогліфталевих, перхлорвінілових і епоксидних емалей, різних масил, воску, поліефірних лаків, фарб, кремніюорганічних лаків і емалей.

Промислове отримання етилацетату включає кілька методів. Це метод «реакції Тищенко», метод етерифікації кислоти оцтової спиртом етиловим, при наявності прискорювача реакції, в ролі якого можуть виступати кислота сірчана, паратолуолсульфокислота або смоли (іонообмінні), метод окислення (жидкофазного) н-бутану киснем (повітрям) при отриманні оцтової кислоти (як побічний продукт виходить етилацетат), метод алкілювання кислоти оцтової етиленом.

Етилацетат технічний за ступенем впливу на організм людини відноситься до числа малонебезпечних речовин. Пари етилацетату подразнюють слизові оболонки очей і дихальних шляхів. При дії на шкіру викликають дерматити та екземи. Гранично допустимі концентрації в повітрі робочої зони 200 мг / м<sup>3</sup>.

Сировиною для отримання етилацетату служать технічні сорти синтетичної і, частково, лісохімічної оцтової кислоти і технічний етиловий спирт. Процес переробки ефіру-сирцю і його ректифікації ведуть безперервним способом.

Установка складається в основному з теплообмінних і масообмінних апаратів: куба-реактора, який підігрівается, ректифікаційної колони з тарілками, дефлегматора і холодильника дистиляту, де використовується холодний теплоносій, підігрівача-випарника вихідної суміші та інших ємностей та апаратів.

Куб колони обігрівается за допомогою кип'ятильника, а флегму створюють в апараті, з якого частина конденсату повертають на зрошення.

Пари з колони конденсуються в теплообміннику-конденсаторі, звідки частина конденсату йде на зрошення, а решта надходить в змішувач, де розбавляється приблизно рівним об'ємом води (без цього, конденсат не розшарується, так як вода досить добре розчинна в суміші ефіру зі спиртом).

Новоутворена емульсія розділяється в сепараторі безперервної дії на два шари - верхній, який містить ефір з розчиненим у ньому спиртом і водою, і нижній, що представляє собою водний розчин спирту і ефіру. Етилацетат відводять з куба колони.

*Підготовлено під керівництвом професора Складінського В.І.*



## ТЕПЛООБМІННІ АПАРАТИ У ВИРОБНИЦТВІ ОЦТОВОЇ КИСЛОТИ

*Островерх А.М., студент., ХМ-61;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Світове виробництво оцтової кислоти становить понад 3,5 млн. т в рік. Основна маса оцтової кислоти проводиться з ацетальдегіду, окисленням бутанової і бензинової фракцій. Застосовується процес отримання оцтової кислоти окисленням ацетальдегіду, який розроблено фірмою Shawinigan (США). Окислення проводиться киснем в колонах при 50-70 °С і тиску до 0,7 МПа. Як розчинник використовується оцтова кислота або її водний розчин. Підвищений тиск сприяє підтримці необхідної концентрації альдегіду в рідкій фазі і збільшенню надійності роботи конденсаційної системи.

Технологічний процес виробництва оцтової кислоти окисленням складається з трьох послідовних стадій. Це окислення сировини (ацетальдегіду або н-бутану), виділення залишкової сировини, яка не прореагувала, з парової суміші, і далі виділення оцтової кислоти з реакційної суміші з її очищенням.

В даний час використовуються наступні методи отримання оцтової кислоти: окисленням н-бутану; окисленням н-бутену; окисленням ацетальдегіду. Отримують харчову оцтову кислоту оцтовокислим бродінням етанолу.

Основний апарат технологічної схеми це окислювальна колона. Всередині колона має полки, між якими розміщені холодильники у вигляді змійовиків для відводу реакційного тепла і кілька труб для подачі кисню. Уже на цій стадії важлива роль теплообмінного обладнання. Парогазова суміш, щов відходить з верхньої частини реактора, направляється на конденсацію в систему водяних і роєних холодильників-конденсаторів. Найважливішим теплообмінником в схемі виробництва оцтової кислоти є конденсатор пари оцтової кислоти. Для розрахунку і підбору конденсатора для конденсації парів оцтової кислоти необхідно з технологічних розрахунків визначити кількості пари, що надходить на конденсацію. Температура конденсації оцтової кислоти дорівнює 103<sup>0</sup>С. Виходячи з цього, в якості охолоджуючого агента можна використовувати воду з початковою і кінцевою температурами води від 18<sup>0</sup>С до 38 ... 40<sup>0</sup>С.

Для попередніх орієнтовних розрахунків необхідно визначити максимальну величину площі поверхні теплообміну. При цьому, мінімальне значення коефіцієнта теплопередачі для випадку теплообміну від пари органічної рідини, що конденсується, до води можна приймати близько 300 Вт/м<sup>2</sup>\*К. Оцтова кислота переміщається в міжтрубному просторі кожухотрубчасті теплообмінника з сегментними поперечними перегородками. Охолоджуючий агент - по трубному простору.

*Підготовлено під керівництвом професора Складінського В.І.*

## АНАЛІЗ СПОСОБІВ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВОЇ СУМІШІ ВІД СІРКОВОДНЮ

*Гавриченко В.О., студент, ХМ-61  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

У природному газі, який видобувається на газових родовищах, а потім поставляється споживачеві по магістральних трубопроводах, в різних пропорціях містяться сірчисті з'єднання. Якщо від них не позбутися, то агресивні речовини будуть руйнувати трубопроводи і приведуть в непридатність арматуру. До того ж, при згорянні забрудненого блакитного палива у споживача, виділяються токсини, що може привести до отруєння людей. Для того щоб уникнути негативних наслідків, проводиться очищення газу від сірководню. Як правило, промисловці вибирають найпростіший і недорогий спосіб відділення шкідливих компонентів від паливних корисних копалин.

Способи очищення газу від сірководню поділяються на дві групи. Це сорбційні способи, які полягають в поглинанні сірководневих сполук твердим (адсорбція) або рідким (абсорбція) реагентом. Далі шкідливі домішки утилізуються або переробляються. Другий напрямок - це каталітичні способи, які засновані на окисленні або відновленні сірководню з перетворенням його в елементарну сірку. Процес протікає в присутності каталізаторів (речовини, які прискорюють хімічні реакції).

В даний час збір та усунення сірководневих сполук із застосуванням рідких поглиначів (процес абсорбції) економічно більш вигідний і доцільний так як легше реалізується в промислових масштабах. Для такого процесу важливим вибором є визначення якісного абсорбенту, який використовується для зрошення абсорбційної колони. Протягом останніх десятиліть найбільш затребуваною і популярною технологією виділення і видалення з природного палива сірководню та вугільної кислоти є хімічне очищення газу за допомогою амінового сорбенту, використаного у вигляді водного розчину.

Амінова технологія більше підходить для обробки великих об'ємів газу, тому що реагенти завжди можна придбати у потрібному для очищення об'ємі. Аміни характеризуються високою поглинальною здатністю. З усіх застосовуваних речовин тільки вони здатні видалити з газу 99,9% сірководню. Водні амінові розчини відрізняються максимально прийнятною в'язкістю, щільністю парів, термічною і хімічною стабільністю, низькою теплоємністю, відсутністю токсичності реактивних речовин, селективністю.

До етаноламінів, які застосовуються при виконанні хімічних методів очищення газу від сірководню і вуглекислоти, відносяться моноетаноламін (МЕА), діетаноламін (ДЕА), триетаноламін (ТЕА). Перші дві речовини з приставками усувають з газу і  $\text{H}_2\text{S}$ , і  $\text{CO}_2$ . Третій варіант допомагає видалити лише сірководень.

*Підготовлено під керівництвом професора Склабінського В.І.*

## ДО КІНЕТИКИ ЗВОЛОЖЕННЯ ПОРОШКОПОДІБНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Кононенко М.П., старший науковий співробітник, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

При гранулюванні порошкоподібних матеріалів з використанням сполучної рідини (наприклад, в барабанних, тарілчастих і швидкісних грануляторів) велике значення має характер взаємодії дрібнодисперсних матеріалів з рідиною для зволоження. Правильний вибір цієї речовини для сполучення дозволяє вести процес гранулювання при оптимальних режимах з більшою ефективністю і кращою якістю гранул, що одержуються.

Зазвичай процес гранулювання проводять при додаванні звичайної води або водних розчинів солей. Окремі добавки можуть істотно інтенсифікувати і стабілізувати процес гранулоутворення і поліпшити такі властивості гранул, як міцність, грансклад та інше. При виборі добавок для процесу агломерації необхідно враховувати: їх сумісність з матеріалом, що гранулюється, вимоги до якості одержуваних гранул, зміцнюючих та злежуючих властивостей, вартість та інші.

Часто використовуються водні розчини солей, які дають можливість при висушуванні гранул виникати між частинками твердофазних кристалічних містків, що сприяють зміцненню гранул. Іноді використовують кілька речовин, які при додаванні в процесі гранулювання реагують один з одним і утворюють зміцнюючі зв'язки між частинками дисперсного матеріалу. Широко відомою в застосуванні сполукою є сульфітно-дріжджова брага, яка у вигляді 1-15% водного розчину використовується при гранулюванні добрив, сорбентів, каталізаторів та інших речовин.

Вивчення кінетики просочення рідиною порошкоподібних матеріалів проводили в скляних колонах діаметром 20 мм з пористим дном. Нижній кінець вертикальної колони, наповнений порошком, опускали на 1-2 мм в склянку, наповнену рідиною. Фронт розповсюдження рідини визначали по зміні кольору матеріалу в колоні. В ході проведення дослідів було виявлено наступне:

- Кінетика просочення в значній мірі визначалася ступенем ущільнення порошків. Ущільнення проводили методом вібраційного впливу протягом різного часу. Просочення в матеріалі, який підданий більш тривалому вібраційному впливу йде значно повільніше, ніж для зразків з меншим ступенем ущільнення.
- Кінетика просочення залежить від гранулометричного складу дисперсного матеріалу. Зразки з дрібним розміром частинок мають кращу просочуючу здатність. Це добре узгоджується з даними по впливу гранулометричного складу порошків на їх здатність утворювати гранули. Більш тонкі порошки гранулюються краще, ніж грубозернисті.

Проведені дослідження дозволяють виявити вплив поведінки сполучної рідини в шарі порошку на процес грануло утворення.

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ ТАРІЛЧАСТИХ ГРАНУЛЯТОРІВ НА ПРОЦЕС ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОГО ГРАНУЛОУТВОРЕННЯ

*Кононенко М.П., старший науковий співробітник, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Одним з напрямків поліпшення споживчих властивостей азотних добрив (карбамід, аміачна селітра, вапняно-аміачна селітра) є виробництво продукту з гранулометричним складом основної фракції 3-5 мм. Виходячи з структурно-варіантної оптимізації режимних і конструктивних параметрів грануляційних установок, найбільш раціональним типом обладнання, яке може бути застосоване для випуску азотних добрив збільшеного гранулометричного складу, є апарати окатування (барабанні, тарілчасті) і псевдо зрідженого шару (киплячий і фонтануючий шар, вихрові гранулятори). Дане обладнання може працювати з використанням в якості ретур фракції розміром менш товарної, яка утворюється в грануляторі (внутрішній ретур), так і для дорошування стандартних гранул добрив з середнім розміром 1,7-2,5 мм (зовнішній ретур).

Впровадження апаратів окатування в виробництво показало недостатню їх ефективність в наслідок утворення великої кількості пилу в процесі виробництва (до 20%) і нестабільності процесу гранулоутворення. Наявність пилу призводить до зниження ефективності роботи обладнання, її відкладенню на робочих поверхнях. Видалення пилу з процесу виробництва на розчинення значно знижує показники ефективності роботи установки гранулювання в цілому. При проведенні досліджень було відзначено, що зміст фракції менше 1 мм в грануляторі залежить від:

- Режимів процесу гранулювання (температури розплаву і шару гранул в апараті). Найбільш оптимальною температурою режиму процесу гранулоутворення є 0,7 температури плавлення речовини, а сам процес переважно вести в автотермічному режимі, коли теплота кристалізації речовини витрачається на випаровування вологи, що знаходиться в розплаві. Виходячи з цього, розглядалися варіанти виробництва, при яких:
- концентрація розплаву азотного добрива вище необхідної для проведення процесу в автотермічному режимі, при цьому гранулят охолоджують до температури близько 50 °С;
- концентрація розплаву азотного добрива нижче необхідної для проведення процесу в автотермічному режимі, при цьому з грануляту видаляють надлишкову вологу.

- Склад розплаву. В ході проведення досліджувався вплив вмісту води в основній речовині добрива на стабільність процесу гранулоутворення, вміст пилу в апараті і якість гранул, що одержуються. При отриманні гранул аміачної селітри з розплаву концентрацією 92-94% нітрату аммонію, основна частина продукту становила фракція 3-5 мм з міцністю 1,5-2,5 кілограм на гранулу, при цьому маслоретримання становило 5,5-6,0%. Так само було відзначено вплив вмісту біурета в розплаві карбаміду на кількість пилу в

апараті і стабільність процесу гранулоутворення. Збільшення вмісту біурета в гранулах приводило до підвищення їх міцності, а отже, до зниження стирання і руйнування частинок в грануляторі. На процес гранулоутворення карбаміду істотно впливає вміст карбамідно – формальдегідної сполуки в розплаві.

- Типу і режиму роботи розпилюючих пристроїв з метою запобігання кристалізації крапель розплаву в факелі розпилу речовин, що гранулюються. З метою визначення оптимальних робочих параметрів різних типів розпилюючих пристроїв була проведена серія дослідів на лабораторній установці. Як параметри, що визначають роботу форсунок, були взяті:

- щільність розподілу крапель у факелі;
- геометричні параметри площі зрошення факела;
- дисперсність одержуваних крапель;
- температура розплаву по смолоскипу розпилу.

Змінюваними параметрами в ході проведення дослідів були тиск рідкої і газоподібної фаз. Як модельні речовини рідкої фази були обрані вода, розплави карбаміду і аміачної селітри. Були розглянуті варіанти установки декількох пристроїв для розпилення. Отримані графічні залежності дисперсності розпилу, щільності розподілу рідкої фази і її температури у факелі розпилу досліджуваних форсунок дозволили оптимізувати умови подачі розплаву на шар частинок в грануляторі, врахувати характеристики роботи розпилюючих пристроїв при визначенні режимів роботи грануляційного обладнання.

Найбільш оптимальним варіантом для використання в процесі високотемпературної грануляції азотних добрив в апаратах окатування є гідро-пневматичні форсунки, які мають хороші показники роботи по дисперсності розпилу і щільності зрошення.

- Стирання гранул при їх русі в грануляторі; утворення пилу при їх транспортуванні, класифікації і дробленні. Утворення пилу на цих стадіях призводить до подачі в гранулятор ретур з великим вмістом частинок розміром менше 1 мм, що при тривалій роботі обладнання призводить до підвищення пористості гранул і зниження їх міцності, зриву процесу гранулоутворення. При подачі в гранулятор ретур з вмістом пилу понад 10% процес гранулоутворення припиняється.

- Місця подачі розплаву в робочому обсязі гранулятора. Найбільш раціональним місцем введення розплаву в робочий об'єм апарату є його подача в зоні 11 годин (при обертанні тарілі по годинній стріліці) на потік часток, що зкатуються до низу.

Проведені досліді дозволили визначити вплив параметрів процесу грануляції азотних добрив в апаратах окатування на режим гранулоутворення, виявити найбільш раціональні типи розпилюючих пристроїв, виявити вплив характеристик розплаву на якість гранул та їх утворення.

## ПРИЛАДИ ПРОВЕДЕННЯ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ НА ХІМІЧНИХ І НАФТОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВАХ

*Міхесв Ю. Ю., студент, ХМ-61/1 КХІ;  
Яхненко С.М., доцент, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

У сучасному промисловому світі, в еру технічних новацій якість продукції повинна бути на високому рівні. Для забезпечення високої якості продукції необхідно виконувати 100% неруйнівний контроль. Це стосується і підприємств хімічних і нафтопереробних підприємств, яким необхідно проводити ремонт технологічного обладнання. Ефективність технічного діагностування залежить від наявності високоточних контрольних прилаштувань і приладів, що забезпечують отримання з високою точністю і вірогідністю при мінімальних трудозатратах досліджуваних параметрів. Особливу роль у проведенні технічного діагностування грають методи проведення контролю. Дефектоскопія може производитися декількома методами неруйнівного контролю: ультразвуковим, магніто порошковим, капілярним, вихороструменевим, радіографічним, магнітної пам'яті металу, акустико-емісійним. В залежності від поставленої задачі у дефектоскопії використовуються наступні методи контролю:

- ультразвуковий метод контролю кільцевих зварених швів на наявність газових і шлакових включень, пор, не проварів, поздовжніх тріщин і розшарувань;
- вихороструменевий метод контролю основного тіла труби на наявність поверхневих і під поверхневих дефектів (тріщин, раковин, пор, розшарувань, корозійних зон);
- акустико-емісійний метод контролю застосовують для знаходження дефектів у ємностях, резервуарах, в магістральних трубопроводах і нафтосквищах, що працюють під тиском.
- тепловий контроль (тепловізори, пірометри) корпусів теплообмінного обладнання.

Сучасні ультразвукові дефектоскопи типу УДЗ-71 малогабаритні і дозволяють вести контроль у важкодоступних місцях: на висоті, в нутрі судів, у польових умовах. Універсальні вихороструменеві дефектоскопи ОКО-1 і ВД 3-71 у яких використовуються внутрішні прохідні перетворювачі, що рухаються у середині труб, дозволяють визначити стан труб трубного пучка теплообмінника. Особливістю акустико-емісійного методу (прилад ГАЛС-1) є чутливість до дефектів які тільки почали розвиватися – тобто до самих небезпечних. Метод магнітної пам'яті металу (прилад ИКН-1М-4) дозволяє проводити експрес-контроль зварених з'єднань по неоднорідності напружено-деформованого стану водночас із дефектоскопією.

## ВПЛИВ РАДІАЛЬНОГО ЗАЗОРУ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ВВН ТИПУ “TURO”

*Шах А.Д., студент, ХМ-71/2 ОНГВ; Яхненко С.М., доцент, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Базуючись на дослідженнях структури потоку ВВН, ми подаємо таку схему протікання рідини у ВВН типу “Turo”. Рідина через вхідний патрубкок заходить у РК в області втулки і при взаємодії з лопатями під дією відцентрових відкидається на його периферію. На виході із РК потік рідини, що виходить, вдаряється об стінку ніші корпусу, при цьому частина потоку рідини знову повертається в канали РК. Оборотною течією  $q_{тор}$  створює вихорові зони, які приводять до втрат енергії вихідним потоком. Основна частина потоку рідини на виході із РК ділиться на дві складові: потік протікання  $Q_{np}$  та циркуляційний потік  $Q_{ц}$ . Потік протікання  $Q_{np}$  входить безпосередньо у відвід насоса, а циркуляційний потік  $Q_{ц}$  повертає до входу у РК. Схема руху рідини у ВВН типу “Turo” показана на рис. 1.

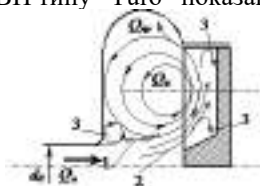


Рисунок 1 – Утворення вихрових зон в проточній частині СВН типу “Turo”.

Приймаємо за базу картину протікання рідини у СВН і робимо висновки, що при встановленні РК у нішу розточки корпусу насоса (ВВН схема “Turo”) на величину напору, який забезпечує РК, впливає радіальний зазор  $S_p$  між РК і корпусом. Для того щоб підтвердити або спростувати ці припущення, були проведені експериментальні дослідження, в цьому ж корпусі з цим РК, по виявленню впливу радіального зазору  $S_p$  на характеристики насоса. Збільшення величини зазору  $S_p$  проводилось шляхом розточування ніші корпусу від величини  $\bar{S}_p = 2S_p / D_2 = 0,005$  до величини  $\bar{S}_p = 0,125$ . При збільшенні зазору  $S_p$  спостерігається зростання напора  $\Delta H$ , спожитої потужності  $\Delta N$  та ККД насоса  $\Delta \eta$ . Зокрема, при  $\bar{S}_p = 0,125$  вказані величини добили значень  $\Delta H=6,8\%$ ,  $\Delta N=3,5\%$  і  $\Delta \eta=2\%$ . Конструкція корпусу насоса не дозволила провести подальше збільшення  $\bar{S}_p$ , але можна стверджувати, що така тенденція зміни параметрів зберігалась би і подальше. По суті, при збільшенні зазору, ми зменшуємо вплив вихрової складової вихрового процесу насоса при одночасному збільшенні відцентрової складової напору. Оскільки остання по визначенню є більш економічною, то і спостерігаємо відповідне покращення економічності роботи насоса в цілому.

## ДО ВИБОРУ СПОСОБУ ХЕМОСОРБЦІЙНОГО ОЧИЩЕННЯ ВУГЛЕВОДНЕВОГО ГАЗУ ВІД КИСЛИХ КОМПОНЕНТІВ

*Мельник І.Г., студент, ХМ-71/2 ОНГВ; Криводуб Д.Г., ХМ-71/2 ОНГВ;  
Михайловський Я.Е., доцент, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Часто вуглеводневі нафтові та природні гази можуть містити в якості домішок небажані кислі компоненти – діоксид вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), сірководень ( $\text{H}_2\text{S}$ ), сіркооксид вуглецю ( $\text{COS}$ ), сірковуглець ( $\text{CS}_2$ ), меркаптани ( $\text{RSH}$ ), тіофени та ін. Деякі з цих сполук сприяють корозії металів, отруюють каталізатори, знижуючи ефективність каталітичних процесів, інші є високотоксичними речовинами. У той же час, кислі компоненти, вилучені при очищенні вуглеводневих газів, можуть використовуватися в якості сировини при виробництві сірки, сірчаної кислоти і т. д. Для очищення нафтових і природних газів від кислих компонентів застосовуються процеси фізичної та хімічної абсорбції. Вибір способу очищення зводиться до вибору абсорбенту, так як від його специфічних властивостей залежить технологічна схема і техніко-економічні показники процесу.

При фізичній абсорбції очищення газів відбувається в результаті поглинання небажаних компонентів неорганічними (вода, розчин поташу та ін.) або органічними (пропіленкарбонат, диметиловий ефір поліетиленгліколю, метанол та ін.) розчинниками. Основні недоліки процесів фізичної абсорбції полягають у наступному: розчинники, що застосовуються, відносно добре поглинають вуглеводні; тонке очищення газів забезпечується після додаткового доочищення алканоламіновими розчинниками.

При хемосорбції очищення газів відбувається в результаті хімічної реакції небажаних компонентів з водними розчинами алканоламінів: моноетаноламіну ( $\text{MEA}$ ), діетаноламіну ( $\text{DEA}$ ), діізопропаноламіну ( $\text{DIPA}$ ), діглікольаміну ( $\text{DGA}$ ) та ін. Кожен з цих розчинників має певними фізико-хімічними властивості, що впливають на процес очищення. Вибір абсорбенту залежить від початкового вмісту домішок, необхідного ступеня очищення газу, а також необхідних техніко-економічних показників процесу (питомі витрати поглинача, тепла і енергії на процес очищення).

Алканоламінові розчинники забезпечують тонке очищення газів від сірководню і діоксиду вуглецю при незначному поглинанні вуглеводнів. Основні недоліки процесів хемосорбції полягають у наступному: не досягається комплексне очищення газів від  $\text{CO}_2$ ,  $\text{H}_2\text{S}$ ,  $\text{COS}$ ,  $\text{CS}_2$ ,  $\text{RSH}$ ; з деякими розчинниками утворюються нерегенеровані хімічні сполуки; необхідна висока кратність циркуляції абсорбенту. При низькому парціальному тиску кислих компонентів поглинальна здатність алканоламінових абсорбентів зростає по відношенню до  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$ , при цьому фізична абсорбція супроводжується хемосорбцією.



## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У БАРАБАННИХ СУШАРКАХ

*Гончаренко Я.С., студент, ХМм-91;  
Юхименко М.П., доцент, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Барабанні конвективні сушарки різних конструкцій отримали найбільше поширення у хімічній промисловості для висушування вологих сумішей неорганічних солей, складних та простих гранульованих мінеральних добрив. Це пояснюється тим, що процес сушіння протікає у цих апаратах достатньо економічно за рахунок можливості використання високих температур сушильного агенту при паралельному русі матеріалу та газу. Також у барабанних сушарках досягається велика продуктивність одиничного апарата, такі сушарки достатньо надійні у експлуатації.

У барабанних сушарках сушильний агент рухається вздовж осі сушильного барабану. Такий рух сушильного агенту забезпечує його контакт лише з верхніми шарами матеріалу в нижній частині сушильної камери та з матеріалом, який піднімається і пересипається лопатями насадки. Час сушіння матеріалу обмежується часом проходження частинок вздовж барабану. Більш ефективне використання сушильного агента у барабанних сушарках можна досягти збільшенням часу перебування матеріалу у робочому просторі барабану та при підведенні сушильного агенту під шар матеріалу. Реалізувати таку пропозицію дозволяє конструкція барабанної сушарки, яка складається із зовнішнього основного обертового барабану та внутрішнього барабану. Стінки внутрішнього барабану можуть бути як суцільними, так і перфорованими отворами.

При першому варіанті матеріал подається всередину внутрішнього барабану, а сушильний агент подається у робочий простір зовнішнього барабану. Матеріал спочатку пересипається вздовж стінок внутрішнього барабану та контактує із сушильним агентом, потім зсипається через відкритий кінець внутрішнього барабану та продовжує рухатись у кільцевому просторі вздовж стінок зовнішнього барабану при контакті із сушильним агентом. Відпрацьований сушильний агент відкачується із робочого простору внутрішнього барабану, а висушений продукт вивантажується із робочого простору зовнішнього барабану. Такий підхід дозволяє вдвічі збільшити шлях проходження потоків матеріалу та сушильного агенту вздовж барабану, що дозволить більш ефективно висушувати вологі продукти.

За другим варіантом матеріал також подається у робочий простір перфорованого барабану, а сушильний агент у міжбарабанний простір. Але у цьому випадку запропонована конструкція забезпечує більш ефективне використання сушильного агента за рахунок проходження його через отвори перфорації і, відповідно через шар матеріалу, що підвищує інтенсивність контакту фаз та процесу сушіння.

## ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСУ СУШІННЯ СИПКИХ МАТЕРІАЛІВ У ПНЕВМАТИЧНИХ СУШАРКАХ

*Кобзар Я.С., студент, ХМм-91; Глінкін В.С., студент, ХМм-91;  
Юхименко М.П., доцент, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

У промисловості при переробці зернистих та порошкоподібних матеріалів їх висушують у конвективних сушарках, в яких сушильний агент безпосередньо стикається із вологим матеріалом. К таким сушаркам і відносять пневматичні апарати, в яких частинки вологого матеріалу висушуються при їх вертикальному транспортуванні газовим потоком із подальшим уловлюванням сухого продукту у циклонах. Пневматичні сушарки наближаються за характером роботи до апаратів повного (ідеального) витиснення. Вони застосовуються насамперед для видалення тільки частини поверхневої вологи із грубозернистих матеріалів із щільними частинками, оскільки дуже короткий час перебування частинок у робочому просторі сушарки (декілька секунд) не дозволяє більш глибоко висушувати продукт. Достатньо великі швидкості газового потоку (20-30 м/с) сприяють зменшенню концентрації твердої фази в робочому об'ємі сушарки, а цей факт не дозволяє реалізовувати активний аеродинамічний режим зважування більш бажаний для ефективного висушування вологого матеріалу. Для пневмотранспортних сушарок збільшення швидкості газу виправдано тільки на початковій розгінній ділянці (0,5-2 м), далі відносна швидкість швидко зменшується, приближуючись на стаціонарній ділянці до швидкості витання частинок. Тому, для інтенсифікації процесу сушіння, пневматичні сушарки на стаціонарній ділянці постачають конусами-роширювачами з метою фонтанування частинок, завихрювачами у вигляді клиновидних елементів, пластинчатими полицями, які встановлюються під певним кутом до газового потоку. Ці пристрої створюють та посилюють нестаціонарні умови зважування частинок газовим потоком, що підвищує рухому силу сушильного процесу та інтенсифікує контакт фаз. У пневматичних сушарках, на рівні стаціонарної ділянки, на певних рівнях по висоті встановлюються конусні розширювачі (дифузори), які з'єднані плавним переходом (конфузором). В нижній частині конуса розташовані горизонтально в ряд обтічні клиновидні елементи. Частинки матеріалу, які досягають місць звуження перетину, збільшують свою швидкість та утворюють на поверхні клиновидних елементів зважений шар. Також для підвищення ефективності процесу сушіння на стаціонарній ділянці пневматичної сушарки встановлюють каскадом поличні елементи під кутом  $45^{\circ}$  до горизонту з метою кращого ефекту обтікання їх газовим потоком. При проходженні газодисперсного потоку через каскад полиць, над кожній із них утворюються циркуляційні потоки, в результаті чого реалізується вихровий шар, у якому інтенсивно висушується матеріал.

## ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ГІДРОДИНАМІЧНИХ ПОКАЗНИКІВ ПРОЦЕСУ СЕПАРАЦІЇ ДВОКОМПОНЕНТНОЇ ЕМУЛЬСІЇ У КОАЛЕСЦЕРАХ

*Старинський О. С., викладач-стажист, каф. ПОХНВ; Дем'яненко М. М., асп., каф. ЗМ і ДМ; Ляпощенко О. О., проф. каф. ПОХНВ; Павленко І. В., доц., каф. ЗМ і ДМ; Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

На стадії первинної підготовки вуглеводневої сировини видобуту зі свердловини сиру нафту очищають від попутного нафтового газу, води та механічних домішок. Дані технологічні процеси здійснюються у багатофазних розділювачах, таких як “Heater-Treater” та ін.. У якості внутрішніх пристроїв для розділення водонафтової емульсії зазвичай застосовують пакети листових насадок (коалесцери). Для визначення залежності ефективності розділення від товщини пакету насадки у напрямі течії емульсії, лінійної швидкості руху емульсії та гідравлічного опору створюваного пакетом насадки необхідно проводити фізичні та числові експерименти. Як відомо експериментальні дослідження є більш ресурсо- та матеріалозатратними, тому актуальним завдання є проведення саме числових досліджень. Провести числові дослідження процесу розділення двокомпонентної емульсії у коалесцері можливо за допомогою методів обчислювальної гідродинаміки, які базуються на методі кінцевих об'ємів. При цьому застосування даних методів пов'язано з деякими проблемами, а саме побудова скінченно-об'ємної розрахункової сітки можлива лише на при наявності значних обчислювальних потужностей внаслідок складної геометрії поверхні пакетів насадки. Одним із підходів для вирішення даної проблеми є використання моделей пористого середовища, які дозволяють значно зменшити скінченно-об'ємну розрахункову сітку. Більшість математичних моделей пористого середовища базуються на рівнянні Дарсі-Вейсбаха:

$$-\nabla p = \frac{150\mu(1-\varepsilon)^2 u}{d_c^2 \varepsilon^3},$$

де  $\mu$  – динамічна в'язкість рідини, Па·с;  $\varepsilon$  – порозність пористого тіла;  $u$  – об'ємна витрата рідини, м/с;  $d_c$  – умовний середній діаметр, м.

Цей закон передбачає, що швидкість рідини в будь-якій точці пористого середовища прямо пропорційна градієнту тиску в цій точці, а інерційний опір відсутній, наявний лише в'язкісний. При цьому врахування інерційного опору є також необхідним оскільки розділення емульсії відбувається і під дією інерційних сил також. На вирішення даної задачі будуть направлені подальші дослідження.

*Робота виконана за підтримки МОН України (ДР №0117U003931 «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання»).*

## ОПТИМІЗАЦІЙНІ ХІМІКО-ТЕХНОЛОГІЧНІ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОМИСЛОВИХ УСТАНОВОК З ПІДГОТОВКИ ТА ПЕРЕРОБКИ ВУГЛЕВОДНІВ

*Голохвост О.О., студент ХМ-61; Ковтун В.В., фахівець I категорії,  
ф-т ТеСЕТ; Дем'яненко М.М., аспірант каф. ЗМіДМ;  
Старинський О.Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Нафтовий газ та нафта за рахунок вмісту в їх складі крім метану і етану істотної частки  $C_{3+}$  є цінними сировинними продуктами та відіграють значну роль в енергетиці та хімічній промисловості, але це ж служить причиною ускладнення технології їх підготовки, транспортування і переробки. Підготовка та переробка нафти і газу – це складні технологічні процеси, які реалізують за допомогою технологічних ліній, що складаються з основного обладнання: багатофазні сепаратори, теплообмінники, ректифікаційні та абсорбери колони і допоміжного обладнання. З часом кількість цільових компонентів у сировині, що добувається зі свердловини, знижується, а вміст води, парафінів та інших шкідливих домішок зростає. Це в свою чергу змушує підвищувати інтенсивність процесів сепарації та масообміну, яка в свою чергу обмежується наявним на установці обладнанням. Значна кількість видобутого попутного газу спалюється на факелах, що не вигідно: по-перше, з екологічної точки зору - забруднення навколишнього середовища викидами в атмосферу шкідливих речовин; по-друге, згорають найцінніші вуглеводні, які можуть використовуватися як сировина.

Технологічні лінії підготовки та переробки вуглеводневої продукції мають певні недоліки, такі як застаріле обладнання та низька ефективність процесів сепарації та масообміну. За допомогою статичних та динамічних моделювань хіміко-технологічних процесів, які реалізовані у програмних комплексах ChemCAD, Aspen HYSYS, та ін., можливо вдосконалити існуюче обладнання та оптимізувати параметри процесів, що в них протікають. Застосування інструментальних засобів САЕ-систем термодинамічного моделювання дозволяє при використанні відомих математичних моделей швидко та точно обраховувати теплові та матеріальні баланси як окремого технологічного обладнання так і установок в цілому. Це дозволяє розрахувати максимальну ефективність роботи обладнання та ефективність роботи установок. Так в рамках проекту «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання» були проведені оптимізаційні хіміко-технологічні моделювання установок підготовки газу та установок переробки нафти. *Робота виконана за підтримки МОН України (ДР №0117U003931 «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання») під керівництвом д.т.н., гол. наук. співробітника Ляпоценка О.О.*

## ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ФАЗОВОЇ РІВНОВАГИ У ПАРОРІДИННИХ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМАХ

*Шах А.Д., студент, ХМ - 71/2 ОНГВ; Михайловський Я.Е., доцент, каф. ПОХНВ; Старинський О.Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ; Дем'яненко М.М., аспірант каф. ЗМіДМ; Хухрянський О.М., аспірант, каф. ПОХНВ; Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

У хімічній та нафтогазовій промисловості протікання основних технологічних процесів (абсорбція, ректифікація, сепарації) супроводжується масоперенесенням. При цьому інтенсивність масообміну визначає ефективність вищевказаних технологічних процесів. Для забезпечення інтенсивного масоперенесення необхідно для кожного окремого процесу провести технологічний розрахунок фазової рівноваги багатоконпонентної системи. Числові моделювання масообмінних процесів у сучасних програмних комплексах реалізуються через традиційні закони що визначають умови рівноваги у гетерогенних багатоконпонентних системах, а саме закон Генрі та закон Рауля.

Слід зазначити, що закон Генрі використовують для розрахунку фазової рівноваги у гетерогенних системах ідеальних розчинів при незначному надлишковому тиску. Закон Рауля також не може використовуватись у багатьох випадках.

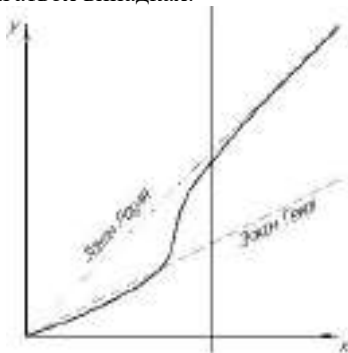


Рисунок 1 – Графічне відображення законів Генрі та Рауля ( $x$  – концентрація компонента у рідині;  $y$  – концентрація компонента у газовій фазі) [1].

Як можна побачити з рисунка 1 закон Рауля та закон Генрі збігаються лише у певних проміжках з експоненціальною кривою рівноважної концентрації. Тому у сучасних програмних комплексах використовують уточнюючі математичні моделі для розрахунку фазової рівноваги у парорідинних системах. Так наприклад у програмному комплексі ChemCAD для розрахунку константи фазової рівноваги використовують моделі SRK, Peng-Robinson та ін..

Рівняння Soave-Redlich-Kwong (SRK) дуже ефективно при прогнозуванні значень  $K$  (константа фазової рівноваги) для вуглеводневих систем при середніх і високих тисках. Хороші результати були отримані при використанні цього методу при обчисленні процесів, що протікають у деметанізаторах, деетанізаторах, депропанізаторах та у дебутанізаторах. Параметри бінарної взаємодії включені для декількох вуглеводнів і неконденсованих газів. Стиснення і коефіцієнти летючості суміші для парової і рідкої фаз рохраховуються з рівняння стану Soave-Redlich-Kwon [2]:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V(V + b)}$$

де –  $R = 8,31441 \pm 0,00026$  (Дж/(моль·К)) – універсальна газова стала;  $P$  – тиск (Па);  $T$  – абсолютна температура (К);  $V$  – молярний об'єм (моль/м<sup>3</sup>); а і  $b$  – деякі константи, особливі для кожної речовини, що корегують потенціал взаємодії молекул та об'єм відповідно [2].

Модель Peng – Robinson використовується для систем вуглеводнів, з тиском більше 10 бар та у криогенних процесах. Рівняння стану Peng-Robinson дуже ефективно для прогнозування значень  $K$  (константа фазової рівноваги) для вуглеводневих систем при середніх і високих тисках. Хороші результати були отримані при використанні цього методу для деметанізаторів, деетанізаторів, депропанізаторів, дебутанізаторів, а також є найкращим доступним методом для криогенних систем. Стиснення і коефіцієнти летючості суміші для парової і рідкої фаз отримані з рівняння стану Peng-Robinson [12]:

$$P = \frac{RT}{V - b} - \frac{a}{V(V + b) - b(V - b)}$$

де –  $R = 8,31441 \pm 0,00026$  (Дж/(моль·К)) – універсальна газова стала;  $P$  – тиск (Па);  $T$  – абсолютна температура (К);  $V$  – молярний об'єм (моль/м<sup>3</sup>); а і  $b$  – деякі константи, особливі для кожної речовини, що корегують потенціал взаємодії молекул та об'єм відповідно [2].

*Робота виконана за підтримки МОН України (ДР №0117U003931 «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання») під керівництвом д.т.н., гол. наук. співробітника Ляпощенко О.О.*

#### Список літератури

1. Старинський О. Є., Проблеми дослідження процесів масообміну у газорідних системах CFD-методами / Старинський О. Є., Дем'яненко М. М., Ляпощенко О. О., Павленко І. В. // КМОСС-2019: матеріали V Міжнародної науково-технічної конференції, м. Дніпро, 6-8 лист. 2019 р.
2. CHEMCAD Version 7 User Guide.

## ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСУ ВИРОБНИЦТВА АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПАЛИВА - БІОЕТАНОЛУ

*Шматенко В.А., студент, ХМ-61; Скиданенко М.С. ст. викладач, каф. ПОХНВ; Старинський О.Є., викладач-стажист, каф. ПОХНВ ; Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Використання відновлюваних джерел енергії є одним із найбільш важливих напрямів енергетичної політики України, спрямованої на заощадження традиційних паливно-енергетичних ресурсів та поліпшення стану оточуючого природного середовища, використання відновлюваних джерел енергії та в поступовому збільшенні виробництва альтернативних видів палива, а саме біоетанолу, біодизелю та ін.

Біоетанол – це звичайний етиловий (винний) спирт, отримуваний під час перероблення рослинної сировини, головним чином заради використання його як палива. Сьогодні більшу частку біоетанолу виробляють із кукурудзи і цукрової тростини, хоча сировиною для його одержання можуть бути будь-які сільськогосподарські культури з великим вмістом крохмалю чи цукру: рис, сорго, ячмінь, картопля, цукрові буряки і т. п.. Етанол отримується внаслідок досить складних хімічних реакцій, проте їх можна зобразити узагальненим рівнянням:



Внаслідок бродіння утворюється розчин, що містить приблизно 15 % етанолу, позаяк у більш концентрованих розчинах дріжджі зазвичай гинуть. Отриманий в такий спосіб етанол вимагає очищення й концентрування.

Більшість сучасних технологій виробництва біоетанолу можна умовно поділити на наступні стадії:

- підготовки й подрібнення цукро чи крохмальвмісної сировини;
- ферментування – розщеплення крохмалю до спирту під впливом дріжджових ферментів;
- ректифікування браги, що зазвичай здійснюється, у колонних апаратах із контактними елементами у вигляді тарілок.

Слід зазначити, що ректифікування браги один з найважливіших процесів при виробництві біоетанолу. Ефективністю протікання даного процесу визначається ефективність і продуктивність виробництва вцілому та якість цільового продукту. Тому на даний момент дослідження процесу ректифікування та обладнання в якому він протікає вважається актуальною задачею.

*Робота виконана за підтримки МОН України (ДР №0117U003931 «Розробка та впровадження енергоефективних модульних сепараційних пристроїв для нафтогазового та очисного обладнання») під керівництвом д.т.н., гол. наук. співробітника Ляпоценка О.О.*

## СТВОРЕННЯ РЕГІОНАЛЬНИХ СІЛЬСЬКОГОСПОДАРСЬКИХ КОМПЛЕКСІВ – ВАЖЛИВИЙ ЕТАП ДЕЦЕНТРАЛІЗАЦІЇ

*Ведмідь Н. О., студентка, ХМдн-54р; Якушко С. І., пенсіонер;  
Острога Р. О., старший викладач, каф. ПОХНВ  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Втілювана зараз в нашій країні децентралізація передбачає надання регіонам самостійності в прийнятті рішень, а також в тактиці і стратегії своїх дій. Вона повинна бути спрямована, перш за все, на поліпшення соціально-економічного розвитку даного регіону з отриманням максимального прибутку кожного окремо взятого виробничого підрозділу.

У зв'язку з цим пропонується створення на регіональних і місцевих рівнях сільськогосподарських комплексів. Ці комплекси мають включати взаємопов'язані виробництва основного і допоміжного характеру з глибокою переробкою сировини по безвідходним і енергозберігаючим технологіям.

Пропонований комплекс повинен складатися з підприємств, які взаємно доповнюють один одного. Причому такі комплекси можуть мати різний набір підприємств у залежності від розташування і характерних ознак даного регіону. Так, наприклад, для виробництва такого нетрадиційного виду палива, як пелети, в одних регіонах доцільно налагодити їх виробництво з соломи, а в інших – з відходів деревини або з торфу із додаванням тирси.

Але невід'ємною ознакою запропонованих комплексів є створення таких виробництв, які доповнюють і підсилюють роботу інших. Якраз ця обставина і зумовлює істотне зниження собівартості продукції, збільшує рентабельність усіх учасників в цілому.

Для виконання поставленої мети всі, підібрані для даного регіону, підприємства повинні бути пов'язані певною організаційною структурою. До складу цієї структури повинні входити тільки ті підприємства, продукція яких або використовується для ефективної роботи інших підприємств даного комплексу, або відходи одних підприємств є сировиною для інших. У даний комплекс повинні входити підприємства по вирощуванню рослинної продукції, підприємства з розведення худоби (свиней, курей, великої рогатої худоби тощо) і підприємства по переробці виробленої продукції і відходів даних виробництв.

Важливою особливістю такого комплексу є виробництво гранульованих органічних і органо-мінеральних добрив. Такі добрива підвищують врожайність сільськогосподарських культур на 25–35 %, забезпечують отримання біологічно повноцінної продукції, можуть ефективно використовуватися на усіх видах ґрунтів, під будь-які культури, навіть при дуже інтенсивних методах їх вирощування. І найголовніше – ці добрива мають пролонговану дію: вони поступово розчиняються у ґрунті, не збільшуючи вміст нітратів у рослинах, тобто вони повністю пристосовані, щоб вирощувати повноцінну продукцію для дитячого, лікувального і дієтичного харчування.



## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ОСУШЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ В УМОВАХ ЗМІНИ КОНЦЕНТРАЦІЇ АБСОРБЕНТУ І ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ КОЛОНИ

*Шаповал М. В., студент, ХМ-61; Піддубний Є. М., викладач, МК СумДУ;  
Острога Р. О., старший викладач, каф. ПОХНВ  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Природний газ зі свердловини надходить на установку підготовки газу, будучи насиченим парами води. На даний час найбільшого поширення набув абсорбційний метод осушення газу із застосуванням гліколей у якості основного абсорбенту. Розробка сучасних технологічних процесів переробки вуглеводневої сировини і оптимальна експлуатація діючих виробництв неможлива без застосування моделюючих програм. Таким чином, перспективним є моделювання процесів абсорбційного осушення природного газу і дослідження впливу основних термодинамічних параметрів, типу поглинача та його концентрації на процес осушення.

Для моделювання процесу осушення природного газу використаний програмний пакет Aspen HYSYS®, який являє собою пакет програм, призначений для моделювання та розрахунку стаціонарних і динамічних режимів роботи хіміко-технологічних схем, що містять тепло- і масообмінну апаратуру, трубопроводи, реактори тощо; проведення оптимізаційних розрахунків; розробки схем регулювання; контролю за роботою систем управління; розрахунку процесів видобутку і переробки вуглеводнів.

Зазвичай абсорбційне осушення проводиться за температури не вище 45–50°C, тому дане дослідження проводилось в інтервалі температур від 25 до 50°C з кроком 5°C. Також при проведенні дослідження була дотримана ступінь насичення абсорбенту 1,5–2,5 %.

Ведення процесу осушення при високому тиску, за інших рівних умов, забезпечує зниження витрат на обробку газу, тому що зменшуються витрати енергії на регенерацію насиченого розчину і подачу розчину гліколю в абсорбер. Підвищення тиску призводить до зменшення кількості розчину, який слід подавати для отримання газу із заданою точкою роси.

У свою чергу, зниження температури контакту призводить до зменшення витрат тепла на роботу блоку регенерації, оскільки зменшується кількість води, що витягується з газу.

Наглядним результатом дослідної роботи є отримання графічних залежностей зміни точки роси газу по воді від температури контакту газу в абсорбері, варіюючи при цьому зміною концентрації абсорбенту від 98,5 % до 99,99 %. У якості осушувача використовувався етиленгліколь (ЕГ), діетиленгліколь (ДЕГ) і триетиленгліколь (ТЕГ). Спільний аналіз вартості абсорбенту та його експлуатаційних властивостей призвів до того, що в якості поглинача обрано ДЕГ, який здатний забезпечити задану точку роси, при цьому ефективно витягуючи вологу з природного газу.

## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ТРУБЧАТОГО ГАЗО-РІДИННОГО РЕАКТОРА ДЛЯ ПРОЦЕСУ ВИБІЛЮВАННЯ СУЛЬФАНОЛУ ХЛОРОМ

*Стороженко В.Я., професор, каф. ПОХНВ; Смирнов В.А., зав. навч. лаб. ОЦ ТеСЕТ; Самойленко В.О., студент, ХМ-61; СумДУ, м. Суми, Україна*

На практиці часто зустрічаються технологічні процеси, які характеризуються тим, що навантаження по газовій фазі є невеликим і може змінюватися в широких межах, а рідка фаза має підвищену в'язкість та у ряді випадків схильна до створення стійкої піни. У всіх цих випадках частіше всього не можна сподіватися на можливість застосування апаратів колонного типу або апаратів з перемішувачами пристроями. На кафедрі були розроблені та досліджені масообмінні апарати трубчатого типу для контакту рідини та газу при малих та змінних витратах однієї з фаз. Розроблені конструкції і отримані в ході експериментальних досліджень результати знайшли застосування в ряді виробництв.

Прямоточний апарат змієвикового типу був застосований для процесу відбілювання технічного сульфанола газоподібним хлором.

На лабораторній установці досліджувалася залежність зміни якісних показників вибіленого сульфанола від газовмісту потоку. Для дослідження брали сульфанол з показником кольоровості за йодометричною шкалою більше 4000. У всіх дослідах витрата сульфанола була постійною і становила 2,53 л/хв. Витрата хлору змінювалася в межах 1-10 г/л сульфанола.

В результаті була визначена величина необхідної витрати хлору, що дорівнює 7,5 г/л розчину сульфанола. При цьому вибілений розчин мав рН-8,2 і кольоровість по йоду 170, що відповідали вимогам технічних умов.

У результаті лабораторних досліджень було показано можливість і доцільність застосування процесу відбілювання технічного сульфанола газоподібним хлором в прямоточному реакторі трубчатого типу та встановлено оптимальні технологічні параметри ведення процесу.

Контроль за кольоровістю вибілювання сульфанола здійснюється візуальним спостереженням за масою, що протікає в останній секції, виготовленій зі скла.

### Список літератури

1. Джильберт Е.Е. "Сульфування органічних сполук", М., (1969).
2. Стороженко В.Я. і др. Авторське свідоцтво СССР №276904, кл.120, 5, (1970).
3. Розкин М.Я., Стороженко В.Я. Звістки вузів "Хімія та Хімічна технологія" 13,5 (1970).
4. Стороженко В.Я. Звіти по НВГ "Гідродинаміка одно та двофазних потоків в нових конструкціях високоефективних апаратів для процесів масообміну, кристалізації та ректифікації" СумДУ (2015 р.).

# ДОСЛІДЖЕННЯ СПОСОБІВ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СЕПАРАЦІЇ ДЛЯ ОЧИСТКИ ХВОСТОВИХ ГАЗІВ ПРИ ВИРОБНИЦТВА СІРЧАНОЇ КИСЛОТИ

*Скотар А.П., студентка, ХМ-61-8; Шматенко В.А., студент ХМ-61-8;  
Скиданенко М.С. старший викладач, каф. ПОХНВ,  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Однією з найбільших сучасних проблем стали локальні забруднення атмосфери промисловими викидами. Основна маса забруднюючих речовин припадає на газоподібні речовини і туманні матеріали, які можуть переміщатися на великі відстані і накопичуватися. При виборі газосепараційного обладнання необхідно враховувати техніко-економічні показники його роботи, при визначенні яких враховують ступінь очищення газу, гідравлічний опір апарату, експлуатаційні витрати, вартість апарату і вартість очищення газу. Проведеним оглядом сепарації, установки очищення хвостових газів при виробництві сірчаної кислоти на ВАТ «Сумхімпром» з'ясовано, що найбільш пристосованими до цих умов є газосепаратори з закрученими потоками, в яких газ здійснює одночасно осьовий, крутячий і радіальний рухи.

Однак, при високо інтенсивних режимах роботи сепараційних елементів спостерігаються вторинні процеси (бризгонос). Також, основним недоліком інерційних сепараторів є те, що вони придатні ефективно вловлювати краплі розміром  $2R > 10$  мкм і неможливість ефективної роботи в широкому діапазоні навантажень по газовій фазі. Доцільно поєднання переваг інерційних бризгоуловачів і фільтруючих туманоуловителів, в результаті чого виключаються характерні для них недоліки. Ефективно поєднують переваги двох типів обладнання - інерційно-фільтруючі сепараційні елементи, які є маловивченими.

Перехід до нової організації процесу сепарації з використанням малогабаритного обладнання, яке дозволить скоротити витрати енергії, природних ресурсів та трудомісткість, зменшити матеріалоємність і капітальні витрати на будівництво і забезпечить сприятливу екологічну обстановку в навколишньому середовищі.

Метою роботи є дослідження моделі накопичення і відведення рідини з фільтруючого елемента, необхідно визначити ефективну висоту якого. Що забезпечить підвищення ефективної здатності уловлювання (запобігає вторинний винесення, створення стабільного потоку рідини, що вловлюється) і отже, підвищення ефективності процесу сепарації високодисперсною крапельної рідини.

Для досягнення поставленої мети був розроблений експериментальний стенд з подальшим моделюванням гідродинаміки руху рідини, дослідження формування рідинного потоку в фільтруючому елементі, визначення кількості відведеної рідини на рівнях, підібрана оптимальна висота розміщення збірок.

Математичне моделювання здійснюється на підставі класичних положень механіки рідини і газу технічної гідромеханіки. Результати теоретичного та експериментального дослідження зміни швидкості руху рідини по висоті фільтруючого елемента представлено на рис. 1.

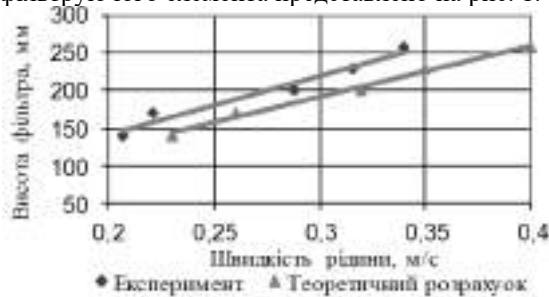


Рисунок 1 - Порівняння даних по швидкості рідини, отриманих теоретичним розрахунком і експериментальним шляхом

Після проведення експериментальних досліджень і розробки математичної моделі проаналізувавши отримані результати, була створена програма яка визначає розподіл рідини уздовж фільтра (по осі X), тобто кількість рідини в фільтруючому елементі і оптимальну висоту розташування лотка для відводу уловленої рідини.

За результатами розрахунку при установці лотків для відведення уловленої рідини, що установлені по висоті фільтруючого елемента, кількість відведеної рідини значно більше (в 1,52 рази) ніж при їх відсутності. Отже, ефективність інерційно-фільтруючого елемента зростає.

На підставі аналізу процесів сепарації мікрокраплинної вологи в газовому потоці виявлено недоліки існуючих газосепараційних пристроїв і визначені способи підвищення ефективності роботи газосепараційного обладнання.

Розроблено математичну модель накопичення і відведення рідини з фільтруючого елемента, яка дозволяє визначити швидкість руху рідини в фільтруючому елементі, отримано значення ефективності фільтруючого елемента. Проведено експериментальне дослідження накопичення і відведення рідини з фільтруючого елемента, на основі яких була написана програма яка дає можливість доцільно визначити висоту розміщення лотка на гофрах інерційно-фільтруючих елементів. Все це дозволяє перевірити математичну модель накопичення вологи в фільтруючому елементі і розробити інженерну методику розрахунку.

На підставі проведених досліджень і порівнянні було обґрунтовано доцільність заміни газосепаратора з відцентровими елементами (85%) на інерційно-фільтруючий сепаратор (98%) так як він більш ефективніше вловлює мікрокраплини сірчаної кислоти.

## РОЗРОБКА СПОСОБУ ОЧИСТКИ СУЛЬФАТУ КАЛІЮ

*Максименко Б. О., зам. директора з наукової роботи;  
Зеленський А. М., зам. Директора;  
Вакал С. В., директор, НДІ МІНДІП;  
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Сільськогосподарське виробництво у теперішній час перетворюється зі споживача енергії на її виробника. Аналіз динаміки цін на енергетичні, промислові та сільськогосподарські види продукції дозволяє відзначити перспективність розроблення питання нехарчового використання останніх.

Одним із перспективних напрямів, яким сьогодні займаються в провідних країнах світу, є розвиток технологій виробництва та застосування біопалива, а також добрив рослинного походження. Ці роботи набули особливого значення у зв'язку зі зростанням вартості енергоносіїв та зменшенням поголів'я тварин.

Виробництво біодизеля характеризується наявністю технологенного відходу – сульфату калію, забрудненого органічними сполуками (високоатомними спиртами). Сульфат калію утворюється в результаті нейтралізації КОН сірчаною кислотою. КОН у виробництві біодизеля використовується як каталізатор у процесі етерифікації метиловим спиртом рослинних масел.

Проведений цикл робіт з отримання зразків очищеного сульфату калію із забрудненого органічними сполуками сульфату калію, виведеного у вигляді відходу під час виробництва біодизеля, показав можливість збільшення вмісту  $K_2O$  в готовому продукті з 46 % до 52 %. Під час досліджень розроблено основні рішення для двох способів очищення сульфату калію: розчинення сульфату калію у воді і розчинення в слабкому розчині сірчаної кислоти у вигляді бісульфату калію.

Перший спосіб вимагає значних витрат теплової енергії на випаровування води, що вводиться в процес. За другого способу немає потреби у витратах на випаровування великої кількості води, але в процесі розчинення використовуються сірчана кислота і карбонат калію. Вивчалася комбінація і вибір найбільш ефективних процесів видалення домішок, виділення в тверду фазу очищеного сульфату калію і скорочення використання води в технологічному процесі. Визначено умови, за яких органічні домішки утворюють окрему фазу і можуть бути виведені з розчину. Вивчено режими кристалізації сульфату калію, що дозволяють проводити додаткове очищення від неорганічних домішок. Отримано зразки порошкоподібного продукту та визначено їх фізико-хімічні властивості. Розроблено спосіб гранулювання порошкоподібного сульфату калію, що дозволяє за рахунок застосування оригінального пластифікатора підтримувати високий вміст  $K_2O$  в готовому гранульованому продукті на рівні 52 %.

## МОРФОЛОГІЯ ПОВЕРХНІ ТА ДІЕЛЕКТРИЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІКРОДУГОВИХ ОКСИДІВ НА АЛЮМІНІЄВОМУ СПЛАВІ

*Пупань Л.І., доцент; Гуцаленко Ю.Г., ст. викладач;  
Севидова О.К., ст. наук. співробітник;  
НТУ«ХПІ», м. Харків, Україна*

Зв'язок пористості як структурної складової поверхні покривів мікродуговим оксидуванням (МДО-покриви) з їх діелектричними властивостями, які є визначальними зокрема у застосуванні алмазно-абразивних інструментів з МДО-покривами посадкових поверхонь та прямим струмопідведенням в процесах алмазно-іскрового шліфування (АІШ), мало вивчений.

Метою виконаних досліджень була оцінка впливу наскрізної пористості на діелектричні характеристики залежно від умов формування алюмооксидних МДО-покривів.

В якості досліджуваних експериментальних зразків-свідків використовували виготовлені з деформівного алюмінієвого сплаву, який зазвичай застосовують у корпусах алмазно-абразивних інструментів АІШ.

Мікродугове оксидування проводили у різних за складом розчинів електролітів лужно-силікатної групи – технічного розчину натрієвого рідкого скла (силікатного) – РС, технічного розчину натрієвого рідкого скла та луги (КОН + РС) за відповідними концентраціями компонентів: 12 г/л РС; 2 г/л КОН + 12 г/л РС; 1 г/л КОН + 6 г/л РС (відповідно розчини 0:12; 2:12; 1:6).

Аналіз даних мікроскопічного дослідження поверхні ізоляційних покривів, сформованих в гальваностатичному режимі в різних електролітах за ідентичних значеннях  $j$ , дозволяє зробити певні узагальнення.

Зокрема, найменшою регулярно наскрізною пористістю характеризуються МДО-покриви, сформовані в технічному розчині 0:12. Осади контактної міді, вихід якої на поверхню є безпосередньою ознакою наскрізного характеру пор, спостерігаються лише в окремих кратерних структурних елементах досить великих розмірів 10...15 мкм, які, ймовірно, утворюються під час зриву мікродугового розряду в дуговий.

На покривах, сформованих в розчині 2:12, за всією поверхнею фіксується велика кількість системних відкритих пор розміром 2...10 мкм і включень міді 3...6 мкм, що свідчать про наявність наскрізної пористості. Відкрита пористість, поряд з наскрізною, є також можливим негативним чинником, що впливає на діелектричні властивості. Різна форма відкритих пор (округла, овальна, неправильна) може свідчити про нелінійний характер поширення пор за товщиною покривів, а також про різний ступінь їх зарощування. Порівняно з поверхнею покривів із розчину 0:12 осади міді на зразках, окисдованих в розчині 2:12, розташовані більш рівномірно.

Відносно меншою (за кількістю і лінійним розміром) відкритою пористістю характеризуються оксидні шари, сформовані в розчині 1:6. Включення міді відповідно теж менші за розміром – до 1 мкм. Слід зазначити, що товщина покривів у цьому електроліті є найменшою і складає 37 мкм (43 і 44 мкм відповідно в розчинах 0:12 і 2:12). Цей фактор теж в певній мірі впливає на показник наскрізної пористості, зокрема, погіршує його.

Загалом, якщо оцінювати якість поверхні покривів за відносною кількістю та розміром пор, можна зробити висновок, що наскрізна пористість зростає в ряду розчинів: 0:12 < 1:6 < 2:12.

Аналіз мікрознімків, які відображають стан поверхні покривів, сформованих за різних значеннях густини електролітного струму  $j$ , показує, що в кожному електроліті наскрізна пористість збільшується із зростанням величини  $j$ .

Доказом тому є збільшена кількість осередків та сумарна площа контактної виділеної міді. Найбільша пористість (та, відповідно, кількість і розмір виділень контактної міді) характерні для зразків, покрити на яких були сформовані в електроліті 2:12. Пори займають майже третину поверхні при збільшенні  $j$  від 5 до 15 А/дм<sup>2</sup>.

Найменше відносно зростання пористості зі збільшенням  $j$  спостерігається в зразках, окисдованих в розчині натрієвого рідкого скла (0:12).

Таким чином, склад електроліту є переважним фактором, що впливає на формування наскрізної пористості.

Діелектричні властивості МДО-покривів оцінювали за питомим об'ємним електричним опором  $\rho_v$ , а також електричною міцністю  $E$ .

Як свідчать отримані дані, спостерігається досить суттєва залежність  $\rho_v$  від складу електроліту: найбільші значення характерні для покривів, сформованих у розчині 0:12, найменші – для покривів, що були отримані електролітним окисдуванням у розчині 2:12.

Ці дані якісно корелюють з наведеними тут результатами мікроскопічних досліджень ПЕО-покривів.

Аналіз значень  $\rho_v$  покривів, сформованих за різних значень  $j$ , показує, що  $\rho_v$  майже не залежить від цього показника. Зменшення  $\rho_v$  для покривів, отриманих у розчині 0:12, у межах похибки. Незначна тенденція зменшення  $\rho_v$  з ростом  $j$  для зразків, що окисдувались у розчинах 1:6 та 2:12, скоріше за все, пов'язана зі збільшенням кількості пор.

Характер зміни  $E$  залежно від досліджуваних чинників (складу електроліту та  $j$ ) має певну аналогію з відповідними залежностями  $\rho_v$ , тобто також якісно корелює з результатами мікроскопічного аналізу стану поверхонь МДО-покривів.

Покриви, сформовані в технічному розчині натрієвого рідкого скла 0:12 (12 г/л РС), мають найкращі показники діелектричних властивостей, що відповідає найменшій наскрізній пористості цих зразків.

# МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ТЕПЛОПЕРЕНОСУ ПРИ ВИПАРОВУВАННІ СТІКАЮЧІЙ ПЛІВЦІ РІДИНИ В ПЕРЕХРЕСНИЙ ГАЗОВИЙ ПОТІК

*Костюченко Є.В., аспірант;*

*Лукашов В.К., професор, каф. ХТВМС;*

*Шосткинський інститут СумДУ, м. Шостка, Сумська обл., Україна*

Плівкова течія рідини реалізується в багатьох тепло – і масообмінних апаратах, які широко застосовуються в хімічній промисловості. У більшості випадків така течія супроводжується випаровуванням з вільної поверхні плівки. Наявність над цією поверхнею нейтрального (інертного) щодо рідини газу значно впливає на випаровування і теплоперенос в цій системі. Важливе значення має також організація взаємодії плівки і газового потоку.

У доповіді представлена математична модель теплопереносу в плівковому апараті при перехресній взаємодії рідкої плівки і газового потоку. Модель заснована на фізичних уявленнях (рис. 1), згідно з якими плівка рідини 1 рухається під дією сили тяжіння з поверхні нагрітої стінки 2.

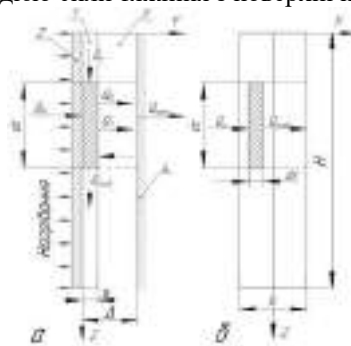


Рисунок 1 - Схема теплових потоків при взаємодії стікаючої плівки рідини і газового потоку: а – плівка і газова фаза; б – газова фаза; 1 – плівка рідини; 2 – нагріта стінка; 3 – газова фаза; 4 – обмежуюча стінка.

Теплота від поверхні передається плівці і в результаті її нагрівання рідина випаровується в простір який обмежений стінкою 4. У цей простір у поперечному напрямку рівномірно за висотою нагрітої стінки надходить потік нейтрального газу. Він захоплює пар і виносить його за межі плівки. Приймаємо температуру поверхні нагрітої стінки постійною, рух плівки й газового потоку, а також теплоперенос в них такими, що встановилися. Тертям між газом і рідиною нехтуємо. Вважаємо, що теплообмін між плівкою й потоком газу відбувається як за рахунок потоку теплоти, що переноситься з порою, так і за рахунок теплообмінного потоку, що виникає в результаті контакту фаз. І якщо перший потік завжди спрямований від рідкої



в газову фазу, то другий, в залежності від умов, може мати й зворотний напрямок.

На підставі цих уявлень записані рівняння теплового балансу для плівки і газового потоку, котрі після перетворення були отримані у вигляді звичайних диференціальних рівнянь:

для плівки

$$\frac{d(\delta q)}{dz} = f(dq, z), \quad (1)$$

$$\text{де } f(dq, z) = \alpha_{\text{пл}} t_{\text{ст}} \pm \alpha_{\text{г}} t_{\text{г}} - w r - \frac{\alpha_{\text{пл}} \pm \alpha_{\text{г}}}{c_{\text{ж}} \rho_{\text{ж}} u_{\text{пл}} \delta} (\delta q)$$

для газового потоку

$$\frac{dq_{\text{г}}}{dx} = f(q_{\text{г}}, x), \quad (2)$$

$$\text{де } f(q_{\text{г}}, x) = \frac{w r - \alpha_{\text{г}} t_{\text{пл}} + K_{\text{ос}} t_{\text{ос}}}{\Delta} - \frac{(K_{\text{ос}} - \alpha_{\text{г}}) q_{\text{г}}}{c_{\text{г}} \rho_{\text{г}} v \Delta},$$

Позначення величин в рівняннях (1) і (2):  $\alpha_{\text{пл}}$  – середній за поверхнею коефіцієнт тепловіддачі до плівки, Дж/м<sup>2</sup>·с·гр;  $\alpha_{\text{г}}$  – середній за поверхнею коефіцієнт тепловіддачі до газової фази, Дж/м<sup>2</sup>·с·гр;  $K_{\text{ос}}$  – коефіцієнт теплопередачі від газового потоку в навколишнє середовище через обмежуючу стінку, Дж/м<sup>2</sup>·с·гр;  $t_{\text{ст}}$  – температура поверхні, °С;  $t_{\text{пл}}$  – середня температура рідини в перерізі плівки, °С;  $t_{\text{г}}$  – температура газової фази, °С;  $t_{\text{ос}}$  – температура навколишнього середовища, °С;  $w$  – швидкість випаровування рідини, кг/м<sup>2</sup>·с;  $r$  – питома теплота пароутворення, Дж/кг;  $c_{\text{ж}}$ ,  $c_{\text{г}}$  – питома теплоємність рідини і парогазової суміші, Дж/кг·гр;  $\rho_{\text{ж}}$ ,  $\rho_{\text{г}}$  – густина рідини і парогазової суміші, кг/м<sup>3</sup>;  $u_{\text{пл}}$  – швидкість руху плівки (середня швидкість рідини в перерізі плівки), м/с;  $\delta$  – товщина плівки, м;  $q$  – питомий потік теплоти, що переноситься рідиною, Дж/м<sup>2</sup>·с;  $q_{\text{г}}$  – питомий потік теплоти, що переноситься газом, Дж/м<sup>2</sup>·с;  $\Delta$  – відстань від плівки до обмежуючої стінки, м;  $v$  – швидкість газового потоку в просторі між плівкою і обмежуючою стінкою, м/с.

Ці рівняння, разом з раніше отриманими рівняннями [1]: руху рідини в плівці; нерозривності плівки; масовіддачі від вільної поверхні плівки; матеріального балансу газової фази; відносного вмісту випаровуємої речовини в газовій фазі і закону Дальтона, описують теплоперенос при взаємодії рідкої плівки і газового потоку.

В результаті рішення цієї системи рівнянь отримані залежності, що дозволяють розраховувати зміни температур плівки, що стікає з нагрітої поверхні, і газу, що рухається в поперечному напрямку.

Список літератури

1. Lukashov V. K., Kostiuchenko Y. V., Timofeev S. V. Hydrodynamics of a Liquid Film Downflow on a Flat Surface in Evaporation Conditions into a Flow of Neutral Gas // Journal of Engineering Sciences. – 2019. – №1. – P. F19–F24. (DOI: 10.21272/jes.2019.6(1).f4)

## АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СИСТЕМ ДОПОМІЖНИХ ПЛАСТИНЧАСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ВИПАРНОЇ СТАНЦІЇ

*Бабак Т.Г., доцент, каф. «Інтегрованих технологій, процесів та апаратів»;  
Демірський О.В., наук. спів., каф. «Інтегрованих технологій, процесів та апаратів»;*

*Хавін Г.Л., професор, каф. «Технології машинобудування та металорізальних верстатів»*

*НТУ «ХПІ», м. Харків, Україна*

Моделювання схеми установки пластинчастих підігрівачів є одним з компонентів більш складних технологічних систем, наприклад такі, як багатокорпусні станції випаровування. Такі моделі дозволяють на стадії проектування або модернізації з припустимою точністю, визначити кількість обладнання, його розміри, витрати сировини і споживання енергії, що дозволяє розраховувати капітальні витрати і прогнозувати параметри роботи всієї системи у цілому.

Методика проектування ресурсо- і енергозберігаючих компонентів складної системи у вигляді системи підігрівачів, спирається безпосередньо на рішення загальної задачі синтезу всієї технологічної системи і входить в математичну модель аналізу і формулюється як окреме завдання оптимізації компонентів системи.

Головною метою при проектуванні системи підігрівачів, як допоміжного відділення основного технологічного обладнання, є реалізація енергії рекуперації теплових потоків основної системи. Вони визначають також величину і характер зовнішніх енергетичних джерел і зовнішніх енергоносіїв.

Завдання розрахунку теплообмінника полягає у визначенні мінімальної поверхні теплообміну, що задовольняє заданим технічним умовам щодо передачі тепла і умов по втратах тиску, коли втрати тиску на прокачування теплоносіїв через апарат не перевищують заданих наперед. У такій постановці апріорі передбачається завдання фіксованого значення втрат тиску при проходженні рідин через апарат. У більшості реальних додатків саме величина допустимих втрат тиску визначає поверхню теплообміну розрахованого пластинчастого апарату. При модернізації наявного обладнання (заміні теплообмінника) ця величина суб'єктивно визначається з потужності насосів забезпечують подачу теплоносіїв. При проектуванні нового обладнання можливості варіювання величиною допустимих втрат тиску дещо ширше, але як і раніше вибір є суб'єктивним.

Втрати тиску в пластинчастому теплообміннику, перш за все, залежать від швидкості руху теплоносіїв в каналах і конструктивних особливостей пластин. Заздалегідь передбачити який тип пластин буде найбільш підходити при заданих умовах досить складно. Тому при проектуванні керуються або відомою потужністю насосного обладнання або використовують методику, що дозволяють знайти компроміс між капітальними та експлуатаційними

витратами. Головною метою роботи є розробка системного підходу до вирішення завдання проектування і реконструкції систем пластинчастих теплообмінників, яка включає в себе наступні етапи:

- оцінка енергоефективності виробничого об'єкта в цілому з використанням методу пінч-аналізу;
- оптимальне проектування систем пластинчастих теплообмінних апаратів за критерієм приведених витрат;
- проектування з урахуванням забруднення теплообмінних поверхонь в часі, прогнозування працездатності по заданому критерію, визначення термінів планових зупинок на чистку апаратів;
- модернізація при необхідності насосного і допоміжного обладнання на основі прогнозних розрахунків по забрудненню.

Одним з найбільш ефективних і простих методів оцінки енергоефективності системи при проектуванні або модернізації є метод пінч-аналізу. Головна перевага його використання полягає в тому, що цільові значення технологічних параметрів, які повинен досягти проектувальник в результаті виконання проекту, можна отримати після попередньої економічної оцінки всього проекту. Пінч-аналіз базується на побудові складових кривих теплових потоків системи на температурно-ентальпійного площині, що дозволяє визначити величину максимально можливої рекуперації теплової енергії для цього значення мінімальної різниці температур в теплообмінному обладнанні. Таким чином, вибір величини мінімальної різниці температур визначає і встановлює енергетичні цілі проекту.

У якості прикладу запропонованого підходу до проектування і модернізації системи теплообмінників було розглянуто задачу заміни трубчатих підігрівачів на пластинчасті для багатокорпусної випарної установки цукрового заводу з витратою освітленого соку 21,7 кг / с. Вхідний освітлений сік концентрації 15% підігрівається з температури 30°C до 124°C, проходячи через систему послідовно встановлених пластинчастих теплообмінних апаратів. Потужність рекуперації теплової енергії в системі дорівнює 5175,4 кВт. Для підігріву соку на вході в перший корпус випарної установки використовується ретурна пара з температурою 140°C. Потужність споживаної гарячої утиліти (пари) – 2876,2 кВт, холодної (води) – 1595,3 кВт.

Розрахунки за запропонованим проектом розміщення теплообмінних апаратів дозволяють збільшити потужність рекуперації з 5175,4 кВт до 6365,4 кВт, тобто досягається економія 1190 кВт.

Проведена модернізація існуючої схеми випарної установки цукрового заводу на основі принципів пінч-аналізу з розрахунком теплообмінного обладнання та з урахуванням специфіки теплових потоків випарної установки, показала, що використання пінч-аналізу при реалізації таких проектів модернізації має дуже високу ефективність і дозволяє з високою вірогідністю оцінити вартість технічних рішень.

## ЗОНАЛЬНЕ ОХОЛОДЖЕННЯ ПОВІТРЯ ЗА ВЕЛИКИХ ТЕПЛОВИХ НАВАНТАЖЕНЬ

*Когут В.О., доцент; Бушманов В.М., аспірант; Хмельнюк М.Г., професор,  
Жихарева Н.В., доцент;*

*Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна*

У сучасних умовах існує запит на дешевий, простий за принципом, та ефективний метод охолодження повітря в умовах наближених до екстремальних. Наприклад охолодження повітря у гарячих цехах, та подача його на певний робочий участок. Запропонований метод має можливість виконати цей запит. Згідно з цим методом повітря виробничих приміщень подається у вузол обробки повітря де у нього розпилюється охолоджуючий агент. Для випадку коли повітря обробляється для приміщень з людьми доцільно використовувати воду. Враховуючи її задовільні теплофізичні якості та не токсичність. Потік повітря прискорюють нагнітачем до 15-20 м/с, подають до конфузора ежекційного пристрою, в якому прискорюють до 45-60 м/с, потім подають до камери змішування ежекційного пристрою, де в повітря розпилюють холодну воду, зволене і охолоджене повітря подають до дифузора ежекційного пристрою, де потік повітря гальмується та, за рахунок адиабатичного розширення, до охолоджується.

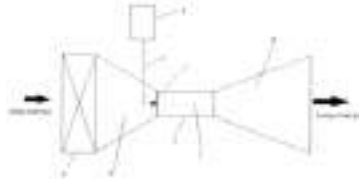


Рисунок 1 - схема ежекційного охолоджувача повітря (нагнітач 1, ежекційний пристрій 2, форсунку 3 для розпилення води, ємність для зберігання холодної води 4, трубопровід подачі води 5. Ежекційний пристрій складається з конфузора 6, камери змішування 7 та дифузора 8).

Поставлена задача створити спосіб охолодження повітря виробничих приміщень, в якому шляхом введення нових операцій, забезпечити зниження енергетичних витрат при реалізації способу та досягнення температури повітря, необхідної для підтримання в робочій зоні заданих параметрів технологічного кондиціонування.

### Список літератури

1. Принцип роботи ежектора Н. С. ЛУПОВ Омський державний технічний університет.
2. Кочин, Н. Е., Теоретична гідромеханіка. В 2 ч. Ч. II / Н. Е. Кочин, И. А. Кібель, Н. В. Розе. – М. : Фізмат Гіз.

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ У КОНТАКТНОМУ ТЕПЛООБМІННИКУ ФІЛЬТРИ ЕЖЕКТОРИ

*Козут В.О., доцент; Бушманов В.М., аспірант; Жихарєва Н.В., доцент;  
Факультет низькотемпературної техніки та інженерної механіки  
Одеська національна академія харчових технологій, м. Одеса, Україна*

У даній роботі розглянемо конкретний процес протікає в пристрої Контактного Теплообмінника ежектор, яке призначене для очищення димових газів шляхом зміни їх температури.

Дослідження процесів протікають при випаровуванні вприснути крапель рідини в контактному теплообміннику фільтрі, є важливим етапом получения чіткої та повної картини яка б Обьясняю отримані на практиці результати. Що надалі можна використовувати для увелечення ефективності роботи цього пристрою.

Приблизна кількість рідини необхідне для охолодження газу було отримано в попередніх розрахунках. В яких виходячи з кількості енергії в обсязі димових газів розраховувалося необхідну кількість агента здатного поглинути цю енергію. Для розрахунку кінцевої температури складаємо рівняння сохронеая енергії і отримуємо значення даного нас параметра. Вирішуємо рівняння щодо крапель рідини, приймаючи площа теплообміну рівній площі контакту групи крапель і навколишнього їхнього газу.

$$E_0 - E = E_B$$

$$m_0 c T_{k0} + (M_0 C_{p_{pa}} + M_V C_{p_V}) * T_{inf0} - m c T_k + ((M_{H_0} + m) C_{p_{pa}} + M_V C_{p_V}) * T_{inf0} = m$$

$$T_{inf} = \frac{m_0 c T_{k0} - m c T_k + (M_{H_0} C_{p_{pa}} + M_V C_{p_V}) * T_{inf0} - m H}{((M_{H_0} + m) C_{p_{pa}} + M_V C_{p_V})}$$

де  $T_{inf}, T_k$ - температура газу біля каплі та на великій відстані від неї;  $m_0, m, m_1$ - маса рідини що випаровується на початку процесу, в кінці, і різниця між ними;  $c$  - теплоємність рідини;  $C_{pp}$ -теплоємність пару;  $C_{pV}$ -теплоємність рідини;  $M_{H_0}$ - маса насиченого пару при  $T_{inf}$ ,  $M_V$ - маса газу в одиниці об'єму.

Маючи необхідні дані використовуючи отримане рівняння можливо отримати кінцеве значення температури. Щоб дізнатися проміжні значення розрахунок проводиться малими кроками. Результат попереднього розрахунку стають початковими даними для подальшого розрахунку.

Згідно з працею Фукса «Випаровування і зростання крапель в газоподібному середовищі» швидкість випаровування краплі при стаціонарному режимі є постійною. Строго кажучи цей процес не може бути стаціонарним, через постійне зміни радіуса краплі і, отже, швидкості випаровування. Але в разі, коли концентрація пари краплі в середовищі незначна процес можна вважати квазістаціонарним.

Розглянемо два механізми зміни тепла в процесі випаровування краплі. Теплообмін між газом і рідиною. А так же винесення енергії який виробляється випарувалася рідиною. Теплообмін з навколишнім середовищем визначається формулою

$$q_1 = s \frac{\lambda}{r} (T_{\text{inf}} - T_k)$$

де  $s$  це площа теплообмінної поверхні яка знаходиться в контактї з навколишнім середовищем. У нашому випадку це площа поверхні краплї:

$$s = 4\pi r^2$$

$$q_1 = 4\pi r^2 \frac{\lambda}{r} (T_{\text{inf}} - T_k)$$

Тепловий потїк при випаровуванні рідини з поверхні краплї можна виразити таким чином:

$$q_2 = -(cT_k + H) - \frac{4\pi D_f * r * M}{RT} * (P_d - \nu P_{h0})$$

Підставимо те що ми знаємо у рївняння:

$$q_i = 4\pi r^2 \frac{\lambda}{r} (T_{\text{inf}} - T_k) + \left[ -(cT_k + H) - \frac{4\pi D_f * r * M}{RT} * (P_d - \nu P_{h0}) \right]$$

$\lambda$ - коефіцієнт теплопровідності газу,  $\nu$ - кількість речовини що випаровується

Провївши співвідношення швидкостї руху потоку і руху частинок в них зі швидкїстю випаровування крапель можна розрахувати в якому мїсці фільтра контактного теплообмінника все краплї випаруються. Провївши цї розрахунки можна зробити висновок про те що при довжинї дїлянки 540 мм і при збереженнї швидкостей все краплї випаруються на дїлянцї 200 мм від мїсця уприскування речовини.

#### Список літератури

1. «Фїзико-математична модель випаровування крапель дрібнодисперсних аерозолїв» А.А. Антонїкова, Н.В. Коровїна, О.Б. Кудряшова, І.М. Васенїн. УДК 621.45.042: 532.592.2: 544.772 ОБЩАЯ І ТЕОРЕТИЧНА хї.
2. «Незвичайна життя звичайної краплї» Волинський М. С.В70 Незвичайна життя звичайної краплї . - \* М .: Знание, 1986.- 144 с. (Наука і прогрес). ББК 22.253.3 В70.
3. А. В. Ликов. "Теорїя сушки", 1968.
4. ФУНДАМЕНТАЛЬНІ ДОСЛїДЖЕННЯ №10, 2006 Успїхи сучасного естествознанїя Фїзико-математичнї науки Розрахунок часу іспаренїядїсперсних частинок Дохов М.П. Кабардїно-Балкарська державна сїльськогосподарська академїя 65-6.

## ОСОБЛИВОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ РОХРАХУНКОВОГО ТИСКУ ДЛЯ СТАЦІОНАРНИХ ТА ПЕРЕСУВНИХ ПОСУДИН З НАФТОПРОДУКТАМИ

*Іваніна Н.Л., інженер-конструктор;  
ТОВ «ГСКБВ ім. В.М. Бубнова», м. Маріуполь, Україна*

Нафта та продукти її переробки (карбюраторне і дизельне пальне, паливо для повітряно-реактивних двигунів, розчинники та ін.) представляють певну небезпеку для людей та довкілля, тому вимоги до стаціонарних та пересувних посудин для цих продуктів і умови їх зберігання й транспортування регламентуються низкою державних та міждержавних стандартів (ГОСТ 1510, ГОСТ 34233.1 – ГОСТ 34233.6, ГОСТ Р 52630, ГОСТ 33666, DIN EN 14025, DIN EN 13094, ДСТУ СТБ EN 13445 та ін.) і Правил ([1] та ін.), а для міжнародних перевезень – також і міжнародними документами (ДОПОГ, СМГС, МОПОГ). Зокрема, ці документи передбачають, що на етапі проектування посудини виконується її розрахунок на міцність. При цьому особлива увага приділяється посудинам, у яких при нормальному протіканні процесу зберігання чи транспортування внутрішній надлишковий тиск пари нафтопродукта, що виникає від випаровування при природному награванні (тобто робочий тиск), досягає 0,05 МПа [2], 0,07 МПа [3] та 0,11 МПа (ДОПОГ, СМГС). «Правила...» [3], що діяли протягом багатьох років в СРСР, розповсюджувались на посудини з робочим тиском понад 0,07 МПа, у багатьох колишніх союзних республіках нині скасовані, однак їх основні положення лягли в основу нині діючих «Правил...» у Росії, Білорусі, Казахстані. У Армнії користуються правилами ПБ 03-576-03, що були чинними в Росії до 2014 р. В Україні також були прийняті схожі Правила – ДНАОП 0.00-1.07-94, проте у 2012 р вони були скасовані, і до 2019 р тут були чинними «Правила...» у попередній редакції 1987 г (НПАОП 0.00-1.59-87, раніше відомі як [3]); в 2019 р і вони в Україні були скасовані. В 2018 р в Україні був прийнятий НПАОП 0.00-1.81-18. Судячи з назви та змісту цього документа, його положення стосуються, в основному, не проектування посудин, а їх експлуатації, ремонту і модернізації, проте у цьому документі є, наприклад, вказівки щодо визначення випробного тиску, норми заповнення цистерн та інші положення, які необхідно враховувати також і при проектуванні.

Внутрішньодержавні нормативні документи, що діють в Україні, Росії, Білорусі розрахункову температуру стінки для посудини з нафтопродуктами в даний час строго не регламентують (вимога проводити розрахунок при 50°C стосується тільки цистерн зі зрідженими газами; з урахуванням кліматичних умов експлуатації розрахункова температура стінки може бути як менше, так і більша цієї величини). До того ж, температура 50°C трактується цими документами по-різному: в російських і білоруських «Правилах...» це температура зовнішнього повітря, а в українських і казахських (як і в скасованому [3]) чітко не визначено, що саме за

температура 50°C: температура зовнішнього повітря, середньомасова температура робочого середовища чи температура робочого середовища на поверхні розділу рідкої і парової фаз. Міжнародні же документи (ДОПОГ, СМГС) вимагають проведення розрахунку на міцність посудин (в тому числі - з нафтопродуктами) також при 50°C, але в даному випадку це температура не зовнішнього повітря, а саме робочого середовища. Таким чином, для визначення розрахункового тиску для резервуара або цистерни з нафтопродуктом необхідно знати його робочий тиск – тиск насиченої пари при температурі 50°C або близькій до неї.

Нафтопродукти мають в своєму складі багато компонентів, і тиск їх насичених парів залежить не тільки від температури, а й від співвідношення рідкої та парової фаз. Стандарти же на нафтопродукти регламентують тиск насиченої пари при умовах, відповідним випробуванням в найбільш простому і розповсюдженому приладі (бомбі Рейда) при 38°C і співвідношенні рідкої та парової фаз 1:4, і то лише для тих нафтопродуктів, для яких тиск насиченої пари є одним з основних властивостей, що визначають якість (тобто для автомобільних та авіаційних палив). Але, незважаючи на те, що перевозка нафтопродуктів займає одне з лідируючих місць в структурі вантажообігу, а нафтопродукти відносяться до небезпечних вантажів, довідкових таблиць або загальноприйнятої затвердженої методики визначення тиску насиченої пари нафтопродуктів для умов транспортування на даний час немає. Є лише ряд більше чи менше відомих емпіричних формул (формули Антуана, Ашворта, Вільсона, Ріделя, П.А. Рібакова, Ф.Ф. Абузової, В.П. Антонченкова, Н.І. Тихонова та ін.), виведених дослідниками різних країн при роботі з нафтопродуктами, отриманими за різними технологіями і із нафт різних родовищ. Деякі з цих формул призначені для продукту конкретної марки (наприклад, для палива ТС-1), інші - для індивідуальних вуглеводнів чи вузьких нафтових фракцій (проте використовуються для інженерних розрахунків і в більш широкому діапазоні). Є також більш універсальні, але, зазвичай, разом з тим і більш складні залежності (Н.А. Шамової - Є.Ф. Трапезнікової - С.А. Ахметова, Д.В. Лісафіна - В.П. Лісафіна та інші).

#### Список літератури

1. Правила дорожнього перевезення небезпечних вантажів [затвердж. Наказом №656 МВС України від 04.08.2018; зареєстр. в Мін'юст України №1041/32493 від 11.09.2018].
2. Технічний регламент обладнання, що працює під тиском [затвердж. Постановою КМ України №27 від 16.01.2019].
3. Правила устройства и безопасной эксплуатации сосудов, работающих под давлением /Утв. Госгортехнадзором СССР 27.11.87 г. - М.: Недра, 1989. - 135 с.



**СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»**

## ВИЗНАЧЕННЯ ГЛЮКОЗИ МЕТОДОМ ЙОДОМЕТРИЧНОГО ТИТРУВАННЯ В МЕДИЧНИХ ПРЕПАРАТАХ

*Іващенко К.М., Савчук М.О., студенти групи МЦМ-906, Воробйова І.Г.  
доцент кафедри ТПХ*

Одним з основних напрямків використання глюкози є медицина. Лікарська практика заснована на дезінтоксикаційних і метаболічних властивостях глюкози. Її використовують

- в таблетованій формі для перорального застосування глюкоза розширює судини і виконує седативний вплив, поповнюючи енергозапаси організму, розвиває інтелект і сприяє фізичній активності;

- в розчинах, призначених для вливань інфузійно глюкоза нормалізує кислотно-лужний баланс;

- в ін'єкційних розчинах глюкоза збільшує осмотичний тиск крові, розширює судини, інтенсифікує відтік рідких середовищ з тканин, підвищує утворення сечі, а відповідно і активізує обмін речовин, присутніх в печінці, нормалізує скорочення серцевого м'яза.

У зв'язку з цим, метою нашої роботи було вивчення методів якісного і кількісного визначення глюкози в медичних препаратах, діючою речовиною яких є глюкоза.

Глюкоза (глюкогексоза, декстроза, виноградний цукор) - моносахарід, біла кристалічна речовина без запаху, добре розчиняється у воді, в дігідроксотетраамміакаті міді, насиченому розчині хлористого цинку, з температурою плавлення 146 °С. Якісні реакції на глюкозу засновані на м'якому окисненні альдегідної групи з утворенням Д-глюконової кислоти (реакції Толленса, Бенедикта, Фелінга) [1].

Для кількісного визначення глюкози використовують методи рефрактометрії і йодометричного титрування у водних розчинах [2]. Йодометричне визначення глюкози засноване на відновлювальних властивостях її розчинів по відношенню до неорганічних окислювачів з використанням методу зворотного титрування.

Проведені нами визначення глюкози в продажних препаратах методом йодометрії показали надійність даного методу і можливість його використання в лабораторному практикумі і наукових дослідженнях.

### Список літератури

1. Фармакологія: навчально-методичний посібник / І.В. Луцак, К.М. Римарчук, Т.Р. Зубрицька та ін. - Всеукраїнське спеціалізоване видавництво «Медицина», 2018 – с.344
2. Фармакологія на допомогу лікарю, провізору та студенту: підручник-довідник для студ. вищ. навч. закладів / С. М. Дроговоз, В. В. Страшний. – Х.: Издательський центр ХАИ, 2002. – 480 с.

## МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ МЕТАНОЛУ В ТЕХНІЧНИХ РІДИНАХ

*Большаніна С.Б., доцент кафедри ТПХ, Гоменюк В.В., Колесник Д.В.  
студенти гр. МБ-91*

На сьогоднішній день в Україні немає вітчизняних ГОСТів і загальнодержавних стандартів, які регламентували б вимоги до складу рідин, що використовуються в автомобілях для омивання скла. З цієї причини виробники випускають даний продукт по самостійно розробленим технічним умовам, до складу яких, часто входять технічні спирти. В якості такого компонента використовують метанол (метиловий спирт). Це пов'язано з його відносною дешевизною, здатністю водних розчинів витримувати низькі температури і відсутністю різкого запаху (запах метанолу схожий з запахом етилового спирту). Але при цьому слід розуміти, що такий продукт є вкрай небезпечний. Метанол – отрута, що діє на нервову і судинну системи. При вдиханні парів метанолу, або при попаданні на шкіру можуть виникати порушення зору і запаморочення, а при внутрішньому вживанні смертельні наслідки. Для встановлення точного складу такого типу рідин використовується газохроматографічний метод із застосуванням газового хроматографа з плазмено-іонізаційним детектором. Такий аналіз достатньо дорогий і вимагає наявності відповідної апаратури і персоналу, що не завжди можна вчасно знайти. Тому, для швидкого визначення присутності метанолу в зразках рідин, пропонується метод якісного визначення з фуксінсерністим реактивом.

Хід проведення аналізу. 1 мл аналізованого зразку омивачу змішують в мірній колбі з водою в співвідношенні 1:100. Піпеткою відбирають з мірної колби 1 мл аліквоти та змішують в пробірці з 5 мл розчину марганцевокислого калію і 0,4 мл 65%-вого розчину сірчаної кислоти і ретельно перемішують. Після закінчення рівно через 3 хв при перемішуванні до суміші доливають 1 мл розчину щавлевої кислоти. Коли рідина набуває слабо-жовтого забарвлення, до неї доливають з бюретки 1 мл концентрованої



сірчаної кислоти і перемішують до повного знебарвлення. Після цього додають 5 мл фуксінсерністого реактиву, перемішують і залишають у спокої на 20 хв. Наявність характерного малинового забарвлення (Рис.1) свідчить про присутність метанолу. Для порівняння розчин етилового спирту при проведенні такого ж аналізу має жовто-буре забарвлення.

Рис.1. Результати якісного

визначення метилового спирту в зразках омивачів, в чистому метанолі і в етиловому спирті.

## СИНТЕЗ ТА ХАРАКТЕРИСТИКА НАНОЧАСТИНОК СРІБЛА

Ворожцов Д.О., студент; СумДУ, гр. МБ-91, Пшеничний Р.М., доцент, кафедри ТПХ

Шалений розвиток нанотехнологій сприяє прогресу в науці, техніці, промисловості, медицині, захисту навколишнього середовища, сільському господарстві та інших галузях. Вчені всього світу проводять інтенсивні дослідження з нанотехнологій, наноелектроніки, наномедицини, наноматеріалів. Сьогодні нанотехнології посідають передові позиції серед інших напрямків розвитку науки, зокрема у хімії та фізиці.

Наші дослідження ґрунтуються на хімічних методах синтезу – відновлення срібла з солі  $\text{AgNO}_3$ . Відновниками були використані гідразин гідрат, аскорбінова кислота, глюкоза гідрат в аміачному середовищі, натрій гіпофосфіт. Один варіант синтезу був проведений термічним розкладом аргентум нітрату в середовищі етиленгліколю при  $160\text{ }^\circ\text{C}$ . Як стабілізатор наночастинок у водному розчині використовували полівінілпіролідон (PVP). Структуру нанокристалів  $\text{Ag}$  та розмір областей когерентного розсіювання (ОКР) від них, визначали за результатами РФА-аналізу (рис. 1) та розрахунками з використанням формули Шеррера:

$$D = \frac{K\lambda}{\beta \cos\theta}$$

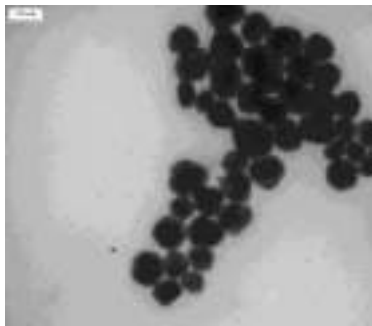
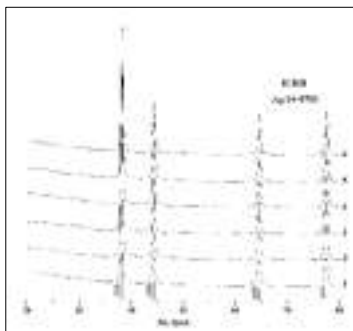


Рисунок 1. – Рентгендифракційний спектр та мікрофотографія ПЕМ синтезованих наночастинок срібла

За результатами рентгенофазового аналізу встановлено, що у всіх випадках утворюється однофазний продукт кубічної сингонії ( $Fm\bar{3}m$  пр. гр.), що добре відповідає стандартній картотці ICDD  $\text{Ag}$  №04-0783. За мікрофотографіями ПЕМ (рис. 1) виявлено, що наночастинки  $\text{Ag}$  мають неправильну сферичну форму та схильні до агрегації. Розрахунки ОКР показали, що найменші розміри кристалітів ( $\approx 13$  нм) утворюються при термічному розкладанні  $\text{AgNO}_3$ .

## ПОТЕНЦІОМЕТРИЧНЕ ТИТРУВАННЯ

*Ярова Т.Ю. та Кулемза С., студентки, СумДУ, гр.МБ-91, Манжос О.П.,  
доцент, кафедри ТПХ*

Потенціометричне титрування – спосіб визначення концентрації обумовленого компонента в розчині шляхом спостереження за зміною потенціалу індикаторного електрода, що знаходиться в рівновазі з визначеним іоном.

У потенціометрії можливо вимір потенціалу електрода як функції активності (концентрації) визначається компонента (пряма потенціометрія) і вимір потенціалу як функції обсягу реагенту, який додається до проби (потенціометричні титрування). При потенціометричному титруванні використовують хімічні реакції різних типів, в ході яких змінюється концентрація іонів: кислотно-основна взаємодія, окиснення-відновлення, реакції осадження і комплексоутворення.[1]

В потенціометричному титруванні в якості індикатора використовують електроди потенціометра, опущенні в розчин. В процесі титрування змінюється концентрація іонів, що реєструється на шкалі потенціометра. Записавши значення потенціометра в одиницях рН або мВ, будують графік їх залежності від обсягу титрату – криву титрування, визначають точку еквівалентності і обсяг титрату, витрачений на титрування.

$$pH = pH_{(p-p)} + \frac{E - E_0}{2,302RT/F}$$

Залежно від природи речовини підбирають відповідний індикаторний електрод, який може бути скляним або металевим (наприклад, платиновим, золотим або срібним). Для вимірювання рН використовують гальванічний елемент, складений зі скляного індикаторного електрода і хлорсрібного електрода зрівняння.

Головна перевага потенціометричного методу порівняно з іншими – експресний аналіз і простота проведення вимірювань.

Потенціометричні вимірювання відносяться до групи неруйнуючих способів контролю, аналізований розчин після вимірів може бути використаний для подальших досліджень. Похибка визначення прямим потенціометричним методом становить 2-10%, а потенціометричним титруванням 0.1-0.5%.[1]

### Список літератури

1 Борщ Н. А., Горбачева Л.А. Электрохимические методы анализа: методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Аналитическая химия», Курск, 2017. 22 с

# НАНОКОМПОЗИЦІЙНІ МАТЕРІАЛИ НА ОСНОВІ ГІДРАТОВАНОГО ДІОКСИДУ ЦИРКОНІЮ ДЛЯ ВИДАЛЕННЯ АНІОНІВ Cr (VI) I F<sup>-</sup> ІЗ ВОДНИХ РОЗЧИНІВ

*Руденко О.С., Дзязько Ю.С.*

*Інститут загальної та неорганічної хімії ім. В.І. Вернадського НАН України  
03142, Київ, проспект Ак. Палладіна, 32/34  
rudenkochemas@gmail.com*

Синтезовано селективні накомпозиційні мембрани на основі макропористої керамічної матриці (70 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> + 30% ZrO<sub>2</sub>), яка містить наноккомпозит гідратованого діоксиду цирконію (ГДЦ, іонообмінна складова) та оксинітрату вісмуту (ОНВ, селективна складова). Отримання композиційних мембран включало модифікування неорганічної матриці наноккомпозитом ГДЦ-ОНВ. Синтез включав: отримання золю ГДЦ; отримання суспензії ОНВ в золі при використанні ультразвукової активації; імпрегнування матриці в суспензії; осадження гідрогелю в порах матриці; трансформація гідрогелю в ксерогель.

ТЕМ-зображення йонітів (рис.1.) були отримані за допомогою електронного мікроскопу Leo 912 in-column CRYO EFTEM із спектрометром OMEGA. СЕМ-зображення поперечного зрізу мембран були одержані за допомогою електронного мікроскопу ZEISS EVO 50XVP. Попередньо на поверхню наносили золоте покриття за допомогою пристрою SPI Module™ Sputter 12151-AX при тиску 10<sup>-3</sup> атм.

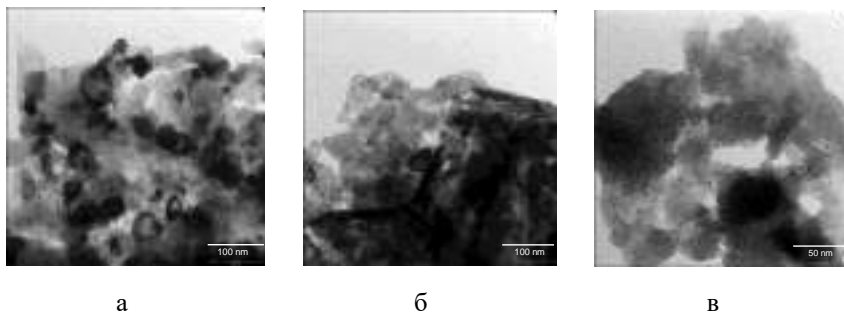


Рис. 1. ТЕМ-зображення частинок ГДЦ (а), ОНВ (б), ГДЦ-ОНВ (в).

Повну сорбційну ємність отриманих неорганічних йонітів за Cl<sup>-</sup> визначали наступним чином: наважку ОНВ обробляли 0,1 М НСІ 48 год., після чого надлишок кислоти відтитрували NaOH. Сорбційну ємність ГДЦ, наноккомпозиту ГДЦ та ОНВ, а також мембран за різних значень рН визначали за десорбцією Cl<sup>-</sup>

Досліджено можливість використання отриманих мембран модифікованих ГДЦ і композиційних мембран модифікованих частинками ГДЦ-ОНВ (іоніт вводили до матриці 7-кратно), для знесолювання розчинів, які містять аніони  $\text{Cr(VI)}$  і  $\text{F}^-$  методом електродіалізу. При прокачуванні розчину, який очищується, через камеру знесолення відбувався процес поглинання  $\text{Cr(VI)}$  йонітом та перенос його до анодного відділення [1].

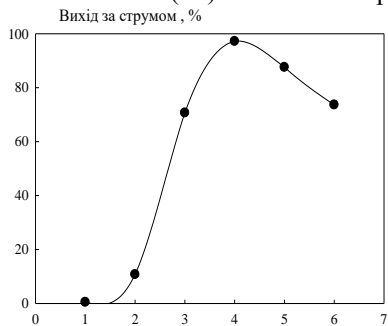


Рис.2

Рис.2. Вихід за струмом для іонів  $\text{Cr(VI)}$  при силі струму 25 мА для керамічної матриці (1), мембрани модифікованої ГДЦ (2), мембран модифікованих іонітом на основі ОНВ-ГДЦ з 2, 4, 6 і 7 циклами модифікування.

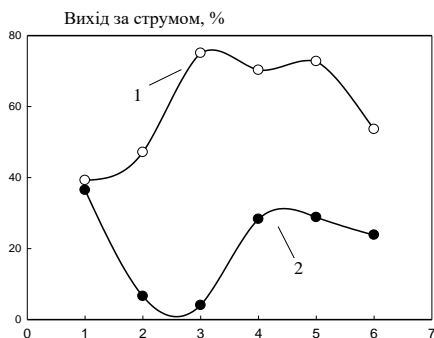


Рис. 3.

Рис. 3. Вихід за струмом для іонів  $\text{F}^-$  (1) та  $\text{Cl}^-$  (2) при силі струму 5 мА від типу мембрани: 1 – неорганічна матриця, 2 – мембрана модифікована ГДЦ, 3-6 – модифіковані мембрани з 2, 4, 6 та 7 шарами селективного іоніту.

Таким чином було показано, що використання мембран з високим ступенем заповнення наноккомпозитом дозволяє здійснювати електродіалізне вилучення вказаних аніонів при цьому ступінь вилучення  $\text{Cr(VI)}$  і  $\text{F}^-$ , – при цьому ступінь вилучення аніонів  $\text{Cr(VI)}$  сягає 96%, а  $\text{F}^-$  – 78% [2].

#### Список літератури

1. Дзязько Ю.С., Руденко О.С., Юхін Ю.М., Пальчик О.В., Пономарьова Л.М. Неорганічні мембрани, модифіковані наночастинками іонітів, для вилучення аніонів  $\text{Cr(VI)}$  з водних розчинів // Укр. хім. журн. – 2014. – Т. 80, № 2. – С. 71-75.
2. Руденко А.С., Дзязько Ю.С., Беляков В.Н., Цыба Н.Н., Юхін Ю.М. Неорганические мембраны, модифицированные наноккомпозитом гидратированного диоксида циркония и оксинитрата висмута для селективного извлечения ионов  $\text{F}^-$  из водных растворов // Ученые записки Таврического национального университета им. В.И. Вернадского – 2011. – Т. 24 (63), № 3. – С. 172-175.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ЧАЮ

Радченко О. І., учениця 11 класу КУ Сумської спеціалізованої школи I–III ступенів №2 імені Д. Косаренка, Семиліт А. С., керівник секції «Хімія» МАН ОЦПО та РТМ, Пономарьова Людмила Миколаївна, к.х.н., доцент каф. ТПХ

Цінність такого унікального виду напою як чай важко переоцінити. Цей напій має не лише цікаву історію. Чай відноситься до тих небагатьох напоїв, які вживають люди щодня. Очевидно, популярність цього напою не можлива була б без його корисних властивостей, що визначаються багато численним за кількістю сполук складом. Сам чайний листок багатий на різні хімічні сполуки, основними з яких є поліфеноли, вміст яких може становити до 40% сухої маси листа. Є також амінокислоти, ферменти, метилксантини, такі як кофеїн, мінерали та вітаміни, а також понад 700 ароматичних сполук у слідових кількостях [1, 2].

Мета роботи: якісне визначення хімічного складу чаю різних торговельних марок, зокрема вмісту глюкози, вітамінів С та Е, танінів, кофеїну, штучних барвників.

Поліфеноли – також відомі як дубильні речовини, таніни – на сьогоднішній день є найбільшою групою сполук у чаї. У чашці чаю вони значною мірою забезпечують терпкість, колір та аромат. Вважається, що вони мають антиоксидантні властивості, а одна чашка чаю може містити 240 мг поліфенолів. Окрім антиоксидантів, чай добре відомий своїми стимулюючими властивостями від кофеїну, вміст якого – від 1 до 6% сухої ваги. Теобромін та теофілін – дві сполуки, схожі на кофеїн, і ці три метилксантини разом сприяють гіркому смаку в чаї. Вміст кофеїну в чашці чаю коливається від 20 до 70 мг на 170 мл приблизно від 2,5 г чайного листа, але сильно залежить від часу настоювання та типу чаю. У порівнянні з чашкою кави 40–155 мг кофеїну на 170 мл [2].

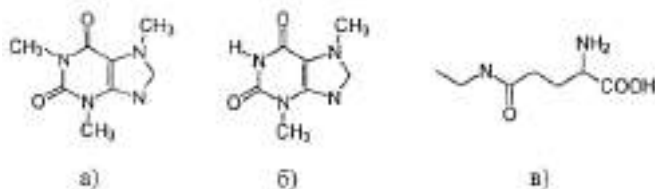


Рисунок 1 – Нітрогеновмісні сполуки чаю: а) кофеїн, б) теобромін, в) теанін.

Хімічний склад чаю на сьогодні залишається невивченим, особливо хімічні процеси, які відбуваються під час обробки чорного чаю. Наприклад, багато летких ароматичних сполук, що відповідають за аромат, не існують у свіжих чайних листках і виникають лише під час переробки.



Відповідно до [3] всі досліджувані зразки чаю були проаналізовані щодо вмісту глюкози, вітамінів С та Е, танінів, кофеїну, штучних барвників. Результати представлені в табл. 1.

Таблиця 1 – Результати досліджень складу чаю у пакетованих та листових зразках

Назва чаю		Вміст аскорбінової кислоти, мг	Глюкоза	Таніни	Кофеїн	Вітамін Е	Барвники
Пакетовані	Lipton®	4,97	+	+	не досліджували	не досліджували	штучні
	Розумний вибір®	4,97	+	+			штучні
	Мономах®	10,01	+	+			штучні
Листові	Grace®	10,01	+	+	+	+	природні
	Ahmad Tea®	7,49	+	+	++++	не досліджували	природні
	Nadin®	6,27	+	+	++		природні
	Ромашка	4,97	+	+	не досліджували		природні

За результатами виконаного експерименту, всі зразки містили вітамін С, глюкозу та таніни. Найбільший вміст вітаміну С у зразках чаю Мономах® та Grace®, а найменший – у зразках Lipton®, Розумний вибір®, Ромашка, при чому вміст в останніх менший удвічі. Крупнолистові розсипчасті зразки чаю містять кофеїн у великій кількості (AhmadTea® та Nadin®), а у пакетованих дрібнолистових – практично відсутній (Lipton® та Мономах®). Зразки чаю у пакетиках містять значну кількість штучних барвників, які можуть забарвлювати навіть холодну воду, а у складі розсипчастих вони або відсутні, або містяться у зовсім незначних кількостях.

#### Список літератури

1. Harbowy, M. E., Balentine, D. A., Davies, A. P., & Cai, Y. (1997). *Tea Chemistry. Critical Reviews in Plant Sciences*, 16(5), 415–480. doi:10.1080/07352689709701956

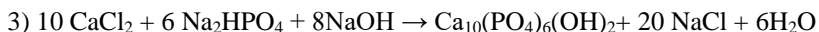
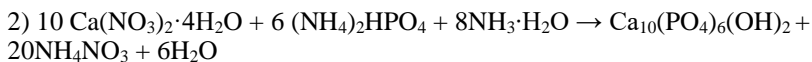
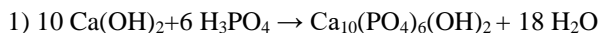
2. The chemistry in your cuppa К. Megget (2016). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.chemistryworld.com/features/the-chemistry-in-your-cuppa/2500010.article>

3. Чай чорний байховий фасований. Технічні умови: ДСТУ 7174:2010 [Чинний від 2010-11-30]. – К.: Держспоживстандарт України, 2011. – 12 с. – (Державний стандарт України).

## DEGRADATION RATE OF MICROSPHERES BASED ON HYDROXYAPATITE AND HYDROXYAPATITE - ALGINATE

*Ilya Yanko, student MTs.m-801; Yanovska Anna, PhD, lecturer in Theoretical and Applied Chemistry Department, Yevheniia Husak, Researcher, Center for the collective use of scientific equipment.*

Nowadays, there are a lot of studies dedicated to discovering new materials for bone healing. Using Hydroxyapatite (HA) as a basis would be favorable as it is a major substance in all human bone tissues (50% concentration in total bone mass and 96% – in enamel). Moreover, it is possible to combine it with biopolymers such as alginate, which will give it an opportunity for better absorption of water, swelling and filling up bone prolapses or to be used for drug release properties because of excellent sorption ability of HA [1]. In our research the degradation rate of HA was studied in the form of microspheres in the Simulated Body Fluid solution (SBF) which has the same mineral composition as human blood plasma. In this work HA was synthesized by three following ways:



Then HA was washed more than three times until neutral pH was obtained. Later, prepared HA slurry was mixed with 3% Sodium Alginate (Alg) in relation 3:1. The obtained viscous solution was added dropwise into 0.1 M  $\text{CaCl}_2$  solution for obtaining of HA-Alg granules. It is possible due to ability of Sodium Alginate to form complexes with bivalent ions [2].

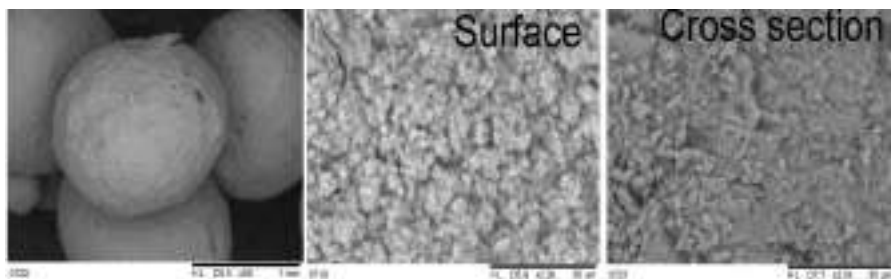


Figure 1. SEM images of HA-Alg microspheres obtained in synthesis 2.

Obtained microspheres (Fig. 1) were dried at 80°C for 12 h, sample 3 was sintered at 800°C and freeze-dried for comparison. To study the in vitro degradation all test samples were immersed in the SBF solution for different time periods (1,7 and 14

days). SBF was prepared by the following protocol [3]. The solution was buffered at pH = 7.4. Three series of granules in each group were weighted before treatment. Each group was immersed individually in 2 mL of SBF solution at 37 °C in a polyethylene Eppendorf tubes. The solution was refreshed every 2 days during the experiments. After 1, 7 and 14 days of immersion the absorbed liquid was removed and measured and the granules after SBF immersion were air dried at room temperature and weighted to determine the mass change. Results of this measurements is presented in Fig. 2.

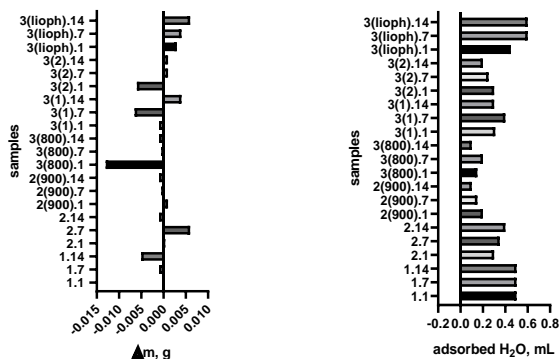


Figure 2. *In-vitro* degradation test in SBF. Number of the samples and amount of days (1,7,14) are shown in y-axis, adsorbed water and  $\Delta m$  by x-axis.

All obtained granules show degradation rate  $\approx 0.001$ - $0.006$  g. Two processes could be observed in SBF solution. First one is degradation, which shows ability to degrade with time in human organism. Second one is biocompatibility that can be observed as mass growth of the sample due to the presence of  $\text{Ca}^{2+}$  and  $\text{PO}_4^{3-}$  ions in SBF solution and newly formed HA phase. So,  $\Delta m$  involved both of this processes. It can be seen that for sample 1 degradation is observed, For sample 2 first we observe mass growth and after 14 days – degradation. The same is observed for sample 2 at 900°C. Sample 3 (1) and 3 (2) have first degradation and than mass growth, sintered at 800°C sample 3 show degradation, besides sample 3 after freeze-drying shows the mass growth.

1. Ginebra M.P., Traykova T., Planell J.A. Calcium phosphate cements as bone drug delivery systems: a review. *J. Control Release* 113 (2006) 102–110.
2. Goh C. H., Heng P. W. S., Chan L. W. Cross-linker and non-gelling  $\text{Na}^+$  effects on multi-functional alginate dressings. *Carbohydrate Polymers* 87 (2012) 1796–1802.
3. Cüneyt Tas A. Synthesis of biomimetic Ca hydroxyapatite powders at 37°C in synthetic body fluids. *Biomaterials* 21(14) (2000) 1429–1438.

## БІОХІМІЯ ХОЛІНУ

*Сіробаба В. О., студ.гр.МЦМ-901; Леунов О. Г., студ.гр.МЦМ-901;  
Лицман Ю. В., доцент кафедри ТПХ*

Холін (2-гідроксиетилтриметиламоній гідроксид) – аміноспирт, який міститься в організмі людини, є вітаміном групи В - В<sub>4</sub> і має важливе біологічне значення. Саме тому для майбутніх лікарів він є цікавим об'єктом вивчення.

Холін – безбарвна кристалічна речовина з температурою плавлення 180°C (з розкладанням), гарно розчинна у воді, метанолі та етанолі, погано розчина у бензені, толуені, діетиловому та петролейному етерах, сірковуглеці та тетрахлорометані. Як гетерофункціональна сполука холін виявляє властивості, що зумовлені наявністю у його складі різних функціональних груп: за рахунок гідроксильної групи він виявляє властивості спиртів, за рахунок аміногрупи – амінів. Подібно до інших аміноспиртів холін має нуклеофіольні властивості, також він є сильною основою (pK<sub>b</sub>=5,6) [1].

Отримання холіну відбувається шляхом метилування 2-аміноетанолу (коламіну) або конденсації триметиламіну з етиленоксидом чи етиленхлоргідрином. В організмі людини холін може утворюватися в обмежених кількостях з серину.

Біологічна роль холіну виявляється за рахунок його сполук – ацетилхоліну та фосфоліпідів (фосфатидилхолінів (лецитинів) й сфінгомієлінів). У синтезі похідних холіну бере участь його гідроксильна група. Ацетилхолін синтезується в організмі за допомогою фермента холін-ацетилтрансферази та та ацетил-кофермента А. Ацетилхолін є головним медіатором парасимпатичної нервової системи [2, с. 103]. У синтезі фосфоліпідів однією з початкових стадій є фосфорилювання холіну за допомогою АТФ та ферменту холінкінази. Фосфохолін, що утворюється, взаємодіє з цитидинфосфатом з утворенням цитидинфосфохоліну, що сприяє введенню холіну у молекулу ліпиду. Холіновмісні фосфоліпіди є складовими клітинних мембран. Холін є джерелом метильних груп у біохімічних реакціях метилування, зокрема у біосинтезі метіоніну. У медичній практиці використовуються лікарські препарати, що містять у своєму складі похідні холіну. Значущість холіну для організму людини зумовлює його добову потребу від 0,25 до 4 г. Недостатня кількість холіну у поєднанні з дефіцитом білка може спричинити жирову дегенерацію печінки та її цироз. З продуктів харчування баті на вміст холіну є м'ясо, риба, яєчний жовток, борошно сої.

### Список літератури

1. Черных В.П., Зименковский Б.С., Гриценко И.С. Органическая химия / Под общ. ред. В.П. Черных. — 2-е изд. — Х., 2007.
2. Біоорганічна хімія / Б.С. Зіменковський та ін. — К. : ВСВ «Медицина», 2014. — 272 с.

## ПОРІВНЯННЯ ВЛАСТИВОСТЕЙ РОЗЧИННИКІВ ЯКІ ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ У МЕДИЦИНІ

*Мело Каміно Джіммі Александер, студент, гр. МЦ.м-931р,  
Диченко Т.В., ст. викладач, кафедра ТПХ*

У даному дослідженні використані літературні джерела та інтернет ресурси [1, 2, 3]. Ми порівнювали властивості деяких розчинників які застосовуються у медицині.

Більшість хімічних реакцій відбувається у розчинах. Ідеальний розчинник повинен бути інертним середовищем, не додавати до системи своїх особистих властивостей. Від нього потрібно тільки транспортування, розподіл та запобігання від контакту між собою частинок однієї або декількох розчинених речовин. Насправді такого ідеального інертного середовища не існує. Окремі типи розчинників тільки в якійсь мірі наближаються до його характеристик. Унікальне місце серед розчинників займає вода: вона розчиняє велику кількість речовин і знаходиться в рідкому стані за температури найбільш зручною для ведення багатьох процесів. Але вода не ідеальний розчинник, тому що, більшість сполук, що потрапляють у неї, змінюють свої властивості. У водних розчинах можуть розмножуватися мікроорганізми.

Застосування неводних розчинників (спиртів, етерів, естерів, амідів, сульфоксидів, рослинних олій та ін.) дозволяє отримувати розчини малорозчинних або нерозчинних у воді речовин, усувати гідроліз. Ці розчинники мають бактерицидні та стабілізуючі властивості. Однак неводні розчинники можуть бути токсичними, в'язкими, викликати місцеву подразнюючу дію, біологічно і хімічно несумісні з розчиненою речовиною. Наприклад, для лікарських засобів, які не розчиняються у воді, застосовують в якості індиферентних розчинників рослинні олії: в ліках для зовнішнього застосування використовують соняшникову, а для ін'єкцій – перикову олію. До недоліків масляних розчинів слід віднести їх відносно високу в'язкість, хворобливість ін'єкцій, погане розсмоктування і можливість утворення гранульом у місці введення. Для зменшення в'язкості в деяких випадках додають етери або естери. Розчинність деяких речовин в оліях збільшують шляхом додавання співрозчинників або солубілізаторів (бензилового спирту, бензилбензоату), які одночасно підвищують і стабільність масляних розчинів. Найчастіше олії застосовують для внутрішньом'язових ін'єкцій і досить рідко – для підшкірних.

Таким чином, вибираючи розчинник, потрібно враховувати його властивості та властивості розчиненої речовини.

Список літератури

- 1 <https://studopedia.info/2-90798.html>
- 2 [http://ztl.nuph.edu.ua/html/medication/chapter19\\_07.html](http://ztl.nuph.edu.ua/html/medication/chapter19_07.html)
- 3 <http://www.medical-enc.ru/16/rastvoriteli.shtml>

## МУЛЬТИМЕДІЙНІ ДОДАТКИ З НЕОРГАНІЧНОЇ ХІМІЇ

*Звоник К. В., студ.гр.МБ-91/ПХ; Ліцман Ю. В., доцент кафедри ТПХ*

Навчально-методичний посібник для підготовки та проведення лабораторних робіт, зокрема з неорганічної хімії, на нашу думку, має містити інструкції в стислому зрозумілому вигляді, демонструвати реальні об'єкти, з якими студентів потрібно буде працювати в лабораторії, бути представленим у зручній формі, якою можна скористатися у зручний час за допомогою власних мобільних пристроїв. У відповідності до цих вимог ми розробили мультимедійні додатки до лабораторних робіт з неорганічної хімії за такими темами: «Сполуки Мангану», «Сполуки Хрому, Молібдену, Вольфрам», «Фосфор та його сполуки», «Сполуки Ванадію». Для створення додатку було зроблено фото всіх видів обладнання, посуду реактивів, що використовуються під час лабораторної роботи; проведено експерименти та зроблено фото або відео всіх етапів їх проведення; розроблено схему представлення дослідів; створено додаток-презентацію, яку розміщено у Google класі [1].

Мультимедійний додаток містить традиційні розділи: «обладнання», «реактиви», «досліди», які подані нетрадиційно. Текстова інформація є лише у формі назв роботи, дослідів, обладнання. Вся інша інформація надана у вигляді покрокових схем виконання дослідів з чітким показом етапів експерименту. Також зауважимо, що у деяких випадках очікуваний колір розчину або осаду продубльовано у формі кольорового прямокутника.

Результати анкетування студентів щодо їх ставлення до мультимедійних додатків на прикладі додатку до роботи: «Сполуки Мангану» показали, що 100% опитаних вважають інструкції, надані до виконання дослідів робіт є зрозумілими і додаток варто застосовувати у навчальному процесі.

Використання додатків у навчальному процесі доцільно здійснювати на етапі самостійної підготовки студентів до лабораторної роботи (на цьому етапі в нагоді стануть наявні анімаційні ефекти) та під час безпосереднього виконання експерименту студентами в аудиторії (на цьому етапі зручно користуватися послайдовим переглядом презентації, в якій один слайд відтворює один лабораторний дослід). Під час роботи студенти мають повну інструкцію та прогнозований результат, тому вони мають змогу самостійно вирішити чи є вдалим їх проведення експерименту чи є необхідність його повторення.

### Список літератури

1. Звоник К. В. Розробка додатків до лабораторного практикуму з неорганічної хімії // Перший крок у науку: матеріали XI студентської конференції (м. Суми, 23 лютого 2020 р.) / відповідальний редактор В. М. Ігнатенко. - Суми: Сумський державний університет, 2020. - С. 185.

## РОЗРОБКА НАВЧАЛЬНИХ ФОТО ТА ВІДЕО-ЗАВДАНЬ З ХІМІЇ

*Захарченко А. Ю., студ.гр.МЦМ-901; Хелемеля В. С., студ.гр.МЦМ-901;  
Ліцман Ю. В., доцент кафедри ТПХ*

Одним із напрямів вирішення проблеми інтенсифікації й оптимізації навчального процесу, на нашу думку, може стати розробка навчальних завдань з використанням фото та відеоінформації та їх застосування під час аудиторних занять і самостійної роботи студентів. Фото і відео завдання – навчальні завдання, в яких умова представлена у формі фото або відео. Для розробки такого завдання необхідно: проаналізувати зміст навчальної дисципліни, відібрати хімічні експерименти, які використовуються для формування певних понять, закономірностей, фактів щодо хімічних властивостей речовин; скласти запитання та розробити для них фото або відео сценарій; скористатись наявними фото та відео або зробити фото та відео самостійно; представити запитання і форми зручній для перегляду, зокрема у вигляді мультимедійної презентації; забезпечити можливість перегляду презентацій для самостійної роботи у будь-який зручній для студентів час та під час аудиторних занять.

Прикладом фото-завдання для формування знань про якісну реакцію на саліцилову кислоту є послідовність фото, що демонструють реагенти, результат реакції саліцилової кислоти з розчином ферум (II) хлориду, зміни, які спостерігаються при поступовому додаванні до отриманого продукту розчину луку. Прикладом відео-завдання для формування поняття про відновні та невідновні дисахариди є відео, яке демонструє одночасне нагрівання розчинів сахарози та лактози після додавання до них фелінгової рідини. Завдання розміщуються у Google класі, що дозволяє легко переглянути їх у зручній час, скориставшись власними мобільними пристроями. Після перегляду завдань студентам необхідно пояснити сутність явищ (скласти рівняння хімічних реакцій) та зробити висновки.

Наведені приклади фото та відео-завдань у навчальному процесі використовуються під час самостійної роботи студентів. На аудиторних заняттях подібні завдання студенти виконують експериментально, витрачаючи на їх виконання менше часу і виконуючи більш впевнено та свідомо.

### Список літератури

2. Карпенко А. Л., Ліцман Ю. В. Кольорові реакції в курсах медичної та біоорганічної хімії // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VI Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції (м. Суми, 16 – 19 квітня 2019 р.) / ред. кол. О.Г. Гусак, І. В. Павленко. - Суми: Сумський державний університет, 2019. - С. 266.
3. Біоорганічна хімія / Б.С. Зіменковський та ін. — К. : ВСВ «Медицина», 2014. — 272 с.

**СЕКЦІЯ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ  
І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ»**



## МОДЕРНІЗАЦІЯ ГІДРОСИСТЕМИ ВЕРСТАТА

*Сисенко В.В., інженер I кат., каф. ПГМ; Ігнат'єв О.С., канд. техн. наук, доцент, каф. ПГМ; Ворона В.О., ГМ-61 м. Суми, СумДУ*

Сьогодні, досить актуальним є питання енергоефективності та довговічності використання будь-якого обладнання. Галузь машинобудування не стала винятком.

Об'єктом дослідження було обрано гідросистему фрезерного верстата ГФ 2171 С5, який розташований в науково-дослідній лабораторії кафедри прикладної гідроаеромеханіки.

Гідросистема верстата складається з трьох циліндрів коробки швидкостей, двох циліндрів переміщення захватів, циліндрів віджиму інструмента та циліндрів орієнтації шпинделя та двох гідромоторів: гідромотор обертання магазину та гідромотор переміщення каретки. Крім гідромоторів та гідрочиліндрів до складу гідроприводу входять насосна станція, регулююча та направляюча арматура. Система слугує для зміни інструменту та зміни швидкості відповідно. Час за який відбувається один робочий цикл гідроприводу складає 40 с. Живить систему нерегульований пластинчатий насос двократної дії, який працює постійно.

Проаналізувавши роботу маслостанції та гідроприводу було зроблено наступні висновки:

- Гідропривід споживає подачу утворену насосом лише тоді, коли він є активним (заміна інструменту, зміна швидкості), решту часу насос насос підтримує тиск та компенсує втрати в системі;

- Постійна робота маслостанції супроводжується надмірним рівнем шуму, що сприяє підвищеній втомлюваності при роботі з верстатом;

- З точки зору енергоефективності постійна робота насоса є умовно корисною (привід 2,2 КВт), відповідно значні витрати на електроенергію;

- Надлишкова рідина після дроселювання повертається в бак, тим самим перетворюючи потужність приводу в тепло, що в свою чергу підвищує зношуваність складових частин.

- Також беручи до уваги інформацію про поточні та аварійні ремонти гідросистеми – насос є найшвидшезношуваною ланкою системи, через нерационально розподілений час роботи насосу та власне гідроприводу;

Якщо в гідросистему верстата включити певний пристрій, який буде акумулювати гідравлічну енергію та віддавати в систему при необхідності (заміна інструмента, зміна швидкості), беручи на себе повністю роль живлення гідроприводу (виконуючи робочий цикл), або частково, підтримуючи тиск в та компенсуючи втрати в системі, тим самим вимикаючи насос з роботи на значний проміжок часу, необхідний для обробки однієї деталі. Це дозволить в десятки разів зменшити кількість спожитої електроенергії і значно підвищить час експлуатації складових частин, як насоса, так і системи в цілому.

## ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ГЕРМЕТИЧНИХ МОНОБЛОЧНИХ НАСОСІВ НА АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯХ

*Сохань А.О., аспірант гр.АСПтех-9.1 СумДУ, м.Суми  
Сотник М.І. д-р. техн. наук, доцент СумДУ, м.Суми*

На сьогодні однією з головних проблем України є енергетична залежність. Шляхом подолання даної проблеми можуть стати альтернативні джерела енергії, але на даному етапі розвитку вони не можуть задовольнити потреби підприємств та населення в повному обсязі. Тому залишається тільки подальший розвиток атомної енергетики. С кожним роком екологічні норми і законодавство в даній галузі стає суворішими, а енергоблоки які експлуатуються на території України майже вичерпали свій експлуатаційний ресурс. Вони потребують заміни.

Однією з головних систем енергоблока є система охолодження реактора. Яка не допускає його перегрів та виникнення таких аварій, як на Чорнобильській АЕС. Ключовою складовою даної системи являється насосні агрегати. При цьому зазначених вище причини виникають складності при виборі заміни існуючого обладнання.

Одним із видів насосного обладнання є герметичні моноблочні насоси. Герметичний відцентровий насос - це агрегат відцентрового типу у якого повністю виключається контакт рідини з зовнішнім середовищем, а також він може працювати в агресивному середовищі. Провідними перевагами таких насосних агрегатів являється гарний тепловідвід, відсутність осьових навантажень, довговічність та надійність. Також вони стійкі до умов короткочасного сухого ходу та несуттєві втрати теплоти робочої рідини. Такі насоси ділять на дві основні групи в яких є свої переваги:

- Насоси з магнітною муфтою;
- Насоси з вбудованим двигуном.

Основними перевагами першого типу є абсолютно герметичним та безпечним для оточуючого середовища. Такі характеристики дозволяють використовувати його у найагресивніших умовах та при роботі з токсичними речовинами. Магнітна муфта скорочує використання деталей, які підвержені швидкому виходу з ладу, що значно зменшує експлуатаційні витрати. [1]

До переваг другого типу насосних агрегатів можна віднести компактність, низький рівень шуму та відсутність зварювальних швів, так як насос і двигун виконаний суцільним вузлом. Також частково потік робочої рідини охолоджує двигун. [1]

Зробивши аналіз існуючих переваг герметичних моноблочних насосів можна зробити висновок, що найкращим типом насосів агрегатів для атомних електростанцій виходячи з умов експлуатації є герметичні насоси з магнітною муфтою.

Список літератури

1 <https://jak.koshachek.com/articles/germetichni-nasosi.html>

## МОДЕЛЮВАННЯ ОБТІКАННЯ ЦИЛІНДРА ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЕНТА СИЛИ ІНДУКТИВНОГО ОПОРУ

*Медвідь А. М., аспірант; Липовий В. М., асистент, СумДУ;  
Папченко А. А., доцент, СумДУ, м Суми*

Розвиток світової енергетичної сфери – одне з ключових питань концепції сталого розвитку суспільства. Сучасні світові тенденції розвитку енергетики характеризуються поглибленням інтеграції енергетичних систем, зростанням частки відновлюваних джерел енергії в енергобалансі країн світу.

Для створення нового типу вітрових турбін обрано робочим органом циліндр. Необхідно більш детально дослідити процес обтікання циліндра використавши для даного завдання програмний комплекс ANSYS CFX. Моделювання обтікання циліндра потоком повітря надасть можливість більш детально оцінити коефіцієнт індуктивного опору що діє на поверхню циліндра, та отримати картину течії, та розподілу тисків.

При моделюванні процесу обтікання циліндра потоком повітря було отримано картини течії в зоні пограничного шару, що дає змогу визначити зони відриву потоку від твердої стінки. Провести детальний аналіз картин тиску та характер вихорів, що утворюються за циліндром, та їх залежність від сили, що діє перпендикулярно до напрямку.

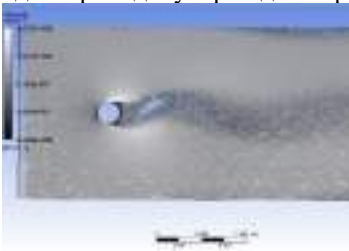


Рисунок 1 – Лінії течії при швидкості 1 м/с

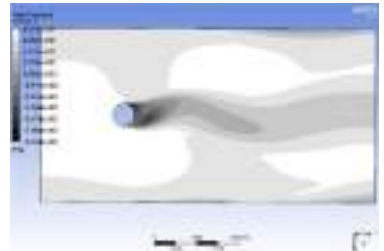


Рисунок 2 – поля тисків при швидкості 1 м/с

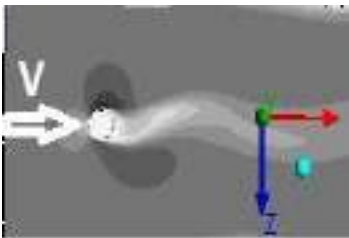


Рисунок 3 – Система координат при обтіканні циліндра

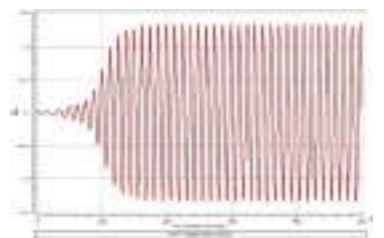


Рисунок 4 – амплітуда сили індуктивного опору при швидкості 1 м/с

Для заданих вихідних умов обрано циліндр геометричними розмірами: діаметр – 250 мм, висота 50 мм, що відповідають заданим числам Рейнольдса. При моделюванні використана модель турбулентності Shesr Stress Transport (SST). Використання даної моделі максимально відповідає вимогам при моделюванні вихрових течій. Як правило, напрям вітру мінливий. Поперечний переріз пристрою без механічних валів і завжди добре орієнтований на напрямок вітру повинен бути круглим. Формування вихорів, легко утворюється в тілах кругового перерізу.

Розрахунок коефіцієнта індуктивного опору буде використана функція сили «force()» програмного комплексу ANSYS CFX яка відслідковуватиме зміну сили за вказаною віссю z, яка відкладена перпендикулярно напрямку потоку повітря. Зміна величини коефіцієнта сили індуктивного опору, є причиною коливань, які направлені перпендикулярно до напрямку потоку повітря. Коливання погано обтічних тіл в потоці газу можуть трактуватися як вимушені коливання, або як автоколивання в системі з запізненням. Досліди показують, що коливання, викликані потоком важкої рідини, краще описуються як вимушені коливання, а коливання в потоці газу – як автоколивання

Отримані графіки та рисунки показують, що коефіцієнт сили індуктивного опору починає діяти з початкового моменту обтікання. Коефіцієнт індуктивного опору збільшується до моменту утворення стабільної вихрової доріжки Кармана, після чого досягає максимальної амплітуди для заданих умов обтікання. Величина сили зменшується при збільшенні швидкості набігаючого потоку повітря. Вважатимемо, що отримане зменшення сили не матиме суттєвого впливу на робочий процес вітродвигуна.

Із порівняння картин течії, та полів тиску можемо зробити висновок, що розрахунок задачі за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX є коректним та відповідає дійсності. Даний розрахунок дає змогу прогнозувати поведінку рідини в пограничному шарі, та величину сил що діють безпосередньо на поверхню циліндра. Це дасть змогу в подальшому моделювати реакцію поверхні циліндра на сили що діють зі сторони набігаючого потоку повітря.

При моделюванні визначено силу, що діє на поверхню циліндра, та розраховано коефіцієнт індуктивного опору. Порівнюючи його з відомими значеннями, отриманий коефіцієнт становить  $C_{xi}=1.3$ , а теоретично розрахований складає близько  $C_{xi}=1.70$ . Розрахована величина коефіцієнта досить близька до практично отриманих значень, які вказують, що експериментально отриманий коефіцієнт індуктивного опору знаходиться в межах  $0,50 \leq C_{xi} \leq 1.00$ .

Отримані величини коефіцієнту індуктивного опору чисельним моделюванням є досить близькі до практично отриманих. В подальших дослідженнях це наблизить до розрахунку результуючої сили, що діє на циліндр, а також допоможе в моделюванні руху циліндра в потоці повітря.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНСТРУКЦІЙНИХ ПАРАМЕТРІВ РОБОЧОГО КОЛЕСА НА АМПЛІТУДУ ПУЛЬСАЦІЙ ТИСКУ

*Москаленко В.В., аспірант кафедри ПГМ, СумДУ  
Сотник М.І., д.т.н., доцент кафедри ПГМ, СумДУ*

Окрім виміру вібрації насосного обладнання, пульсації тиску часто є єдиними реальним способом отримання непрямым методом інформації о частотах та інтенсивності нестационарних гідродинамічних процесів, що протікають у проточній частині насоса [1].

Пульсації тиску притаманні всім відцентровим насосам та обумовлюють виникнення гідродинамічної вібрації корпусу насоса. Надлишкові пульсації тиску при роботі насоса поза межами його робочого діапазону зумовлюють збільшення гідродинамічної вібрації насосного обладнання та призводять до передчасного виходу його з ладу [2].

Пульсуючий характер потоку зумовлено неоднорідністю течії рідини у проточній частині насоса, внаслідок скінченної кількості лопатей робочого колеса, взаємодії ротор/статор (RSI), кавітаційних та вихрових процесів [3].

З огляду на природу та причини виникнення пульсації тиску, виділено наступні шляхи зниження їх амплітуди та, відповідно, покращення віброакустичного стану насоса:

- збільшення кількості лопатей робочого колеса,  $z$ ;
- зменшення ширини виходу з робочого колеса,  $b_2$ ;
- зменшення зовнішнього діаметру робочого колеса,  $D_2$ ;
- коса підрізка вихідної кромки робочого колеса, кут підрізки -  $\varphi$ ;
- для насосів двохстороннього входу, розташування двох половин робочих коліс у шаховому порядку.

Порівняння ефективності способів зниження амплітуди пульсації тиску на виході з робочого колеса проведено за результатами числового моделювання нестационарної течії рідини у проточній частині відцентрового насоса за допомогою програмного продукту ANSYS CFX.

Предметом дослідження є амплітуда пульсації тиску на виході з робочого колеса та вплив конструкційних параметрів проточної частини на її величину.

В якості об'єкту дослідження розглядається робочий процес відцентрового насоса типу Д2000-100-2 з базовим робочим колесом та з серією модифікованих робочих коліс РК№2 - РК№6.

Адекватність результатів числового моделювання та дослідження визначена їх порівнянням з результатами фізичного експерименту [4].

За результатами числового експерименту отримано середньоквадратичне відхилення величини тиску на виході з робочого колеса

в залежності від зміни його конструкційних параметрів при подачах:  $0.3Q_{opt}$ ,  $0.6Q_{opt}$ ,  $0.8Q_{opt}$  та  $Q_{opt}$  ( $Q_{opt} = 2000 \text{ м}^3/\text{год}$ ) - рис.1.

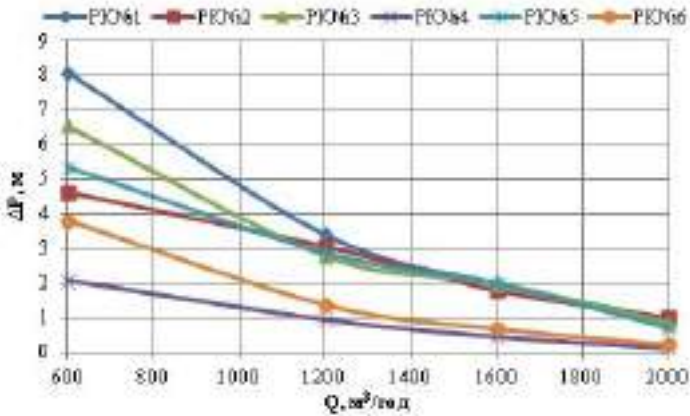


Рисунок 1 – Порівняння ефективності способів зниження амплітуди пульсації тиску на виході з робочого колеса насоса Д2000-100-2:

*PK№1* – базове робоче колесо насоса:  $z=6$ ,  $b_2=34.4 \text{ мм}$ ,  $D_2=820 \text{ мм}$ ;

*PK№2* – робоче колесо зі збільшеною кількістю лопатей,  $z=7$ ;

*PK№3* – робоче колесо зі зменшеною шириною лопаті на виході,  $b_2=31 \text{ мм}$ ; *PK№4* – робоче колесо зі зменшеним зовнішнім діаметром,

$D_2=740 \text{ мм}$ ;

*PK№5* – робоче колесо з косою підрізкою вихідної кромки, кут підрізки  $\varphi=15^\circ$ ;

*PK№6* – розташування у шаховому порядку двох половин робочих коліс.

#### Список літератури

1. Gulich, J.F. (2010) *Centrifugal Pumps*. (2nd ed.). Berlin: Springer-Verlag.
2. Перевошиков С.И. Разработка способов снижения гидродинамической вибрации у подпорных насосов магистральных нефтепроводов / Перевошиков С.И. // Изв. вузов Нефть и газ. - Тюмень: ТюмГНГУ, 1997. - № 6,- С. 137.
3. Zhifeng Yao, Fujun Wang, Lixia Qu, Ruofu Xiao, Chenglian He and Min Wang//Experimental Investigation of Time Frequency Characteristics of Pressure Fluctuations in a Double-Suction Centrifugal Pump//
4. Сотник М.І., (2015). Енергетичні процеси в електромеханічних системах мереж водопостачання (*Розширена анотація докторської дисертації, м. Київ, Україна*).

## ЗМЕНШЕННЯ ВТРАТ ЕНЕРГІЇ У ПІДВІДНОМУ ПРИСТРОЇ КОНСОЛЬНОГО НАСОСА

*Панченко В. О., старший викладач, кафедра ПГМ СумДУ  
Гонтар Владислав Олегович, студент, гр. ЕМ-71-9*

Підвідним пристроєм (підводом) насоса називають ділянку проточної частини від приймального патрубку до входу у робоче колесо. Конструкція підводу істотним чином впливає на розподіл швидкостей перед входом у робоче колесо. Внаслідок цього структура і стан потоку за підводом відображаються на к.к.д. і характеристиках насоса, зокрема на його антикавітаційних якостях.

В консольних насосах, як правило, застосовують конічний конфузорний осьовий підвід (рис. 1 а), який забезпечує стабілізацію потоку і підведення його до колеса з рівномірною по перерізу швидкістю.

У окремих випадках, коли існують конструктивні обмеження на діаметр вхідного трубопроводу, доводиться виконувати вхідний пристрій насоса у вигляді дифузору, у якому є можливим відрив основного потоку від стінки та вихроутворення, які призводять до додаткових втрат енергії у насосі та погіршують його антикавітаційні якості. При цьому з метою зменшення довжини підводу та за неможливості забезпечення оптимального куту розкриття дифузору ( $7 - 9^\circ$ ) є доцільним використання дифузору, який забезпечує постійний градієнт тиску вздовж осі ( $dp/dx = const$ ) та мінімізує втрати енергії перед робочим колесом (рис. 1 б).

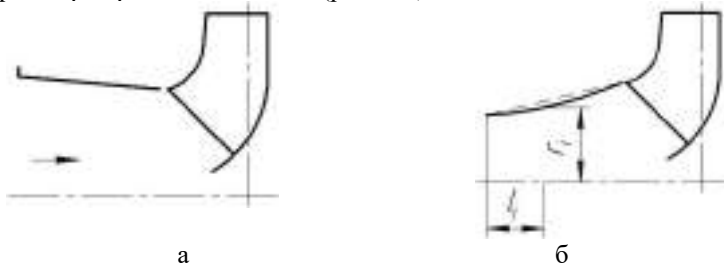


Рисунок 1 – Підвідні пристрої консольних насосів

### Список літератури

1 Михайлов А. К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. – Москва : Машиностроение, 1977. – 288 с.

2 Гидравлика, гидромашины и гидроприводы : Учебник для машиностроительных вузов / Т. М. Башта, С. С. Руднев, Б. Б. Некрасов и др. – 2-е изд., перераб. – Москва : Машиностроение, 1982. – 423 с.

## НАСОС НАФТОВИЙ МАГІСТРАЛЬНИЙ НМ 200-650

*Колісніченко Е.В., доцент, СумДУ, м. Суми*  
*Ракітянський М.М., студент, ГМ.м – 91, СумДУ, м. Суми*

Під час транспортування нафти від видобувних до переробних виробництв, що, як правило, розташовані на значних відстанях одне від одного, в магістральних трубопроводах відбувається падіння тиску. Тому такі трубопроводи розділяють на ділянки певної протяжності. Між цими ділянками для підвищення тиску встановлюються спеціальні насоси типу НМ (див. рис. 1). При цьому актуальною залишається задача створення максимально ефективного насосного обладнання, здатного працювати в різних діапазонах подач та напорів.

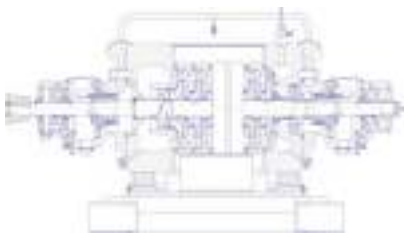


Рисунок 1 – Нафтовий магістральний насос

Для вирішення вказаної задачі на кафедрі ПГМ СумДУ планується розроблення нафтового магістрального насосу НМ 200-650

Даний насос горизонтальний, багатоступінчатий, секційний з робочими колесами одnobічного входу.

Корпусними деталями є: вхідна та напірна кришки, а також корпус секції. У секціях насоса встановлені направляючі апарати. Направляючі апарати фіксуються від провороту штифтами.

Основними деталями насоса є робочі колеса (РК) з просторовою формою лопатей. РК виконані суцільнолитими. Їхнє положення на валу фіксується шпонками. Також основними деталями є направляючі апарати, розташовані в секціях насосу. У комплекті з направляючими апаратами робочі колеса являють собою ступінь насоса.

Опорами ротора є підшипники ковзання з примусовим змащенням від маслоустановки.

Ущільнення валу відбувається за допомогою використання торцевих ущільнень.

Осьове зусилля, що утворюється внаслідок перепаду тиску на дисках робочих коліс сприймається гідропр'ятою.

Для запобігання кавітації, перед першою ступінню передбачено шнекове колесо. При цьому робоче колесо першої ступені буде виконано зі збільшеною вхідною воронкою для підвищення всмоктуючої здатності.



## ВПЛИВ ВХІДНОЇ ДІЛЯНКИ РОБОЧОГО КОЛЕСА НА КАВІТАЦІЙНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

*Колісніченко Е.В., доцент, СумДУ, м. Суми*  
*Луговий О.Л., студент, гр. ГМ.м – 91, СумДУ, м. Суми*

Кавітація – це процес виникнення бульбашок пара в тій зоні, де тиск падає нижче ніж тиск насиченої пари середовища, що перекачується, з подальшим їх схлопуванням в зоні підвищеного тиску. Цей процес призводить до руйнування поверхні металу робочих органів, а також до збільшення шуму і вібрації в насосі.

Кавітація визначається наступними параметрами: кавітаційний запас та критичний кавітаційний коефіцієнт швидкохідності. Кавітаційний запас це – перевищення повного тиску на вході в насос, над тиском насиченої пари середовища, що перекачується, визначене в абсолютних одиницях тиску. Критичний кавітаційний коефіцієнт швидкохідності – це коефіцієнт подібності насосів за кавітаційною ознакою.

Для зниження кавітаційного запасу насоса використовуються наступні основні заходи:

- збільшення вхідної воронки робочого колеса;
- зменшення кількості лопатей;
- використання відцентрових робочих коліс з витягнутими у вхід лопатями;
- встановлення перед відцентровим робочим колесом передвключеного осьового колеса (шнека).

Аналіз літературних джерел дозволив виявити додаткові заходи, які використовуються різними насособудівними компаніями, для зниження кавітаційного запасу насоса і покращення його надійної роботи. Найбільш цікавим заходом зі зниження кавітаційного запасу насоса представляється використання різних форм вхідної кромки лопаті, та різних форм вхідної ділянки лопаті відцентрового робочого колеса. Так в роботі Барі Балашубраманіяна розглянуто дослідження впливу на кавітаційні характеристики відцентрового насосу таких форм лопатей, як тупа кромка, кругла кромка та параболічна кромка. А в роботі Френка Віссера додатково досліджений варіант з кромкою у вигляді половини еліптичного профіля. В роботі Хіанву Луо досліджується вплив вхідної ділянки лопаті на кавітаційні характеристики. А саме розглянуті різні форми ділянок, які відрізняються кутом нахилу вхідної кромки лопаті та кутами атаки профіля лопаті.

Таким чином, дослідження можливості використання різних форм вхідної ділянки лопаті відцентрового робочого колеса з метою підвищення його антикавітаційних властивостей, представляє інтерес і є перспективним напрямком розвитку вітчизняного насособудування.

Виходячи з вищесказаного, на кафедрі ПГМ СумДУ розпочалися роботи з вивчення впливу форми вхідної ділянки лопаті на кавітаційні характеристики за допомогою чисельного моделювання процесу течії рідини

в каналах робочого колеса з урахуванням моделі кавітації в програмному комплексі ANSYS CFX.

Вказане дослідження потребує створення кількох оригінальних тривимірних рідкотільних моделей робочого колеса з різними формами вхідної ділянки лопаті.

В якості об'єкта дослідження був обраний насос ВНС 300-130. Даний насос - відцентровий багатоступеневий секційний з боковим підводом рідини до робочого колеса першого ступеня, та комбінованим відводом від робочого колеса кінцевого ступеня (напрямний апарат та кільцева камера).

Предметом дослідження є течія рідини у робочому колесі першого ступеня.

Метод дослідження – чисельний розрахунок.

Проведення чисельного дослідження планується провести за допомогою програмного комплексу ANSYS CFX, в основу якого покладено розв'язання системи диференційних рівнянь течії рідини Нав'є-Стокса. Оскільки течія в проточній частині відцентрового насоса є турбулентною, то моделювання турбулентності буде відбуватися за рахунок перетворення рівнянь в осереднені рівняння Рейнольдса для замикання яких додається стандартна  $k-\epsilon$  модель турбулентності. Моделювання процесу утворення кавітаційних бульбашок буде проводитися з використанням моделі кавітації Релея-Плессета.

Будь-яке чисельне моделювання відбувається у кілька етапів:

- підготовка до розрахунку (створюється розрахункова модель, будується розрахункова сітка, задаються граничні умови);
- сам розрахунок;
- оброблення результатів розрахунку.

Розрахункова модель являє собою тривимірну рідкотільну модель робочого колеса з осьовим підводом. На виході з робочого колеса передбачений безлопатеий дифузор. Таке спрощення не впливає на результат розрахунку тому, що лопатева решітка є непрозорою і кавітаційні процеси, які виникають в робочому колесі залежать тільки від вхідної ділянки робочого колеса. Для розрахунку використовується неструктурована тетраедрна розрахункова сітка. Поблизу твердих стінок сітка розбивається декількома шарами призматичних комірок, які дозволяють збільшити кількість вузлів в зонах граничного шару та використати масштабовані пристінкові функції. Для моделювання реального розподілу швидкості на вході в робоче колесо задається момент швидкості, який утворений боковим підводом насоса. На вході в робочу область задається масова витрата у вигляді витратної швидкості, а на виході з робочої області – статичний тиск. В результаті розрахунку планується отримати величини швидкостей і тисків у кожному вузлі розрахункової сітки. За допомогою функції осереднення можна визначити такі параметри робочого колеса як тиск на вході, кавітаційний запас та інші.

# ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ІНТЕРФЕЙСУ НА РЕЗУЛЬТАТИ ЧИСЛОВОГО МОДЕЛЮВАННЯ В ПРОГРАМНОМУ КОМПЛЕКСІ ANSYS CFX

Черноброва А.К., аспірант СумДУ, АСП-7.133.1  
Сотник М.І., д.т.н., доцент, СумДУ

У даний час широко використовуються числові методи аналізу робочого процесу насосів. Мета роботи виявити вплив параметрів інтерфейсу між робочим колесом та спіраллю в програмному комплексі ANSYS CFX на структуру течії та розподіл швидкості у поперечних перетинах спіралі насоса.

Як об'єкт досліджень розглянута течія рідини в проточній частині відцентрового насоса Д2000-100-2 за подачі у діапазоні від 1400 м<sup>3</sup>/с до 2400 м<sup>3</sup>/с, а саме за 0,9Q<sub>ном</sub>, 1,0Q<sub>ном</sub>, 1,2Q<sub>ном</sub>. Кутова швидкість обертання валу насоса 980 об/хв, коефіцієнт швидкохідності становить 60. У програмному продукті ICEM CFD побудована неструктурована розрахункова сітка, що складається з тетраєдрів та призматичних шарів біля твердих стінок моделі. Загальна кількість елементів сіткової моделі - 4.5 млн. елементів. Числове дослідження було виконано за стандартною  $k-\varepsilon$  моделлю турбулентності.

За результатами проведених досліджень визначено розподіл швидкостей та їх середнє значення в поперечних перетинах спіралі (рис. 1).

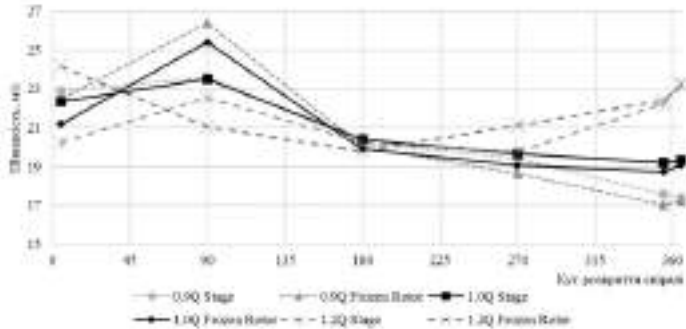


Рисунок 1 – Швидкість за різних величин подачі при використанні інтерфейсів між робочим колесом і спіраллю «Stage» та «Frozen Rotor»

Спостерігаються відмінності в результатах розрахунку з використанням інтерфейсу «Stage» та «Frozen Rotor», що коливаються в межах від 1 до 15%. Вони спричинені впливом нерівномірності течії на виході з міжлопатевого простору робочого колеса на картину течії при використанні інтерфейсу «Frozen Rotor», що підтверджено структурою течії в повздовжньому перетині спіралі.

Отже, за результатами проведених розрахунків встановлено, що використання інтерфейсу «Frozen Rotor» між робочим колесом і спіраллю призводить до похибок, які є неприйнятними для подальшого дослідження.

## ВІЛЬНОВИХРОВИЙ НАСОС ВВН 25-20

*Павленко С. С., студент, Герман В. Ф., доцент, СумДУ, Суми*

Енергоефективність насосного обладнання значно впливає на рівень витрат випускаємої продукції і є одним із основних показників її собівартості. В зв'язку з цим при проектуванні або модернізації насосів необхідно враховувати рівень їх енергоспоживання. Оскільки насоси відносяться до енергоспоживаючої продукції, то витрати на електроенергію є вагомим фактором у визначенні собівартості життєвого циклу насосів, включаючи і вільновихрові. Споживач зацікавлений придбати надійне і енергоефективне обладнання, яке забезпечить мінімальні витрати у процесі всього терміну його експлуатації.

Вільновихрові насоси (ВВН) конструктивної схеми типу «Туго» мають порівняно високий для цього типу насосів ККД, максимальний рівень якого становить  $\eta=52-56\%$  і широко застосовуються в різних галузях промисловості й сільського господарства для перекачування промислових і побутових стоків, в'язких рідин, рідин з твердими частинками та волокнистими включеннями, різних суспензій та абразивних середовищ. Необхідно зазначити, що ККД ВВН типу «Туго» істотно залежить від коефіцієнта швидкохідності насоса  $n_s$  і оптимальною областю його проектування є діапазон  $n_s = 60-140$ , в якому  $\eta=45-54\%$ .

Конструктивною особливістю ВВН є наявність вільної камери перед робочим колесом. Розміщення робочого колеса у циліндричній розточці корпусу і вільний прохід потоку через робочу камеру дозволяють транспортувати суміші з високою концентрацією твердих домішок і газовмістких рідин з концентрацією газу до 50%. Насоси мають просту конструкцію, високо технологічні і практично не забиваються. При їх виготовленні є можливість використовувати абразивностійкі матеріали. ВВН широко застосовують у складі насосних агрегатів блочно-модульного виконання (зі змінним робочим колесом і корпусом). На АТ «Сумський завод «Насосенгомаш» за блочно-модульним принципом розроблено вільновихровий насос СВН 25-20 з частотою обертання  $n = 1440$  об/хв. Коефіцієнт швидкохідності цього насоса складає  $n_s=46$ , що відповідає ККД  $\eta=41\%$ . Крім цього, насос має перерозширений відвід (вільну камеру), що призводить ще до додаткового зменшення ККД і зміщення оптимального режиму роботи насоса в область збільшених подач. Розрахунки насоса ВВН 25-20 при частоті обертання  $n = 2880$  об/хв показують, що даний насос при  $n_s=92$  матиме ККД  $\eta=52\%$ . Різниця в значеннях ККД в 11% є суттєвою, оскільки значно скорочуються витрати на електроенергію. Насос ВВН 25-20 стає енергоефективним, буде мати менші габаритні розміри і вагу. Конструкція насоса розроблена на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки СумДУ.

## ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОП'ЯТИ В ДИНАМІЧНИХ НАСОСАХ

*Забіцький Д.В. аспірант phd-62, Кулініч С.П., доцент, СумДУ, м.Суми*

Під час роботи динамічних насосів виникає осьове зусилля, яке при відсутності розвантажувальних пристроїв може викликати осьовий зсув валу з робочим колесом в сторону всмоктування. Осьової зрушення в експлуатаційних умовах може статися і при наявності розвантажувальних пристроїв через зношування ущільнень. Тому пристрої для розвантаження осьового зусилля в насосі повинні забезпечувати надійну роботу як в нормальних умовах експлуатації, так і в разі значного зносу ущільнень. Осьове зусилля може бути усунуто або значно зменшено за рахунок:

- застосування робочих коліс з двостороннім входом рідини;
- перепуск рідини з порожнини зазору заднього диска в смоктувальний патрубок;
- застосування радіальних ребер на задньому диску робочого колеса, імPELLер;
- застосування радіально-упорних підшипників.

У багатоступеневих насосах осьові сили врівноважують різними способами:

- застосуванням спеціальних розвантажувальних пристроїв (гідралічної п'яти, гідралічного барабана)
- попарно протилежним встановленням робочих коліс на валу з відповідною системою перепуску рідини від колеса до колеса.

Найбільш поширеним способом врівноваження осьової сили в насосах секційного типу є автоматичне урівноваження ротора гідроп'ятою.

У зв'язку із зростанням вимог до економічності і надійності насосного обладнання, провідні представники насособудування інтенсивно впроваджують нові технологічні рішення з метою підвищення ККД насоса і зниження експлуатаційних витрат. Існують теоретичні рекомендації щодо поліпшення якості роботи гідроп'яти:

1. Підвищення опору циліндричної і торцевої щілин за допомогою ступінчастих втулок і кільцевих канавок.
2. Усунення зіткнення торцевих робочих поверхонь гідроп'яти шляхом застосування сферичних поверхонь.
3. Об'єднання ліній гідроп'яти і рециркуляції.
4. Застосування додаткових врівноважують пристроїв, наприклад, сорочок ротора з різними діаметрами.
5. Комбінування гідроп'яти з розвантажувальним барабаном і (або) з двостороннім упорним підшипником.
6. Зменшення деформації і забезпечення площинності робочих поверхонь торцевого зазору гідроп'яти шляхом застосування гідралічної розвантаження пружно встановлених вкладишів

**СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ  
ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ  
(ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА)»**

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ МОДЕЛІ 48-060 З КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ

*Богданюк О. С., студ., гр. ЕМ.м-91; Хованський С. О., доц. каф. ПГМ;*

*Павленко І. В., доц. каф. ЗМ і ДМ, СумДУ, м. Суми;*

*Балог М., Технічний університет м. Кошице, Словаччина*

Залізничний транспорт займає одне із провідних місць у транспортному комплексі України як в області вантажних, так і пасажирських перевезень. Беручи до уваги сучасні тенденції, що стосуються підвищення енергоефективності, одним із пріоритетних завдань підприємств залізничного транспорту є економне й ефективне використання енергоресурсів. Тому велика увага приділяється розробленню сучасних технологій і заходів, спрямованих на підвищення параметрів енергоефективності рухомого складу.

Для підтримки комфортного перебування пасажирів, вагони обладнують пристроями опалення, вентиляції й освітлення. Ці системи забезпечують параметри, встановлені санітарними і гігієнічними нормами внутрішнього середовища: за температури зовнішнього повітря до  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  температура в пасажирських приміщеннях має бути у діапазоні  $20\text{--}22\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Об'єктом дослідження процес конвективного теплообміну у вагоні моделі 48-060 із комбінованою системою опалення, у якій нагрівання теплоносія здійснюється за допомогою електронагрівачів або за рахунок спалення твердого палива. Проведення аналізу стану систем життєзабезпечення пасажирських вагонів дозволило сформулювати мету роботи – підвищення ефективності використання теплової енергії пасажирських вагонів з комбінованою системою опалення на основі аналізу теплових режимів. Для досягнення цієї мети була створена тривимірна модель пасажирського вагону моделі 48-060 з існуючою системою опалення. Потім ця модель була експортована у програмний продукт ANSYS CFD, де здійснювався відповідний розрахунок. У результаті були отримані основні теплофізичні, гідромеханічні, термодинамічні та оптичні параметри розрахункової області за умови досягнення стаціонарного режиму розрахунку. Для отримання оптимального режиму роботи системи опалення було застосовано факторний експеримент, у результаті якого було отримано регресійну залежність, що описує вплив встановленої температури на радіаторі опалення і температури огороджувальних конструкцій на температуру повітря у вагоні.

Під час виконання роботи були вирішені такі завдання: розроблено математичну і числову моделі теплового стану пасажирського вагону; проведено моделювання процесів аеродинаміки і тепломасообміну в пасажирському вагоні для аналізу його теплового стану; на основі розробленої моделі здійснено оцінювання теплового стану вагону; досліджено вплив нестационарних процесів у внутрішньому об'ємі вагону на його загальний тепловий стан.

## ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ КВАРТИРИ В БАГАТОПОВЕРХОВОМУ БУДИНКУ

*Матус Є.В., студент гр. ЕМ.м-91, СумДУ, м. Суми*  
*Хованський С.О., доцент СумДУ, м. Суми*

Підвищення умов комфортності проживання є завжди актуальною темою. Збільшення температури всередині приміщення, нормалізація вологості, економія на побутових приладах і зменшення суми в рахунках за електроенергію – усе це можливо завдяки проведенню енергетичного аудиту.

Мета роботи – дослідити енергоаудит як обстеження квартир багатоповерхових будівель для виявлення шляхів економії енергоресурсів (газу, електроенергії, води).

Для визначення ефективності використання паливно-енергетичних ресурсів (ПЕР) будівлі та розроблення рекомендацій щодо поліпшення рівня її енергоефективності проводиться енергетичний аудит. Енергетичний аудит призначений для вирішення таких головних завдань: обстеження стану використання енергетичних ресурсів; розробка організаційно-технічних заходів, спрямованих на зниження енергетичних витрат; визначення потенціалу енергозбереження; економічне обґрунтування організаційно-технічних заходів.

Енергоаудит відіграє ключову роль в ефективному використанні енергії в промисловості, в побуті, а також у сфері послуг. Він є інструментом для повної оцінки споживання паливно-енергетичних ресурсів, створення управлінських впливів, а також і для оцінки того, наскільки ці впливи є ефективними. Таким чином, енергетичний аудит (енергетичне обстеження) – постійно діючий механізм безупинного спостереження за станом об'єкта, який експлуатується, перевірка, ревізія, удосконалення до якогось даного еталона. Предметом енергетичного аудиту є система обстеження споживання палива й енергії, аналіз і надання рекомендацій з ефективного споживання енергоресурсів.

Якщо мова йде про завелику витрату електроенергії на освітлення то завжди правильним рішенням є заміна всіх енергоефективних ламп на лампи з більшим класом ефективності. Температура повітря безумовно має вагоме значення, але і його свіжість також не завадить, тому іноді є доцільність в установленні рекуперативних установок. Зміст даної конструкції полягає у нагріванні вхідного повітря в приміщення вихідним.

Господарям квартир із самостійним газовим опаленням доцільно порадитися із кваліфікованими спеціалістами при виборі котла, адже саме цей агрегат буде опалювати квартиру. Важливо не обрати котел зависокої потужності, адже він буде працювати неефективно в умовах невисоких навантажень. При тому, потрібно не обрати котел замалої потужності, який і за умов високих навантажень буде недогрівати приміщення до комфортної температури й вичерпувати свій внутрішній ресурс.



## ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ БУДІВЛІ КЗ СОР «СУМСЬКИЙ ОБЛАСНИЙ ЦЕНТР ПОЗАШКІЛЬНОЇ ОСВІТИ ТА РОБОТИ З ТАЛАНОВИТОЮ МОЛОДДЮ»

*Літвін Є.І., студент групи ЕМ.м-91, Хованський С.О., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми*

В умовах постійно зростаючого попиту на різні види енергоресурсів та зростання цін на них, найпершим завданням енергоменеджменту є впровадження найменш затратних енергозберігаючих заходів. Енергозбереження на сьогодні особливо актуальне в бюджетній сфері та житловому-комунальному господарстві, так як під час упровадження енергоефективних заходів досягається максимальна економія енергоресурсів.

Об'єктом даного обстеження є будівля КЗ СОР «Сумський обласний центр позашкільної освіти та роботи з талановитою молоддю», який знаходиться за адресою: Сумська область, м. Суми, вул. Августовська, 14-а. Дана установа має два корпуси А та Б. Корпус А є двоповерховою будівлею, Н-подібного типу, складається з однієї прибудови. Другий корпус Б є одноповерховим, складеться з двох прибудов.

Метою роботи було підвищення енергоефективності будівлі та зменшення обсягу споживання паливно-енергетичних ресурсів, що дасть змогу зменшити обсяг навантаження на міський бюджет. Першим кроком було проведено візуальне та інструментальне обстеження системи опалення, стану будівлі, освітлення та водопостачання, а також збір документації щодо споживання закладом енергоресурсів.

Наступним кроком був зроблений розрахунковий аналіз досліджуваних енергосистем нашого об'єкту, що дало змогу виявити основні фактори які впливають на втрату теплоенергетичних ресурсів закладу. Найбільші тепловтрати в корпусах були виявлені через вентиляцію та стіни даного об'єкту.

Проаналізувавши дані, що були отримані під час інструментального обстеження будівлі, візуального обстеження та розрахунку тепловтрат, було запропоновано впровадження наступних енергозберігаючих заходів: утеплення зовнішніх стін, встановлення автоматичного опалення. Для утеплення зовнішніх стін було запропоновано використати пінополістирольні плити, шириною 100 мм, а для встановлення автоматичного опалення газовий котел Житомир М 7СНВ потужністю 7 кВт. Після проведення фінансового аналізу запропонованих енергозберігаючих заходів, враховуючи економію за рахунок скорочення теплових втрат та капітальні витрати на впровадження заходу, було отримано прості терміни окупності по всім заходам: утеплення зовнішніх стін – 1,8 року, встановлення автономного опалення – 1,3 року. Згідно до розрахунків, річна економія після встановлення газового котла, буде складати -12467 грн/рік, а після утеплення стін пінополістирольними плитами – 7304 грн/рік.

ЕНЕРГЕТИЧНЕ ОБСТЕЖЕННЯ ОЗЗСО  
«МУТИНСЬКА ЗАГАЛЬНООСВІТНЯ ШКОЛА І-ІІІ СТУПЕНІВ»

*Ляховка А.В., студент гр. ЕМ-61, СумДУ, м. Суми*  
*Хованський С.О., доцент СумДУ, м. Суми*

Найважливіший канал інформації для зміни громадської поведінки щодо енергозбереження – освітня система, якій відводиться значна роль. Починати освіту і енергозбереження необхідно ще в школі. Школярі повинні навчитися самі зберігати енергію в школі, навчити всіх удома, а в майбутньому вчинити прорив в енергозбереженні і на своїх робочих місцях, а значить – у всій країні. Саме тому було вирішено провести енергоаудит в ОЗЗСО «Мутинська загальноосвітня школа І-ІІІ ступенів».

Основними об'єктами енергетичного обстеження стали системи, що забезпечують енергоресурсами Мутинську ЗОШ, а це: системи теплопостачання, водопостачання та електропостачання. Зовнішні стіни будівлі керамзитобетонні, оштукатурені з середини цементним розчином товщиною 10 мм. Зовнішні дефекти стін не виявлено. Будівля має металопластикові та дерев'яні вікна. Фундамент будівлі виконаний з бетону. Підлога будівлі складається з цементу, покритою дошками товщиною в 30мм. ерекриття будівлі виконане з залізобетонної плити 227 мм. Зовнішні двері будівлі – металопластикові. При обстеженні було виявлено майже однакову температуру повітря у кімнатах. Але більш детальне обстеження показало, що витрата енергоресурсів значно вище норм, а саме: недбале використання електроенергії (використання ламп розжарювання, застарілі плити і холодильники); через неповну заміну вікон і відсутність нормальної теплоізоляції, втрачається значна частина теплової енергії; через занедбаний стан сантехніки втрачається багато води.

Наступним кроком були проведені розрахунки теплового балансу будівлі по її дійсному стану, де було визначено тепловтрати через зовнішні огорожувальні конструкції. Найбільші втрати теплової енергії становлять через стіни 75% , 21% втрати становлять через вікна та 3% через двері.

Проаналізувавши дані, що були отримані в результаті візуального обстеження та розрахунку тепловтрат, було запропоновано впровадження наступних енергозберігаючих заходів: поліпшення теплоізоляції будівлі; герметизація стиків вікон, які не відкриваються знизить інфільтраційні втрати; установка регуляторів на опалювальні прилади і балансувальних вентилів, що дозволить рівномірно розподілити теплове навантаження по приміщеннях і дасть можливість знизити теплове навантаження будинку до 20%; промивання системи опалення; заміна ламп розжарення на більш ефективні, енергозберігаючі.

Після проведення фінансового аналізу запропонованих енергозберігаючих заходів, враховуючи економію за рахунок скорочення теплових втрат та капітальні витрати на впровадження заходу, було отримано прості терміни окупності по всім заходам.

## МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВОГО СТАНУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНУ КУПЕЙНОГО ТИПУ З КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ ОПАЛЕННЯ

*Лазаренко А.А. студент групи ЕМ.м-91, Хованський С.О., доцент  
Сумський державний університет, м. Суми*

Однією з найважливіших складових добробуту в цивілізованих державах є забезпечення громадян і компаній необхідними енергоресурсами. Запорукою реалізації цієї мети має стати надійне, економічно обґрунтоване й екологічно безпечне задоволення потреб населення й економіки в енергетичних продуктах. Для цього необхідно зменшити використання паливно-енергетичні ресурсів. Актуальним напрямом збереження енергії є широко розповсюджений в Україні залізничний транспорт, який в свою чергу є значним споживачем енергоресурсів. За підрахунками департамент енергоменеджменту ПАТ «Укрзалізниця», резерв енергозбереження у галузі складає 16,7 тис. т палива в умовному обчисленні. Вирішення задачі, а саме зменшення використання паливних ресурсів залізничним транспортом, потребує покращення методів контролю системи теплозабезпечення.

Метою роботи є визначення оптимального температурного режиму в вагоні купе моделі 61-817 з комбінованою системою опалення (водяне та повітряне) для зменшення витрат енергоресурсів, шляхом порівняння та аналізу їх теплових режимів.

Першим етапом роботи стало проектування повітряного простору купе та системи обігріву згідно з його реальними розмірами в програмі Solid Works. Потім була побудована розрахункова сітка за допомогою програмному забезпеченні ANSYS CFD. На цьому етапі задаються граничні умови для кожної поверхні та температури зовнішнього повітря та радіатора, надалі ці температури будуть варіюватися для кожного з експериментів. Температури навколишнього середовища змінювалася в діапазоні від  $+10\text{ C}^0$  до  $-24\text{ C}^0$ , а для опалювальних приладів від  $+24\text{ C}^0$  до  $+50\text{ C}^0$ .

Після проведення серії експериментів, для кожного з яких змінювали температури навколишнього середовища та пристроїв обігріву купе, була отримана аналітична залежність температури в середині купе від температур які варіювали. В результаті цих експериментів також було візуалізації розподілу температур та руху повітряних мас в купе.

В результаті роботи: була розроблена розрахункова модель повітряного простору купе згідно, проведено факторний експеримент з двома факторами (температура радіатора опалення та температурою навколишнього середовища), розглянули рух повітря та розподіл температур в середині купе та отримали рівняння залежності температури в середині купе від температури навколишнього середовища та температури радіатора, за допомогою якого стало можливим оперативно забезпечити комфортні умови для нормальної життєдіяльності людини в купе вагону моделі 61-817 при мінімально необхідних затратах енергоресурсів на опалення.

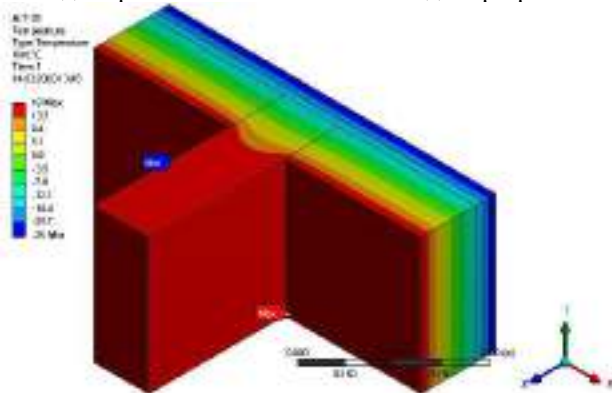
## ЛІНІЙНІ ТЕПЛОВІ ВКЛЮЧЕННЯ

*Гасай А.М., студент гр. ЕМ-61-8, СумДУ, м. Суми*  
*Хованський С.О., доцент СумДУ, м. Суми*

Питання енергозбереження в будівництві є досить актуальним на сьогоднішній день. Огороджувальні конструкції існуючих будівель характеризуються наявністю утеплювальних матеріалів, конструктивних шарів, різного роду теплопровідних включень у вигляді плит перекриттів, перегородок, конструктивних елементів фасадних систем тощо.

Розрахунок приведенного опору теплопередачі передусім заснований на представленні фрагмента теплозахисної оболонки будівлі у вигляді набору незалежних елементів, кожен з яких впливає на теплові втрати через фрагмент. В якості теплозахисних елементів вибираються окремі елементи конструкції, деталі та стики між різними конструктивними елементами.

Методи розрахунку теплозахисних властивостей таких конструкцій базуються на застосуванні програм розрахунку двовимірних або тривимірних температурних полів. В даній роботі для розрахунку температурних полів у вузлах огорожуваних конструкцій використовувався модуль Steady State Thermal програмного продукту Workbench. На рис. 1 представлені результати розрахунку температурного поля для примикання стінових панелей до перекриття.



## ДИНАМІЧНІ МЕТОДИ РОЗРАХУНКУ ТЕПЛОВОЇ ПОТУЖНОСТІ БУДІВЛІ

*Медвідь С.А., студентка гр. ЕМ.м-91, СумДУ, м. Суми*  
*Хованський С.О., доцент СумДУ, м. Суми*

Житловий фонд України являється одним із основних споживачів енергоресурсів в Україні. Оскільки, вік більшої частини житлового фонду України перевищує 50 років, то, більше ніж 60% будинків потребують модернізації та/або капітального ремонту. Окрім цього, майже 90% будівель нині не відповідають сучасним вимогам енергоефективності. 22 червня 2017 року ВРУ прийняла законопроект №4941 «Про енергетичну ефективність будівель». Відповідно до його положень вводиться обов'язкова енергетична сертифікація та визначення класів енергоефективності будівель.

Метою даної роботи є оцінка існуючих нормативних документів у сфері енергозбереження для розрахунку теплової потужності будівель.

Найбільшого поширення на території України здобули методики, що покладені в основу таких нормативних документів та доповнень до них: КТМ-204 Україна 244-94 [1], ДСТУ Б EN ISO 13790 [2], ДСТУ Б А.2.2-12:2015 [3], ДСТУ-Н Б А.2.2.5:2007 [4] та так звані авторські методики «комбінований метод» [5] та «Метод збільшених показників» [6]. Усі вони різняться за способами задання вихідних даних, способами обчислення і залежать від мети проведення розрахунку [7].

Для проведення якісного аналізу запропонованих методів розрахунку теплової потужності будівель та отримання якісної їх оцінки, доцільним є не лише вивчення особливостей кожного з стандартів, але й порівняння розрахункових значень отриманих опалювальних характеристик із фактичними даними щодо обсягів споживання теплової енергії на потреби опалення. Розрахунки за даними стандартами проводилися на основі одного реального об'єкту у м. Суми. Розбіжність у результатах розрахункових та фактичних даних є досить великою (рис. 1). Так, найближчими до дійсних значень є значення, що отримані за методиками [1], [2], [3].

Результати проведеного аналізу, показали, що жодна з приведених методик не відображає, у повній мірі, реальної поведінки системи опалення обстежуваного закладу. Для цього є ряд пояснень:

- моральна застарілість існуючих нормативних документів та не адаптованість міжнародних стандартів до національних;
- для погодинних розрахунків, практично повна відсутність нормативної бази для проведення розрахунків;
- певна невідповідність зовнішніх умов та температурних графіків, за якими працюють надавачі послуг із забезпечення тепловою енергією;
- невизначеність порядку та умов функціонування закладу.

Отже, при виборі методики для аналізу теплового стану об'єкту слід керуватися такими критеріями: мета проведення розрахунку, наявність вихідних даних та бажана точність результатів.

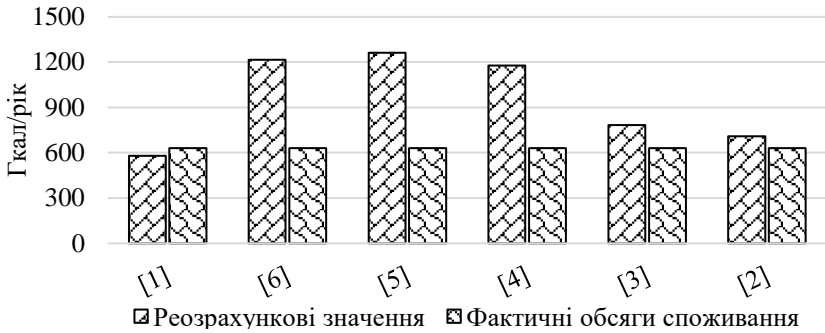


Рисунок 1 – Аналіз результатів дослідження

#### Список літератури:

- 1 Норми та вказівки по нормуванню витрат палива та теплової енергії на опалення житлових та громадських споруд, а також на господарсько-обутові потреби в Україні. КТМ-204 Україна 244-94. Затверджені Держжитлокомунгоспом України 14 грудня 1993. К.:ЗАТ"ВПОЛ", 2001.376 с.
- 2 ДСТУ Б EN ISO 13790:2011. Енергоефективність будівель. Розрахунок енергоспоживання при опаленні та охолодженні (EN ISO 13790:2008, IDT). [На заміну ГОСТ 26629.85; чинний з 01.01.2013]. К. : НДІБК, 2011. 229 с.
- 3 ДСТУ Б А.2.2-12:2015. Енергетична ефективність будівель. Метод розрахунку енергоспоживання при опаленні, охолодженні, вентиляції, освітленні та гарячому водопостачанні [Уведений вперше; чинний від 2015.01.01]. К. Мінрегіонбуд України, 2016. 205 с.
- 4 ДСТУ-Н Б А.2.2.5:2007. Проектування. Настанова з розроблення та складання енергетичного паспорта будинків при новому будівництві та реконструкції. [Уведено вперше ; чинний від 2008.07.01.]. К.: Мінрегіонбуд України, 2008. 44 с.
- 5 Методичні вказівки до виконання розрахункових та практичних робіт на тему «Розрахунок теплового балансу будівель і споруд під час проведення енергетичного обстеження» з дисципліни «Системи виробництва та розподілу енергії» / укладачі: С.С. Антоненко, Е.В. Колісніченко. – Суми: Сумський державний університет, 2014. – 84 с.
- 6 Еремкин А И., Тепловой режим зданий: учебное пособие / А.И.Еремкин, Т.И.Королева. – М. : Издательство АСВ, 2000. – 368 с.
7. Алгоритм автоматизації синтезованого розрахунку теплової потужності будівлі / С.А Медвідь, С.А. Хованський // Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали VI Всеукраїнської науково-технічної конференції (м. Суми, 16–19 квітня 2019 р.)

## COMPARISON OF THE POTENTIAL OF USE OF WIND ENERGY ON MARS AND ON EARTH

*Hryhorenko D. student EM.m-91,  
Moloshnyi O. assistant, SSU, Sumy*

Fifty years ago, Neil Armstrong made the first step on the moon's surface and two years later, the first spacecraft landed on the surface of Mars. Nowadays humanity is already preparing to colonize the "red planet". One of the most necessary resources to provide living conditions is electricity. The promising ways of solving this problem is the use of alternative energy sources.

The paper analyses the possibility of obtaining electricity from wind generators on Mars and compared it with Earth.

As the energy output of a wind power installation increases in proportion to the square of the blade length and the cube of wind speed, it is first of all necessary to pay attention to the climatic conditions of the planet. There are several conditions for winds to emerge. One of them is the change in temperature during the day or season. In the daytime, the temperature near the equator reaches values from  $-11^{\circ}\text{C}$  to  $+25^{\circ}\text{C}$ , at night from  $-80^{\circ}\text{C}$  to  $-100^{\circ}\text{C}$ , and at the poles of the planet it hardly changes and reaches about  $-125^{\circ}\text{C}$  [1,2]. The average temperature on Mars is  $-50^{\circ}\text{C}$ . Such a temperature difference leads to the formation of areas with different pressure and winds with a speed of 20...50 m/s. The first colonies are planned to be built near the equator. The wind in these equatorial latitudes has a southeastern direction, and the velocity ranges 10...25 m/s [1], which satisfies the main condition of the wind generator working process. The change in the magnitude of wind during the day has a pronounced sinusoidal dependence. The minimum values are for the dark period (from 18 hour to 6 hour), and the maximum from 9 hour for 15 hour. Considering that, the water vapor content in the atmosphere is about 0.03% [2], the probability of freezing of wind turbine elements at subzero atmospheric temperatures is minimal. An important difference between the atmosphere of Mars and Earth is its lower density, which is  $0.02\text{ kg/m}^3$ , and for Earth –  $1,217\text{ kg/m}^3$ . That is 60 times less, which significantly affects the amount of energy received from the wind generator.

We offer to use sailing wind turbines of horizontal type. Their advantages over others include the ability to fold the blades in a tubular form for their transportation, lightweight, simplicity of construction, ease of installation and maintenance, when they are disabled they are easier to repair and have the opportunity to use damaged materials again in other spheres of life. The horizontal type was chosen to reduce the possibility of damage from dust storms.

According to the conducted calculations (Fig. 1), it is established that the maximum power from the wind generator can be obtained at noon. However, its magnitude is 5 times lower than, even for non-perspective places within the Earth, for the use of wind energy, such as the city Sumy (Ukraine). The rational diameter

of the rotor of the wind generator is from 3 m to 5 m. According to statistics of the wind, there will be no electricity generation from 18 hour to 6 hour. This necessitates the need for electricity storage to meet the demand for this period of time. In view of this, an analysis of electricity production during the month was made. It was found that electricity production does not have a pronounced dependence on the day of the month (Fig. 2). Its value ranges from + 80% to -60% of average daily electricity production per month.

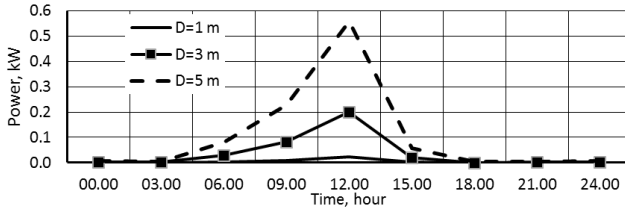


Figure 1 - Estimated electric power of the wind generator during the day

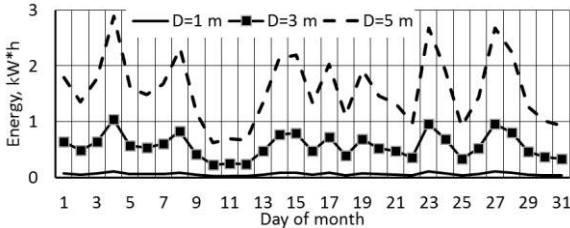


Figure 2 - Estimated electricity generated by a wind generator

Conclusion. The specificity of the atmospheric conditions of Mars causes the peculiarities of obtaining electricity from the wind generator. A stable sinusoidal dependence on the period of the day, as a consequence, the ability to use powerful equipment during working hours, but it is necessary to use electricity storage in the dark part of the day. Less gas density in the atmosphere, which reduces wind power, which can be converted into useful electricity. Therefore, Mars' equatorial zone is promising for the use of wind energy for electricity generation.

#### References:

Mars Weather [Electronic resource]: Daily Weather Report available at: <https://mars.nasa.gov/insight/weather/> (accessed 14.03.2020).

Mars [Electronic resource]: Atmosphere available at: <https://www.wikiwand.com/en/Mars#/Atmosphere> (accessed 14.03.2020).

NASA's Cosmos. [Electronic resource]: 8. Mars: the red planet, available at: [https://ase.tufts.edu/cosmos/view\\_chapter.asp?id=8&page=3](https://ase.tufts.edu/cosmos/view_chapter.asp?id=8&page=3) (accessed 14.03.2020).



## ГРАФЕН І ЙОГО МОЖЛИВЕ ЗАСТОСУВАННЯ У ПІДШИПНИКОВИХ ОПОРАХ НАСОСНИХ АГРЕГАТІВ

*Сухоставець Д.І., аспірант групи АСПтех – 9.1 СумДУ, м. Суми  
Сотник М.І., доцент СумДУ, м. Суми*

Відкритий у 2004 році графен надзвичайно швидко набув репутації найперспективнішого матеріалу 21 століття. Моноатомний шар вуглецю з гексагональною структурою має відмінні ковзаючі якості, у порівнянні з графітом. Графен також відрізняється високим рівнем теплопровідності та високим рівнем електропровідності, має антикорозійні властивості. Неймовірні результати продемонстрували дослідники Массачусетського технологічного інституту. Згідно дослідженню, губчастий матеріал виплавлений з пластівців графену в 10 разів може перевищувати міцність сталі [1].

Для графену характерна гнучкість, хімічна та термічна стабільність та найбільша площа поверхні на одиницю маси речовини.

На сьогодні активно ведуться розробки композитних матеріалів на основі графену. Так у 2018 році фізик з Університету Ексетера Моніка Крачун повідомила, що графен доданий до полідиметилсилоксану (пластик) збільшує міцність останнього на 250%.

Матеріалознавці з Корейського науково-технічного інституту передових досліджень отримали композит з графеном у вигляді центрального слою (0,00004% від усієї ваги композиту) між листами міді та нікелю. В результаті чого міцність першого металу зросла в 500 разів, а другого в 180 відносно показників чистих речовин. [2].

Наведені результати досліджень стимулюють використання композитів на основі графену у різних областях наукових розробок та вдосконалення існуючих механізмів для промислового використання.

Одним з таких напрямків може стати використання графенової плівки чи графеновмісних композитів для підшипників в насосах.

При розробці будь-якого герметичного насосу особливу увагу завжди приділяють підшипниковим опорам, адже саме вони найчастіше провокують вихід з ладу насосного агрегату. В процесі експлуатації насосу, наприклад, на атомних електростанціях, не завжди є можливість для їх профілактичного огляду чи ремонту. Це стимулює розробників для пошуку більш витривалих конструкцій та матеріалів підшипників.

Критеріями під час виготовлення зазвичай виступають:

1. Висока корозійна стійкість.
2. Висока надійність в роботі при різних режимах роботи, багаторазових пусках та зупинках, змінах температури та тиску протягом багатьох тисяч годин.
3. Здатність контактувати з хімічно агресивними речовинами та здатність витримувати тривалу дію високих температур води, що циркулює у насосі.
4. Зносостійкість.

Усі вище наведені критерії задовольняють технічні характеристики графену.

На сьогодні уже проведені деякі дослідження в області впровадження графену та його композитних сплавів. Усі вони поділяються переважно на дві групи. До першої групи відносяться лубриканти для підшипників на основі графену. До другої – покриття та сплави на його основі.

Так дослідження присвячене трибологічній поведінці підшипникової сталі з графеновим покриттям довело ефективність даного впровадження. Було помічено, що підшипникова сталь з покриттям показує покращені трибологічні характеристики. Коефіцієнт тертя матеріалу, покритого графеном, зменшується до 200%, ніж у матеріалів без покриття. Норма зносу матеріалу з графеновим покриттям знижується до 400%, ніж у непокритого матеріалу. Цікавим є те, що зі збільшенням швидкості ковзання середнє значення коефіцієнта тертя підшипника з графеновим покриттям зменшується [3].

Американські дослідники запропонували метод алмазних кулькових підшипників. Дана конструкція знижує тертя між двома поверхнями майже до нуля на макроскопічних рівнях. Поєднання нанодіамантів з плівкою графену, що огортає нанодіаманти утворюють «наноскроли», що змащують дві поверхні. Оскільки на тертя витрачається велика кількість енергії при роботі насосу, це відкриття має величезний потенціал для економії енергії та грошей. В даний час методика працює лише в сухих, інертних умовах, оскільки кисень у водяних краплях може зв'язуватися з графеном і зупиняти утворення наноскролів. Зараз дослідники працюють над способами подолання цієї проблеми [4].

Згідно отриманих даних в Університеті Лейбніца Ганновера використання графенових пластинок як присадки до мастила або в якості сухого мастила призводить до зниження тертя і зносу, що істотно для економії ресурсів. Графенові пластини покривають поверхневі нерівності і зменшують тертя між твердими контактами.

Відмінні властивості графена, який зарекомендував себе в нано- та мікрровипробувальних стендах доводять той факт, що у подальшому впровадження графена у технологію виробництва більш зносостійкого обладнання, зокрема насосного має великі перспективи.

#### Список літератури

1. David L. Chandler, Researchers design one of the strongest, lightest materials known, 2017. Mode of access:
2. Графено – металічні композити у сотні разів міцніші за чисті метали  
Режим доступу: <http://sinp.msu.ru/ru/post/13811>.
3. R Moharana1 , S S Sengar , B Badhan , U S Rao , R K Gautam and R Tyag, 4. Tribological Behaviour of Graphene Coated Bearing Steel// Journal of Physics - Conf. Series 1240 - 2019. Mode of access:

## НЕВІДПОВІДНІСТЬ ДСТУ ТА ISO В ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТІ

*Явтушенко А.А. студентка, ЕМ.м-91, доцент Сапожніков С.В.*

На сьогодні проблема енергоефективності є однією з найбільш актуальних для розвитку України. Підвищення енергоефективності – це одне з найпріоритетніших завдань для соціально-економічного розвитку країни. При підвищенні ефективності енергозбереження велике значення надається не тільки впровадженню нового обладнання, передової технології, вдосконалення та модернізації існуючого обладнання, широкого використання всіх місцевих і вторинних ресурсів, але й правильно організованому управлінню енергоспоживанням, тобто енергоменеджменту та енергоаудиту.

Мета ISO – це дозволити організації слідувати системному підходу в досягненні послідовного поліпшення енергосистеми, включаючи енергоефективність, енергобезпеку та енергоспоживання. Створення умов для наближення енергоємності ВВП України до рівня розвинених країн та стандартів Європейського союзу.

Стандарт ISO 50001 базується на основі циклу безперервного поліпшення «Плануй – Виконуй – Контролюй – Покращуй» (цикл PDCA). Мета використання циклу PDCA – дати організаціям можливість створення систем і процесів, для поліпшення енергетичних параметрів, у тому числі енергетичної ефективності й інтенсивності.

В Україні, у сфері енергетичного менеджменту, в 2005-2008 рр. введено в дію стандарти: ДСТУ 4472: 2005 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту. Загальні вимоги»; ДСТУ 4715: 2007 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Склад і зміст робіт на стадіях розробки та впровадження»; ДСТУ 5077: 2008 «Енергозбереження. Системи енергетичного менеджменту промислових підприємств. Перевірка та контроль ефективності функціонування». Положення цих стандартів у сучасних умовах вже застаріли. Вони не дозволяють забезпечувати ефективну реалізацію нової концепції енергетичного менеджменту за стандартом ISO 50001.

Переваги сучасної системи енергетичного менеджменту: концентрує основну увагу на управлінні; допомагає визначити і сконцентруватися на найбільш істотних енергоаспектах; допомагає визначити і приділити особливу увагу персоналу; фокусується на даних і чисельних методах; досягається інтегрований підхід; безперервність удосконалень.

На сьогодні стандарт ISO 50001 – це найефективніша допомога підприємствам реалізувати поліпшення у сфері енергоменеджменту та енергоефективності, оптимізації продуктивності та витратах, при цьому забезпечуючи досягнення цілей за обсягами виробництва.

## СТРУКТУРА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У НАВЧАЛЬНОМУ ПРОЦЕСІ УЧБОВОГО ЗАКЛАДУ ТА ЙОГО ПРОГНОЗУВАННЯ

*Підопригора Н.М., студентка групи ЕММ-91 СумДУ, м. Суми*

*Сотник М.І., доцент СумДУ, м. Суми*

За функціональним спрямуванням системи штучного освітлення забезпечують загальне, місцеве та аварійне освітлення. Їх використання має забезпечувати необхідний санітарно-гігієнічний рівень освітленості робочих місць та приміщень. Для навчального закладу визначення обсягів споживання електроенергії системою освітлення  $A_{осв.}$  аудиторій, де проходять лекційні, практичні або інші заняття навчального процесу має ґрунтуватися на використанні формули  $A_{осв.} = P_{осв.факт.} \cdot t_{осв.} \cdot K_{клім.}$  (1) Тобто, користуючись результатами енергетичних обстежень, паспортизуються системи освітлення приміщень. Визначається їх встановлена електрична потужність  $P_{осв.факт.}$ , рівні освітленості (природної та штучної). Період  $t_{осв.}$  функціонування систем освітлення можна визначати та контролювати з використанням датчиків освітленості, а розрахунковий прогнозний – з урахуванням короткотермінового прогнозу погоди та наявних статистичних даних щодо залежності показників освітленості у приміщеннях від метеоумов (хмарність, довгота дня, пора року і т. і.). Для визначення протяжності періодів функціонування системи освітлення  $t_{осв.}$  необхідно скористатися інформацією з розкладу занять. За прогнозними показниками метеорологічних умов, визначається необхідність функціонування систем штучного освітлення в тому чи іншому періоді наступної доби для приміщення, значенням  $K_{клім.}$  (1 або 0). Обсяги прогнозного електроспоживання систем штучного освітлення приміщень загального користування  $A_{осв.заг.кор.}$  мають визначатися за аналогічним алгоритмом. При розрахунках можна виключити вплив хмарності упродовж світлового дня, а при визначенні  $t_{осв.}$  можливо орієнтуватися на мінімальні значення освітленості. Час функціонування системи освітлення буде складатися з двох складових: від початку роботи закладу до настання нормованого значення освітленості (перша половина дня)  $t_{осв.1}$  та від моменту зниження освітленості нижче нормованого рівня до закінчення робочого дня (друга половина дня)  $t_{осв.2}$ . Тоді розрахунок обсягів прогнозного електроспоживання системами штучного освітлення приміщень загального користування має визначатися за виразом  $A_{осв.заг.кор.} = P_{осв.1факт.} \cdot t_{осв.1} + P_{осв.2факт.} \cdot t_{осв.2}$  (2). Прогнозне споживання електроенергії системами освітлення для забезпечення навчального процесу має бути розраховано як сума (1) та (2).

# ПРОГНОЗУВАННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ У ВЕТЕРИНАРНІЙ КЛІНІЦІ

Тубальцев С.О., студент групи ЕМм 91 СумДУ, м. Суми  
Сотник М.І., доцент СумДУ, м. Суми

Для формування математичних моделей електроспоживання необхідно визначити складові енергоспоживання, його обсяги, а також «профілі» споживання за періодами доби, тижня, місяця. Вихідними даними для цього має бути статистична та інша технічна інформація, отримана за результатами енергетичних аудитів. На базі цих даних будуються графіки фактичного енергоспоживання струмоприймачами, матриці електроспоживання. За функціональною ознакою системи струмоприймачів ветеринарної клініки умовно можна розділити на системи енергозабезпечення функціонування будівлі (опалення, водозабезпечення). Розрахунок прогнозного споживання електроенергії ними  $A_{ен.заб.}$  має

розраховуватися за виразом  $A_{ен.заб.} = \sum_{i=1}^n P_{ен.заб.i} \cdot K_{зен.заб.i} \cdot t_{календ.}$ , де:  $i$ -номер струмоприймача,  $P_{ен.заб.i}$  - електрична потужність  $i$ -го струмоприймача,

$K_{зен.заб.i}$  - коефіцієнт використання струмоприймача,  $t_{календ.}$  - час функціонування системи протягом доби. Прогнозне споживання електроенергії  $A_{заг.осв.}$  струмоприймачами систем загального освітлення

розраховується як:  $A_{заг.осв.} = \sum_{i=1}^n P_{заг.осв.i} \cdot (t_{заг.осв.1.} + t_{заг.осв.2.})$ , де  $\sum_{i=1}^n P_{заг.осв.i}$  -

сумарна установлена потужність струмоприймачів системи освітлення,  $t_{заг.осв.1.}$ ,  $t_{заг.осв.2.}$  - періоди функціонування систем загального освітлення упродовж доби. Алгоритм розрахунку прогнозних обсягів добового споживання електроенергії технологіями лікувальної діяльності  $A_{лік.}$  має

враховувати установлену електричну потужність струмоприймачів, задіяних у таких процесах  $P_{лік.i}$ , час фактичного завантаження (через коефіцієнт

$K_{злік.i}$  та період щодобового функціонування закладу  $t_{календ.}$

$A_{лік.} = \sum_{i=1}^n P_{лік.i} \cdot K_{злік.i} \cdot t_{календ.}$  Сумарний прогнозований добовий обсяг

електроспоживання у будівлі ветеринарної клініки за умови повного забезпечення потреб основних лікувальних та допоміжних процесів має формуватися як сума витрат електроенергії:  $A_{ооб.} = A_{лік} + A_{заг.осв.} + A_{ен.заб.}$ .

## Список літератури

1. Волошко А.В., Бедерак Я.С. Система моніторингу режимів електроспоживання промислового підприємства/ А.В. Волошко, Я.С. Бедерак//Енергетика: економіка, технології, екологія – 2014. - № 4. - с. 50-55.

## СТРУКТУРА СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ БУДІВЛЯМИ НАВЧАЛЬНИХ ЗАКЛАДІВ ТА ІСНУЮЧІ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ

*Григоренко Д.І., студент групи ЕМм 91 СумДУ, м. Суми  
Сотник М.І., доцент СумДУ, м. Суми*

Аналіз функціонування технологічних процесів будь-якого промислового підприємства, навчального закладу, або іншої установи вказує на спільні складові загальної структури електроспоживання. За визначеною структурою споживання струмоприймачі будівель навчальних закладів можна розділити за системами в яких вони використовуються: 1- системи штучного освітлення приміщень де проводяться основні та допоміжні технологічні процеси; 2- системи енергозабезпечення будівель та процесів, а також їх підтримки; 3- системи забезпечення адміністративної діяльності та побутових потреб; 4- системи забезпечення процесів логістичної діяльності; 5- системи виконання основного технологічного процесу та допоміжних процесів. Інформаційні системи моніторингу енергоспоживання повинні включати дві основні функції: моніторинг поточного споживання енергії та визначення прогнозних показників енергоспоживання на наперед визначений період. Друга функція і є найбільш проблематичною щодо правильного (коректного) визначення лімітів енергоспоживання. Для їх розрахунку наразі користуються в основному результатами (масивами) статистичних досліджень. Алгоритми розрахунків далеко не завжди враховують поточно-змінні фактори впливу на використання електроенергії. А вони можуть бути суттєвими. Така ситуація може впливати на інтерпретацію результатів енергоспоживання та дій персоналу або діагностування технічного стану обладнання. Наприклад, у ДСТУ Б.А.2.2-2015 визначено загальний норматив функціонування системи освітлення у закладах освіти 250 годин на рік, який необхідно застосовувати при розрахунках лімітів енергоспоживання системами освітлення закладів. Такий підхід є дуже загальним і не враховує багато чинників (особливості режиму функціонування закладів, кліматичних умов і т. і.). Також зазначена методика не стимулює персонал до економії енергоресурсу. Виходячи з цього, для побудови математичної моделі електроспоживання об'єкта необхідно уточнити методику обрахування величин нормального енергоспоживання, яка б враховувала короткотермінові зміни технологічного процесу та зовнішні змінні умови його застосування. Цьому має слугувати створення автоматизованих систем короткострокового прогнозування та моніторингу електроспоживання струмоприймачами з організацією зняття поточних показників енергоспоживання у режимі «on-line» та порівняння контрольних цифр енергоефективності технологічних процесів.

### Список літератури

1. Волошко А.В., Бедерак Я.С. Система моніторингу режимів електроспоживання промислового підприємства/ А.В. Волошко, Я.С. Бедерак//Енергетика: економіка, технології, екологія – 2014. - № 4. - С. 50-55.

## НЕДОЛІКИ ТА ПЕРЕВАГИ ПОНОВЛЮВАНИХ ДЖЕРЕЛ ЕНЕРГІЇ

*Фенько В.В., студентка, ЕМ.м-91, доцент Сапожніков С.В.*

Поновлювані джерела енергії функціонують на основі процесів, що існують постійно або виникають періодично у природному середовищі, а також життєдіяльності людини або життєвого циклу тваринного чи рослинного світу [1].

Поновлювані джерела енергії можна розділити на 4 основних типи:

- сонячна;
- геотермальна;
- вітрова;
- біоенергетика.

Енергія сонця – один з найбільш активно використовуваних природних ресурсів [1]. Сонячна енергія застосовується для генерації електрики, використовуючи фотогальванічні елементи (сонячні батареї) [1]. Незважаючи на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад, свинець, кадмій, галій, миш'як і т. д., а їх виробництво споживає масу інших небезпечних речовин.

Геотермальна енергія – величезна кількість теплової енергії (результат як початкового утворення планети, так і триваючого радіоактивного розпаду мінералів) ховається під земною корою [1]. Вона знаходить вихід у вигляді гарячих джерел в районах вулканічної активності, енергія яких використовується для генерації електроенергії [1]. Використання геотермальної енергії супроводжується акустичним ефектом; опусканням земної поверхні; засоленням земель, термальним забрудненням.

Енергія вітру – потік повітря (кінетична енергія повітряних мас) використовується для приведення в рух електрогенератора [1]. Недоліком використання є те, що вітрові електростанції здатні створювати перешкоди для роботи радіо і телевізора. Потужніші вітрові електростанції створюють шуми.

Біогаз – процес метанового бродіння, що дозволяє отримувати з субстрату органічного походження метан. В якості вихідної речовини може використовуватися рослинна біомаса, відходи харчової і переробної промисловості, стічні води і т.д. [1]. Під час спалювання біогазу виділяється багато чадного газу та сажі. Відбувається поступове виснаження ґрунтів в результаті посіву культур для біоенергетики.

### Список літератури

1. Поновлювані джерела енергії [електронний ресурс] Режим посилання: <https://eenergy.com.ua/terminology/pnovlyuvani-dzherela-energiyi/>

**СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»**



## ВПЛИВ ЗОВНІШНЬОГО ДІАМЕТРА РОБОЧОГО КОЛЕСА НА ПАРАМЕТРИ ВИХРОВОГО КОМПРЕСОРА

*Вансєв С. М., доцент, Семенов Ф. Д., студент гр. К.М.-91, СумДУ, м. Суми;  
Ксенженко П.О., викладач вищої категорії, Полтавський коледж НУХТ*

Вихрові компресорні машини (компресори, повітродувки, вакуум-компресори, вакуум-насоси) поєднують в собі переваги машин динамічного принципу дії (відсутність складних кінематичних пар, що труться, надійність, безпеку, тривалий термін служби, «суха» проточна частина, порівняно невеликі маса і габарити) і об'ємних машин (здатність розвивати великі напори при мінімальних витратах [1]).

Мета роботи: дослідження залежності ККД вихрового компресора від його масово-габаритних характеристик.

Задачі роботи: виконати термогазодинамічний розрахунок вихрового компресора для оптимального режиму роботи, а також для режимів, що відрізняються від оптимального, з меншими масо-габаритними показниками; проаналізувати вплив зміни зовнішнього діаметра колеса і його ККД, а також підібрати кращий варіант.

Вихідні дані для розрахунку: середовище - повітря; об'ємна продуктивність  $V_e=0,00587 \text{ м}^3/\text{с}$  ( $200 \text{ нм}^3/\text{год}$ ); тиск всмоктування  $p_0=1100 \text{ кПа}$ ; тиск нагнітання  $p_k=1135 \text{ кПа}$ ; температура початкова  $T_0=313 \text{ К}$ ; синхронна частота обертання валу електродвигуна  $n=2850 \text{ об/хв}$ .

Виконано термогазодинамічний розрахунок для оптимального режиму роботи, оптимальний діаметр робочого колеса  $D_2=250 \text{ мм}$ . Досліджено вплив зовнішніх діаметрів робочого колеса на параметри вихрового компресора. Виконали розрахунок для  $D_2 = 150, 175, 200, 225, 250 \text{ мм}$ .

На підставі проведених розрахунків побудували графіки залежностей ККД, споживаної потужності, температури на виході з компресора від зовнішнього діаметра робочого колеса.

Проаналізували графіки, для подальшого проектування вибрали:

- робоче колесо з діаметром  $D_2 = 250 \text{ мм}$ , так як при такому діаметрі масогабаритні показники зменшуються інтенсивніше ніж ККД;
- так як геометричний комплекс дорівнює  $0,023$ , це означає виконання одноканальної проточної частини;
- температуру на вході  $313 \text{ К}$ , це гарантує роботу компресора при більш низьких температурах.

### Список літератури

1 Виршубский И.М., Рекстин Ф.С., Шквар А.Я. Вихревые компрессоры.- Л.: Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1988.

## РІДИННО–ПАРОВІ СТРУМЕНЕВІ АПАРАТИ, ЇХ РОЗРАХУНОК

*Івахно Г. Г., студент, гр. ХК-61/ІХ;  
Чех О. Ю., провідний інженер, кафедра ТТФ*

За достатньо довгий період, що минув з моменту створення струминних апаратів, досягнутий значний прогрес як в області вдосконалення конструкцій апаратів, так і в розробці методів розрахунку та розширенні сфери їх застосування. Вони застосовуються для перекачування сумішей, рідин та газів, створення і підтримки вакууму, змішування рідких, твердих і газоподібних середовищ тощо.

За останні роки, зросла потреба низки галузей промисловості у застосуванні ежекторних установок, що мають малу продуктивність і забезпечують помірно підвищення тиску середовища, яке інжектуються. Особливий інтерес становить здатність рідинно-парових струменевих апаратів до самовакуумування, що дозволяє створювати на цій основі вакуум-насоси. Розширення функціональних можливостей струминних апаратів, можливе шляхом комбінування прямоструминних та вихрових апаратів.

Інжекування пасивного потоку, здійснюється робочим струменем, який формується за рахунок скипання недогрітої до насичення рідини у соплі активного потоку. На відміну від традиційних газових струменевих апаратів, дисипація енергії в проточній частині рідинно-парового струменевого апарата призводить не до зниження, а до зростання коефіцієнта інжекції  $u$ . Це пов'язано з тим, що у даному випадку ентальпія робочої рідини  $h_p$  завжди менше величини ентальпії пара, який інжектуються  $h_n$ . У той самий час, при створенні струминних апаратів з порівняно невеликою продуктивністю, виникає проблема, пов'язана із впливом масштабного фактора на умови розвитку скипаючого потоку у каналі робочого сопла, що істотно позначається на масогабаритних показниках апарата.

Існуючі методики дозволяють розраховувати рідинно-парові струменеві апарати тільки у вузькому діапазоні робочих параметрів. Однак, змінивши лише початкові параметри, можна перейти від одного типу струминних апаратів до іншого. У зв'язку з цим виникла необхідність створення загальної теорії, яка дозволила б розраховувати ці апарати в широкому діапазоні зміни їх геометричних і режимних параметрів.

### Список літератури

1. Моделирование процесса релаксационного парообразования у прямоосных каналах / В. М. Арсеньев, М. Г. Прокопов, О. Ю. Чех // Техніка, енергетика, транспорт АПК. - 2016. - № 1. - С. 32-37.
2. Влияние косоого среза сопла на формирование вихревого потока в жидкостно-паровом струйном компрессоре вихревого типа / М. Г. Прокопов, В. Н. Козин, Ю. С. Мерзляков, О. Ю. Чех // Компрессорное и энергетическое машиностроение. - 2015. - № 4. - С. 20-24.

## ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ ТЯГОВОГО СОПЛА СТРУМІННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБИНИ НА ЇЇ ККД

*Родимченко Т.С., аспірант, група АСПтех-8.1  
Вансєв С.М., к.т.н., доцент, СумДУ, м. Суми*

Як відомо, у сучасному світі потреба в електроенергії з кожною хвилиною стає все більшою, питання енергозбереження не одноразово викликало шквал обговорень як в найбільш розвинених країнах світу так і в країнах з низькою економікою. Велика кількість країн перебуває на межі енергетичної кризи, тому ця проблема відчувається особливо гостро. Доцільним шляхом вирішення такої проблематики є утилізація вторинних енергоресурсів.

Зважаючи на те, що велика кількість ексергії стиснутих газів і пари назавжди втрачається в редукторах і регуляторах тиску на газорозподільних станціях та газорозподільних пунктах, слід зазначити, що таку енергію необхідно утилізувати.

Особливої уваги слід приділити процесу роботи струмінно-реактивної турбіни (СРТ), як невід'ємної частини турбодетандерного агрегату для утилізації енергії стиснутих газів і пари на вузлах дроселювання з терміном окупності до двох років, що насамперед економічно вигідно. Принцип роботи СРТ полягає в перетворенні потенціальної енергії стиснутого газу в кінетичну енергію надзвукового струменя, що витікає з тягового сопла.

У роботі виконаний аналіз факторів, які впливають на ефективність струмінно-реактивної турбіни. Були виконані розрахунки ККД при заданих повних тисках на вході в турбіну від  $P_p=2$  МПа до  $P_p=10$  МПа для розрахункових (ступінь нерозрахунковості  $S=1$ ) і нерозрахункових (при  $S>1$ ) режимів роботи тягового сопла ( $S$  – це відношення тиску у вихідному перерізі тягового сопла до тиску в навколишньому середовищі, в яке витікає газ).

За результатами досліджень:

- виявлено, що для кожного заданого тиску на вході існує максимальне значення ступені нерозрахунковості тягового сопла  $S$ , при безрозмірній (наведеній) швидкості на вході в ротор  $\lambda_1 = 1$  (відношення швидкості потоку газу на вході в трубу до критичної швидкості);

- отримані максимальні значення ККД для кожного початкового тиску на вході в турбіну;

- побудовані графічні залежності ККД струмінно-реактивної турбіни від наведеної окружної швидкості робочого колеса ( $\bar{U} = 0 \dots 0,7$ ) СРТ;

- побудовані залежності максимальних значень ККД від ступені нерозрахунковості тягового сопла при заданих тисках на вході СРТ. З отриманих залежностей, виявлено, що найбільшого значення ККД набуває при розрахунковому режимі роботи тягового сопла, тобто при  $S = 1$ .

## DESIGN PRINCIPLES FOR CENTRIFUGAL COMPRESSOR DIFFUSERS BASED ON THE USE OF VELOCITY DISTRIBUTION

*Kalinkevych, M. Professor of the Department of Technical Thermophysics,  
Lazarenko A. student gr. XK-71*

Centrifugal compressors are widely used in many industries, including the refrigeration industry. By using more efficient diffusers, the energy consumed to maintain the centrifugal compressor can be reduced.

This paper describes the design principles of diffusers based on physical and mathematical models of the flow of swirling viscous compressed gas. According to the presented method, the diffusers' design is based on the preseparation condition of the boundary layer along one of the outer surfaces. Stratford (1959) obtained experimentally the close to zero coefficient friction flow along one of the surfaces of the two-dimensional diffuser. In that case the maximum pressure rises, which is possible for the given diffuser dimensions should be achieved.

Numerical and experimental research was performed for different compressor stages. Conducted experimental calculation studies and comparison of design and experimental characteristics of diffusers and flow parameters in diffusers confirm the efficiency of the diffuser, which was designed using the presented method and the adequacy of mathematical models with the physical processes of gas flow in diffusers.

A new method of designing the vane diffusers with a predetermined velocity distribution on vane surfaces provides an improvement in the gas-dynamic characteristics of diffusers compared to traditional geometry diffusers, which consists of reducing losses from 28% to 50% and increasing the values of static pressure coefficients from 9% to 21% in a wide range of the flow rate.

A new method of designing centrifugal compressor channel diffusers, according to which the channel geometry is determined by the condition of the preseparation condition of the boundary layer, allows to improve the efficiency of the diffusers in comparison with the channel diffusers of the traditional geometry, namely to reduce losses on the calculated mode by 30% and increase the static pressure setting factors up to 32%.

### References

- 1 Stratford B S. 1959. An experimental flow with zero skin friction throughout its region of pressure rise. ASME J. Fluid Mech. 5, 17-35.
- 2 Kalinkevych M., Skoryk A. 2013. Flow and performance investigation of the specially designed channel diffuser of centrifugal Compressor. 8th International Conference on Compressors and their Systems. City University London, UK, 489-500.

## ВІДЦЕНТРОВИЙ ГАЗОВИЙ КОМПРЕСОР

*Калінкевич М. В., професор каф. ТТФ, Лісовенко Д. О., студент гр. К.м-91*

Відцентровий газовий компресор є необхідною частиною установки для скраплення природного газу. Параметри компресора взяті з розрахунку схеми установки для скраплення природного газу. Початковий тиск дорівнює 0,32 МПа, початкова температура – 300 К, масова витрата – 2,3 кг/с. За результатами аналізу варіантних розрахунків прийнята схема трьохвального, шестиступеневого компресора. Відношення тисків одного ступеня дорівнює 1,41. Кінцевий тиск компресора дорівнює 1,9 МПа.

Завдяки високій продуктивності навіть при неповному навантаженні, і мінімального технічного обслуговування багатовальний компресор є найбільш економічно обґрунтованим рішенням для даної установки. Також компресор даного типу має ряд переваг у порівнянні з одновальними компресорами. Завдяки тому, що кожен вал обертається з індивідуальною швидкістю, на кожній ступені забезпечується оптимальна частота обертання. Перевага компресорів з вбудованим редуктором полягає в тому, що дана конструкція має прямий привід. А в якості приводу можливе використання електродвигуна або турбіни. Конструкція компресора дозволяє виконувати проміжне охолодження газу, що сприяє зменшенню споживаної потужності для стиснення газу. Компресор має міцну та компактну конструкцію.

Компресори даного типу активно застосовуються в різних сферах. Але в Україні багатовальні компресори не виготовляються.

В даній роботі виконані розрахунки теплофізичних параметрів для всіх ступенів. Визначені параметри газу й основні геометричні параметри ступенів компресора. Визначені частоти обертання роторів.

Частота обертання першого ротора дорівнює 18700 об/хв., діаметри робочих коліс першого та другого ступеня дорівнюють 0,28 м. Частота обертання другого ротора дорівнює 25200 об/хв., діаметри робочих коліс третього та четвертого ступеня дорівнює 0,206 м. Частота обертання третього ротора дорівнює 33800 об/хв., діаметри робочих коліс п'ятого та шостого ступеня дорівнює 0,153 м.

Розрахунки показали, що багатовальний компресор може бути застосований, та має наступні переваги в порівнянні з одновальним компресором: оптимальна частота обертання, та параметри робочого колеса на кожному ступені; охолодження після кожного ступеня; компактність.

### Список літератури

1 Калінкевич М. В. Варіантний розрахунок відцентрового компресора: Навчальний посібник. – Суми: Вид-во СумДУ, 2008. – 55с.

## ТЕПЛОВИЙ НАСОС, ЩО ПРАЦЮЄ НА БАЗІ ВУГЛЕЦЕВОГО ЦИКЛУ

*Колесник Н.С., студентка, гр. ХК-61/1Х;  
Чех О.Ю., провідний інженер, кафедра ТТФ*

Однією з головних проблем, яку сьогодні вирішує світова спільнота, є економія енергії. Водночас реалізуються дві цілі - збереження невідновлюваних енергетичних ресурсів та зменшення шкідливих викидів продуктів згоряння в атмосферу, що є головним фактором глобального потепління. Одним з найважливіших напрямків вирішення цієї проблеми є використання енергозберігаючих технологій, заснованих на використанні теплових насосів.

Теплові насоси здійснюють зворотний термодинамічний цикл, утилізуючи низькопотенційну теплоту природних, технологічних або побутових джерел енергії та трансформують її на більш високий температурний рівень. У цьому випадку енергії витрачається в 1,2 – 2,3 рази менше, ніж у разі прямого спалювання палива.

Спочатку, через низьку критичну температуру двоокису вуглецю, а також із винаходом галогенвуглецевих холодоагентів, вуглекислий газ, перестали використовувати у системах охолодження та кондиціонування. Проте, з відкриттям шкідливого впливу синтетичних холодоагентів на навколишнє середовище виник підвищений інтерес до природних холодоагентів, таких як двоокис вуглецю.

Використання вуглекислого газу як робочої речовини для теплових насосів має сенс, бо він абсолютно безпечний, негорючий, нетоксичний, не руйнує озоновий шар, має найменший потенціал глобального потепління. Він доступний у будь-якій кількості та порівняно дешевий. Вуглекислий газ має наступні унікальні термодинамічні та теплофізичні властивості:

- низьку температуру кипіння, що визначає високий рівень тиску в області насичення;
- досить високу температуру вуглекислого газу після компресора, яка не пов'язана жорстко з тиском, як у теплових насосах пароконденсійного типу. У цьому випадку відбувається суттєва зміна температури під час охолодження газоподібного вуглекислого газу, що дозволяє нагріти теплоносії до великої різниці температур;
- великі густина парів при всмоктуванні та питома теплова потужність зумовлюють зменшення діаметрів труб і розмірів компресора.

Таким чином, разом з ефективними показниками стиснення та високими характеристиками теплопередачі діоксиду вуглецю, є можливість проектувати досить ефективні теплонасосні системи.

### Список літератури

1. Арсеньєв В. М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку: навч. посіб./В. М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2018 – 233 с.

## СУЧАСНИЙ ДОСВІД МОДЕЛЮВАННЯ ЕНЕРГОСИСТЕМ

*Яковлева О.Ю., доц. каф. ХУКП, ОНАХТ*  
*Остапенко О.В. ст. викл. каф. ХУКП, ОНАХТ*  
*Хмельнюк М.Г., проф. каф. ХУКП, ОНАХТ*

Сталий розвиток енергетики на світової арені та в Україні вимагає, щоб експерти прогнозували та формували результати, які можливо отримати в рамках декілька сценаріїв. Такі сценарії враховують ряд показників: наявність ресурсів, ціноутворення, технологічні інновації, зростання попиту, а також зміни в енергетичній та екологічній політиці. Комп'ютерне моделювання – критично важливий інструмент, який пропонується використовувати для вивчення можливостей при прийнятті рішень в межах різних припущень. Енергетична інфраструктура України – об'єкт реалізації довгострокових цілей. Звідки типові сценарії, які відбивають значний оборот основного капіталу у відповідь на зміну політики, повинні охоплювати кілька десятиліть. Зважаючи на невизначеності, які ростуть з часом, використання змодельованих систем для отримання вузько кількісних прогнозів – небезпечний захід, який часто призводить до висновків, які вводять в оману. Навіть при наявності досвіду моделювання, якість вхідних даних і обчислювальні ресурси, які представлені у результатах моделі, що охоплює кілька десятиліть, складно перевірити. Такий бар'єр ускладнює створення циклу зворотного зв'язку, який пов'язує удосконалення моделі системи з більш точними прогнозами [1,2,3]. Звідки метою моделювання енергетичної системи (ЕС) повинно бути розуміння, яке змушує працювати екстра над робочим припущенням і моделями систем, а не обмежувати набір кількісних прогнозів. З огляду на складність системи, що підлягає моделюванню і нездатність підтвердити результати, моделювання ЕС вимагає застосування певної кількості модельних суджень. В наявності експертів – методологія, підходи та моделі, які маючи свої сильні і слабкі сторони, адаптовані під конкретні типи завдань. Дослідження авторами систематичного аналізу невизначеності та гібридного моделювання в Великобританії характеризували відмінності між різними типами енергетичних моделей. Моделі оптимізації енергетичних систем (ESOM) широко використовуються для моделювання загальносистемних впливів розвитку енергетики з використанням самоузгодженої основи для аналізу. ESOM включають технологічні специфікації та використовують методи лінійного програмування для зменшення загальносистемних витрат на енергопостачання шляхом оптимізації установки, енергетичних технологій та їх використання. Моделі ЕС схильні до ряду обмежень, які встановлюють критерії продуктивності системи, а також певні межі кінцевого користувача. Результати моделювання включають аналіз майбутніх виробничих потужностей, використання технологій, граничних цін на ресурси та викиди ЕС. Моделі ESOM забезпечують узгоджену структуру обліку для визначення техніко-економічних характеристик при моделюванні процесів.

Формулювання моделі ЕС дозволяє швидко і ефективно шукати нормативні цілі в межах складних систем. Результати надають можливість запропонувати енергетичні показники у майбутньому, що відображає цілі як енергетичної так і екологічної політики України. Можливість охоплювати міждисциплінарні взаємодії, надає плюс наскрізного розуміння, яке важко вловити в галузевих моделях. ESOM стали магнітом для підвищення складності, так як розробляються різні підходи і функції для поліпшення реального стану ТЕР, що пов'язано з внутрішньою динамікою моделі. Реагування на цінові вимоги, макроекономічні перешкоди, зворотний зв'язок та ендегенне технологічне навчання ускладнюють такі моделі ЕС. Рішення експертів залежать від моделі та аналізу ЕС і залежать від обґрунтованого запропонованого судження, а не від об'єктивних правил. При розробці моделі експерт повинен приймати свої власні рішення про те, як розробляти і застосовувати ESOM. Згодом це призвело до переповненого аналізу на основі моделей, який може знищити осіб, які приймають рішення, через їх складності. Незважаючи на те, що енергетичне співтовариство України та світу справедливо зосередилося на конкретних модельних додатках для обґрунтування прийняття енергетичних рішень, існує також необхідність документувати підхід до додатків ESOM таким чином, щоб підвищити прозорість і викликати довіру серед тих, хто покладається на результати, засновані на моделях.

Незважаючи на використання ESOM для отримання результатів аналізу з високим ступенем прозорості, було мало спроб формалізувати підхід до аналізу ЕС на основі моделей. На відміну від цього, оцінка життєвого циклу LCA, яка включає аналогічні оцінки аналітиків, виграла від зусиль, спрямованих на стандартизацію підходу. Хоча такі керівництва спростовують поточні методологічні дебати в співтоваристві LCA, вони досягли консенсусу з широкого кола питань і служать практичним посібником для спеціалістів які працюють с LCA.

#### Список літератури

1. Joseph DeCarolis. Formalizing best practice for energy system optimization modelling. 2017 [on-line resources] accessed by URL: [https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1546818/1/Strachan\\_DeCarolis\\_et\\_al\\_manuscript.pdf](https://discovery.ucl.ac.uk/id/eprint/1546818/1/Strachan_DeCarolis_et_al_manuscript.pdf) at February 10, 2020
2. Miguel F. Astudillo. Integrating Energy System Models in Life Cycle Management. 2018. [on-line resources] accessed by URL: [https://www.researchgate.net/publication/326150510\\_Integrating\\_Energy\\_System\\_Models\\_in\\_Life\\_Cycle\\_Management](https://www.researchgate.net/publication/326150510_Integrating_Energy_System_Models_in_Life_Cycle_Management) at February 10, 2020
3. Karl-Kiên Cao. Classification and Evaluation of Concepts for Improving the Performance of Applied Energy System Optimization Models. *Energies* 2019, 12(24), 465 [on-line resources] accessed by URL: <https://www.mdpi.com/1996-1073/12/24/4656/htm> at February 10, 2020



## COMPARATIVE ANALYSIS OF FLOW IN CRACKS AND HOLES WITH AN EQUIVALENT AREA OF THROAT

*V.N. Baga, senior lector, Sumy State University, Sumy  
Lazurenko A. A., Davidenko O. M., students, Sumy State University, Sumy*

To model labyrinth seal using the full geometric modeling is impossible due to the small axial clearances and relatively small thickness of a crest. We lack theoretical research into complex flow mechanism in labyrinth seals. For practical calculations of labyrinth seals we use well known formula for determining leakage value through a series of successively established holes with sharp edges, supplemented by coefficients obtained in the course of experiments conducted under conditions which practically had nothing to do with full scale ones: flat (non-circular) models are used, possible effect of the shaft rotation and crack microgeometry are not taken into account.

Turbo efficiency depends on the internal flow. Labyrinth seals are used as internal seals. To determine their flow characteristics a simplified calculation model of the hole with a sharp edge, supplemented by coefficients obtained in the course of experiments is used. These coefficients do not take into account a number of factors related to the geometric features of the slit. The purpose of this study is to test the hypothesis of the currents feasibility in the hole to the cracks calculation. Flow rate through a labyrinth seal is the main indicator of its efficiency. Computational procedure for determining the extent of the influence of gas physical properties on flow intensity does not exist. In computational practice, well-known formulas are applied where gas physical properties take into account the density value of a working body that cannot fully reflect their impact on labyrinth seals flow characteristics

The objective of this study is to determine the values of the flow coefficients in cracks and holes of various shapes, also having an equivalent area. Numerical studies were carried out using the CFD methods. Numerically the problem was solved to reduce the number of experimental studies and obtain the visualizations of flow in investigated cracks settings. Verification of the results obtained was performed by comparing with the results of the pilot study, which were conducted on the unified test stand. With a view to determining the correct treatment of centrifugal compressor labyrinth seal as a series of sequentially fixed slots a number of cracks calculations with different geometry were carried out.. Differences in the flow coefficient values of investigated cracks were found. They exceed 30%. This difference is significant. This implies the necessity of case-by-case approach when creating calculation methods for determining the metering characteristics of cracks. Equivalent value can not be a basic characteristic.

ТЕПЛОНАСОСНА УСТАНОВКА  
НА БАЗІ РІДИННО-ПАРОВОГО ЕЖЕКТОРА  
З РОБОЧИМ СЕРЕДОВИЩЕМ R718 ДЛЯ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ

*Шарапов С. О., к.т.н., ст. викладач, кафедра технічної теплофізики;  
Снісаренко Д. О., студент, група ХК-61*

Однією з основних проблем, що вирішується світовою спільнотою на цей час, є енергозбереження. Одночасно реалізуються дві мети – збереження невідновлюваних енергоресурсів і скорочення шкідливих викидів в атмосферу продуктів згоряння, що є, зокрема, основним фактором глобального потепління.

Одним із найважливіших напрямів вирішення зазначеної проблеми є використання енергозберігаючих технологій на основі використання теплових насосів.

Теплові насоси, здійснюючи зворотний термодинамічний цикл на низькокиплячій робочій речовині, утилізують теплоту та трансформують її на більш високий температурний рівень. До того ж первинної енергії витрачається у 1,2–2,3 рази менше ніж у разі прямого спалювання палива.

Сучасні теплові насоси використовують в якості холодоагентів переважно аміак і хладони (фреони). Термодинамічні властивості цих речовин такі, що виробництво холоду в широкому діапазоні низьких температур (від 0°C до –40°C) як правило здійснюється при тиску в системі вище атмосферного. Більше того, робота випарника теплового насоса при тисках, близьких до атмосферного, вважається позаштатним режимом, який небезпечний для установки з точки зору можливого небажаного всмоктування атмосферного повітря.

Застосування води в якості холодоагенту у світовій технічній практиці відомо у пароежекторних холодильних установках. Вода має низку унікальних властивостей, в тому числі високою теплою пароутворення  $r$ , що становить для вакуумних режимів близько 2500 кДж/кг, що у 10 разів вище, ніж у хладону R22.

Питома теплоємність води  $C_p$ , також висока і становить приблизно 4186 Дж/кг · К). Відповідно відношення  $C_p/r$  мале у порівнянні з іншими речовинами і приблизно дорівнює  $1,87 \cdot 10^{-3}$  1/К. Для етилового спирту, наприклад, цей показник дорівнює  $2,373 \cdot 10^{-3}$  1/К, для метилового близький до значення  $2,1 \cdot 10^{-3}$  1/К. З фізики процесу вакуумного охолодження випливає, що ефективність його найкраща для речовин, де відношення  $C_p/r$  менше.

Вода – дешевий і доступний холодоагент, однак має високу температуру замерзання, що обмежує область її застосування. Слід зважати і корозію металу в присутності кисню повітря. Розширення температурного діапазону речовин на основі води можливо з використанням солей, спиртів і ефірів.

Тому автори роботи пропонують принципово нову схему теплонасосної установки для системи опалювання на базі парокомпресійного теплового насосу з регенеративним теплообмінником. Він відрізняється від традиційного тим, що замість звичайного холодильного спірального компресора у ньому використовується вакуумний агрегат на базі рідинно-парового ежектора, який працює за принципом струминної термокомпресії.

У якості холодильного агенту контуру парокомпресійного теплового насоса використовується вода (R718), в опалювальному контурі використовується мережева вода, а у контурі випарника циркулює 27,4%-ий розчин пропіленгліколя.

Температура конденсації холодильного агенту у контурі теплового насоса дорівнює +60, у температура випаровування – +5°C.

Схемне рішення системи опалення приміщення передбачає включення до лінії системи централізованого опалення з можливістю автономної роботи в тому числі. Утилізація низькотенційного джерела енергії передбачає використання теплоти ґрунту. У схемі передбачена робота ТНУ як у моновалентному, так і у бівалентному режимі. Випарник виконано кожухотрубного типу, де у трубному просторі циркулює вода, а у міжтрубному – 27,4%-ий розчин пропіленгліколя. Режим течії теплоносіїв – перехресний.

Конденсатор в схемі ТНУ виконує роль проміжного теплообмінника між холодильним агентом контуру ТНУ та теплоносієм системи опалення. Конденсатор виконаний у якості високоефективного теплообмінного апарату пластинчастого типу для забезпечення максимальної теплопередачі до рідини системи опалення.

Виконавши розрахунок теплонасосної установки на базі рідинно-парового ежектора, можна зробити наступні висновки:

1. Застосування рідинно-парового ежектора у складі теплонасосної установки дає змогу реалізувати принципово новий цикл перетворення енергії з коефіцієнтом перетворення циклу на рівні  $COP_{ТНУ} = 3,5$ .

2. Використання у якості холодильного агенту води дає змогу значно зменшити витрати на придбання холодильного агенту і на можливу заміну його у процесі роботи установки.

3. Застосування рідинно-парового ежектора у складі теплонасосної установки ускладнює її схему, т. як замість одного спірального компресора додається цілий ряд нових апаратів (сепаратор, теплообмінник-підігрівач, циркуляційний насос і т. д.).

Дана робота є початковим етапом дослідження застосування води у якості холодильного агенту для теплонасосних установок, що використовуються для систем опалення а також впровадження рідинно-парових ежекторів для даних цілей.

Її продовженням буде порівняння даної схеми з існуючими на традиційних холодильних агентах (R142b, R254fa, R410a) та проведення термoeкономiчного розрахунку запропонованої схеми та традиційних.

## ДОСЛІДЖЕННЯ ПЛАСТИНЧАСТО-РЕБРИСТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ КОМПРЕСОРНОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ СТИСНЕННЯ ПРИРОДНОГО ГАЗУ

*Шарапов С. О., к.т.н., ст. викладач, кафедра технічної теплофізики;  
Супрун А. В., магістрант, група ХК.мз-91с*

Компресорні установки призначені для стиснення різноманітних газів в різних галузях промисловості, техніки, на транспорті та у медицині. Різноманітність застосування компресорних установок обумовлює їх широке діапазон потужності – від 1 до 25000 кВт і створюваного тиску – від 0,2 до 250 МПа.

Працездатність, надійність і економічність більшості компресорних установок суттєво залежить від якості відведення теплоти від середовищ, що у них стискаються. Комплекс пристроїв, що дозволяють відводити теплоту в компресорах і передавати її навколишньому середовищу, прийнято називати системою охолодження. Досконалість системи охолодження багато в чому визначає технічний рівень компресорної установки в цілому.

Дана робота спрямована на розробку, дослідження та поліпшення ефективності пластинчасто-ребристих теплообмінників, як одного з найбільш передових і перспективних з існуючих видів теплообмінників, що застосовуються для систем охолодження компресорів.

У якості установки, для якої проектується даний теплообмінний апарат обрано поршневу компресорну станцію на базі компресора ЗГШ1,6-1,2/1,5-230, яка призначена для заправки автомобілів стисненим природним газом.

Метою роботи є розрахунок теплових, геометричних і гідродинамічних характеристик різних видів насадок і вплив зміни цих параметрів на ефективність компресорної установки.

У роботі були розраховані три різних типи насадок: трикутна, прямокутна і трапецієвидна. Спочатку складена методика і алгоритм розрахунку насадок. Весь розрахунок поділений на три етапи: теплової, геометричний і гідродинамічний розрахунки. Метою кожного етапу розрахунку є визначення параметрів насадки і її ефективності.

Для проведення розрахунку обрана математична модель в залежності від характеристик течії потоку в апараті, охолоджувального середовища і холодоагенту, початкових і кінцевих умов.

Розраховувачи і проаналізувавши три варіанти теплообмінників з трикутними, прямокутними і трапецієвидними насадками, робимо висновок, що найбільш вигідний по конструкції пластинчасто-ребристий теплообмінник з трапецієвидними насадками. При однакових геометричних параметрах, таких як довжина ребра, у нього менша необхідна площа теплообміну, а отже і габаритні розміри. Також вище коефіцієнти тепловіддачі і менше гідродинамічні опору і втрати потужності.

NUMERICAL SIMULATION  
OF MOTIVE FLOW NOZZLE GEOMETRY  
OF LIQUID-VAPOR EJECTOR

*Sharapov S., PhD, Senior Lecturer; Husev D., MSc, group EM.m-81;  
Prokopov M. PhD, Senior Lecturer, SSU, Sumy*

In modern two-phase jet apparatus to which the liquid-vapor ejector applies, nozzles closely related to the Laval nozzle are used as the nozzle of the motive flow, in which the stream is compressed and slowed down at the inlet portion that narrows and then accelerates at the outlet portion, which is expanding.

Theoretical and experimental studies of the motive flow nozzle have shown that even for straight-walled nozzles it is possible to achieve a leakage efficiency of 95-97%, but there will be flow separation from the channel walls, sealing and condensation jumps, and uneven pressure profile and speeds along the length of the nozzle. All this leads to the need to profile and numerically simulate the part of the expanding nozzle.

The authors determine the most suitable profiles, which include logarithmic, parabolic, elliptical and profile, which is calculated according to the Vitoshynsky formula.

For the mathematical description of the processes occurring in the nozzle of the motive flow, we use a dynamic model of metastable superheated fluid boiling flow, which is proposed by M. Prokopov for the compressor mode of operation. For the vacuum mode of operation, it was finalized by S. Sharapov. This model uses the method of indirectly determining the averaged flow parameters, such as the phase temperature distribution, velocity, vapor content, and the sizes of the discrete phase along the flow. The essence of this method lies in the joint consideration of research data on flow rate, jet impulse, static pressure distribution and flow visualization with balance equations of conservation. The calculation system of equations consists of one-dimensional approximation conservation equations and is solved together with the equation of vaporization, dependencies for the calculation of the channel geometry and the tangential stress on the wall. The water equation for the regions of liquid phase, saturated and superheated steam is used in tabular form. The boundary conditions are the distribution of the initial parameters and ratios that characterize the features of the formation and development of vapor flow in the sections of inversion and separation of flow from the walls of the channel.

According to the results of numerical calculations, it is determined that the most optimal is the parabolic profile, since in the process of boiling the complete decomposition of the central nucleus of the liquid occurs at the optimum distance, and at the outlet a stream of a homogeneous vapor-drop structure with the optimum steam is formed.

## МОДЕЛЮВАННЯ ПНЕВМОМЕРЕЖ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

*Будко Д. В., аспірантка, Бондаренко Г. А., професор, кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми*

Інфраструктура кожного промислового підприємства будь-якої галузі обов'язково передбачає наявність системи повітропостачання для забезпечення його технологічних потреб.

На сьогодні не існує методів розрахунку розгалужених пневмосистем. В основному проблема вирішується закладанням значного запасу потужності компресорної станції (далі КС), що вкрай не ефективно.

Окрім КС, необхідним елементом системи повітропостачання є пневмомережа (система повітропроводів). Існують різні за конфігурацією схеми систем: з одиничним споживачем, кільцева (з кільцевим колектором), в'ялова, розгалужена (лінійна, деревовидна); кожна з яких має свої переваги та недоліки [1].

Суттєвою особливістю є те, що мережі працюють у змінному за часом режимі (погодинно, позмінно, посезонно), що ускладнює аналіз енергоефективності такої мережі. Для проведення розрахунків при проектуванні пневмомереж, а також для аналізу їх роботи у реальному часі необхідне створення математичної моделі функціонування такої мережі.

Мета роботи: розробка математичної розрахункової моделі пневмомережі промислового підприємства, яка дозволить визначати параметри стисненого повітря у характерних точках мережі, біля споживача, а також у повітрозбірнику у будь-який момент часу.

Принципи побудови математичних моделей універсальні, але дослідження і оптимізація роботи системи повітропостачання виконується лише для конкретної мережі, яка вважається заданою [2]. Процес руху стисненого повітря в системі «КС-споживач» суттєво несталий, зі змінною масою. Тому визначення параметрів повітря може бути проведене на основі рівняння балансу мас входу і виходу для визначеного розрахункового перерізу у кожний заданий момент часу. У якості такого розрахункового перерізу найзручніше прийняти повітрозбірник (ресивер, акумулятор), один чи декілька з'єднаних паралельно із загальною сумарною ємністю  $Q$ , м<sup>3</sup>. У найпростішому випадку у кожен момент часу у повітрозбірник іде подача повітря масовою продуктивністю  $m_k$ , кг/с, і розподіл стисненого повітря між споживачами з масовою витратою  $m_c$ , кг/с. Тобто мають бути відомі і задані функції  $m_k = f(t); m_c = f(t)$ . Якщо у процесі роботи компресор не вимикається і не регулюється, то можна вважати  $m_k = const$ . А ось витрата повітря споживачем частіше за все хаотична і залежить від типу споживача.

Крім того, вважаємо, що розгалужена мережа має велику ємність і гідравлічний опір, а значить і демпфуючі можливості до погашення коливань.

При цьому імпульси тиску від споживача гасяться по амплітуді і відбувається згладжування графіку споживання, що дає можливість при математичному моделюванні вважати режим роботи квазістаціонарним детермінованим (тобто, на часових проміжках заданої протяжності вважати навантаження постійним).

Основною характеристикою мережі вважається тиск у початковому перерізі мережі (в повітрозбірнику) тому, що ця величина є визначальною та задає режим регулювання роботи КС за тиском.

Для створення моделі використані гідравлічний підхід та теорія графів.

Теорія графів припускає умовне розділення мережі на ділянки з постійними характеристиками (діаметром труби, коефіцієнтом тертя) [3]. Ці ділянки називаються ребрами графа, а межі між ними – вершинами. А також полюса графа, якими являється повітрозбірник на виході з КС з одного боку, а з іншого боку – стан повітря на входах до споживачів. Теорія графів дозволяє упорядкувати і спростити гідравлічний розрахунок мереж. А також розрахунок слід виконувати кожен раз при переході до нового часового інтервалу.

Мета даних розрахунків – визначення тиску по гілкам трубопроводів, а також у колекторі з метою подальшого визначення тиску у повітрозбірнику. Крім того в реальних умовах існують обмеження щодо максимального та мінімального значення тисків, що пов'язано з безпекою та працездатністю пневмоспоживача, тобто  $P_{\min} < P_{\text{роб}} < P_{\max}$ . При досягненні робочим тиском мінімальної чи максимальної позначки, подається сигнал на управління роботою КС [4, 5].

#### Список літератури

1. Бондаренко Г. А. Компресорні станції : підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. — Суми : Сумський державний університет, 2016. — 385 с.
2. Давиденко Н. В. Завдання та етапи побудови системи контролю енергоефективності об'єктів комунального водопостачання / Н. В. Давиденко // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2016. – № 1. – С. 22–27.
3. Харарі Ф. Теорія графів / Харарі Ф. — М. : Мир, 1973. — 300 с.
4. Применение электрического моделирования для расчета компрессорных станций / [Аронзон Н. З., Козлов В. А., Козобков А. А., Мессерман А. С.]. — Изд-во «Недра», М., 1969. — 180 с.
5. Будко Д. В. О математическом моделировании системы воздухообеспечения промышленного предприятия / Д. В. Будко, Г. А. Бондаренко // Компрессорное и энергетическое машиностроение – 2015. – № 4. – С. 29–33.

**СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ  
ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ  
(ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА)»**



## ВИХРОВА РОЗШИРЮВАЛЬНА ТУРБОМАШИНА, ЯК ДЖЕРЕЛО АЛЬТЕРНАТИВНОЇ ЕНЕРГІЇ

*Вансєв С. М., доцент, Вірчак О.О., студент гр. К.м-91, СумДУ, м. Суми;  
Баран В.В., викладач, Дрогобицький коледж нафти і газу*

Суттєве підвищення енергоефективності національної економіки України є одним із основних шляхів забезпечення національної безпеки, наповнення бюджету, підвищення конкурентоспроможності, як на внутрішньому, так і на зовнішніх ринках, вирішення соціально-економічних питань. Важливим напрямком в енергетиці, є використання потенційної енергії природного газу високого тиску магістральних газопроводів.

Альтернативою клапанним дроселюючими системам зниження тиску газу нині є утилізуючі системи, що базуються в основному на турбодетандерних електрогенераторних установках і агрегатах, що забезпечують одночасно з функцією зниження і регулювання тиску газу, отримання механічної роботи на валу турбіни з перетворенням її в електроенергію. Крім того, ця технологія забезпечує зниження рівня шкідливих викидів в порівнянні з традиційними технологіями виробництва електроенергії.

Широкомасштабне впровадження утилізаційних турбодетандерних систем на середніх і малих ГРС, ГРП, тощо, представляється можливим лише на основі рішень, що забезпечують швидку і дешеву реконструкцію існуючих дроселюючих систем з терміном окупності не більше 1 року.

Вихрова турбіна, в порівнянні з осьовими або доцентровими, простіше за конструкцією і дешевше у виготовленні. Переваги таких турбіни дозволяють отримати турбопривід або турбогенератор максимально простий і надійний, з коротким терміном окупності.

Виходячи з рекомендованих діапазонів використання вихрових турбін за параметрами, представляється найбільш доцільним застосування вихрових турбін для приводу пневмоінструменту, електрогенераторів невеликої потужності, турбокомпресорів, насосів тощо. Такі широкі можливості роблять ці турбіни перспективними для застосування в енергозберігаючих технологіях. Особливо перспективним є напрямок використання вихрових турбін замість редукторів тиску газу або пари. Це дозволяє використовувати безповоротно втрачаєму при дроселюванні ексергію.

В роботі представлені результати розрахунку турбогенератора, призначеного для вироблення електроенергії для власних потреб компресорних станцій магістральних газопроводів.

Створення утилізуючих пневмоагрегатів на базі вихрових розширювальних машин сприяє вирішенню науково-технічної задачі впровадження надійного, конструктивно простого та енергозберігаючого устаткування в різних галузях промисловості.

## КАСКАДНА ХОЛОДИЛЬНА МАШИНА ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА ХОЛОДУ НА ДВОХ РІВНЯХ

*Арсеньєв В. М., к.т.н., професор, СумДУ,  
Колесник Н. С., студентка, група ХК-61*

Проблема у раціональному споживанні паливно-енергетичних ресурсів пов'язана з пошуком і впровадженням технічних рішень з використання технологічних чи природних джерел теплоти.

Функціонування холодильної машини, практично будь-якого типу, базується на перенесенні у доквілля термотрансформованої теплоти і теплового еквівалента енергії, яка була витрачена у цьому процесі (роботи, теплоти, електроенергії). Таким чином реальним продуктом холодильної машини є тепловий потік, що відводиться від робочої речовини у теплообмінних апаратах, типу конденсатор і т. ін. Зазначений тепловий потік характеризується низьким температурним потенціалом 30...50°C, а для реального його використання у якості вторинного енергоресурсу потрібна нова ступінь термотрансформації за теплонасосною схемою.

Використання скидного потоку теплоти холодильної машини для додаткової генерації холоду, можливо лише при застосуванні тепло-використовуючих чи гібридних схем термотрансформації.

Каскадна холодильна машина, яка розглядається, структурована наступним чином:

- нижня гілка каскаду являє собою реалізацію надкритичного циклу з використанням у якості робочої речовини діоксиду вуглецю, що дозволяє передати у верхню гілку теплоту від газоохолоджувача з достатньо високою температурою, зі змінним інтервалом (120...60) °C;

- у верхній гілці каскаду використовується високотемпературний синтезований холодоагент (R236 fa або R245 fa), як у звичайному циклі пароежекторної холодильної машини.

Для випарника, який працює на діоксиді вуглецю, рекомендована температура кипіння  $t_{0, H} = (-20...-30)$  °C, а для випарника пароежекторного циклу  $t_{0, B} = (-10...0)$  °C.

Розрахунок режимних параметрів цієї холодильної машини потребує узгодження масових витрат холодоагентів у гілках, а також ітераційних обчислень основних характеристик ежектора.

При розрахунку параметрів циклу, співвідношення між холодопродуктивностями випарників для верхньої,  $\dot{Q}_{0, B}$  і нижньої  $\dot{Q}_{0, H}$  гілки каскаду мають вигляд:

$$\frac{\dot{Q}_{0, B}}{\dot{Q}_{0, H}} = \left( COP_B + \frac{COP_H}{COP_B} \right),$$

де  $COP_B$  і  $COP_H$  – коефіцієнти перетворення для відповідних циклів у холодильному режимі.

## ДЕЯКІ НАПРЯМИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ХОЛОДИЛЬНОГО УСТАТКУВАННЯ

*Буданов В.О., канд. техн. наук, доцент  
Одеська національна академія харчових технологій, каф. компресорів та  
пневмоагрегатів*

Важливим інструментом підвищення енергоефективності холодильного обладнання є сертифікація, що необхідна для моніторингу ринку праці відповідно до національної рамки кваліфікацій. Завдяки закріпленню на законодавчому рівні сертифікація приведе до скорочення викидів холодоагентів і підвищення енергоефективності. Для техніків-холодильщиків, в умовах високої конкуренції на ринку, доказ здатності якісно виконувати роботу і сертифікація можуть бути явною перевагою. В якості споживачів можуть виступати оптові підприємства, дистриб'ютори, кінцеві користувачі, що мають значну купівельну спроможність, які зацікавлені в екологічно чистих і енергоефективних продуктах та високоякісних послугах. Навчання, оцінка і сертифікація можуть захищати інтереси споживачів шляхом забезпечення надання послуг відповідно до діючих стандартів, які стосуються надійності і терміну служби устаткування, впливу на навколишнє середовище, профілактичного технічного обслуговування і ремонту. У зв'язку з цим може знадобитися сертифікація персоналу і компаній, які працюють із кондиціонерним, холодильним устаткуванням і тепловими насосами. Споживач може вимагати певного рівня якості та енергоефективності устаткування і обслуговування, які можуть бути гарантовані відповідною сертифікацією.

Скорочення споживання ГХФВ в секторі обслуговування холодильного устаткування займає головне місце в планах поетапної відмови від ГХФВ (НРМР). Тому важливо, щоб пріоритет віддавався заходам, спрямованим на скорочення викидів ГХФВ і інших холодоагентів, і одночасно забезпечував максимальну енергоефективність. Незважаючи на те, що запобігання витоків холодоагенту і підвищення енергоефективності можуть бути досягнуті за рахунок придбання більш високотехнологічних і високоякісних агрегатів, значного скорочення прямих і непрямих викидів (наприклад, за рахунок підвищення енергоефективності), також цього можна досягти за рахунок поліпшення роботи устаткування, що є результатом правильного складання, монтажу, заправлення і обслуговування. Тому в країнах, в яких скорочення споживання ГХФВ є пріоритетом у сервісному секторі, існує більша потреба в добре підготовлених і кваліфікованих техніках-холодильщиках для забезпечення максимальної ефективності. Сертифікація відповідних техніків-холодильщиків і підприємств може значно допомогти в досягненні цілей зменшення викидів парникових газів та підвищення енергоефективності холодильного устаткування.

## ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ МАЛИХ ХОЛОДИЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ ПІДПРИЄМСТВ ТОРГІВЛІ

*Івахно Г.Г., студент група ХК-61; Мелейчук С.С, доцент СумДУ;  
Галелюк А.З., викладач Дрогобицький коледж нафти і газу*

Інтенсивний розвиток підприємств торгівлі потребує розробки та використання енергоефективних холодильних машин, які в даній термінології називають малими холодильними машинами. Малі холодильні машини призначені для короткотермінового охолодження або зберігання харчових продуктів на підприємствах торгівлі. Це можуть бути збірні холодильні камери блочного типу, холодильні шафи, прилавки, вітрини. Холодильні машини, що отримали широке використання для підприємств торгівлі, класифікують за температурним рівнем: середньотемпературні (від 0 до  $-8^{\circ}\text{C}$ ) та низькотемпературні (до  $-18^{\circ}\text{C}$ ).

Підвищення норм щодо зберігання продовольчих товарів різних груп, потребують використання сучасних енергоефективних технологій у виробництві та експлуатації холодильних машин підприємств торгівлі. До цих вимог можна віднести технічні параметри щодо споживання електроенергії, надійності експлуатації, зручності обслуговування та ремонту, наявності ефективних систем автоматики, а також різноманітні функціональні можливості обладнання.

В роботі представлено розрахунок параметрів середньотемпературної камери блочного типу для зберігання продуктів харчування, що виготовлено з теплоізованих огорожень. Дані камери характеризуються високим ступенем заводської готовності і, відповідно, малими затратами для збирання на місці експлуатації. Розрахунок теплоприпливів, що надходять в камеру складається з наступних складових: теплоприпливів через огорожуючу конструкцію теплової ізоляції, теплоприпливів інфільтрації, тепловиділення продуктів харчування, тепловиділення від обслуговуючого персоналу та експлуатаційних теплоприпливів. Теплоприпливи через огорожуючу конструкцію напряму залежать від використання сучасних теплоізоляційних матеріалів. Як правило в сучасному промисловому обладнанні використовують пінополіуританову теплову ізоляцію, що характеризується низьким коефіцієнтом теплопроводності  $0,019-0,02 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$ , широким діапазоном робочих температур (від  $-180$  до  $+180^{\circ}\text{C}$ ) та тривалим строком експлуатації (до 30 років).

Враховуючи, що в долі експлуатаційних затрат підприємства торгівлі переважають витрати на електроенергію, пов'язаних з роботою холодильних машин, необхідно спрямувати увагу на оптимізацію даних затрат для чого проведено варіантний розрахунок теплового навантаження на холодильну машину в залежності від завантаженості продуктами харчування та їх температурним рівнем.

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАРО ТА ТЕРМОКОМПРЕСІЙНИХ ТЕПЛОВИХ НАСОСІВ

*Кузьменко О. Ю., студент група Х.м-91; Мелейчук С.С, доцент СумДУ; Зінкевич В.І., завідувач відділення природничих наук, автомобільного транспорту та електричної інженерії, Дрогобицький коледж нафти і газу*

Одним з перспективних напрямів в області заощадження енергоресурсів, як в рамках національної економіки, так і в межах енергоспоживання окремих підприємств, є застосування теплонасосних систем.

Основна системна перевага теплових насосів в порівнянні з іншими теплоджерелами полягає в можливості використання в теплопостачанні потоків низькопотенційних вторинних енергоресурсів і природної теплоти. Одним з ефективних способів економії паливних ресурсів, а також захисту навколишнього середовища є широке впровадження теплонасосних установок, в яких низькопотенціальні теплові потоки перетворюються в потоки з вищим температурним рівнем [1].

Найбільш розповсюджені теплонасосні системи парокомпресійного типу за загальноприйнятою класифікацією. Принцип дії парокомпресійного теплового насосу базується на енергообміні робочої речовини із джерелами низької та високої температур. З іншого боку тепловикористовувальні або термокомпресійні теплові насоси представляють собою поєднання компресорної машини (теплового насосу) та теплового двигуна [2]. У теплових насосах незалежно від виду витраченого енергоресурсу повинне бути реалізоване підвищення тиску робочої речовини для термотрансформації теплоти джерела низькопотенціальної енергії.

В даній роботі виконано розрахунок циклу термокомпресійного теплового насосу на робочій речовині R236fa та проведено порівняльний аналіз енергоефективності парокомпресійного та термокомпресійного теплових насосів через коефіцієнт перетворення  $COP_{\Sigma}$  циклу в залежності від температурного рівнів в парогенераторі (від 90 до 120 °C) та температурних рівнів утилізованого середовища (від 0 до 10<sup>0</sup>C).

У результаті проведеного розрахунку можна зробити висновок щодо більш високих показників енергоефективності термокомпресійного теплового насосу у порівнянні з парокомпресійним (відносний показник приросту ефективності  $COP_{\Sigma}$  складає від 2 до 42,4% у розрахунковому діапазоні).

### Список літератури:

1. Арсеньєв, В. М. Теплові насоси: основи теорії і розрахунку : навч. посіб. / В. М. Арсеньєв, С. С. Мелейчук. – Суми : СумДУ, 2018. – 364 с.
2. Морозюк Т. В. Теория холодильных машин и тепловых насосов / Т. В. Морозюк. – Одесса, 2006. – 712 с.

## ВДОСКОНАЛЕННЯ ЦИКЛУ ГТУ ЗА РАХУНОК РЕКУПЕРАЦІЇ ТЕПЛА ТА ЗВОЛОЖЕННЯ

Левченко Д.О., к.т.н., доцент;

Манжаров А. С., аспірант каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

Підвищення ефективності енергетичних установок є невід'ємною задачею сьогодення, так як це призводить до зменшення споживання ресурсів або зростання продуктивності при тих же початкових параметрах. Ефективність (коефіцієнт корисної дії) сучасних газотурбінних установок знаходиться в межах 40-45%, і саме через це існує необхідність в модернізації циклів задля підвищення їх к.к.д. В [1] запропоновано схемне рішення циклу ГТУ, в якій стиснене повітря після компресора подається до нижньої частини апарата рекуператора та зволожувача. Потік повітря проходячи сухі канали охолоджується при постійному вологовмісті (теоретично до точки роси за умов на вході) та поділяється на два потоки I та II. Далі потік I зволожується в верхній частині апарату та нагрівається за рахунок підведення тепла від потоку після турбіни та змішується за потоком II з подальшим нагріванням тим же потоком повітря після турбіни.

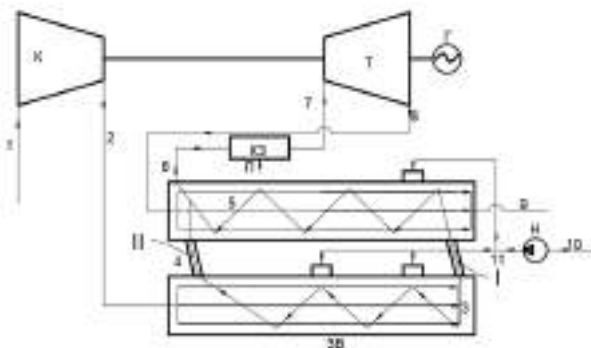


Рисунок 1 – Схема ГТУ з рекуперацією тепла та зволоженням

Додаткове зволоження повітря в системі ГТУ дозволяє підвищити питому роботу турбіни та циклу в цілому, що в свою чергу призводить до підвищення ККД установки.

Для оцінки енергоефективності виконано порівняльний розрахунок базової схеми (цикл Брайтона з рекуперацією тепла) та схеми запропонованої в [1] рисунок 1. Оцінку ефективності виконано за термічним ККД установки.

В якості початкових для обох схем умов було взято наступні показники:

- Температура в т.1,  $t_1 = 30$  °С;
- Тиск в т.1,  $p_1 = 101,325$  кПа;

- Потужність ГТУ  $N_{\text{ГТУ}} = 50 \text{ МВт}$
- Вологовміст та відносна вологість повітря в т.1  $d_1 = 0,016 \frac{\text{кг.В.}}{\text{кг.с.п.}}$ ;
- Відносна вологість повітря в т.1  $\varphi_1 = 60\%$
- Температура перед турбіною  $t_1 = 1200 \text{ }^\circ\text{C}$

Таблиця 1 – порівняння характеристик схем

Параметри	ГТУ з рекуперацією тепла	ГТУ з рекуперацією тепла та додатковим зволоженням
Ступінь стиснення компресора $\beta$	9,575	9,575
Ступінь розширення турбіни $\pi$	7,427	7,427
Питома робота компресора, $l_{\text{км}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	328,7	328,7
Питома робота турбіни, $l_{\text{т}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	604,1	787,8
Питома корисна робота турбіни, $l_{\text{кт}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	275,4	459,1
Питома водяного насосу, $l_{\text{н}}, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	-	0,013
Питомий підведений тепловий потік, $q_3, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	599,7	824,3
Масова витрата повітря через турбіну, $G_a, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	181,554	108,912
Масова палива, $G_f, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	3,688	2,776
Масова води, $G_w, \frac{\text{кг}}{\text{с}}$	-	25,579
Термічний ККД установки, $\eta_t, \%$	41,9	55,7

В результаті порівняльного розрахунку отримано, що запропонована схема в порівнянні з базовою має термічний к.к.д. на 14% вищий, це вказує на суттєві переваги використання додаткового зволоження в циклі ГТУ.

#### Список літератури

1. Saghafifar M, Gadalla M. Analysis of Maisotsenko open gas turbine power cycle with a detailed air saturator model. Appl Energy 2015;149:338–53. doi:10.1016/j.apenergy.2015.03.099.

## ЕКСЕРГЕТИЧНИЙ АНАЛІЗ ГТУ ЗІ ЗВОЛОЖЕННЯМ ТА РЕКУПЕРАЦІЄЮ ТЕПЛА

*Левченко Д.О., к.т.н., доцент;  
Манжаров А. С., аспірант каф. ТТФ, СумДУ,  
м. Суми*

Ексергетичний метод термодинамічного аналізу різноманітних систем та процесів дає змогу виконати як абсолютну оцінку ступені термодинамічної досконалості так і відносну у вигляді ексергетичного ККД. Використання такого підходу в аналізі енергетичних установках дає змогу оцінити потенціал робочого тіла (потоків енергії), тобто яку максимальну роботу воно може виконати при переході до стану рівноваги з навколишнім середовищем.

Використовуючи метод ексергетичного аналізу виконано порівняння ефективності двох систем (рисунок 1).

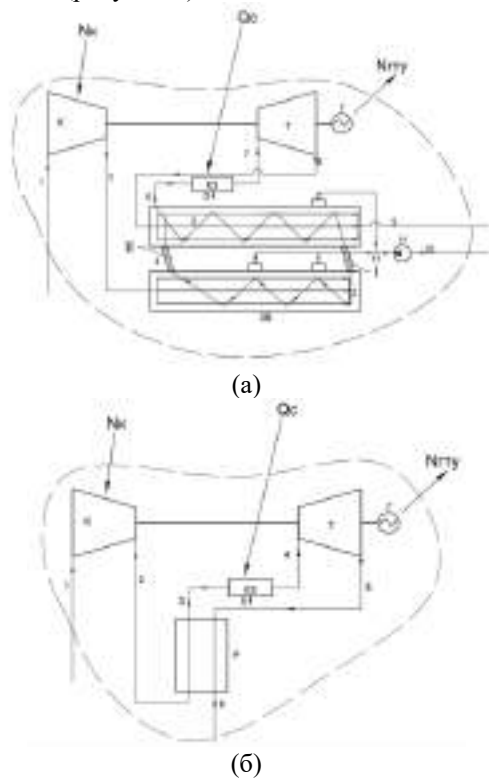


Рисунок 1 – Схеми ГТУ для виконання ексергетичного аналізу  
а) схема ГТУ з рекуперацією тепла та зволоженням  
б) базова схема ГТУ з рекуперацією тепла



Ексергетичний баланс для схеми (а) представлений в рівнянні (1) та є нічим іншим як балансом ексергій підведених («паливо») та відведених («продукт») потоків в системі. Відведені від системи потоки ексергії які надалі не використовуються (наприклад  $E_9$ ) не враховуються як продукт так як вони лише віддаються в навколишнє середовище.

$$E_1 + E_{Qc} + E_{10} + E_H = N_{ГТУ} + (E_l + E_d), \text{ де} \quad (1)$$

$E_i = G \cdot [(h_i - h_0) - T_0 \cdot (s_i - s_0)]$  – ексергія потоку речовини;

$E_{Qc} = 0,975 \cdot Q_c$  – ексергія палива яке подається до камери згоряння;

$E_H$  – ексергія підведена до насосу (дорівнює потужності насосу);

$N_{ГТУ}$  – ексергія відведена від турбіни (дорівнює корисній потужності турбіни);

$(E_l + E_d)$  – втрати ексергії системи в цілому.

Для базової схеми баланс має наступний вигляд:

$$E_1 + E_{Qc} = N_{ГТУ} + (E_l + E_d) \quad (2)$$

В результаті виконаних розрахунків отримані наступні показники ексергетичного ККД:

- схема ГТУ з рекуперацією тепла та зволоженням  $\eta_{ex} = 56\%$ ;
- схема ГТУ з рекуперацією тепла  $\eta_{ex} = 42\%$ .

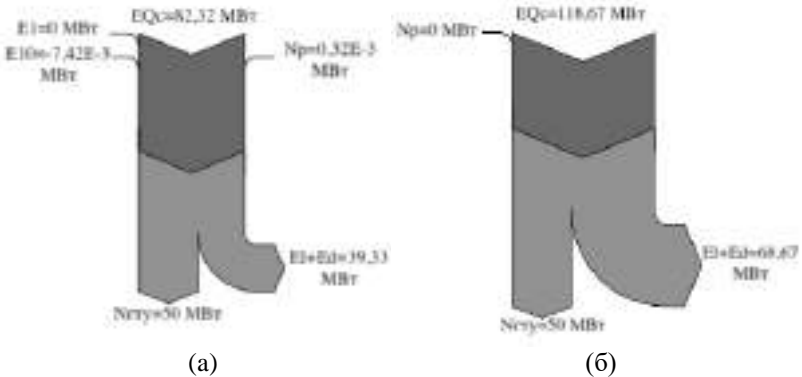


Рисунок 2 – Діаграми потоків ексергії  
 а) схема ГТУ з рекуперацією тепла та зволоженням;  
 б) базова схема ГТУ з рекуперацією тепла

Аналізуючи діаграми потоків ексергії обох систем видно, що ексергія теплового потоку системи (а) менша за ексергію теплового потоку системи (б), а отже і тепловий потік від палива в камері згоряння (а) менше (б) (враховуючи, що температура горіння та паливо обох систем однакові), все це впливає на зменшення витрати палива. Зволоження повітря підвищує його ентальпію, що призводить до підвищення роботи яку може здійснити робоче тіло циклу, а отже – підвищує питому роботу турбіни та циклу в цілому.

## ПЕРЕВАГИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ШОКОВОГО ЗАМОРОЖУВАННЯ ПРОДУКТІВ

*Мерзляков Ю. С., ст. викладач, Новицький Д. В., група ХК 61/1-Х,  
кафедра ТТФ*

Шокове заморожування – це спосіб заморожування продуктів без зміни їх хімічного складу та структури.

Цей спосіб заморожування заснований на властивостях замерзання рідини всередині продуктів, молекули якої в процесі шокового заморожування кристалізуються. Під час шокового заморожування відбувається процес утворення кристалів льоду без збільшення його об'єму відносно до початкового об'єму рідини. У процесі такого заморожування утворюються кристали льоду, що мають однаковий розмір з молекулами води. Структура клітин продуктів при цьому не руйнується і після розморожування продукт повністю зберігає свої властивості.

Переваги використання технології шокового заморожування:

1 Завдяки суттєвому зменшенню часу заморожування продукт має якісний вигляд, зберігає усі властивості та смак, зменшується час на виготовлення готової продукції, що також дозволяє економити витрати на енергоносії.

2 За рахунок більш тривалого терміну зберігання продукції з'являється можливість краще планувати виробництво, економити при закупівлі сезонних продуктів, готувати товарний запас рідше повторюючи процес виробництва.

3 Дозволяє збільшити прибуток від реалізації вагових продуктів за рахунок менших втрат у їх вазі.

4 Застосування технології допомагає отримати продукт, що дійсно відповідає стандартам.

5 Дозволяє збільшити асортимент продукції.

В чому ж полягає привабливість використання апаратів для шокового заморожування? В першу чергу, це якість продукту, як для продавця так і для покупця. На відміну від класичного заморожування, продукт після шокового заморожування має менші пошкодження структури тканин, що забезпечує більшу якість після його розморожування та зберігає привабливий товарний вигляд.

### Список літератури

1. Сороко О. Л. Анализ способов замораживания пищевых продуктов / О. Л. Сороко. Ю. С. Усеня // Наука и инновации. – 2011. – №5(99). – С. 63-67.
2. Одарченко А. М. Наукові основи формування якості харчових продуктів при консервуванні холодом / А. М. Одарченко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 4/10(64). – С. 40-42.

# АНАЛІЗ РОЗРАХУНКОВИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПАРОВИХ КОТЛІВ СЕРЕДНЬОГО ТИСКУ

Бежан В.А. к.т.н, доц, Житаренко В.М.

*Приазовський державний технічний університет, Маріуполь*

Одним з ефективних шляхів економії палива на теплових електростанціях, районних котельнях та інших енергетичних установках є оптимізація режимів роботи. Її можна здійснити в тому випадку, якщо є енергетичні характеристики обладнання, що відповідають дійсному технічному стану. У котельного обладнання при інтенсивній експлуатації відбувається швидка зміна (погіршення) показників. На цей процес впливає безліч факторів: навантаження, якість палива, особливості конструкцій, наявність дефектів металу і якість ремонтів, водно-хімічний режим і ін. Тому характеристики навіть однотипних котлів в залежності від тривалості експлуатації різко відрізняються.

Для аналізу роботи взяті дані з бюро обліку ТЕЦ-1. Конкретні дати та періоди, обрані випадковим чином, в даному випадку несуттєві, так як основною метою роботи є оптимізація роботи котлоагрегатів в будь-який момент часу. Блок середнього тиску включає 4 котла ЦКТИ-75 / 39Ф-2-4 і 2 котла ТП-150-2. Всі котли працюють на загальний паровий колектор 32 атм, 420 °С. Паливо – суміш доменного і природного газів в співвідношенні 0.7-0.9 об'ємних часток.

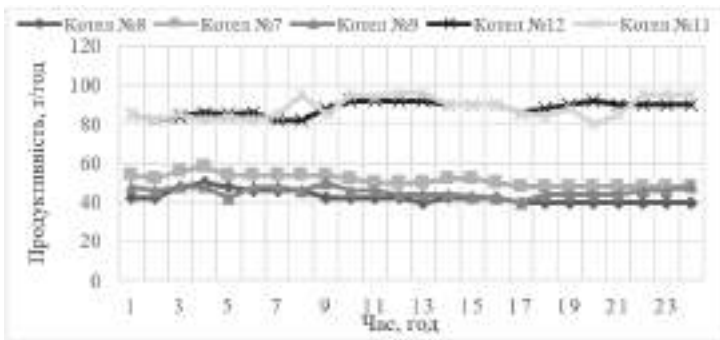


Рисунок 1 – Зміна навантаження котлів протягом доби

На рисунку 1 показані зміни продуктивності кожного з котлів. Характерний для котлів ЦКТИ і ТП загальний характер зміни навантаження протягом доби, пов'язаний зі змінною роботою. Загальний інтервал зміни продуктивності всіх котлів становить 30 т/год.

Для розглянутих котлоагрегатів були проаналізовані основні енергетичні характеристики, а саме: залежність ККД бруто від навантаження, залежність ККД від навантаження при різних теплових частках доменного газу, а також втрати теплоти пов'язані з хімічним та механічним недоспалюванням, та втрати у навколишнє середовище.

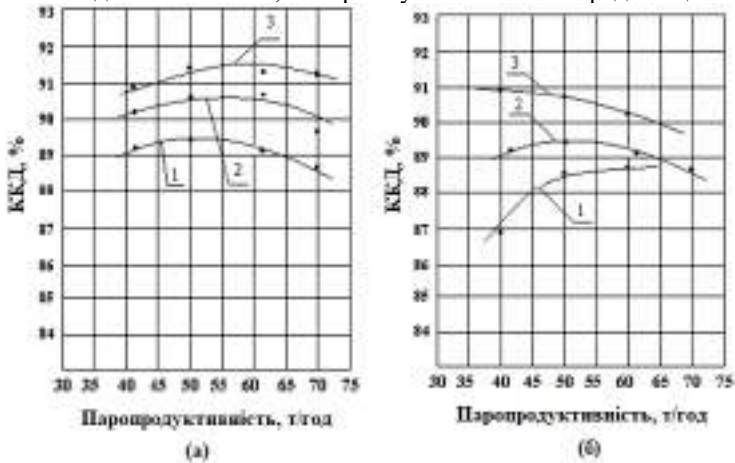


Рисунок 2 – Залежність ККД котла від навантаження. (а) – для котла № 8 при різних теплових частках доменного газу: 1 0.75; 2 0.65; 3 - 0.5. (б) – для котлів №№ 7-9 при тепловій частці доменного газу 0.75: 1 – котел № 7; 2 – котел № 8; 3 – котел № 9.

На рисунку 2 (а, б) показані залежності ККД котлів ЦКТИ-75/39Ф-2-4 ст. №№ 7, 8, 9, від навантаження при різних частках доменного газу. Аналіз цих залежностей вказує на загальну закономірність в зміні ККД від навантаження: наявність максимуму і нелінійний характер. Різниця між максимальним і мінімальним значеннями ККД в досліджуваному інтервалі досягає 2%, що узгоджується з раніше зробленими висновками і говорить на користь необхідності оптимального розподілу навантажень між котлами.

Проведений аналіз теплових та енергетичних характеристик котлоагрегатів показав що, ККД котлів в значній мірі залежить від навантаження. Ще більшою мірою ККД залежить від теплової частки доменного газу, що говорить на користь необхідності комплексної оптимізації експлуатаційних режимів.

#### Список літератури

1. Правила будови і безпечної експлуатації парових та водогрійних котлів. ДНАОП 0.00-1.08-94, К.:1998.
2. ГКД 34.09.151-94. Перегляд (розробка) енергетичних характеристик обладнання, порядок визначення нормативних питомих втрат та заощадження палива на енергопідприємствах. Положення.

## РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ОХОЛОДЖУВАЧА НАПОЇВ

*Константинов І.О., аспірант, Хмельнюк М.Г., професор  
Одеська національна академія харчових технологій*

Торгове холодильне обладнання є невід'ємною складовою сучасного споживача. Адже більшість продуктів харчування потребують дотримання правил зберігання для збереження товарного вигляду та якості. Та з підвищенням потреб споживача, холод використовується і для покращення умов споживання продуктів харчування та зручності продажу їх. Однією з даних одиниць техніки є охолоджувач для напоїв призначений для миттєвого охолодження та розливу напою, та його споживанню безпосередньо на місці продажу.

Проведені роботи по розробці і дослідженні охолоджувача напоїв.

Була створена 3D модель та концепт конструкції охолоджувача напоїв (рис.1).

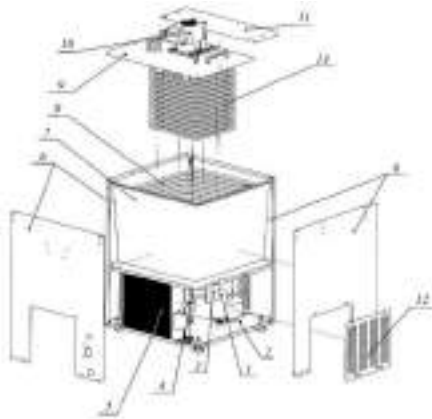


Рисунок 1 - Модель охолоджувача напоїв

- 1) компресор; 2) опора компресора; 3) термостат; 4) індикатор мережі;
- 5) конденсатор; 6) корпус; 7) резервуар теплоносія; 8) випарник; 9) несуча лядя;
- 10) насос (мішалка); 11) оглядова лядя; 12) решітка компресорного відсіку; 13) змієвик.

Основний принцип роботи охолоджувача полягає в акумулюванні холоду завдяки заморожуванню льодового поля навколо випарника 8(рис.1). Проведенні дослідження роботи охолоджувача і його характеристик на повноцінному стенді який відображає роботу охолоджувача.

Відповідно запиту даних ринку торгового холодильного обладнання, дана система повинна охолоджувати 90 дм<sup>3</sup> води на протязі 1 години, дотримуючи  $\Delta t$  не менше 10°C.

Для проведення експерименту на переохолодження води було запропоновано два види намотки теплообмінних змійовиків.

Експеримент проводився на кожному витку теплообмінників почергово. Кожна частина тесту проходила в періоді однієї години з витратою охолоджуваної рідини 1.5 дм<sup>3</sup>/хв. Проведено порівняльне випробування агрегату на R404a і R290(пропан). Результати експерименту наведені в таблиці на рисунку 2 і таблиці.

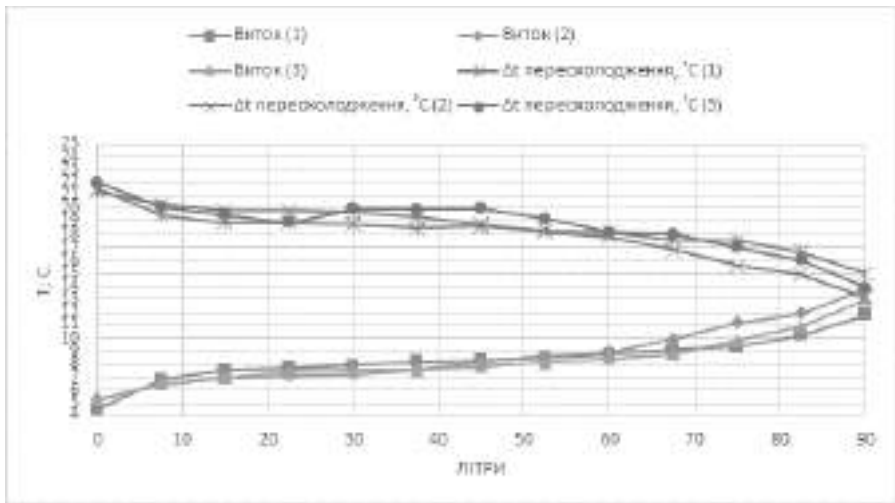


Рисунок 2 - Графік залежності температури охолодженого продукту(води) від її витрати

Таблиця - Енергоспоживання охолоджувача.

Холодоагент (доза заправки)	R404a (0,31 кг)	R290 (0,11 кг)
Час проведення заміру 16 год.	2,26 кВт	1,85 кВт
Розрахований замір кВт/доб.	3,39 кВт/доб	2,775 кВт/доб

Виходячи з отриманих результатів експерименту, очевидна перевага в продуктивності теплообмінника з різною теплообмінною площею (однаково для R404a і R290). Енергоспоживання на R290 виявилось на 20% нижче за R404a.

## ВПЛИВ ОСНОВНИХ ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПІДВІДНОГО І ТЯГОВОГО СОПЛА СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБІНИ НА ЇЇ ЕФЕКТИВНІСТЬ

*Вансєв С. М., доцент, Родимченко Т.С., аспірантка, група АСПтех-8.1,  
Болотнікова О.О., студентка гр. К.м-91; СумДУ, м. Суми*

З принципу дії СРТ слід, що конструктивні параметри (геометричні розміри і співвідношення) елементів проточної частини струминно-реактивної турбіни (СРТ) повинні обиратися з урахуванням мінімізації втрат енергії по газовому тракту.

У СРТ сучасного конструктивного виконання пристрої для підведення газу в ротор турбіни складаються з підвідних надзвукових сопел, встановлених з осьовим зазором  $\delta$  перед торцевими входами в канал газового тракту (статорна частина) і втулок-дифузорів (роторна частина). Підвідні сопла виконані недорозширеними і мають діаметр зрізу менше діаметра вхідної циліндричної частини втулок-дифузорів. У підвідному соплі потік розганяється до надзвукової швидкості. Струмін, що розширюється, проходить осьовий зазор  $\delta$  і входить в циліндричний канал втулки-дифузора, замикаючи собою газовий тракт, так як слабкі збудження не можуть рухатися проти надзвукового потоку.

У даній роботі за допомогою одновимірної теорії ми досліджуємо вплив зміни геометрії підвідного сопла та тягового сопла проточної частини СРТ на крутний та питомий крутний моменти.

Досліджено три варіанти зміни проточної частини СРТ: 1 - при змінній величині діаметра критичного перерізу підвідного сопла; 2 - при змінній величині діаметра критичного перерізу тягового сопла і постійній величині діаметра критичного перерізу підвідного сопла та постійному діаметрі вихідного перерізу тягового сопла; 3 - при змінній величині діаметра вихідного перерізу тягового сопла і постійній величині діаметрів критичних перерізів підвідного сопла та тягового сопла.

Вихідні дані для розрахунку: робоче тіло – повітря; повний тиск на вході в турбіну – 4,9 МПа; температура газового потоку на вході в підвідне сопло - 15 К.

Дослідження показали, що:

- зі збільшенням діаметра критичного перерізу підвідного сопла пусковий момент збільшується, а питомий пусковий момент зменшується;
- зі збільшенням критичного перерізу тягового сопла пусковий момент і питомий пусковий момент зменшуються;
- зі збільшенням діаметру вихідного перерізу тягового сопла пусковий момент і питомий пусковий момент збільшуються.

## ТЕРМОДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ СИСТЕМИ ПОВІТРОПОСТАЧАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ПІДПРИЄМСТВА

*Бондаренко Г. А., професор; Будко Д. В., аспірантка, Бурлака Р. О., студент гр. КМ-91; кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми*

Частка вартості стисненого повітря в собівартості продукції, що випускається складає 10 – 50% [1] в залежності від профілю діяльності підприємства. Тому проблема енергозбереження в таких системах займає важливе місце.

Лише комплексне визначення показників КС та системи в цілому може дати об'єктивну оцінку техніко- економічної ефективності системи подачі повітря підприємства. Зауважимо, що важливим є також ефективне використання підведеного стисненого повітря кінцевими споживачами.

*Мета роботи:* розробити методіку термодинамічного аналізу системи повітропостачання промислового підприємства на основі аналізу її теплового циклу.

Системи подачі повітря представляють складний технічний об'єкт, призначений для вироблення, транспортування та використання енергоносія - стисненого повітря. Функціонування такої системи має ряд специфічних особливостей, основні з них:

- течія робочого тіла в системі відбувається по розгалуженим лініях;
- течія відбувається зі змінною в часі масою енергоносія;
- складність узгодження режимів вироблення і витрати робочого тіла;
- протяжність пневмомереж і суттєва величина гідравлічних втрат у

них;

- вплив навколишньої температури;
- істотна величина втрат робочого тіла з системи.

При проектуванні КС тяжіє традиційний метод визначення розрахункового навантаження на КС як максимально тривалого з резервуванням компресорів. В реальних умовах системи працюють на часткових режимах, у більшості своїй без ефективного регулювання, що призводить до перевитрати капітальних і експлуатаційних витрат. Коефіцієнт корисного використання підведеної до КС електроенергії становить всього 10 – 20% [2].

У роботі запропоновано використання апарату класичної термодинаміки для проведення аналізу роботи системи повітропостачання промислового підприємства. Кидається в очі деяка аналогія між ГТУ та системою повітропостачання. Вони відрізняються лише тим, що між компресором і турбіною проводиться підігрів повітря в першому випадку, а в другому навпаки, охолодження. Таким чином, якщо у циклі ГТУ відбувається підвід тепла, то у системі повітропостачання навпаки, відбувається охолодження. Тобто процес у циклі ГТУ за рахунок притоку тепла отримує додаткову енергію, яка використовується у газовій турбіні для



привода компресора, а також вироблення корисної потужності (наприклад, для обертання гвинта літака чи корабля або привода нагнітача природного газу чи повітря). Процес в системі повітропостачання носить протилежний характер. Замість підводу тепла відбувається охолодження робочого тіла. Тому корисне використання потужності має місце лише при розширенні повітря у пристроях споживачів. А для роботи циклу необхідний додатковий підвід потужності, що здійснюється за рахунок потужності привода компресора. Фактично термодинамічний цикл в нашій системі є циклом Еріксона для вироблення холоду, але не глибокого. Такий цикл лежить в основі широко поширених установок розділення повітря. У нашому випадку холод виходить не навмисно, а попутно і ніяк не використовується.

У випадку ГТУ цикл характеризується коефіцієнтом корисної дії (ККД), характеристикою холодильного циклу є коефіцієнт перетворення енергії, а у випадку системи повітропостачання тепло використовується частково, тому в цьому циклі потребується додатковий підвід енергії і такий цикл характеризується коефіцієнтом корисного використання (ККВ) енергії від привода компресора.

Аналіз показав, що ефективність існуючого простого циклу вкрай низька. Її підвищення можливе тільки шляхом використання скидного тепла і холоду циклу (гарячої води після повітроохолоджувачів, і холоду після розширення повітря у споживача).

По результатам проведених досліджень зроблені наступні висновки:

1. З доступних джерел витікає, що ніколи систему повітропостачання підприємств не аналізували на основі термодинамічного підходу як найбільш ефективного;
2. Запропоновано термодинамічний аналіз системи виходячи з дзеркальної аналогії між процесами ГТУ і системи повітропостачання;
3. Одержані формули для аналізу процесів з використанням  $T, s$  – діаграм для повітря;
4. Одержані формули для аналізу залежності критеріїв ефективності системи від основних параметрів (величини втрат повітря, гідравлічних втрат тиску та охолодження повітря);
5. Запропонована когенераційна схема системи повітропостачання промислового підприємства, ефективність якої у 2-3 рази більша, ніж у звичайній схемі.

#### Список літератури

1. Літвінов О. С. Фактори енергоємності продукції промислового підприємства / Літвінов О. С. – Одеса, 2006. – 242 с.
2. Компресорні станції : підручник / Г. А. Бондаренко, Г. В. Кирик. – Суми : Сумський державний університет, 2016. – 385 с.
3. Воронецкий А. В. Современные компрессорные станции / А. В. Воронецкий. – М. : Изд-во «Премиум Инжиниринг», 2009. – 445 с.

## МОЖЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТУРБОГЕНЕРАТОРА НА СТЕНДІ КАФЕДРИ ТЕХНІЧНОЇ ТЕПЛОФІЗИКИ

*Ванєєв С. М., доцент.; Смоленко Д. В., аспірант, СумДУ, м. Суми*

Однією з можливостей часткового вирішення питання енергозбереження може бути використання турбогенераторів. Чим досконалішим є створений турбогенератор, тим ефективніше відбувається утилізація вторинних енергетичних ресурсів, а відповідно зростає й економічна доцільність його використання.

Саме тому в Сумському державному університеті на кафедрі технічної теплофізики функціонує стенд для проведення випробувань дослідних зразків турбогенераторів. Він дозволяє проводити дослідження турбогенераторів, створених на базі різних типів розширювальних машин та електрогенераторів із потужностями до 15 кВт. Системи стенда дозволяють проводити контроль і регулювання параметрів виробленої електроенергії, вимірювати витрату робочого тіла, частоту обертання ротора, крутний момент, тиски та температури на вході й виході турбомашини по наявним приладам і за допомогою датчиків.

Досліджуваний турбогенератор виконаний на базі вихрової розширювальної машини, що має двохпотоківу проточну частину з зовнішнім периферійним каналом, та асинхронного електрогенератора потужністю 10 кВт. Стенд дозволяє регулювання частоти обертання і моменту на валу вихрової розширювальної машини та зміну тиску повітря на її вході й виході.

Вихрова розширювальна турбомашина призначена для отримання механічної роботи на валу шляхом перетворення енергії надлишкового тиску повітря при його розширенні в проточній частині турбіни.

Конструкція даної вихрової машини робить можливим регулювання кута входу повітряного потоку, що рухається з сопла у міжлопаткові канали робочого колеса, та діаметра сопла (у наявності змінний набір сопел) для зміни швидкості й витрати на виході з нього. Це дозволяє дослідити вплив на ефективність (ККД) вихрової розширювальної машини:

- кута входу потоку робочого тіла, що витікає з сопла, на лопатки робочого колеса;
- відносного діаметра сопла (відношення діаметра вихідного перерізу сопла до діаметра меридіонального перерізу проточної частини).

## REASONS FOR LONG-TERM PRESENCE OF REFRIGERANT LEAKS IN MARINE REFRIGERATING UNITS OF THE TRADING FLEET

*Yalama V.V., postgraduate student, RACS Dep., ONAFT*

*Khmelnyuk M.G. professor, RACS Dep., ONAFT*

*Yakovleva O. Y. associate professor, RACS Dep., ONAFT*

This study is aimed at increase of ecological safety of refrigeration units transport refrigeration to reduce ozone depletion of the Earth by reducing the impact of human activities on the environment and prevent pollution of the marine environment. The complexity of this problem is caused by a wide range of variable ecological dangers. Refrigerant leakage for the marine refrigeration systems is an unresolved problem for scientists. This study provides the economic feasibility of eliminating the cause of the problem, not eliminate the effects. In refrigeration systems a potential leakage can accrue in the places with increased probability of an accident: all kinds of connections and seals, where is a small proportion of the leak can occur: weld seams, threaded connections, flange connections, the areas with high vibration (flexible connection), stuffing box packing.

The assessment result for the nature of refrigerant leaks, identify the causes of their long-term presence on the system (see Fig.1.):

— Financial benefit – for the detection of small leaks in the system with complex wiring, tubing requires specialized methods Fluorescent additive or an Ultrasonic wave-finder. The problem is compounded if a leak is detected in the insulation design. In this case, the additional waste removal and reverse installation. The cost which includes the cost of fuel for running of machinery, wages of crew members, supplies and that is not profitable for ship owners.

— The lack of means for Troubleshooting this problem also occurs on vessels with poor software (in the remote districts of the voyage, a pirate zones).

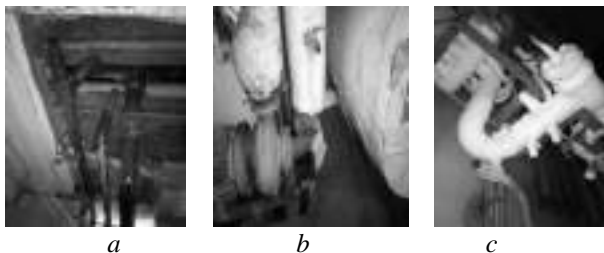


Figure 1 - Locations of potential refrigerant leaks:

a - trunk in a heat-insulating structure; b - elimination of refrigerant leakage to partially blocked equipment; c - Snow coat on the apparatus and the pipeline

— In hard-to-reach places - highways located in the thermal insulation of cargo spaces, highways laid by products, equipment, access to which is partially or completely blocked.

— Lack of possibility to detect leaks in a simple way - In places where there is freezing of the line or equipment (see Fig. 1.), strong air flow, noise from operating mechanisms. Not feasible under the operating conditions of the system or auxiliary mechanisms. A halide lamp, a soap solution, visual inspection for oil leakages, a hearing test is not possible. The results of the problem analysis are presented in the diagram (see Fig.2) in relation to the percentage of the component causes for each type of leak for a period of 1 year.

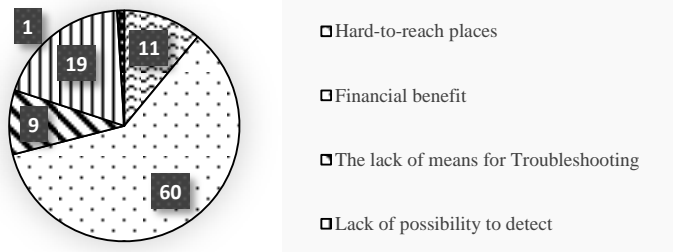


Figure 2 - Reasons for the continued presence of refrigerant leaks

The reasons for the presence of a stable refueling of ship refrigeration systems are determined. Implementation of restrictions in the design of a ship's refrigeration system to reduce emissions of harmful substances into the environment. The sea is an aggressive environment and it is not advisable to spend a large amount of resources on more reliable equipment and material. Such a decision leads to an increase in the overall dimensions of the installation, which is unacceptable for the vessel, as well as an increase in capital costs for the implementation of the technical solution, which in turn becomes a barrier to investment in the optimization of the refrigeration system by ship owners, forcing them to make a decision in favor of implementing an action plan bringing harm to the environment and increases the level of danger when operating personnel with a refrigeration unit. It is recommended to constructively reduce the need for complex elements on the system. The system equipment must have mandatory free access for after-sales service. Refusal to use stuffing box compressors in favor of semi-hermetic. Such methods may provide an opportunity in future refrigeration systems to reduce emissions of harmful substances into the environment.

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ  
ВАКУУМНОЇ СИСТЕМИ ОХОЛОДЖЕННЯ УСТАНОВКИ  
ВИРОБНИЦТВА БІОДИЗЕЛЬНОГО ПАЛИВА**

*Шарапов С. О., к.т.н., ст. викладач, кафедра технічної теплофізики;  
Якименко С. М., магістрант, група ХК.мз-91с*

У даний час в усьому світі проводять дослідження, які спрямовані на забезпечення економії палива і часткової заміни традиційних вуглеводних джерел енергії, ресурси яких в недалекому майбутньому можуть бути вичерпані.

Також у 2020 році було анонсовано новий етап спадання показників світової економіки, що неминуче призведе до зростання цін на нафту та природний газ, які є традиційними джерелами енергії у багатьох країнах світу. Тому вже зараз провідними вченими країн Західної Європи та Північної Америки відбувається пошук екологічно чистого виду палива, який був би відносно дешевою альтернативою існуючим та не забруднював би оточуюче середовище. Саме таким можна вважати біодизельне паливо.

Авторами роботи було проведено дослідження сучасного стану питання енергетичної ефективності вакуумних систем охолодження установок виробництва біодизельного палива, та виявлено, що найбільш досконалими є установки компанії Kötting (м. Ганновер, Німеччина). Але і цей виробник використовує у них багатоступеневі вакуумні агрегати на базі пароструминних ежекторів з проміжними конденсаторами нерідко у поєднанні з рідинно-кільцевими вакуумними насосами, які є морально та економічно застарілими. Ефективність таких систем знаходиться на рівні всього лише 2–10%.

Тому автори пропонують застосувати рідинно-парові ежектори (РПЕ), які працюють за принципом струминної термокомпресії. Ці агрегати є значно ефективнішими за рахунок більш досконалого робочого процесу і дозволяють суттєво спростити конструкцію установки, так як є, як правило одноступеневими.

Попередньо було виконано ексергетичну оцінку ефективності застосування нової схеми, за результатами якої бачимо, що енергоефективність вакуумної системи охолодження на базі рідинно-парового ежектора у 6,04 рази вище, ніж для базової схеми.

Для оцінки економічного ефекту від впровадження нової техніки, необхідно виконати термoeкономічний розрахунок, який полягає у визначенні вартості палива, необхідного для базової та енергозберігаючої схем.

Після проведення термoeкономічного аналізу, було знайдено, що вартість палива для базової схеми складає 101797,6 грн., а для енергозберігаючої – 64,6 тис. грн., звідки слідує, що економічний ефект від впровадження нової схеми складає 37,2 тис. грн.

## ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОПЛА ПІСКОСТРУМЕНЕВОЇ УСТАНОВКИ НА ОСНОВІ ЧИСЕЛЬНИХ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

*Мірошніченко М.О., студент, група ХКм.з.-91с  
Бага В.М., к.т.н., СумДУ, м. Суми*

Проведено чисельне та експериментальне дослідження роботи ежекторно-очисної установки. Чисельні дослідження виконувалися з використанням програмного комплексу FlowVision. Більш раціональні конструкції проходили перевірку на експериментальному стенді. В роботі представлена модель досліджуваної проточної частини, для імітації повітряно-абразивного робочого середовища в моделі течії активувалася опція частинки. Абразивні частинки мають діаметри, що коливаються в діапазоні 0,0001–0,001м. Число розрахункових ячіжок порядку  $N=20000$ , використовувалась неявна схема розрахунку. Перепад тиску  $p_2 / p_1 = 1,98$  що відповідає виходу очисної установки на робочий режим. Показана побудова розрахункової сітки та схожимість результатів.

Звичайне циліндричне сопло досліджувалося для встановлення особливостей протікання двухфазного середовища з метою пошуку резервів по підвищенню його ефективності. Головним параметром сопла є величина його внутрішнього діаметру  $d$  [1]. Виконана серія чисельних розрахунків для встановлення значимості впливу параметру  $d$  на величину дійсної та теоретичної витрати.

Слід зауважити, що при збільшенні прохідного перетину сопла в два рази, величина витрати через нього збільшується в 4.5 рази. Коефіцієнт витрати сопла має лінійну залежність.

Звертає на себе увагу відмінність в структурі течії робочого потоку в соплах з різними значеннями внутрішнього діаметру  $d=7\text{мм}$  та  $d=20\text{мм}$ . При  $d=7\text{мм}$  маємо чітку нерівномірність параметрів потоку на виході з сопла, чого немає на сл10 в силу збільшення прохідного перетину  $d$ .

Наведені кількісні характеристики технологічних параметрів абразивоструменевого оброблення при застосуванні конічних сопел [2-3].

### Список літератури

1. Руководство по эксплуатации струйно-реактивного двигателя ОАО СНМПО им. Фрунзе, Сумы с.80
2. Сичук В.А. Розробка і дослідження нових конструкцій пористих сопел для абразивоструменевих машин / О.В. Заболотний, В.А. Сичук // "Сучасні технології в машинобудуванні та транспорті" Науковий журнал. Випуск 2 – Луцьк: ЛНТУ, 2014. – С. 43-53.
3. А. с. 1087319 СССР, МКИЗ В 24 С 5/04. Сопло для абразивной обработки внутренней поверхности деталей / М.В. Трубников; заявитель и патентообладатель Предприятие П/Я А-7204. – № 3502193/25-08

## ЗМІСТ

	С.
<b>ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІ</b> .....	4
<b>СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»</b> .....	4
Пристрій для хонінгування отворів гільз циліндрів .....	38
Зниження шорсткості підшипникових поверхонь валів при їх обробленні способом подвійної осциляції брусків .....	39
Аналіз амплітудно-частотної характеристики динамічної системи круглого врізного шліфування .....	40
Класифікація продукції в Україні. Створення ієрархічної системи пошуку інформації по класифікатору ДКПП .....	42
Спеціальний верстатний пристрій для обробки маложорсткої деталі «гільза» .....	44
До використання комбінованих процесів шліфування синтетичних алмазів .....	45
Напрямки забезпечення ефективності технологічних систем механічної обробки деталей .....	47
Удосконалення технологічної підготовки свердлильних операцій .....	48
Дослідження впливу вібраційних переміщень заготовки на точність отворів при свердлінні пакету вуглепластик / титановий сплав .....	50
Вплив сил різання на параметри врізного шліфування .....	51
Алгоритм роботи адаптивної системи керування круглошліфувального верстата .....	52
Modeling of machining of non-involute gears .....	53
Розвиток технологічних можливостей технічних систем алмазного шліфування на базі універсальних верстатів .....	55
Інтеграція CAD/CAM/CAE/CAPP-систем та ERP .....	57
Дослідження процесу теплообміну в зоні шліфування при використанні спеціального пристрою подачі МОР .....	59
Вплив методу зміцнення на характеристики надійності та довговічності деталей машин і механізмів .....	61
Передумови впровадження багатокординатного оброблення деталей типу вилки .....	63
<b>СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ»</b> .....	64
Аналіз жорсткості різцетримача на основі механізму паралельної структури .....	65
Обчислення кількісних характеристик складальних одиниць з використанням інтернет-технологій .....	66
Прогнозування зношування інструменту при механічній обробці полімерних композитів .....	67

Параметри настроювання пристосування для заточування свердел .....	68
Стрічкокопильний верстат .....	69
Вплив якості прокату та термообробки на працездатність тришарошкових доліт .....	70
Дослідження впливу знаменника геометричної прогресії на конструктивні параметри привода верстата .....	72
Усунення крапельної фази вакуумно-дугового розряду введенням НВЧ-енергії у зону її транспортування .....	73
Дослідження впливу температурного розширення інструменту на похибку розмірів і форми отворів при свердлінні пакетів вуглепластик / титановий сплав .....	75
Сучасний стан верстатобудування в Україні .....	76
Різальний інструмент, для нарізання внутрішніх різей малого діаметра методом лезової обробки .....	77
<b>СЕКЦІЯ «СТАНДАРТИЗАЦІЯ ТА УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ У ПРОМИСЛОВИМУ ВИРОБНИЦТВІ»</b> .....	78
Уніфікація завдань для тестового контролю знань .....	79
Особливості оцінки відповідності електронних засобів вимірювальної техніки .....	80
Міжнародні й національні стандарти у сфері управління ризиками та вимоги технічних регламентів до засобів вимірювальної техніки .....	81
Інтегрування менеджменту ризику в системи управління відповідно до вимог міжнародних стандартів .....	83
Забезпечення відповідності вимогам ортопедичних виробів на основі етиленвінілацетату .....	85
<b>СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ КОНСТРУКЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ І МАТЕРІАЛОЗНАВСТВО»</b> .....	87
Thermodynamic modeling of the MgO – FeO – TiO <sub>2</sub> system .....	88
Prospects for designing the chemical composition of hard alloys, taking into account their hardening due to the formation of nanostructures .....	89
Галузі застосування процесу механічної активації у промисловості .....	91
Сутність термоциклічної обробки матеріалів та її особливості .....	93
STEM в професійно-технічній освіті як основа формування базисних інженерних навичок .....	95
Вибір матеріалу та зміцнювальної поверхневої обробки деталі «бандаж зубчатого колеса» .....	96
Отримання порошку міді з відходів промисловості .....	97
Вибір матеріалу та термічної обробки поршня дизельного двигуна .....	99
Вибір матеріалу та зміцнювальної поверхневої обробки деталі «зубчате колесо» .....	100
Дослідження структури та властивостей багатошарових зміцнених шарів, отриманих методом електроіскрового легування .....	101



Вибір матеріалу та зміцнювальної поверхневої обробки деталі «вал-шестірня» .....	102
Оцінка ризику впливу біополімерних наноматеріалів на здоров'я людини .....	103
Будова рами FPV квадрокоптера .....	105
Дослідження причин зносу кулачків розподільного валу двигуна .....	106
Вибір матеріалу та методу зміцнення леза ланцюгової бензопили .....	107
Покращення властивостей сталі 12X18H9ТЛ методом нанесення захисних нітридних покриттів .....	108
Використання нанотехнологій в приладобудуванні .....	109
Особливості призначення та вибір матеріалу для деталі «напівмуфта» .....	111
Розроблення оптимального режиму термічної обробки для сталі мартенситного класу 20X13 .....	113
Структура і механічні властивості покриттів для ріжучих інструментів на основі Cr, W та N .....	115
Покращення властивостей сталі P6M5 для виготовлення деталі «циліндрична фреза» .....	117
Фазові перетворення в титанових сплавах Ti-Nb-Mo .....	119
Термічна обробка деталі «вал насосу» .....	121
<b>СЕКЦІЯ «ОПІР МАТЕРІАЛІВ І МАШИНОЗНАВСТВО» .....</b>	<b>122</b>
Вплив ізохронності в принципі можливих переміщень для чотирьохланкового механізму .....	123
Рациональне проектування двошарової суттєво неоднорідної балки при чистому прямому згинанні .....	124
Розтягання двошарового суттєво неоднорідного стержня поза центром жорсткості .....	125
Вдосконалення конструкцій пристроїв для відриву бортів шини від ободу колеса всюдихода .....	126
Побудова календарного графіка обчислення значень ВСФ для східчастого стержня з використанням актуалізації, мотивації і методів навчання .....	128
Знаходження проєкцій головного вектору і головного моменту у нахилах перерізів гвинтових циліндричних пружин та розгляд окремих конструктивних схем .....	129
Побудова поповерхових схем багатопрольотних шарнірно-консольних балок з метою спрощення знаходження Q і M .....	130
Розгляд криволінійного руху матеріальної точки у блоковому вигляді .....	131
Реабілітація пацієнтів з судинними захворюваннями нижніх кінцівок .....	132

Знаходження нормальних і дотичних напружень для східчастого стержня без урахування його власної ваги з визначенням напружень на похилих майданчиках .....	134
Зіставлення головних центральних і головних моментів інерції складних плоских перерізів аналітичним і графічним методами .....	135
Види деформацій стержнів з урахуванням конструктивних та розрахункових схем виконаних в аксонометричних проєкціях .....	136
Вибір раціональної форми перерізу балки при деформації поперечного згину .....	137
Методика побудови епюр внутрішніх силових факторів для просторових рам з урахуванням різноманітних конструктивних схем .....	138
Методологічні особливості викладання законів Д. Джоуля, Е. Ленца, Г. Ома .....	139
<b>СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ, КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА» .....</b>	<b>140</b>
Витратні та статичні характеристики автоматичного розвантажувального пристрою з урахуванням випадкової зміни циліндричного зазору та місцевих втрат .....	141
Вплив об'єму та геометрії камер багатощпаринних ущільнень на вібраційні характеристики відцентрових насосів .....	142
Властивості напружень в рухомій рідині .....	143
Числовий аналіз витратних і ротородинамічних характеристик лабіринтно-лункових ущільнень .....	144
Дослідження методами обчислювальної гідродинаміки рідинних динамічних сил, які діють на об'єму криогенного кульового підшипника кочення при гідродинамічному режимі змащення .....	145
Розрахунковий аналіз характеристик турбіни радіального потоку в залежності від величини зазору та типу ущільнення між кромкою лопатки і стінками ротора та статора .....	146
Термогідродинамічний аналіз упорного колодкового підшипника ковзання з охолодженням масляної плівки .....	147
Числові та експериментальні дослідження регулятора перепаду тиску системи сухих газових ущільнень: контроль перепаду тиску та динамічних вібрацій .....	148
Статичний та динамічний розрахунок запірною імпульсного ущільнення з регулятором перепаду тиску .....	149
Підвищення ефективності шпаринних ущільнень відцентрових насосів за рахунок використання композиційних матеріалів .....	150
Дослідження можливостей кепстрального аналізу на основі його реалізації в середовищі візуального програмування LabVIEW .....	151

Використання можливостей програмного комплексу LabVIEW для дослідження динамічних характеристик механічних систем .....	152
Забезпечення вібраційної надійності відцентрових машин за рахунок уточнення параметрів математичної моделі вільних коливань ротора .....	153
Експериментальне дослідження взаємодії газорідного потоку з деформівними елементами модульного сепараційного пристрою за допомогою PIV .....	155
<b>СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА» .....</b>	<b>157</b>
Аналіз фазового складу відходів буріння для обґрунтування екологічно безпечної технології утилізації .....	158
Забруднення підземних вод під час освоєння родовищ нафтогазовидобувного комплексу .....	159
Оцінка екологічного ризику від антропогенного впливу на поверхневі води .....	161
Закордонний досвід виробництва біометану на шляху до декарбонізації транспортного сектору .....	163
Перспективи розвитку утилізації бурових відходів у нафтогазовидобуванні .....	164
Формування крони деревних насаджень як складова створення стійкого зеленого каркасу міста .....	166
Підвищення екологічної безпеки безпілотних транспортних засобів при їх моделюванні з використанням програмно-апаратного комплексу на базі контролера Arduino .....	168
Зменшення викидів в атмосферу за рахунок атомної генерації .....	170
Роль математичного моделювання у прогнозуванні медико-екологічних тенденцій .....	171
Екологічні аспекти створення азотних добрив пролонгованої дії шляхом їх капсулювання .....	172
Оцінка якісного стану водної екосистеми басейну Дніпра .....	173
Прогноз зміни показників кисневого режиму поверхневого джерела в умовах водної екосистеми басейну Дніпра .....	175
Медико-екологічна оцінка захворюваності населення Сумської області на хвороби системи кровообігу у районах видобутку нафти і газу .....	177
Екологічна безпека у сфері поводження з радіоактивними відходами .....	179
Small river biocenosis in the conditions of high level of allochthonous organic pollution .....	181
Удосконалення систем водопідготовки на підприємствах теплоенергетики .....	183

Підвищення екологічної безпеки нафтогазовидобування з використанням термічної утилізації нафтошламів .....	184
Розрахунок захоронення відходів газовидобутку .....	185
Процес знешкодження осадів стічних вод разом із фосфогіпсом з утворенням біогазу .....	187
Зниження техногенного навантаження на довкілля підприємств харчової промисловості .....	189
Work-flow analysis of biogas plant .....	191
Екологічно-безпечна технологія очищення насосно-компресорного обладнання від радіоактивних відкладень .....	193
Оцінка якості атмосферного повітря в містах України .....	194
Зменшення навантаження на полігон методом сортування сухих відходів .....	195
Підходи до створення інфраструктури оброблення інфекційно небезпечних медичних відходів .....	196
Концепція безвідходних технологій в хімічній промисловості в контексті екологічної безпеки .....	197
Особливості виконання технологічних регламентів систем промислового водоочищення .....	198
Аналіз ефективності методики прогнозування наслідків при аваріях на хімічно небезпечних об'єктах .....	199
Роль людського чинника у функціонуванні системи охорони праці на виробництві .....	201
Використання центрифуг як універсальний метод розділення суспензій .....	203
Оцінка залежності фізико-хімічних параметрів атмосферних опадів від віддаленості від автодоріг з інтенсивним рухом транспортних засобів у місті Харків .....	205
Відмова від пластикових пакетів як вирішення однієї з задач стратегії сталого розвитку .....	206
Дослідження вмісту важких металів в опалому листі .....	207
Проведення енергоаудиту на підприємствах .....	209
Methodology for calculating the assessment of technogenic load on marine ecosystems (by the example of the Caspian Sea) .....	211
Озеленення дахів як елемент зеленого будівництва .....	213
Термоядерна енергетика як альтернативне джерело енергії .....	215
Інтегральна оцінка екологічного стану поверхневих водойм в умовах промислового навантаження .....	216
Дослідження золошлакових відходів Сумської ТЕЦ для використання у виробництві будівельних матеріалів .....	218
Екологічно безпечна технологія утилізації технологічних рідин нафтовидобувної галузі .....	220

Екологічна безпека функціонування промислових підприємств (на прикладі стану ґрунтового покриву та овочевій продукції у зоні ВАТ «Балцем» .....	222
Екотренд: сміття під землею .....	224
Тенденції удосконалення систем біологічного і механічного очищення в індустріальному рибництві .....	226
Викиди карбон (II) оксиду та методи його знешкодження в умовах хімічних виробництв .....	228
Закордонний досвід підвищення екологічної безпечності очищення побутових стічних вод .....	230
Діагностика транспортних систем шляхом параметричної візуалізації шуму .....	232
Дослідження способів перемішування в метантенках .....	234
Зниження техногенного навантаження на довкілля від стічних вод гальванічного виробництва .....	236
Вплив резервуарів для збереження отруйних та легкозаймистих рідин на навколишнє середовище .....	238
Підвищення екологічної безпеки довкілля шляхом використання біометану в транспортному секторі .....	240
Технології переробки відходів нафтогазовидобування з подальшим використанням їх ресурсного потенціалу .....	241
Підвищення екологічної безпеки теплових електростанцій шляхом управління процесом горіння .....	243
Сучасний стан та перспективи розвитку виробництва біогазу на території України .....	244
Процеси темної ферментації для утилізації відходів з отриманням корисних біосировинних продуктів .....	246
Реалізація глобальних цілей сталого розвитку в закладах вищої освіти .....	248
Перспективи розвитку атомної енергетики в Україні .....	249
Використання зброшеного відходу біогазової установки в якості органічного добрива .....	250
<b>СЕКЦІЯ «ХІМІЧНА ТЕХНОЛОГІЯ ТА ІНЖЕНЕРІЯ» .....</b>	<b>251</b>
Організація внутрішньої циркуляції ретура у вихровому грануляторі: вибір оптимальної конструктивної схеми .....	252
Використання програмних продуктів для моделювання гідродинаміки руху потоків в апаратах з псевдозрідженими шарами різної конфігурації .....	253
Вплив зміни густини струму та примусового перемішування аноліту на процеси катодного відновлення кадмію та цинку .....	254
Процеси охолодження та випаровування у виробництві етилацетату ....	256
Теплообмінні апарати у виробництві оцтової кислоти .....	257

Аналіз способів очищення газової суміші від сірководню .....	258
До кінетики зволоження порошкоподібних матеріалів .....	259
Вплив параметрів роботи тарілчастих грануляторів на процес високотемпературного гранулоутворення .....	260
Прилади проведення неруйнівного контролю на хімічних і нафтопереробних підприємствах .....	262
Вплив радіального зазору на характеристики ВВН типу “TURO” .....	263
До вибору способу хемосорбційного очищення вуглеводневого газу від кислих компонентів .....	264
Інтенсифікація процесу сушіння сипких матеріалів у барабанних сушарках .....	265
Інтенсифікація процесу сушіння сипких матеріалів у пневматичних сушарках .....	266
Особливості дослідження гідродинамічних показників процесу сепарації двокомпонентної емульсії у коалесцерах .....	267
Оптимізаційні хіміко-технологічні моделювання промислових установок з підготовки та переробки вуглеводнів .....	268
Особливості розрахунку фазової рівноваги у паро-рідинних багатокомпонентних системах .....	269
Особливості процесу виробництва альтернативного палива – біоетанолу .....	271
Створення регіональних сільськогосподарських комплексів – важливий етап децентралізації .....	272
Моделювання процесу осушення природного газу в умовах зміни концентрації абсорбенту і температурного режиму роботи колони .....	273
Розробка та дослідження трубчатого газо-рідинного реактора для процесу вибілювання сульфанола хлором .....	274
Дослідження способів підвищення ефективності сепарації для очистки хвостових газів при виробництва сірчаної кислоти .....	275
Розробка способу очистки сульфату калію .....	277
Морфологія поверхні та діелектричні властивості мікродугових оксидів на алюмінієвому сплаві .....	278
Математична модель теплопереносу при випаровуванні стікаючій плівці рідини в перехресний газовий потік .....	280
Аналіз енергоефективності систем допоміжних пластинчастих теплообмінників випарної станції .....	282
Зональне охолодження повітря за великих теплових навантажень .....	284
Математичне моделювання процесів у контактному теплообміннику фільтрі ежекторі .....	285
Особливості визначення розрахункового тиску для стаціонарних та пересувних посудин з нафтопродуктами .....	287

<b>СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»</b> .....	289
Визначення глюкози методом йодометричного титрування в медичних препаратах .....	290
Метод визначення метанолу в технічних рідинах .....	291
Синтез та характеристика наночастинок срібла .....	292
Потенціометричне титрування .....	293
Наноконпозиційні матеріали на основі гідратованого діоксиду цирконію для видалення аніонів Cr (VI) і F <sup>-</sup> із водних розчинів .....	294
Дослідження хімічного складу чаю .....	296
Degradation rate of microspheres based on hydroxyapatite and hydroxyapatite-alginate .....	298
Біохімія холіну .....	300
Порівняння властивостей розчинників які застосовуються у медицині .....	301
Мультимедійні додатки з неорганічної хімії .....	302
Розробка навчальних фото та відео-завдань з хімії .....	303
<b>СЕКЦІЯ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ»</b> .....	304
Модернізація гідросистеми верстата .....	305
Переваги використання герметичних моноблочних насосів на атомних електростанціях .....	306
Моделювання обтікання циліндра для визначення коефіцієнта сили індуктивного опору .....	307
Дослідження впливу конструкційних параметрів робочого колеса на амплітуду пульсацій тиску .....	309
Зменшення втрат енергії у підвідному пристрої консольного насоса .....	311
Насос нафтовий магістральний НМ 200-650 .....	312
Вплив вхідної ділянки робочого колеса на кавітаційні характеристики відцентрового насоса .....	313
Вплив параметрів інтерфейсу на результати числового моделювання в програмному комплексі ANSYS CFX .....	315
Вільновихровий насос ВВН 25-20 .....	316
Використання гідроп'яти в динамічних насосах .....	317
<b>СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ (ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА)»</b> .....	318
Моделювання теплового стану пасажирського вагону моделі 48-060 з комбінованою системою опалення .....	319
Енергетичне обстеження квартири в багатоповерховому будинку .....	320
Енергетичне обстеження будівлі КЗ СОР «Сумський обласний центр позашкільної освіти та роботи з талановитою молоддю» .....	321
Енергетичне обстеження ОЗЗСО «Мутинська загальноосвітня школа I-III ступенів» .....	322

Моделювання теплового стану пасажирського вагону купейного типу з комбінованою системою опалення .....	323
Лінійні теплові включення .....	324
Динамічні методи розрахунку теплової потужності будівлі .....	325
Comparison of the potential of use of wind energy on Mars and on Earth ....	327
Графен і його можливе застосування у підшипникових опорах насосних агрегатів .....	329
Невідповідність ДСТУ та ISO в енергоменеджменті .....	331
Структура споживання електроенергії у навчальному процесі учбового закладу та його прогнозування .....	332
Прогнозування електроспоживання у ветеринарній клініці .....	333
Структура споживання електроенергії будівлями навчальних закладів та існуючі системи моніторингу електроспоживання .....	334
Недоліки та переваги поновлюваних джерел енергії .....	335
<b>СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ» .....</b>	<b>336</b>
Вплив зовнішнього діаметра робочого колеса на параметри вихрового компресора .....	337
Рідинно-парові струменеві апарати, їх розрахунок .....	338
Вплив параметрів тягового сопла струминно-реактивної турбіни на її ККД .....	339
Design principles for centrifugal compressor diffusers based on the use of velocity distribution .....	340
Відцентровий газовий компресор .....	341
Тепловий насос, що працює на базі вуглецевого циклу .....	342
Сучасний досвід моделювання енергосистем .....	343
Comparative analysis of flow in cracks and holes with an equivalent area of throat .....	345
Теплонасосна установка на базі рідинно-парового ежектора з робочим середовищем R718 для системи опалення .....	346
Дослідження пластинчасто-ребристих теплообмінників компресорної установки для стиснення природного газу .....	348
Numerical simulation of motive flow nozzle geometry of liquid-vapor ejector .....	349
Моделювання пневмомереж промислових підприємств .....	350
<b>СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ (ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА)» .....</b>	<b>352</b>
Вихрова розширювальна турбомашина, як джерело альтернативної енергії .....	353
Каскадна холодильна машина для виробництва холоду на двох рівнях .....	354
Деякі напрями забезпечення енергоефективності холодильного устаткування .....	355



Визначення параметрів енергоефективності малих холодильних машин для підприємств торгівлі .....	356
Порівняльний аналіз енергоефективності паро та термокомпресійних теплових насосів .....	357
Вдосконалення циклу ГТУ за рахунок рекуперації тепла та зволоження .....	358
Ексергетичний аналіз ГТУ зі зволоженням та рекуперацією тепла	360
Переваги використання технології шокового заморожування продуктів .....	362
Аналіз розрахункових та експериментальних енергетичних характеристик парових котлів середнього тиску .....	363
Розробка та дослідження роботи охолоджувача напоїв .....	365
Вплив основних геометричних параметрів підвідного і тягового сопла струминно-реактивної турбіни на її ефективність .....	367
Термодинамічний аналіз системи повітропостачання промислового підприємства .....	368
Можливості дослідження турбогенератора на стенді кафедри технічної теплофізики .....	370
Reasons for long-term presence of refrigerant leaks in marine refrigerating units of the trading fleet .....	371
Підвищення ефективності вакуумної системи охолодження установки виробництва біодизельного палива .....	373
Підвищення ефективності сопла піскоструменевої установки на основі чисельних та експериментальних досліджень .....	374

Наукове видання

# **СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ**

**МАТЕРІАЛИ**  
та програма

**VII Всеукраїнської  
науково-технічної конференції  
(м. Суми, 21–24 квітня 2020 р.)**

Відповідальний за випуск **О. Г. Гусак**  
Комп'ютерне верстання: **О. Ю. Чех, І. В. Павленко**

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 22,58. Обл. вид. арк. 27,74. Тираж 100 пр. Зам. №

Видавець і виготовлювач  
Сумський державний університет,  
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007, Україна.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007.