

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ
та програма

X Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.)

Суми
Сумський державний університет
2023

УДК 001.891(063)
С91

Редакційна колегія:

відповідальний редактор – канд. техн. наук, професор
О. Г. Гусак; заступник відповідального редактора – д-р техн.
наук, професор І. В. Павленко.

Члени редакційної колегії:

д-р техн. наук, професор В. О. Іванов, д-р техн. наук, професор
Л. Д. Пляцук; д-р техн. наук, професор В. І. Склабінський;
д-р техн. наук, проф. В. О. Залога; д-р техн. наук, професор
О. О. Ляпощенко; д-р техн. наук, професор О. П. Гапонова;
д-р техн. наук, доцент М. І. Сотник; канд. техн. наук, доцент
С. Б. Большаніна; канд. техн. наук, доцент С. М. Ванєєв;
канд. техн. наук, доцент А. В. Загорулько; канд. техн. наук,
ст. викл. Р. О. Острога.

Технічні секретарі:

канд. техн. наук, ст. викл. Х. В. Берладір; асп. В. С. Чубур.

Сучасні технології у промисловому виробництві :
матеріали та програма X Всеукраїнської науково-технічної
конференції (м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.) / редкол.:
О. Г. Гусак, І. В. Павленко. – Суми : Сумський державний
університет, 2023. – 283 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 та інженерів усіх
галузей виробництва.

© Сумський державний університет, 2023

Шановні пані та панове!

Факультет технічних систем та енергоефективних технологій Сумського державного університету запрошує Вас взяти участь у роботі X Всеукраїнської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві (СТПВ-2023)».

Секції конференції:

1. Оброблення матеріалів у машинобудуванні.
2. Технології машинобудування.
3. Стандартизація та управління якістю у промисловому виробництві.
4. Технологія конструкційних матеріалів і матеріалознавство.
5. Динаміка і міцність, комп'ютерна механіка.
6. Екологія і охорона навколишнього середовища.
7. Хімічні технології та інженерія.
8. Хімічні науки.
9. Гідравлічні машини і гідропневмоагрегати. Прикладна гідоаеромеханіка.
10. Енергетичне машинобудування.
11. 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 СумДУ.

ПРОГРАМА КОНФЕРЕНЦІЇ

СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ У МАШИНОБУДУВАННІ»

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

Секретар – аспірант, Н. В. Лепьошкіна

1. Віртуальний токарний верстат

Доповідач: Гриценко О. О., гр. ВІ-91

Керівник: Швець С. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

2. Порівняльний аналіз складових собівартості деталей на вітчизняних та іноземних машинобудівних виробництвах

Доповідач: Євдокимов К. С., гр. ВІ-91

Керівник: Швець С. В., доцент каф. ТМВІ СумДУ, м. Суми

3. Фрезерування спіральної канавки на поверхні бурильної труби

Доповідач: Пісклов О. В., гр. ВІ-91

Керівник: Швець С. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

4. Розрахунок параметрів шорсткості обробленої поверхні під час точіння

Доповідач: Скабенюк М. М., гр. ВІ-91

Керівник: Швець С. В. доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

5. Підвищення ефективності обробки порошкових сталей

Доповідач: Олійник Я. О., аспірант кафедри ТМВІ

Керівник: Некрасов С. С., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

6. Підвищення ефективності використання САП систем за рахунок застосування нейромережі

Доповідач: Потомаха Д. Ю., студент, гр. ТМ.м-21

Керівник: Некрасов С. С., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

7. Вплив вмісту кисню на швидкість насичення поверхні деталі атомами азоту та вуглецю при карбонітрації

Доповідачі: Тіцький Р. В. магістрант гр. ТМ.м-21

Некрасов Ю. О. аспірант

Керівник: Довгополов А. Ю. ст. викладач, каф. ТМВІ, м. Суми

8. Підвищення антикорозійних властивостей методом високотемпературної обробки в розплавах солей сталей аустенітного класу

Доповідачі: Дударь А. В. магістрант ТМ.м-21

Панченко А. В. аспірант

Керівник: Довгополов А. Ю. ст. викладач, каф. ТМВІ, м. Суми

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ»

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

Секретар – аспірант, Н. В. Лепьошкіна

1. Control of multilayer wire rope with access to two ropes

Доповідачі: Belmas I. V., doctor of Technical Sciences, professor,
Head of the Department of Mechanical Engineering
and Welding Technology
Shvachka A. V., postgraduate, Department of
Mechanical Engineering and Welding Technology,
Dnipro State Technical University, Kamianske

2. Аналіз перехідної характеристики еквівалентної пружної системи як елементу системи круглого врізного шліфування

Доповідачі: Заєць О. А., студент гр. ТМ.м-21
Потомаха Д. Ю., студент гр. ТМ.м-21
Метенко О. М., студент гр. ТМ-01

Керівник: Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

3. Особливості розрахунку складальних розмірних ланцюгів шестерних насосів

Доповідачі: Заєць О. А., студент гр. ТМ.м-21
Потомаха Д. Ю., студент гр. ТМ.м-21

Керівник: Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

4. Аналіз напружено-деформованого стану конструкції токарного патрону

Доповідач: Дриголенко В. А., студент гр. ТМ.м-11

Керівник: Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

5. Удосконалення вузла кріплення різальної вставки торцевої фрези

Доповідачі: Остапенко Б. А., аспірант
Мірошниченко О. Р., студент

Керівник: Кушніров П. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

6. Розробка конструкції торцевої фрези з підвищеною надійністю закріплення різальних вставок

Доповідач: Орлов Р. О., аспірант

Керівники: Кушніров П. В., доцент каф. ТМВІ, СумДУ
Ступін Б. А., доцент каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

7. Комп'ютерні технології у машинобудуванні: виклики сьогодення
Доповідач: Клецьков О.М., ст. викладач каф. вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро
8. Системний підхід до проектування технологічного процесу відновлення деталей
Доповідач: Магопець М.С., магістрант, каф. ЕРМ
Керівник: Шепеленко І.В., професор, каф. ЕРМ, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький
9. Автоматизація робочих процесів мобільних машин
Доповідачі: Чмуж Я. В. докторант
Галицький О. О., аспірант
Керівники: Ремарчук М. П., д-р техн. наук, професор
Кебко О. В., зав. навч. лаб., каф. МТСМ, УкрДУЗТ, м. Харків
10. Розроблення прототипу механізованого роботу для транспортування озброєння
Доповідач: Заяць І. А., студент гр. МВ-01/1
Керівник: Довгополов А. Ю., ст. викладач, каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми
11. FDM 3D-printing
Доповідачі: Komisarov O., Master of the Department of Mechanical Engineering Technology,
Pukhalska G., PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Machinery Engineering Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia
12. Analysis of current approaches of the development of technological routes for parts manufacturing
Доповідачі: Andrii Zinko, Student of Bachelor Degree of Education, Department "Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies"
Yaroslav Kusyi, DScTech, Associate professor of Department "Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies", Lviv Politechnic National University, Lviv

13. Laser stitching of holes

Доповідачі: Bezkhlibnyi D., Post-graduate student of the Department of Mechanical Engineering Technology
Pukhalska G., PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Machinery Engineering Technology, National University “Zaporizhzhia Polytechnic”, Zaporizhzhia

14. Проблеми точності профілю велико-крокової нарізи точеної з допомогою двониткового різця

Доповідач: Фарилюк Р. М., аспірант
Керівник: Онисько О. Р., професор, каф. комп’ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ

15. Application of economic criteria for evaluating the efficiency of machine parts machining

Доповідачі: Yaroslav Kusyi, DScTech, Associate professor of Department “Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies”, Lviv Politechnic National University, Lviv
Olha Kostyuk, PhD, Associate professor of Department of Marketing and Logistics, Lviv Politechnic National University, Lviv
Uliana Shybunka, Student of Master Degree of Education, Department of Marketing and Logistics, Lviv Politechnic National University, Lviv

16. Система конструкторсько-технологічного забезпечення виробництва шарошок

Доповідачі: Сліпчук А. М., к.т.н., доцент, каф. робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів
Яким Р. М., д.т.н., проф. каф. кафедри технологічної та професійної освіти, Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка, м. Дрогобич
Кобилецький О. В., здобувач, м.Львів

17. Суперфінішна пневмодідцентрова обробка внутрішніх циліндричних поверхонь сталевих заготовок

Доповідач: Куликівський В. Л., доцент кафедри А та ТС, Поліський національний університет, м. Житомир

18. Digital twin of the cutting machine

Доповідач: Oleksandr Sokolov, Ph.D. student
Керівник: Vitalii Ivanov, DSc., Professor, Head of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools, Sumy State University, Sumy, Ukraine

19. Професійна технічна термінологія: сучасні виклики щодо створення нормативної документації

Доповідач: Демиденко Є. О., студ. гр. 302-о
Керівники: Косова Т. М., ст. викл. ВСП «Машинобудівний фаховий коледж СумДУ»
Павленко І. В., проф. каф. КМ
ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми
Іванов В. О., завідувач каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

20. Програмна реалізація математичних моделей процесу взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою

Доповідач: Тарасенко І. В., магістрант
Керівники: Войчишен О. Л., директор Центру спеціальних технологій
Пацера С. Т., професор, каф. технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

21. Автоматизація процесу системно-структурного моделювання на прикладі розроблення прогресивного технологічного процесу оброблення деталей типу шпилька відцентрового насоса із застосуванням інструментів та оснащення

Доповідачі: Дударь А. В., студент, гр. ТМм-21
Биков М.С., аспірант
Керівники: Дегтярьов І. М., к. т. н., доцент каф. ТМВІ
Нешта А. О., к.т.н, ст. викладач каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

22. Перспективи застосування автоматизованого проектування циклоїдних передач з пружинним стабілізатором для застосування у мобільних роботизованих платформах

Доповідачі: Клок Я. В., студент, гр. ТМм-21
Авраменко С. Є., аспірант
Керівники: Дегтярьов І. М., к. т. н., доцент каф. ТМВІ
Нешта А. О., к.т.н, ст. викладач каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

23. Модель синтезу багатоінструментних наладок

Доповідач: Біліченко М. В., студент

Керівник: Яковенко І. Е., проф., НТУ ХПІ, Харків

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

Голова – доцент, О. В. Івченко

Секретар – аспірант, Н. В. Лепьошкіна

1. Управління якістю процесів ремонту на виробництві: практичне застосування

Доповідачі: Царицин В. О., аспірант

Ілюхін М. І., студент гр. ТМ-91/1

Керівник: Денисенко Ю. О., ст. викладач каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

2. Удосконалення технологічного процесу виготовлення аеродинамічних хвостовиків для застосування боєприпасу типу «ВОГ» на дистанційно керованих літальних апаратах

Доповідач: Проданчук О. О., аспірант, Національний

університет «Львівська політехніка», м. Львів.

3. Особливості застосування статистичних методів для дослідження параметрів технологічних систем

Доповідач: Лепьошкіна Н. В., аспірантка

Керівник: Денисенко Ю. О., ст. викладач, СумДУ, м. Суми

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

Голова – О. П. Гапонова, зав. каф. ПМ і ТКМ, д-р техн. наук, професор

Секретар – Л. Б. Великодна, лаборант каф. ПМ і ТКМ

1. Сучасні матеріали в машинобудуванні

Доповідачі: Береза О. М., професор

Клецков О.М., старший викладач

кафедри вищої математики, фізики та

загальноінженерних дисциплін, ДДАЕУ, м. Дніпро

2. Особливості процесів дисипації в евтектичних розплавах на передкристалізаційному етапі

Доповідач: Береза О. Ю., професор кафедри вищої математики, фізики та загальної інженерних дисциплін, ДДАЕУ, м. Дніпро

3. Деформаційні процеси у поверхневих структурах різальних інструментів

Доповідач: Білоус Д. О., аспірант
Керівник: Гончаров О. А., професор, кафедра ПМіМСС
Сумський державний університет, м. Суми

4. Комп'ютерне моделювання виготовлення деталі «колесо робоче» відцентрового насоса

Доповідачі: Бурлака А. Ю., магістрант гр. МТ.м-21/1,
Сергієнко В.М., магістрант гр. МТ.м-21/2,
Керівник: Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ,
м. Суми

5. Зміцнення ріжучого твёрдосплавного інструменту при нанесенні окисно-нітридних багаточарових покриттів

Доповідач: Варакін В. О., аспірант
Керівник: Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ,
м. Суми

6. Прогресивні зносостійкі матеріали для агропромислового виробництва

Доповідачі: Василенко М. О., зав. відділу,
Буслаєв Д. О., старш. наук. співроб.,
Калінін О. Є. старш. наук. співроб.,
Кононогов Ю. А., пров. інж., відділ НРОСМ,
ІМА АПВ НААН, с.м.т. Глеваха

7. Вибір технології термічного оброблення деталі «колесо робоче» насоса

Доповідачі: Голуб Н. Р. магістрантка гр. МТ.м-21;
Гончаров Б. С., магістрант гр. МТ.м-21
Керівник: Гапонова О. П., зав. каф. ПМ і ТКМ, СумДУ,
м. Суми

8. Розробка методології модульного структурного проектування композитних лопатей несучого гвинта вертольоту

Доповідач: Грибанова С. А., викладач, КЛК ХНУВС,
м. Кременчук

9. Поверхнева обробка сплавів на основі алюмінію

Доповідач: Зінченко І. Д., аспірант, СумДУ, м. Суми
Керівник: Гапонова О. П., зав. каф. ПМіТКМ, СумДУ, м. Суми

10. Методи модифікування термопластів вуглецевими нанотрубками
Доповідач: Марченко К. С., аспірантка, гр. А-25/МТ, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, Суми
Керівник: Марченко С. В., доцент, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, Суми
11. Підвищення якості поверхні та довговічності за допомогою електроіскрового легування
Доповідач: Охріменко В. О., аспірант,
Керівник: Гапонова О. П., зав. каф. ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми
12. Research of nanostructured coatings based on nitrides
Доповідачі: Pakhnenko D. V., master,
Khaniukov K. S., postgraduate,
Varakin V. O., postgraduate,
Hovorun T. P., associate professor of the department of PM and TCM, Sumy State University, Sumy, Ukraine
13. Розробка сучасної термічної обробки деталі «голка дозуюча»
Доповідачі: Піменов О. О., студент гр. МБ-91/1 МТ,
Чумаков Д. С., аспірант гр. А-15МТ,
Назаренко І. В. аспірант гр. А-25МТ
Керівник: Харченко Н. А., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ
14. Характер руху межфазних границь при неізотермічних умовах формування дифузійного захисного покриття на металах в залежності від енергій активації дифузії
Доповідачі: Нестеренко О. І., професор кафедри енергетики, д. ф.-м., УДХТУ, м. Дніпро
Сахно В. М., доцент кафедри вищої математики, фізики та загальної інженерних дисциплін, к. ф.-м., ДДАЕУ, м. Дніпро
Нестеренко М. Г., доцент кафедри програмного забезпечення інформаційно-вимірювальної техніки, к. ф.-м., УДХТУ, м. Дніпро
15. Дослідження впливу продуктивності процесу алітування методом електроіскрового легування на мікроструктуру покриттів
Доповідач: Юскаєв С. В., аспірант; Жиленко О. І., магістрант гр. МТ.м-21, СумДУ, м. Суми
Керівник: Тарельник Н. В., с.н.с.; Гапонова О. П., зав. каф. ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

16. Використання штучного інтелекту у прогнозуванні властивостей полімерних композиційних матеріалів

Доповідач: Сергій Вареник, аспірант, гр.А-15/МТ

Керівник: Христина Берладір, ст. викладач кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

17. Зносостійкі дифузійні покриття

Доповідачі: Ситніков В. О., аспірант гр. А-25/МТ, СумДУ;

Кравченко В. В., аспірант гр. А-25/МТ, СумДУ

Керівник: Дегула А. І., доцент кафедри ПМіТКМ, СумДУ

18. Вплив умов гальванічного хромування на якість утвореного покриття.

Доповідач: Іжик В. М., студ. гр. МгТЕ-22

Керівник: Кислова О. В., доцент кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження, КНУТД, м. Київ

19. Використання програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом у матеріалознавстві

Доповідач: Ситніков В. О., аспірант, гр. А-25/МТ, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

Керівник: Дегула А. І., доцент, кафедра ПМіТКМ, СумДУ

20. Дослідження структури титанових пористих матеріалів з відходів біомедичного виробництва

Доповідачі: Повстаной О. Ю., д.т.н., професор, кафедра прикладної механіки та мехатроніки, ЛНТУ, Луцьк

Імбірович Н. Ю., к.т.н., доцент, кафедра матеріалознавства, ЛНТУ, Луцьк,

21. Розробка припрацювальних покриттів, модифікованих електроіскровим легуванням з поліпшеними експлуатаційними характеристиками

Доповідач: Галкін Д. С. аспірант гр.А-15/МТ, СумДУ, м. Суми

Керівник: Юоскаєв В. Б., доцент кафедри ПМіТКМ, СумДУ, м. Суми

22. Процес отримання деталі «колінчастий вал»

Доповідач: Хвостенко Р. О., магістрант гр. МТ.м-21/2

Керівник: Говорун Т. П., доцент, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

23. Підвищення міцнісних і трибологічних характеристик ріжучого інструмента при нанесенні наноструктурованих покриттів.

Доповідач: Ханюков К. С., аспірант

Керівник: Говорун Т. П., доцент, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

24. Електронно-променева плавка металів і сплавів

Доповідач: Спаський Р. М., студ. гр. 306-л
Керівники: Гальченко І. Г., викладач вищої категорії;
Павленко І. В., старший викладач,
ВСП «Машинобудівний фаховий коледж СумДУ»,
м. Суми

СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ, КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА»

Голова – А. В. Загорулько, зав. каф. КМ ім. В. Марцинковського,
канд. техн. наук, доцент

Секретар – С. О. Міщенко, зав. навч. лаб. каф. КМ ім. В. Марцинковського

1. Комп'ютерне моделювання в механіці: сучасний погляд

Доповідач: Клецков О.М., старший викладач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

2. Побудова комп'ютерної моделі впливу розтягуючого навантаження в програмі ANSYS

Доповідач: Клецков О. М., старший викладач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

3. Про одну асимптотичну властивість функції Міттаг-Леффлера

Доповідач: Павленко І. В., д-р техн. наук, проф., професор кафедри комп'ютерної механіки ім. В. Марцинковського, Сумський державний університет, м. Суми

4. A Python-based computer program for calculating free oscillations of rotor systems

Speaker: Mykola Burym, Student, group KM-91-1
Supervisor: Prof. Dr. Ivan Pavlenko, DSc., Ing.-Paed., Department of Computational Mechanics named after Volodymyr Martsynkovskyy, Sumy State University, Sumy, Ukraine

5. Вплив геометрії косо затисненого кесона крила планера на міцність та вібростійкість

Доповідач: Осипов О. О., студент, група КМ-91/1
Керівник: Жигилій Д. О., к.т.н., доцент СумДУ, м. Суми

6. Застосування різних симуляційних моделей резонансного методу неруйнівного контролю пластин з полімерних композиційних матеріалів
Доповідач: Старинський П. С., студент, група КМ-91/1
Керівник: Жигилій Д. О., к.т.н., доцент, СумДУ, м. Суми
7. Реабілітація пацієнтів з судинними захворюваннями. Частина II
Доповідач: Олександр Литвиненко, студент, група ІМ-11/1;
Катерина Бурдюк, 11 клас, Центр позашкільної освіти, школа № 7, м. Лебедин
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми;
Стовбур О. А., завідувач відділенням судинної хірургії, лікарня № 5, м. Суми
8. Реабілітація пацієнтів з судинними захворюваннями. Частина III
Доповідач: Олександр Литвиненко, студент, група ІМ-11/1;
Катерина Бурдюк, 11 клас, Центр позашкільної освіти, школа № 7, м. Лебедин
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми;
Стовбур О. А., завідувач відділенням судинної хірургії, лікарня № 5, м. Суми
9. Положення небезпечних перерізів бруса при навантаженні його силовими факторами та геометричних факторів міцності
Доповідач: Андрій Тимофеев, студент, група ІМ-21/2
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми
10. Знаходження геометричних характеристик статично визначуваних балок
Доповідач: Максим Усенко, 11 клас, Центр позашкільної освіти; Володимир Левченко, 11 клас, школа № 6, м. Лебедин
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми
11. Вибір найбільш небезпечних розрахункових схем статично визначених балок та опорних закріплень рам
Доповідач: Максиміліан Рожков, 11 клас, школа № 1, м. Суми
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми

12. Побудова епіюр ВСФ, нормальних і дотичних напружень у просторовому ломаному брусі

Доповідач: Максиміліан Рожков, 11 клас, школа № 1, м. Суми
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми

13. Знаходження положень головних центральних вісей складових фігур та раціонального розташування опор

Доповідач: Назар Лобода, учень 9 класу, школа № 9, м. Суми
Керівник: Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми

14. Чисельний розрахунок двосторонньої задачі гідропружності торцевого сальникового ущільнення - аналіз впливу зміни параметрів

Доповідач: Сапожников Я. І., аспірант, СумДУ, м. Суми
Керівник: Загорулько А. В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми

15. Обчислювальний аналіз герметичності та стійкості деформованого плаваючого та нерухомого кілець шпаринного ущільнення

Доповідач: Борсук С. А., студент, група КМ-81
Керівник: Загорулько А. В., к.т.н., доцент, завідувач кафедри КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми

16. Розробка мобільного застосунку для розрахунку гідродинамічних сил та витоків у багатошпаринних ущільненнях відцентрових насосів

Доповідач: Яненко С. В., аспірант СумДУ
Керівник: Позовний О. О., к.т.н., асистент, каф. КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми

17. Аналіз статичних та динамічних характеристик ущільнень з плаваючими кільцями

Доповідач: Колеченко Б. О., студент; група КМ-91/1
Керівник: Позовний О. О., к.т.н., асистент, каф. КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми

18. Аналіз спільних радіально-осьових коливань ротора з урівноважуючим пристроєм

Доповідач: Григор'єв В.С., студент; група КМ-91/1
Керівник: Позовний О. О., к.т.н., асистент, каф. КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми

19. Прикладні аспекти застосування штучного інтелекту при комп'ютерному моделюванні в механіці

Доповідач: Мельник А. І., вчитель фізики, НВК № 1, м. Ялівець

20. Дослідження динаміки та стійкості ротора насоса ЦНА 600-35 для атомних електростанцій

Доповідач: Вербовий А. Є., аспірант, СумДУ, м. Суми

Керівники: Павленко І. В., д-р техн. наук, професор;
Симоновський В. І., д-р техн. наук, професор,
кафедра КМ ім. В. Марцинковського,
СумДУ, м. Суми, Україна;
Неамцу К., канд. техн. наук, доц., Технічний
університет м. Клуж-Напока, м. Клуж-Напока,
Румунія

СЕКЦІЯ «ЕКОЛОГІЯ І ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА»

Голова – Л. Д. Пляцук, зав. каф. ЕПТ, д-р техн. наук, професор

Секретар – А. Ю. Головатий, аспірант

1. Вплив техногенного середовища на озоновий шар планети

Доповідач: Сумцова К. С., студентка

Керівник: Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми

2. Практична реалізація моделі розсіювання забруднюючих речовин з використанням web-платформи

Доповідач: Вихрова А. Ю., студентка

Керівник: Козій І. С., доцент, СумДУ, м. Суми

3. Ammonia removal in anaerobic digestion by biogas stripping

Доповідач: Holovaty I. Yu., PhD student

Керівник: Ablicieva I. Yu., Associate Professor, Sumy State
University, Sumy, Ukraine

4. Методи оцінювання впливу на довкілля при виборі перспективного напрямку поводження з відходами виробництва

Доповідач: Гурець І. М., аспірант, СумДУ, м. Суми

5. Особливості впливу золошлакових відходів теплових електростанцій на навколишнє середовище

Доповідач: Залевська І. В., аспірантка

Керівник: Гурець Л. Л., професор, СумДУ, м. Суми

6. Використання лігноцелюлози в якості сировини для отримання біодобрива
Доповідач: Сіпко І. О., аспірантка
Керівник: Аблеєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми
7. Визначення рівня фітотоксичності дигестату за допомогою індексу проростання насіння
Доповідач: Скворцова П. О., аспірант
Керівник: Аблеєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми
8. Екологічні аспекти впливу на водні об'єкти наслідків військової агресії рф
Доповідач: Гончаренко А. В., студентка
Керівник: Яхненко О. М., старший викладач, СумДУ, м. Суми
9. Річка Сумка як джерело забруднення річки Псел
Доповідач: Остапенко В. В., студентка
Керівник: Кузьміна Т. М., доцент, СумДУ, м. Суми
Бабко Р. В., Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена
НАН України, м. Київ
10. Екологічні аспекти впливу на ландшафт та ґрунтовий покрив екосистем наслідків військової агресії рф
Доповідач: Курас Б. П., студент
Керівник: Яхненко О. М., старший викладач, СумДУ, м. Суми
11. Екологічні аспекти використання біологічних методів очищення ґрунтів від важких металів
Доповідач: Мороко С. О., студент
Керівник: Яхненко О. М., старший викладач, СумДУ, м. Суми
12. Статистичні методи в екологічних дослідженнях
Доповідачі: Штанько М. О., Маландій Д. Д., Зубко Д. І. студенти
Керівник: Рой І. О., доцент, СумДУ, м. Суми
13. Підвищення екологічної безпеки гальванічного цинкування при застосуванні модифікованих цинкатних електродів
Доповідач: Коломоець О. О., студент
Керівник: Кислова О. В., доцент КНУТД, м. Київ
14. Удосконалення технології біологічного очищення стічних вод шляхом біологічної індукованої активації мікроорганізмів активного мулу
Доповідач: Забара І. І., аспірантка
Керівники: Пляцук Л. Д., професор
Батальцев Є. В. старший викладач, СумДУ, м. Суми

15. Нове технологічне обладнання для каналізаційних очисних споруд барботажного типу
Доповідач: Жуга О. О., аспірант, НТУ «ХПІ», м. Харків
16. Регіональна екологічна безпека в умовах воєнного стану
Доповідачі: Твердохлебова Н. Є., доцент;
Свтушенко Н. С. доцент, НТУ «ХПІ», м. Харків
17. Надзвичайні ситуації природнього характеру як результат потепління клімату
Доповідач: Лисенко Д. С., студент
Керівник: Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми
18. Роль дигестату у підвищенні родючості ґрунтів
Доповідач: Парамонов А. В., аспірант
Керівник: Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми
19. До питання виділення парникових газів у процесі компостування
Доповідач: Джафарова В. Р., аспірантка
Керівник: Васькіна І. В., викладач СумДУ, м. Суми
20. Екологічні проблеми будівництва селітебних зон міст
Доповідач: Кузьомєнська К. В., аспірантка
Керівник: Батальцев Є. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми
21. Флотоекстракція – тонке очищення стічних вод
Доповідач: Мар'єнко Н. М., студентка
Керівник: Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми
22. Технологія захоронення радіоактивних відходів АЕС
Доповідач: Мосійчук Р. А., студент
Керівники: Пляцук Л. Д., професор;
Батальцев Є. В., старший викладач,
СумДУ, м. Суми
23. Роль дигестату у зниженні техногенного навантаження на ґрунти
Доповідач: Парамонов А. В., аспірант
Керівник: Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми
24. Оцінка природоохоронних заходів і проектів на природоохоронному об'єкті
Доповідач: Бурла О. А. асистент
Керівник: Будьоний І. І, студент, СумДУ, м. Суми

25. Вплив анаеробного дигестату як біодобрива на акумуляцію вуглецю в ґрунті

Доповідач: Михно Г. І., студентка
Керівник: Аблеєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

26. Міграція важких металів по ґрунтовому профілю

Доповідач: Макаренко Н. О., асистент
Керівник: Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми

27. Автоматизація та інтенсифікація процесів рециклінгу відходів в біоенергетичних технологіях

Доповідач: Білоус О. О., Данилов Д. В., студенти
Керівник: Черниш Є. Ю., доцент;
Скиданенко М. С., старший викладач,
СумДУ, м. Суми

28. Інтелектуальні методи аналізу даних в системі моніторингу довкілля

Доповідач: Ізмалкова М. А., студентка
Керівник: Черниш Є. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

29. Напрямки та перспективи використання золошлакових відходів ТЕС

Доповідач: Левенець К. Р., студент
Керівник: Черниш Є. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ»

Голова – В. Я. Стороженко, проф. каф. ХІ, канд. техн. наук, професор

Секретар – Ю. О. Юрченко, аспірант каф. ХІ

1. Режимно-технологічна та апаратурно-конструктивна оптимізація для інтенсифікації процесів утворення і розділення багатокомпонентних систем

Доповідачі: Гавриленко О. М., к.т.н., докторант;
Старинський О. Є., аспірант;
Сейф Хуссейн, аспірант;
Шматенко В. А., аспірант;
Бондар Д. І., аспірант;
Хухрянський О. М., PhD, студент;
Кравець В. Г., студент;
Луценко Р. М., студент;
Мандрика О. О., студент
Керівник: Ляпощенко О. О., д.т.н., проф., СумДУ, м. Суми

2. Вплив радіальної складової швидкості рідини на утворення краплі на виході з корзини гранулятора

Доповідач: Юрченко О. Ю., асп.
Керівники: Склабінський В. І., д.т.н., проф.;
Гусак О. Г., к.т.н., проф., СумДУ, м. Суми

3. До розрахунку оптимальних режимів роботи теплообмінного обладнання ректифікаційних установок

Доповідачі: Довгаль О. В., студент, ХМ-91;
Карпенко А. С., студент, ХМ-91
Керівник: Михайловський Я. Е., доцент, кафедра хімічної інженерії; СумДУ, м. Суми

4. Оптимізація випарного відділення в цукробуряковому виробництві

Доповідачі: Бондар О. В., студент, ХМ-91;
Заїкін О. І., студент, ХМ-91;
Керівник: Михайловський Я. Е., доцент, кафедра хімічної інженерії; СумДУ, м. Суми.

5. Спортивний бридж та інженерне мислення

Доповідач: Гребенік А. Є., студент, ХМм-21
Керівник: Михайловський Я. Е., доцент, кафедра хімічної інженерії; СумДУ, м. Суми

6. Вибір типу насадки для моногідратного абсорбера

Доповідачі: Москальчук О. М., Кліндухов С. В., студенти
Керівники: Скиданенко М. С., ст. викладач;
Івченко О. В. доцент СумДУ, м. Суми, Україна

7. Вплив технологічних параметрів на процес утворення гранул карбаміда в тарільчатому грануляторі

Доповідачі: Кононенко М. П. старший науковий співробітник;
Скиданенко М. С., ст. викладач, СумДУ, м. Суми

8. Обґрунтування доцільності використання поличного пневмокласифікатора для розділення полідисперсних сумішей у виробництві мінеральних добрив

Доповідач: Острога Д. В., аспірант, гр. А-25/ХТ
Керівник: Острога Р. О., доцент, каф. XI СумДУ, м. Суми

9. Закономірності охолодження зернистих матеріалів у поличних апаратах

Доповідач: Сергієнко А. Р., студент, гр. ХМ-91
Керівник: Острога Р. О., доцент, каф. XI, СумДУ, м. Суми

10. Особливості використання комп'ютерної техніки у хімічній і нафтогазовій промисловості

Доповідач: Пейчева Д. І., студентка, гр. ХМ-01/1кі
Керівник: Склабінський В. І., д.т.н., проф., СумДУ, м. Суми

11. Вибір сировини для переобки на установках коксування

Доповідач: Кисляк В.В., магістрант, гр. ХМ.м-21/2
Керівник: Склабінський В.І., д.т.н., проф., СумДУ, м. Суми

12. Реактор процесу безперервного коксування нафтових залишків

Доповідач: Кліндухов К. В., магістрант, гр. ХМ.м-21/1
Керівник: Склабінський В. І., д.т.н., проф., СумДУ, м. Суми

13. Температура гранули в процесі охолодження у грануляційній башті

Доповідач: Нічолодін К. В, аспірант; СумДУ, гр. А-25/ХТ
Керівник: Склабінський В. І., д.т.н., проф., СумДУ, м. Суми

14. Особливості та переваги гальванічного нанесення тришарового нікелевого блискучого покриття

Доповідач: Дребот Р. М., студент гр. МГТЕ-22
Керівник: Кислова О. В., доцент, Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»

Голова – С. Б. Большаніна, зав. каф. ТПХ, канд. техн. наук, доцент
Секретар – О. Д. Мавланова, фахівець каф. ТПХ

1. Хімічне міднення діелектриків

Доповідач: Муквич В. Ю., студентка СумДУ, гр. ПХ-01
Керівник: Пшеничний Р. М., доцент, кафедра ТПХ

2. Визначення чисел перенесення іонів при мембранному електролізі

Доповідач: Радченко А. Е. студент, ПХ-01 СумДУ
Керівник: Большаніна С.Б., к.т.н., завідувач кафедри ТПХ

3. Дослідження якості молочної продукції

Доповідач: Гоменюк В. В, студентка гр. ПХ-91/1
Ярова Т. Ю., студентка гр. ПХ-91/1
Керівники: Пономарьова Л. М., доц. каф. ТПХ,
СумДУ, м. Суми

4. Дослідження якості води водойм міста Суми

Доповідач: Гоменюк В. В, студентка гр. ПХ-91/1

Ярова Т. Ю., студентка гр. ПХ-91/1

Керівники: Пономарьова Л. М., доц. каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми

5. Дослідження впливу кислотності ґрунтів на швидкість вивільнення компонентів живлення у складних мінеральних добривах

Доповідачі: Ярова Т. Ю., студентка гр. МБ-91/4-пх

Керівник: Коваленко Т. І., лаборант;

Яновська Г. О., доцент, каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми

6. Вплив температури на кінетичні показники розчинення складних мінеральних добрив

Доповідачі: Большаніна С. Б., к.т.н., завідувач кафедри ТПХ;

Гоменюк В. В студент ПХ-91/1, СумДУ, м. Суми

7. Методи визначення вмісту нітратів у продуктах харчування

Доповідач: Вініченко А. І., студ. гр. ПХ-01

Керівник: Пономарьова Л. М., доцент кафедри ТПХ,

СумДУ, м. Суми

8. Синтез біфазних матеріалів на основі гідроксиапатиту та β -трикальційфосфату

Доповідач: Радченко О. І., студентка, гр. ПХ-01

Керівник: Яновська Г. О., доц. каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми

9. Перспективи використання гідроксиапатиту для відновлення та відбілюванні зубної емалі.

Доповідач: Зінчук А. Д., студент гр. І-22/1ПХ;

Якименко Д. Р., студент гр. І-11/2ПХ

Керівник: Яновська Г. О., доц. каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми

**СЕКЦІЇ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ.
ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА»**

Голова – М. І. Сотник, зав. каф. ПГМ, д-р. техн. наук, доцент

Секретар – В. Ю. Кондусь, старший викладач кафедри ПГМ

1. Метод суперпозиції сил у дослідженні безпечних умов експлуатації лісозаготівельних машин під дією асиметричних навантажень

Доповідач: Луста Ю. Р. аспірант, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

2. Програмно-апаратний лабораторний комплекс для моніторингу температури і витрати робочої рідини

Доповідач: Литвин Ю. О., аспірант

Керівник: Тарасенко Т. В., канд. техн. наук, Національний авіаційний університет, м. Київ

3. Обертова характеристика низькообертових високомоментних гідромоторів на базі циліндрів

Доповідачі: Чмуж Я. В., к.т.н., докторант;

Галицький О. О., аспірант

Керівник: Кебко О. В., зав. навч. лаб., кафедра МТСМ, УкрДУЗТ, м. Харків

4. Аналіз ефективності роботи гідроаккумулятору за допомогою методу електрогідравлічних аналогій

Доповідач: Сисенко В. В., аспірант, каф. ПГМ

Керівник: Панченко В. О., канд. техн. наук., доцент каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

5. Оцінка енергоефективності параметричного ряду насосів СВН

Доповідачі: Панченко В. О., к.т.н. доцент;

Петренко С. С., аспірант;

Кондусь В. Ю., к.т.н., ст. викл. каф. ПГМ;

Івченко О. В., к.т.н., доцент каф. ТМВІ,

СумДУ, м. Суми

6. Недоліки збільшення лопатевого диску в контрроторних ступенях для підвищення напірності

Доповідач: Куліков О. А., аспірант, гр. А-05/МБ

Керівник: Ратушний О. В., к.т.н., доц., ст. викладач каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

7. Дослідження впливу форми лопатевої системи відкритого робочого колеса відцентрового консольного насоса на напірну та енергетичну характеристику

Доповідач: Ворожка А. С., аспірант; Тягно О.В., аспірант;

Лобуренко М. В., м.н.с; Овчаренко М. С., к.т.н.,

с.н.с.; Папченко А. А., к.т.н., п.н.с.

каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

8. Осьова сила в контрроторному ступені

Доповідач: Куліков О. А., аспірант, гр. А-05/МБ

Керівник: Ратушний О. В., к.т.н., доц., ст. викладач каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

9. Застосування стенду для дослідження робочих коліс відцентрового насоса, створених методом 3D друку

Доповідач: Безсмертний О. С., аспірант
Керівник: Ратушний О. В., к.т.н., доц., каф. ПГМ,
СумДУ, м. Суми

10. Перспективи оновлення параметричного ряду вільновихрових насосів

Доповідач: Андрусак В. О., аспірант
Керівник: Кондусь В.Ю., к.т.н., ст. викл. каф. ПГМ;
Івченко О. В., к.т.н., доц. каф. ТМВІ, СумДУ, м. Суми

11. Підвищення енергоефективності сонячних панелей з використанням пристроїв відстеження руху сонця

Доповідач: Лошкарьов С. М., студ. гр. ЕМ.м-22
Керівник: Сотник М. І., зав. каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

12. Гібридна сонячна електростанція для потреб навчального закладу в умовах воєнного стану

Доповідач: Єгоров Є. В., студ. гр. ІМ-21
Керівник: Сотник М. І., зав. каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

13. Перспективи впровадження високооберткових секційних насосів для об'єктів водозабезпечення

Доповідач: Полковниченко В. В., Муштай М. В., студенти
Керівник: Кондусь В. Ю., к.т.н., ст. викл. каф. ПГМ,
СумДУ, м. Суми

СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

Голова – С. М. Ванєєв, зав. каф. ТТФ, канд. техн. наук, доцент
Секретар – Д. В. Смоленко, аспірант

1. Characterization of barriers to innovation in the energy sector of Ukraine

Доповідач: Tetiana Hilorme, Doctor of Economic Sciences,
Associate Professor, Leading Research Associate,
Scientific Research Institute of Energy Efficient
Technologies and Materials Science, Oles Honchar
Dnipro National University, Dnipro

2. Математичне моделювання та проектування проточної частини вихрової камери рідинно-парового струминного апарата

Доповідачі: Ніколаєнко Д. Р., студент, група К.м.-21
Тимченко С. С., студентка, група І-12/2хк, СумДУ
Керівник: Мерзляков Ю. С., к.т.н., доцент, кафедра ТТФ,
СумДУ, м. Суми

3. Турбогенератори на основі вихрових розширювальних машин для лікарняних кисневих сепараторів

Доповідачі: Смоленко Д. В., аспірант, СумДУ, м. Суми
Керівник: Ванєєв С. М., к.т.н., доцент, завідувач кафедри
технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми

4. Дослідження теплонасосних установок для систем індивідуального опалення

Доповідачі: Євтушенко С. О., аспірант;
Прийменко О. О., магістрант, гр. К.м-21
Керівник: Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент кафедри
ТТФ, СумДУ, м. Суми

5. Математичне моделювання течії двофазного потоку в камері змішування рідинно-парового струминного апарата

Доповідач: Євтушенко С. О., аспірант, кафедра ТТФ
Керівник: Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент кафедри
ТТФ, СумДУ, м. Суми

6. Підвищення ефективності теплонасосних установок шляхом застосування рідинно-парових ежекторів.

Доповідач: Ревенко Р. О., магістрант, гр. К.м-21
Керівник: Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент;
Олада Є. М., зав. навч. лабораторіями,
кафедра ТТФ, СумДУ, м. Суми

7. Теплофізична модель рідинно-парового струминного апарата з соплом активного потоку профільованої форми

Доповідач: Гусєв Д. М., аспірант
Керівник: Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент кафедри
ТТФ, СумДУ, м. Суми

8. Можливі області застосування турбін нетрадиційного виконання

Доповідач: Мелєйчук О. С., аспірант
Керівник: Ванєєв С. М., канд. техн. наук, зав. кафедри ТТФ,
СумДУ, м. Суми

9. Критерії оптимізації для визначення оптимального приводу кульових кранів

Доповідач: Мірошніченко О. І., аспірант
Керівник: Ванєєв С. М., канд. техн. наук, зав. каф. ТТФ;
Бага Т. С., пров. інженер, каф. ТТФ,
СумДУ, м. Суми;
Мірошніченко Д. В., к.т.н., науковий співробітник,
ТОВ «НВП «АРМА-Т», м. Суми

10. Турбогенератори на основі вихрових розширювальних машин для газорозподільних станцій у рамках «водневої енергетики»

Доповідач: Ніколаєнко Д. Р., студент гр. К.м-21
Керівник: Ванєєв С. М., канд. техн. наук, зав. кафедри ТТФ,
СумДУ, м. Суми

СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОЄМНИХ ВИРОБНИЦТВ. ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА»

Голова – С. М. Ванєєв, зав. каф. ТТФ, канд. техн. наук, доцент
Секретар – Д. В. Смоленко, аспірант

1. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів при проектуванні енергоефективних систем опалення

Доповідач: Тараненко В. А., студ. група ХКдн-94др
Керівники: Баран В. В., викл., Дрогобицький коледж нафти
і газу, м. Дрогобич;
Мелейчук С. С., доцент, СумДУ, м. Суми

2. Дослідження поршневих компресорів для автомобільних газонаповнювальних компресорних станцій

Доповідач: Овчарик Є. М., магістрант, гр. К.м-21
Керівник: Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент кафедри
ТТФ, СумДУ, м. Суми

3. Дослідження характеристик самодіючих клапанів поршневого компресора

Доповідач: Ткачук С. В., магістрант, гр. К.м-21
Керівник: Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент каф. ТТФ;
Олада Є. М., зав. навч. лабораторіями,
каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

4. Вплив відношення тисків і температури газу на вході вихрового компресора на його параметри

Доповідач: Дурманенко М. О., студент гр. К.м-21
Карасенко В. В., студент гр. К.м-21

Керівник: Ванєєв С. М., к.т.н., доцент, зав. каф. ТТФ, СумДУ

5. Дослідження та подальша модернізація пневматичних гальмівних систем маневрових тепловозів

Доповідач: Ященко А. О., аспірант

Керівник: Бондаренко Г. А., к.т.н., проф. каф. ТТФ,
СумДУ, м. Суми

6. Перевірка стенду для досліджень струминно-реактивної турбіни з метою отримання характеристик

Доповідач: Мірошниченко О. І., аспірантка;
Пилипенко Д. А., студент гр. К.м.-21

Керівник: Бага Т. С., пров. інженер;
Ванєєв С. М., к.т.н., доцент,
каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

7. Ексергетична ефективність систем теплопостачання традиційного типу і систем на базі теплонасосних установок

Доповідач: Ярина В. Р., студ. гр. К.м-21

Керівник: Арсеньєв В. М., к.т.н., професор;
Мелейчук С. С., к.т.н., доцент,
каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

8. Підвищення ефективності робочого сопла ежекторно-очисної установки

Доповідач: Гаджієв М. В., студент гр. К.м-21

Керівник: Бондаренко Г. А., к.т.н., професор;
Бага В. М., к.т.н., доцент,
каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

9. Маловитратні відцентрові компресори в холодильному устаткуванні

Доповідач: Червяченко М. К., студентка гр. К.м-21

Сігало В. С., студент гр. К.м-21
Керівник: Бондаренко Г. А., к.т.н., професор КТТФ, СумДУ
Бага В. М., к.т.н., доцент КТТФ, СумДУ

10. Дослідження впливу на параметри вихрового компресора зміни витрати робочого тіла і частоти обертання ротора

Доповідач: Ракоїд Р. О., Логвін П. Ю., студенти гр. К.м-21

Керівник: Ванєєв С. М., к.т.н., зав. каф. ТТФ,
каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

**СЕКЦІЯ «ОБРОБЛЕННЯ МАТЕРІАЛІВ
У МАШИНОБУДУВАННІ»**

ВІРТУАЛЬНИЙ ТОКАРНИЙ ВЕРСТАТ

Гриценко О. О., гр. ВІ-91; Швець С. В. доцент; каф. ТМВІ СумДУ, м Суми

При проектуванні токарної операції визначають наступні характеристики процесу різання: режим різання - v, s, t ; геометрію леза - $\gamma, \alpha, \varphi, \lambda, \beta, r, \rho$; стійкість інструмента - T ; машинний час - τ ; параметри шорсткості обробленої поверхні - Rz, Ra ; температуру різання - θ ; коефіцієнт укорочення стружки - Kl ; складові сили різання - P_x, P_y, P_z ; напруження - σ ; зношення леза - h ; форму та розміри наросту - B ; властивості оброблюваного та інструментального матеріалів - Mo, Mi .

У цьому переліку множина $I = \{v, s, t, \gamma, \alpha, \varphi, \lambda, \beta, r, \rho, Mo, Mi\}$ - вихідні дані. Причому, при оптимізації переходу постійними залишаються лише характеристики оброблюваного матеріалу Mo , за умови, що деталь не піддається попередньому фізичному впливу.

Інші елементи множини I вибирають таким чином, щоб забезпечити необхідні стійкість (T), параметри шорсткості обробленої поверхні (Rz, Ra), максимальну продуктивність (τ) та мінімальну вартість оброблення (C). Тобто метою проектування є оптимізація значень елементів множини $Y = \{T, Rz, Ra, \tau, C\}$.

Елементи множини $W = \{\theta, Kl, P_x, P_y, P_z, \sigma, h, B\}$ використовують для контролю та аналізу процесу проектування, узагальнення практичних спостережень та пояснення результатів наукових досліджень.

Традиційна методика формує множину Y на підставі емпіричних виразів. Це викликано тим, що процес різання є складною комбінацією деформувальних і руйнівних процесів. У зоні різання спостерігається неоднорідна деформація. Є зони у пластичному стані, є в пружному. У деяких областях відбувається руйнація, а через деякий час, відбувається схоплювання (зварювання тертям). Тому, жодна відома теорія деформацій і руйнування самостійно неспроможна повністю відобразити конкретне утворення стружки.

Отже функціонування системи різання, має такі координати: $Co = (I, Y, W)$. Через недостатню вивченість явищ при утворенні стружки, достовірної фізичної моделі цього процесу немає. Тому неможливо встановити адекватні математичні вирази. Кількість невідомих, на жаль, перевищує кількість рівнянь, що відбивають фізичні явища у зоні різання. У зв'язку з цим набули широкого поширення емпіричні вирази, що є, по суті, «чорною скринькою».

Дуже часто режим різання встановлюється за аналогією, виходячи з практичного досвіду. В результаті немає вагомих доказів того, що прийнятні умови різання є оптимальними як з точки зору забезпечення стійкості інструменту і продуктивності процесу, так і з точки зору створення необхідних параметрів якості обробленої поверхні. Тому необхідне вдосконалення фізичної моделі системи різання та розроблення відповідної їй математичної моделі.

Необхідно застосувати таку фізичну модель, яка дозволить зрівняти кількість невідомих і кількість наявних рівнянь у математичній моделі процесу різання. Якщо на сучасному рівні розвитку науки про різання металів не вдається при математичному моделюванні об'єднати досягнення термодинаміки та статистичної фізики, то потрібно використовувати такий комплексний фактор, який поєднує положення статистики та термодинаміки.

Такою комплексною величиною є робота [1]. Можна розрізнити гранично можливу роботу конкретного лека з конкретного матеріалу та виконану роботу системою різання в даний час.

Вихідними даними для розрахунку є механічні властивості матеріалу та розміри заготовки, фізико-механічні властивості матеріалу та геометрія різальної частини інструменту, граничне зношування по задній поверхні, глибина різання та подача (рис. 1). Причому глибина різання визначається за

сила	температура	износ	коэф. усадки	ресурс реза	КПД системы
$P_z = 1.1$	$\theta = 658^\circ$	$h_s = 0.35$	$K = 3.9$	$R = 73.24$	$\omega = 0.417$
скорость	время	R_z	R_a	стойкость	
$V = 90.2$	$\tau = 64.7$	$R_z = 4.49$	$R_a = 1.37$	$T = 68$	
работа резания		$A_p = 6512290$			
предельная работа		$A = 8891969$			

Рисунок 1 – Вихідні дані та результати розрахунку характеристик процесу різання під час точіння

розмірами заготовки, а подача встановлюється відповідно до необхідних значень параметрів шорсткості, які контролюють на екрані.

Створена математична модель є пізнавальною, тобто дозволяє не лише відображати необхідні знання з теорії різання металів, а й приєднувати нові. Розрахункова програма компактна, не потребує великих баз даних. У базу даних оброблюваних матеріалів включаються параметри графіка залежності напруження від деформації, отриманому при стандартних випробуваннях на міцність, а також коефіцієнт і показник ступеня у виразі для розрахунку температури різання.

Список літератури

1. Швец С. В. Системный анализ теории резания / С. В. Швец. – Сумы: Изд-во СумГУ, 2009. – 212 с.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ СКЛАДОВИХ СОБІВАРТОСТІ ДЕТАЛЕЙ НА ВІТЧИЗНЯНИХ ТА ІНОЗЕМНИХ МАШИНОБУДІВНИХ ВИРОБНИЦТВАХ

Євдокимов К. С., гр. ВІ-91; Швець С. В. доцент; каф. ТМВІ СумДУ, м. Суми

Собівартість деталі машинобудівного виробництва складається з вартості матеріалів, C_m , заробітної плати, Z , витрат на амортизацію обладнання, C_a , витрат на металорізальний інструмент, C_i та інших витрат, W :

$$C = C_m + Z + C_a + C_i + W \quad (1)$$

Інші витрати, W , це можуть бути витрати на паливо і енергію, на технологічні цілі, витрати на підготовку і освоєння виробництва, загальновиробничі та загальногосподарські витрати, витрати на реалізацію, податки.

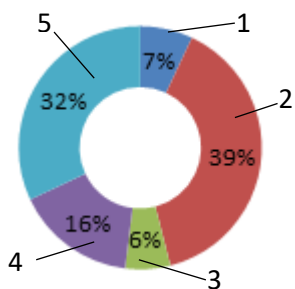


Рисунок 1 – Структура собівартості :

- 1 – витрати на інструмент;
- 2 – основний і допоміжний матеріали;
- 3 – амортизація обладнання;
- 4 – заробітна плата;
- 5 – накладні витрати

спостерігається і на вітчизняному виробництві (рис.1). Тому ці дві складові мають дуже незначний вплив на економіку процесів.

Єдиним дієвим способом прогресу сучасної металообробної промисловості США є підвищення продуктивності обробних операцій завдяки впровадженню високоякісних інструментів та добре продуманих обробних операцій. Підвищення продуктивності на 27% зменшує собівартість деталі на 20%.

Така різниця у відгуках собівартості деталі на змінювання її складових на вітчизняних і іноземних виробництвах пояснюється суттєвою різницею в частині заробітної плати. На іноземних виробництвах це найбільша складова, 31% (рис. 2).

Не враховуючи величину W (в більшості випадків значення якої не залежить від організації технологічного процесу) визначимо внесок кожної із складових собівартості деталі (C_m , Z , C_a , C_i) на саму собівартість.

Отже, за такими вихідними даними в структурі собівартості більшість коштів припадає на вартість матеріалів, 39% (рис.1). Змінювання продуктивності виробництва до 20% змінює собівартість всього на 8%.

Дослідження показують, що в умовах сучасного цеху автомобільного виробництва США навіть 50% зниження вартості інструменту або 80% збільшення стійкості інструмента призводить всього до 2% зменшення виробничих витрат на деталь. Приблизно така сама тенденція

Якщо в тричі збільшити заробітну плату і витрати на амортизацію обладнання, щоб наблизити процентне співвідношення складових собівартості до показаних на рис. 2, то тоді отримуємо подібну до іноземної ступінь залежність собівартості від змінювання її складових (рис. 3).

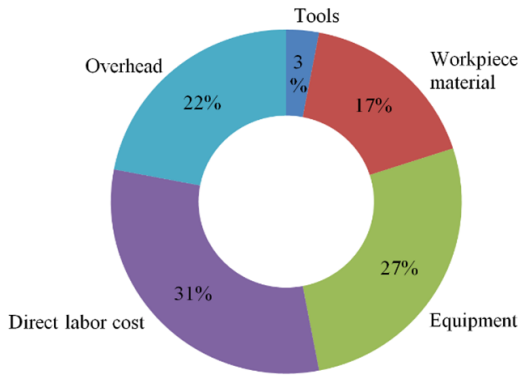


Рисунок 2 – Структура виробничих витрат на типовому автомобільному заводі США: Overhead (Накладні витрати), Tools (Інструмент), Workpiece material (Матеріал заготовки), Equipment (Обладнання), Direct labor cost (Заробітна плата робочої сили)

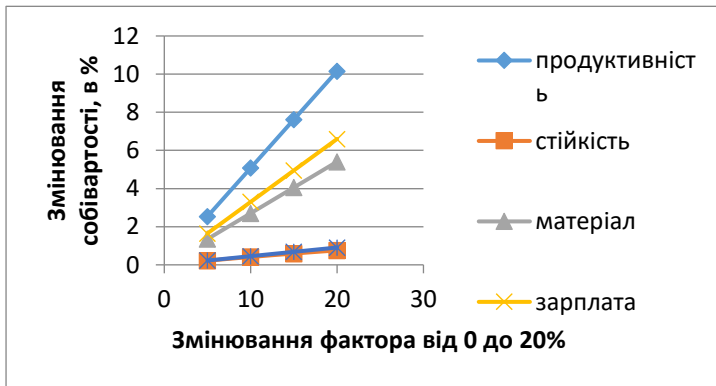


Рисунок 3 – Залежність собівартості від її складових при збільшенні заробітній платі і витратах на амортизацію

Зменшення чи збільшення витрат на інструмент, підвищення його стійкості мало впливають на собівартість деталей. Для розвитку економіки необхідно збільшувати частку заробітної плати в структурі собівартості. Збільшення частки заробітної плати буде вимагати від виробників (щоб запобігти втратам) підвищення продуктивності виробництва. Моделювання собівартості дозволяє визначити перспективні напрямки розвитку машинобудівної промисловості.

ФРЕЗЕРУВАННЯ СПІРАЛЬНОЇ КАНАВКИ НА ПОВЕРХНІ БУРИЛЬНОЇ ТРУБИ

Пісклов О. В., гр. ВІ-91; Швець С. В. доцент; каф. ТМВІ СумДУ, м. Суми

Бурильні та ведучі труби на зовнішній поверхні мають гвинтові канавки, профіль яких плавний, без виступів і западин (рис. 1). Його можна створити 2-х кутовою фрезою, оснащеною стандартною непереточуваною пластиною ромбічної форми.



Рисунок 1 - Бурильні та ведучі труби, що відповідають стандарту американського нафтового інституту (API) та ТУ 26-12-775-90 ВАТ «Сумське НВО».

Тип Е має спіральні канавки на зовнішній поверхні

ОКП 36 6325 ДКПП 29.52.61.300 СОГЛАСОВАНО Заместитель председателя правления по бурению ОАО «Укрнефть» Е.Р. Мрожек « 28.02.09 » 2005г.	Группа Г 43 У КНД 75.180.10 Рег. № Дата регистрации УТВЕРЖДАЮ Главный инженер ДП «Запад УБ и ВТ» ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» С.Г. Дощенко « 28.02.09 » 2005г.
ИЗВЕЩЕНИЕ 7 об изменении ТУ 26-12-775-90 «Трубы буровые утяжелённые» Стрелка Ведущая Буря - 18.03.05 Бу обмежена трикутну дію	
Начальник конструкторско-технологического отдела ДП «Запад УБ и ВТ» ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» И.Г. Прохненко « 28.02.09 » 2005г.	
Главный металлург ДП «Запад УБ и ВТ» ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» В.В. Панов « 28.02.09 » 2005г.	
Ведущий инженер по стандартизации ДП «Запад УБ и ВТ» ОАО «Сумское НПО им. М.В. Фрунзе» Н.А. Торчагина « 28.02.09 » 2005г.	
Испытание изготовлено «Сумской региональной лабораторией испытаний металлов (СРЛ)» в соответствии с ТУ 26-12-775-90 в количестве 10 шт.	

Двокутова фреза обмежена вихідною інструментальною поверхнею, яка складається із двох конусів. Вони з'єднані (або перетинаються) по колу. Коли вектор руху подачі лежить у одній площині з цим колом, то профіль поверхні деталі формується твірними згаданих конусів. Лінія перетину контактує з профілем деталі в одній точці, на вершині кута профілю.

Якщо повертати інструмент таким чином, що між вектором руху подачі і площиною, в якій знаходиться лінія перетину конусів вихідної інструментальної поверхні, утворюється деякий кут β , то тоді кількість точок, що належать лінії перетину і формують профіль деталі збільшується.

Формування профілю деталі відбувається лінією перетину конічних поверхонь.

При $\beta = 90^\circ$ профіль повністю збігається з дугою цього кола.

За відомими радіусом кола R та кутом повороту β можна розрахувати профіль деталі. Нехай коло знаходиться в одній із координатних площин, наприклад $x_o y_o$, системи $x_o y_o z_o$ і його центр збігається з початком координат. Це можна записати як

$$\begin{cases} x_o^2 + y_o^2 = R^2, \\ z_o = 0. \end{cases}$$

У такому положенні, при поступальному русі кола уздовж осі x_o чи y_o , утворюється площина шириною $2R$. Рух уздовж осі z_o створить поверхню з радіусом кривизни R .

Повернемо коло навколо осі x_o на кут β . Координати точок кола після такого повороту зміняться і при поступальній ході його уздовж осей y_o та z_o утворюються поверхні, окреслені еліпсами. Координати точок цих еліпсів можна визначити таким чином.

Обертання у площині $y_o z_o$ описується рівнянням

$$\begin{cases} z = z_o \cos \beta + y_o \sin \beta, \\ y = y_o \cos \beta - z_o \sin \beta. \end{cases} \quad (1)$$

Координати точок кола, при такому обертанні, на осі x_o не змінюються. Визначимо їх через коефіцієнт k_i , як частки від радіуса

$$x_o = k_i \cdot R.$$

Наприклад, для десяти точок:

$$\begin{cases} x_{01} = 0,1R, & x_{02} = 0,2R, & x_{03} = 0,3R, & x_{04} = 0,4R, & x_{05} = 0,5R, \\ x_{06} = 0,6R, & x_{07} = 0,7R, & x_{08} = 0,8R, & x_{09} = 0,9R, & x_{10} = R. \end{cases}$$

Якщо відомі координати точок кола на осі x_o , то до обертання на кут β їх координати на осі y_o були

$$y_o = \pm \sqrt{R^2 - x_o^2} = \pm R \sqrt{1 - k_i^2}. \quad (2)$$

Координати після обертання визначаємо за виразами (1) та (2), при $z_o = 0$,

$$z = \pm R \sqrt{1 - k_i^2} \sin \beta; \quad y = \pm R \sqrt{1 - k_i^2} \cos \beta.$$

При цьому $x = x_o$. Отже, якщо 2-х кутову фрезу, оснащену ромбічною БНП, спрямувати навколо труби по гвинтовій траєкторії, то утвориться гвинтова канавка з відповідним профілем. Для аналітичного визначення профілю деталі у середовищі «Mathcad» виконують розрахунки і будують графік залежності $y = f(x)$, яка окреслює профіль деталі.

Список літератури

1. Швець С. В. Основи формоутворення поверхонь різанням / С. В. Швець. – Суми : СумДУ, 2011. – 127 с.

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ ШОРСТКОСТІ ОБРОБЛЕНОЇ ПОВЕРХНІ ПІД ЧАС ТОЧІННЯ

Скабенюк М. М., гр. ВІ-91; Швець С. В. доцент; каф. ТМВІ СумДУ, м. Суми

Для розрахунку висоти шорсткості, що формується геометрично, використовується метод визначення ординат перетину ліній і кіл, які окреслюють різальну кромку в її послідовних положеннях при здійсненні руху подачі. Враховуючи лише геометричні та кінематичні фактори, прирівнюємо параметр Rz до теоретичної висоти залишкового гребеня h_1 .

Величина h_1 - це може бути ордината точки c , перетину прямих (рис. 1), одна з яких, що дотична до кола радіусу r в точці a , а друга дотична до кола

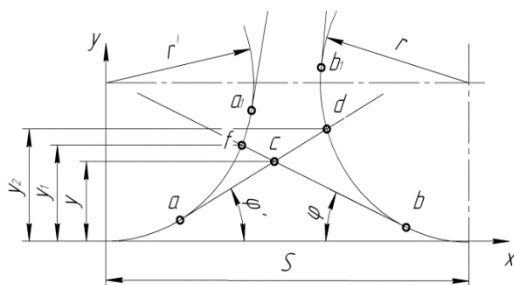


Рис. 1. Схема для розрахунку геометричної

радіуса r в точці b .

Тоді при ($h_1=y$)

$$y = S \cdot \frac{tg \varphi^1 \cdot tg \varphi}{tg \varphi^1 + tg \varphi} + \frac{r}{tg \varphi^1 + tg \varphi} \left[tg \varphi^1 \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi} \right) + tg \varphi \left(1 - \frac{1}{\cos \varphi^1} \right) \right] \quad (1)$$

Якщо ж $S \leq 2r$, то кола радіусів r і r_1 перетинаються, $h_1=y_k$

$$y_k = r - \frac{\sqrt{4r^2 - S^2}}{2} \quad (2)$$

Залишковий гребінець, коли точка a знаходиться в положенні a_1 , може обмежуватися частиною дуги радіусу r , відрізком bf і дугою радіусу r_1 (при $y_{a1} > \mathbf{v}$ і $y_b < y$). Висота залишкового гребінця $h_1=y_1$.

$$y_1 = r(1 - \cos \varphi) + S \cdot \sin \varphi \cos \varphi - \sin \varphi \sqrt{S \cdot \sin \varphi (2r - S \cdot \sin \varphi)} \quad (3)$$

У разі коли точка b знаходиться в положенні b_1 , залишковий гребінець обмежується частиною дуги радіусу r_1 , відрізком ad і дугою радіусу r (при $y_a < y$ та $y_{b1} > y$). Висота $h_1=y_2$.

$$y_2 = r(1 - \cos \varphi^1) + S \sin \varphi^1 \cos \varphi^1 - \sin \varphi^1 \sqrt{S \sin \varphi^1 (2r - S \sin \varphi^1)} \quad (4)$$

Фактор пластичних деформацій змінює висоту шорсткості в порівнянні з геометрично визначеною висотою залишкового гребінця.

На вершині залишкового гребінця утворюється нарост, висота якого обмежується допоміжною ріжучою кромкою (рис. 2). Величина пластичного

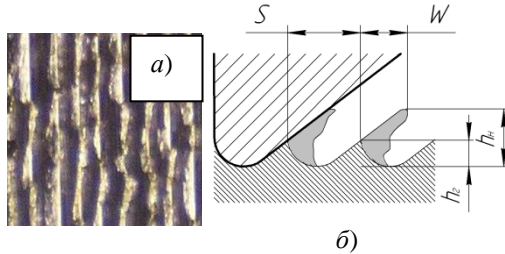


Рис. 2. Наріст на залишковому гребінці

витіснення металу W при конкретних значеннях геометрії леза та подачі визначає висоту сформованої нерівності h_n .

Аналіз форми утвореного при цьому наросту (рис. 3) вказує на те, що

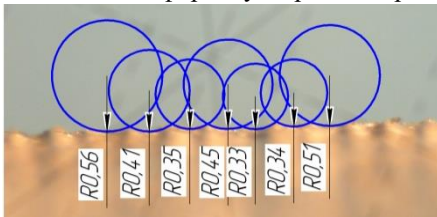


Рис.3. Радіуси округлення западин мікронерівності

глибини западини.

Пластична зміна форми металу перед лезом (спучування) також позначається на висоті мікронерівності (рис. 4). Це ще один механізм створення пластичної складової шорсткості.

Виділяють три основні причини створення пластичної складової. По-перше, на залишковому гребінці у вигляді наросту. По-друге, в результаті присутності пластичної області перед вершиною леза радіус кривизни лінії ковзання, за якою метал відокремлюється від заготовлі, менше радіуса при вершині леза. По-третє, відбувається пластична зміна залишкового гребінця внаслідок дії неруйнівних деформацій в основній площині.

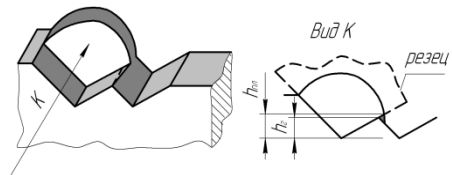


Рис. 4. Пластичне деформування залишкового гребінця

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОБРОБКИ ПОРОШКОВИХ СТАЛЕЙ

Олійник Я. О., аспірант кафедри ТМВІ, Некрасов С. С., доцент кафедри ТМВІ, Сумський державний університет, м. Суми

Для підвищення ефективності обробки високоякісних порошкових сталей, які відрізняються високою міцністю, зносостійкістю та корозійною стійкістю CPM S90V, M390, Elmax необхідно визначити їх оброблюваність, яка є ключовим фактором при виборі матеріалу для виготовлення деталей. Оброблюваність визначається здатністю матеріалу бути розрізаним різальним інструментом без деформації навколишніх ділянок. Матеріали з гарною оброблюваністю дозволяють отримувати якісні деталі з мінімальною деформацією та гарною обробкою поверхні.

Однак, оброблюваність часто протиставляється продуктивності матеріалу. Міцні матеріали зазвичай важче оброблюються, тому інженерам доводиться шукати компроміс між оброблюваністю та продуктивністю.

Основні параметри, за якими визначається оброблюваність, включають величину сил різання, що впливають на заготівку в процесі обробки, порівняльну ефективну потужність, особливості деформації шару, що знімається при обробці заготовки, утворення наростів та виїмок на поверхнях інструментів, шорсткість поверхні, стійкість інструменту, залишкові внутрішні напруги, що з'являються в матеріалі заготівки через нерівномірність її структури.

Для підвищення ефективності обробки матеріалів сталей CPM S90V, M390, Elmax необхідно проводити їх оптимізацію з точки зору оброблюваності. Це можна зробити шляхом підбору параметрів обробки, які забезпечать максимальну продуктивність і мінімальну деформацію заготовок. Також можна використовувати спеціальні обробні інструменти та технології, такі як наплавлення алмазного покриття на інструменти, застосування охолоджуючої рідини при різанні та інші. Однак, необхідно пам'ятати про високу твердість та зносостійкість цих сталей, що може впливати на тривалість експлуатації обробного інструменту та процесу різання заготовок.

Для підвищення якості та точності обробки сталей CPM S90V, M390, Elmax можна використовувати різні методи вимірювання та контролю параметрів процесу, такі як мікроскопія, спектроскопія, інтерферометрія та інші. Також важливо дотримуватися правильної технології обробки та відповідних параметрів, що дозволить отримати більш точні та якісні деталі.

У результаті оптимізації параметрів обробки та використання спеціальних технологій можна досягти підвищення ефективності обробки сталей CPM S90V, M390, Elmax. Це може бути важливо для різних галузей виробництва, де використовуються ці сталі, таких як авіаційна, медична, хірургічна промисловості та інші.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ САМ СИСТЕМ ЗА РАХУНОК ЗАСТОСУВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖІ

*Потомаха Д. Ю., студент, гр. ТМ.м-21, Некрасов С. С., доцент кафедри
ТМВІ, СумДУ, м. Суми*

При фрезеруванні складних 3-D профілів кінцевими фрезами виникає проблема оптимізації розбиття знімаємого припуску між різними етапами фрезерування. Це є важливою задачею, оскільки правильне розбиття припуску може суттєво зменшити час, необхідний для обробки, та знизити вартість виготовлення деталей.

Для розв'язання цієї проблеми, досліджувачі запропонували використати нейромережу для побудови плану експерименту конкретного випадку. Нейромережа дозволяє автоматично побудувати залежність часу обробки від кількості використовуваних інструментів і ширини фрезерування кінцевими фрезами з заданими діаметрами. Така залежність може бути використана для визначення оптимального розбиття припуску між етапами фрезерування.

Одним з ключових факторів ефективності фрезерування є рівномірний розподіл знімаємого припуску на кожному етапі фрезерування. Це забезпечує постійне навантаження на інструмент та зменшення кількості холостих рухів, що зменшує час обробки.

Отже, використання нейромережі для оптимізації розбиття припуску може значно поліпшити ефективність фрезерування складних 3-D профілів. Це може бути особливо важливо для виробництва великої кількості деталей, де навіть невеликі покращення можуть суттєво знизити вартість виробництва.

Крім того, для ще більшої ефективності можна використовувати САМ систему. САМ система (Computer-Aided Manufacturing) дозволяє автоматизувати процеси підготовки даних для виробництва та керуванням верстатами. Вона дає можливість визначати оптимальні шляхи руху інструменту, вибирати потрібні інструменти для обробки та контролювати процес виробництва.

Використання нейромережі дозволило провести ряд віртуальних експериментів та отримати залежність часу обробки від кількості інструментів і режимів різання кожного з них, що дозволяє методами оптимізації знайти режими, що забезпечують мінімальний час обробки складний профільних поверхонь.

Застосування САМ системи в поєднанні з використанням нейромережі для оптимізації розбиття припуску дозволяє отримати максимальну ефективність фрезерування складних 3-D профілів. Такі технології можуть бути застосовані в різних галузях, таких як авіаційна, космічна, медична, автомобільна промисловість та інші, де виробництво складних деталей є необхідністю.

ВПЛИВ ВМІСТУ КИСНЮ НА ШВИДКІСТЬ НАСИЧЕННЯ ПОВЕРХНІ ДЕТАЛІ АТОМАМИ АЗОТУ ТА ВУГЛЕЦЮ ПРИ КАРБОНІТРАЦІЇ

*Тицький Р. В. магістрант ТМ.м-21; Некрасов Ю. О., аспірант;
Довгополов А. Ю. старший викладач, кафедра ТМВІ, м. Суми*

На сьогоднішній день основоположним у сучасному світі є принцип збалансованого розвитку машинобудівної галузі та водночас збереження навколишнього природного середовища. Процеси, що використовуються в технологічних циклах машинобудівних підприємств, повинні бути безпечними як для людини, так і для навколишнього природного середовища. Одним із видів хіміко-термічної обробки металу є процес карбонітрації, що дозволяє підвищити експлуатаційні властивості оброблених виробів.

У сучасному машинобудуванні завдання всебічного поліпшення експлуатаційних властивостей металевих матеріалів значною мірою пов'язані з розробкою нових технологічних процесів поверхневого зміцнення виробів.

Одним із видів хіміко-термічної обробки є карбонітрація, що дозволяє підвищити зносостійкість і міцність виробів у 2,5-3 рази [1]. Застосування цієї технології замість газового азотування дає змогу скоротити час обробки та покращити властивості оброблюваних виробів. У багатьох випадках технологія карбонітрації є альтернативою таким процесам, як поверхневе зміцнення, гальванічне хромування, цементація тощо.

Через різке зростання цін на електроенергію та складну ситуацію в енергосистемі України, витрати на енергоносії, необхідні для проведення процесу карбонітрації, з кожним роком зростають. Своєю чергою, під час цього процесу, для забезпечення параметрів зміцненого шару деталей на належному рівні, потрібно підтримувати хімічний склад та температуру робочого розплаву досить тривалий час. Оскільки глибина дифузії на пряму залежить від часу витримки деталей в робочому розплаві.

Зменшення тривалості хіміко-термічного процесу карбонітрації знизить собівартість цієї операції. Задача пов'язана зі зменшення тривалості виконання хіміко-термічної обробки є актуальною задачею, та потребує вирішення. Для її вирішення, авторами запропоновано збільшити подачу кисню в ванну, тим самим підвищити насичувальну спроможність робочого розплаву солей який використовується для процесу карбонітрації.

Запровадження цієї технології подачі кисню в робочий розплав, дозволить суттєво скоротити витрати електроенергії на підігрів розплаву, при цьому експлуатаційні характеристики оброблюваних деталей залишаться на тому самому рівні.

Список літератури

1. Ivanov I. V., Mohylenets M. V., Dumenko K. A., Kryvchuk L., Khokhlova T. S., Pinchuk V. L. (2020). Carbonitration of a tool for pressing stainless steel pipes. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 7(2), pp. C17–C21, doi: 10.21272/jes.2020.7(2).c3

ПІДВИЩЕННЯ АНТИКОРОЗІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ МЕТОДОМ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНОЇ ОБРОБКИ В РОЗПЛАВАХ СОЛЕЙ СТАЛЕЙ АУСТЕНІТНОГО КЛАСУ

*Дударь А. В. магістрант ТМ.м-21; Панченко А. В. аспірант;
Довгополов А. Ю. старший викладач, кафедра ТМВІ, м. Суми*

У сучасному світі відбувається досить швидкий розвиток машинобудівної галузі. Такий розвиток, на пряму залежить від створенням нових передових способів та методів механічної, термічної та хіміко-термічної обробки деталей та удосконалення вже існуючих способів та методів. Методи термічної та хіміко-термічної обробки, є невід’ємними складовими будь якого технологічного процесу виготовлення деталей машин, та з розвитком сучасних технологій потребують постійного вдосконалення.

Використання передових методів термічної та хіміко-термічної обробки для підвищення фізико-механічних властивостей металів, є одним з основних шляхів підвищення продуктивності праці в машинобудівній промисловості. У чергу, значний інтерес для виробництва становить дослідження методу хіміко-термічної обробки – карбонітрації. При обробці деталей зазначеним методом існує суперечливість даних по впливу карбонітрації на корозійну стійкість сталей аустенітного класу, вона пов’язана в основному із тим що в процесі обробки на поверхні деталей утворюються карбіди та нітриди легуючих елементів аустенітних сталей, які погіршують антикорозійні властивості деталей із зазначених матеріалів.

Саме тому, завдання пов’язані з розробкою методів підвищення антикорозійних властивостей деталей виготовлених зі сталей аустенітного класу після високотемпературної їх обробки в розплавах солей та з’ясування умов формування зміцненого шару з максимальними антикорозійними властивостями на поверхні цих деталей, є актуальними завданнями та потребують негайного вирішення.

Дослідження закономірностей підвищення антикорозійних властивостей в результаті високотемпературної обробки в розплавах солей сталей аустенітного класу шляхом формування комбінованих зміцнених шарів на робочих поверхнях деталей, дозволить пришвидшити вирішення поставленого завдання.

Вивчення механізмів дифузії зміцнюючих елементів в поверхневий шар деталей, їх вплив на антикорозійні властивості поверхні деталей та розробка нових технології комбінованого поверхневого зміцнення сталей аустенітного класу дозволять провести експериментальні дослідження. Зазначені дослідження включають розробку методики прискорених випробувань в лабораторних умовах, проектування та виготовлення необхідного оснащення, для проведення експериментальних досліджень. Невід’ємною складовою досліджень будуть методи термічної та хіміко-термічної обробки металів, скануюча електронна мікроскопія, мікро- та макро- структурний аналіз, рентгеноструктурний аналіз.

СЕКЦІЯ «ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ»

CONTROL OF MULTILAYER WIRE ROPE WITH ACCESS TO TWO ROPES

Belmas I. V., Doctor of Technical Sciences, professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Welding Technology; Shvachka A. V., postgraduate, Department of Mechanical Engineering and Welding Technology, Dnipro State Technical University, Kamianske

Gusts are difficult to control by conventional means, such as blocked access, overwetting, or slippage of cables when removing signals.

In order to reduce the amount of monitoring and ensure the intelligence performance of the existing cable rope integrity diagnosis system based on testing two cables by electrical resistance, an optimized diagnostic algorithm is proposed for detecting various types of damage.

The graphs show the results for the case where the total number of cables and rows is seven. Calculations of current and potential distribution for a rope with characteristics: $r=0.1\text{Ohm/m}$, $q=0.01\text{m/Ohm}$, $L=20\text{m}$. Damaged cable in row $j=3$ under No. $i=1$. Where 1 is the first cable, 2 is the second cable.

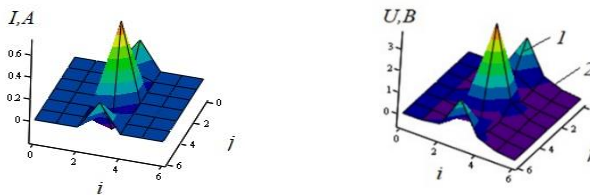


Figure. 1 – distribution of potentials and current for two ends on the section without damage

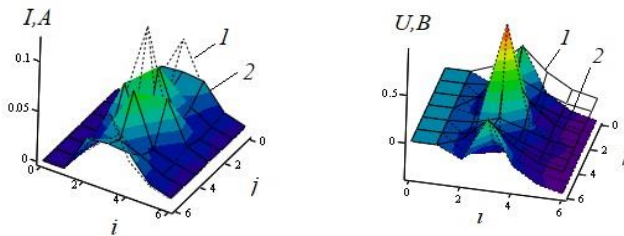


Figure 2 – distribution of current and potentials for the case of the damaged cable section

The results show that the algorithm for applying current and potentials to two cables does not require a large amount of input data. The control system shows a better performance in the detection of breaks, which can be used as a diagnosis algorithm for the development of a multi-layer wire rope diagnosis system.

АНАЛІЗ ПЕРЕХІДНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЕКВІВАЛЕНТНОЇ ПРУЖНОЇ СИСТЕМИ ЯК ЕЛЕМЕНТУ СИСТЕМИ КРУГЛОГО ВРІЗНОГО ШЛІФУВАННЯ

Засць О. А., студент гр. ТМ.м-21; Потомаха Д. Ю., студент гр. ТМ.м-21; Метенко О. М., студент гр. ТМ-01; Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, Сумський державний університет, м. Суми

Відповідно до [1] еквіваленту пружну систему (ЕПС) для умов круглого врізного шліфування (КВШ) загалом можна описати структурною схемою (див. рис. 1), що складається з блоків систем «заготовка» та «круг-бабка».

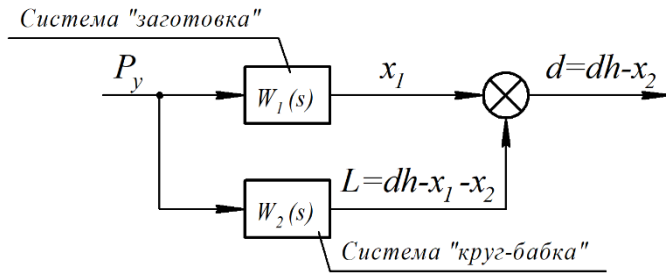


Рисунок 1 – Структурна схема ЕПС КВШ

Як вхідний вплив, що викликає збурення в ЕПС КВШ розглядається радіальна складова сили різання (шліфування) P_y . Система «заготовка» перетворює силу різання на вихідний сигнал у вигляді пружної деформації заготовки x_1 , а система «круг-бабка» – на пружну деформацію круга в системі з шліфувальною бабкою $L = dh - x_1 - x_2$, де dh та x_2 – відповідно номінальна та фактична глибини різання. Вихідною величиною для ЕПС є пружна деформація системи $d = (dh - x_2)$, яка є результатом підсумовування вихідних сигналів систем «заготовка» та «круг-бабка». Передаточні функції систем «заготовка» та «круг-бабка» наведені в [1] та характеризуються такими параметрами: m_1, m_2, m_3 – приведені маси систем «заготовка», «круг», «бабка», 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. На рис. 2 зображено розрахункову модель ЕПС з урахуванням параметрів, характерних для верстата 3М151: $m_1 = 6,6$ кг; $m_2 = 50$ кг; $m_3 = 500$ кг; $b_1 = 882$ Н · с/м; $b_2 = 20257$ Н · с/м; $b_3 = 25\ 000$ Н · с/м; $c_1 = 3,59 \cdot 10^7$ Н/м; $c_2 = 9 \cdot 10^8$ Н/м; $c_3 = 3,86 \cdot 10^8$ Н/м.

Розрахункова модель ЕПС КВШ (див. рис. 2) була побудована з використанням пакету математичного аналізу MATLAB/Simulink та адаптована для побудови часових та частотних характеристик досліджуваної системи.

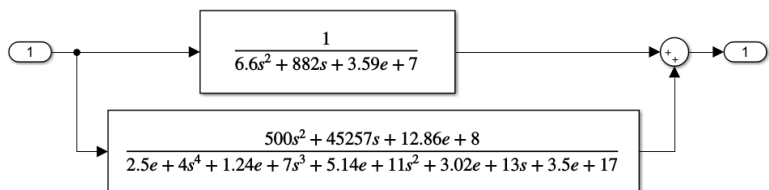


Рисунок 2 – Розрахункова модель ЕПС КВШ (MATLAB/Simulink)

В результаті розрахунку моделі відповідно до зазначеної структурної схеми, зокрема, було побудовано перехідну (Step Response) характеристику досліджуваної системи (див. рис. 3).

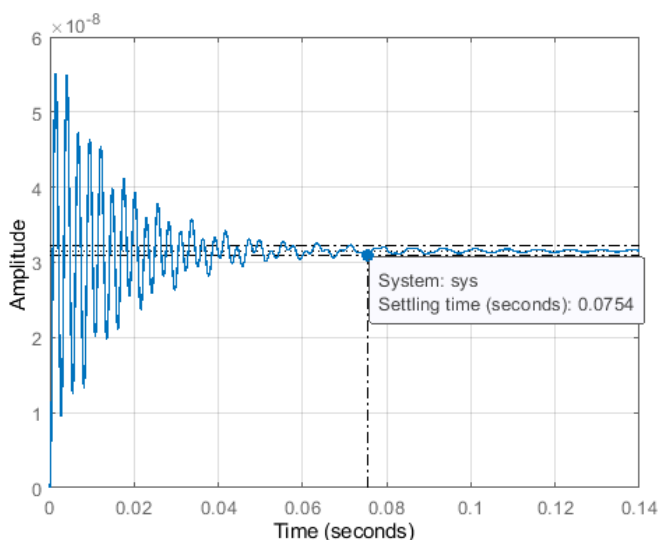


Рисунок 3 – Перехідна характеристика досліджуваної системи

За своїм виглядом перехідна характеристика ЕПС КВШ має коливальний згасаючий характер (час перехідного режиму роботи системи $\tau_{пер} = 0,075$ с), що опосередковано говорить про сталість системи та можливість її використання в практичних цілях.

Список літератури

1 Євтухов В. Г. Моделювання процесу круглого врізного шліфування / В. Г. Євтухов, А. В. Євтухов, М. В. Чижова // Вісник СумДУ. Серія Технічні науки. 2009. №1. С. 124–133.

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ СКЛАДАЛЬНИХ РОЗМІРНИХ ЛАНЦЮГІВ ШЕСТЕРНИХ НАСОСІВ

Заєць О. А., студент гр. ТМ.м-21; Потомаха Д. Ю., студент гр. ТМ.м-21,
Євтухов А. В., доцент каф. ТМВІ, Сумський державний університет,
м. Суми

У верстатобудівній промисловості для підтримання тиску в гідравлічній системі верстатів широкого розповсюдження набули шестерні насоси. Технологічний процес складання насосів реалізується за методом повної взаємозамінності, що потребує розрахунку допусків окремих складових ланок. Згідно з методом повної взаємозамінності для забезпечення точності замикальної ланки під час складання виробу обов'язковим є дотримання двох умов:

- 1) рівність суми допусків складових ланок із допуском замикальної ланки;
- 2) рівність суми середніх значень складових (збільшувальних і зменшувальних) ланок із середнім значенням замикальної ланки.

Забезпечення наведених вимог потребує призначення однієї зі складових ланок як регульованої.

Як приклад розглянемо забезпечення норми точності замикальної ланки у вигляді не збігання ділільних кіл двох зачеплених шестерень в межах відстані $\varepsilon = 0,05\text{--}0,25$ мм. Зазначена вимога виключає заклинювання шестерень при їх обертанні за час роботи виробу. Для її реалізації на всі складові ланки складального розмірного ланцюга (СРЛ) призначаються економічні допуски (див. рис. 1).

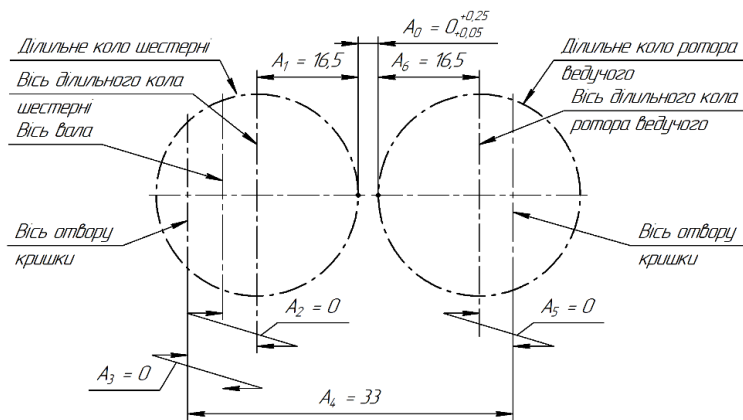


Рисунок 1 – Схема складального розмірного ланцюга шестерного насоса

Вихідні дані для розрахунку СРЛ: $\varepsilon = 0,05-0,25$ мм; номінальні величини складових ланок (відповідно складального креслення виробу): $A_1 = A_6 = 16,5$ мм, $A_2 = A_3 = A_5 = 0$ мм, $A_4 = 33$ мм.

Визначимо параметри замикальної ланки: $A_0 = 0_{+0,05}^{+0,25}$, номінальний розмір $A_0 = 0$ мм, допуск $TA_0 = 0,2$ мм, $ESA_0 = +0,25$ мм, $EIA_0 = +0,05$ мм.

Запишемо рівняння СРЛ (див. рис. 1), та перевіримо рівність номінальних розмірів складових ланок:

$$A_0 = A_4 - A_1 - A_2 - A_3 - A_5 - A_6 = 33 - 16,5 - 0 - 0 - 0 - 16,5 = 0 \text{ мм.}$$

За рівністю номінальних розмірів СРЛ вимога витримується.

Визначимо середній допуск TA_{cp} складових ланок:

$$TA_{cp} = TA_0 / (m - 1) = 200 / (7 - 1) = 34 \text{ мкм,}$$

де $m = 7$ – кількість ланок в СРЛ разом із замикальною.

Призначимо квалітети точності складових ланок згідно з чинними таблицями допусків і посадок. Допуски на складові ланки зазначимо виходячи із умови визначеного середнього допуску TA_{cp} : $A_1 = A_6 = 16,5js6(\pm 0,0055)$, $TA_1 = TA_6 = 0,011$ мм, $ESA_1 = ESA_6 = +0,0055$ мм, $EIA_1 = EIA_6 = -0,0055$ мм, $E_cA_1 = E_cA_6 = 0$ мм; $A_4 = 33js6(\pm 0,008)$, $TA_4 = 0,016$ мм, $ESA_4 = +0,008$ мм, $EIA_4 = -0,008$ мм, $E_cA_4 = 0$ мм; $A_2 = A_3 = A_5 = 0_{-0,034}^{+0,018}$, $TA_2 = TA_3 = TA_5 = 0,052$ мм, $ESA_2 = ESA_3 = ESA_5 = +0,018$ мм, $EIA_2 = EIA_3 = EIA_5 = -0,034$ мм, $E_cA_2 = E_cA_3 = E_cA_5 = -0,008$ мм.

Перевіримо першу з обов'язкових до виконання умов:

$$TA_0 = 0,2 \neq TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_4 + TA_5 + TA_6 = 0,011 + 0,052 + 0,052 + 0,016 + 0,052 + 0,011 = 0,194 \text{ мм.}$$

Умова (рівність) не виконується.

Вибираємо регульовальну ланку $[A_4]$, тобто ланку, допуск якої є максимальним (не враховуються посадки складових ланок).

Розраховуємо новий допуск регульовальної ланки:

$$[TA_4] = TA_0 - (TA_1 + TA_2 + TA_3 + TA_5 + TA_6) = 0,2 - (0,011 + 0,052 + 0,052 + 0,052 + 0,011) = 0,022 \text{ мм.}$$

Визначаємо середнє значення регульовальної ланки за формулою

$$[E_cA_4] = E_cA_0 + E_cA_1 + E_cA_2 + E_cA_3 + E_cA_5 + E_cA_6 = +0,015 + 0 + (-0,008) + (-0,008) + (-0,008) + 0 = +0,126 \text{ мм.}$$

Визначаємо граничні відхилення регульовальної ланки:

$$[ESA_4] = [E_cA_4] + [TA_4] / 2 = +0,126 + 0,022 / 2 = +0,137 \text{ мм,}$$

$$[EIA_4] = [E_cA_4] - [TA_4] / 2 = +0,126 - 0,022 / 2 = +0,115 \text{ мм.}$$

Виконуємо перевірку одержаних даних із визначеним новим полем допуску, верхнім, нижнім та середнім значеннями регульовальної ланки $[A_4]$:

$$0_{+0,05}^{+0,25} = 33_{+0,115}^{+0,137} - 16,5_{-0,0055}^{+0,0055} - 0_{-0,034}^{+0,018} - 0_{-0,034}^{+0,018} - 0_{-0,034}^{+0,018} - 16,5_{-0,0055}^{+0,0055}.$$

Перевірка показала відповідність параметрів складових ланок СРЛ вихідним параметрам замикальної ланки, що дає змогу забезпечити її точність та оптимізувати технологічний процес складання шестерного насосу загалом.

АНАЛІЗ НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ КОНСТРУКЦІЇ ТОКАРНОГО ПАТРОНУ

*Дриголенко В. А., студент гр. ТМ.м-11,
Сумський державний університет, м. Суми*

В результаті досліджень, спрямованих на удосконалення ТП виготовлення деталі «Шестірна СНТ 00.00.13.ДШ» спроектовано спеціальну конструкцію верстатного пристрою для базування та закріплення заготовки на токарній з ЧПК операції. Для підтвердження правильності прийнятих проектних рішень було запропоновано дослідження конструкції токарного патрону методом аналізу її напружено-деформованого стану (НДС).

Аналіз НДС, як сукупності внутрішніх напружень і деформацій, що виникають в досліджуваній конструкції зокрема під час дії на неї зовнішніх навантажень, є складним завданням, що зазвичай виконують з використанням систем автоматизованого (комп'ютерного) інженерного аналізу. Для аналізу НДС конструкції токарного патрону було вибрано систему *Ansys Workbench* (модуль *Static Structural*), що набула широкого розповсюдження завдяки інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу та потужному функціоналу.

Для дослідження НДС конструкції токарного патрону було розроблено твердотільну модель системи «патрон-заготовка». До складу досліджуваної системи увійшли лише ті елементи, що здійснюють базування та закріплення заготовки та елементи, що входять до складу замкнутого силового ланцюга, що діє в системі «патрон-заготовка». Для підвищення рівня адекватності результатів розрахунку моделі були задані фізико-механічні властивості матеріалів досліджуваної системи (межа міцності – 450 МПа, модуль Юнга – $2 \cdot 10^5$ МПа) та характеристики з'єднань (тертя ковзання, відсутність тертя, жорстке з'єднання) контактуючих поверхонь елементів системи. Як зовнішній вплив, що задає збурення в досліджуваній системі, було задано тангенціальну складову сили різання ($P_z = 650$ Н), що безпосередньо діє на заготовку. Як фактор, що врівноважує вплив P_z , було задано силу на штоку механізованого приводу закріплення заготовки ($Q = 6530$ Н). Для торця зворотної частини корпусу патрона було задано обмеження у вигляді фіксованої опори (*Fixed Support*), що імітує жорстке з'єднання між патроном і шпинделем токарного верстата. Для розрахунку моделі було побудовано скінчено-елементну сітку: тип сітки – адаптивний (побудова здійснюється в автоматичному режимі, розміри елементів підбираються автоматично з урахуванням складності конструктивних елементів), мінімальна довжина грані елементу – 1,25 мм, кількість елементів – 135131. За результатами розрахунку моделі були одержані епюри деформацій (*Total Deformation*) та внутрішніх напружень (*Stress*) елементів системи, що дали змогу проаналізувати НДС конструкції токарного патрону та виявити її «слабкі місця». Так, на рис. 1 зображено епюру внутрішніх напружень, з якої видно місце розташування зони концентрації напружень (883 МПа) в кулачках патрону.

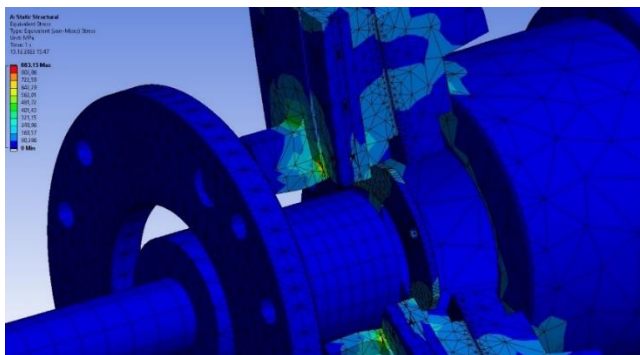
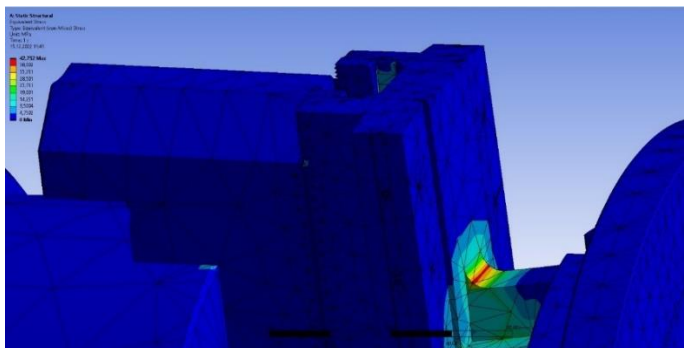


Рисунок 1 – Епюра внутрішніх напружень в системі «патрон-заготовка»

Такий рівень внутрішніх напружень є неприйнятним, оскільки він значно перевищує межу міцності матеріалу корпусу й базувального кулачка (450 МПа) та може призвести до поломки елементів токарного патрону. Щоб зменшити рівень внутрішніх напружень в досліджуваній області було запропоновано заокруглити різкий перехід (як концентратор напружень) між поверхнями кулачка. В результаті рівень напружень в досліджуваній області зменшився до 30 МПа, а максимальний рівень напружень в конструкції досліджуваної системи загалом став рівним 42,75 МПа (див. рис. 2), що є прийнятним.



Отже, аналіз НДС пропонуваної конструкції токарного патрону дав змогу зменшити внутрішні напруження в місцях їх концентрації до прийнятного рівня.

*Робота виконана під керівництвом канд. техн. наук, доцента
Євтухова А. В.*

УДОСКОНАЛЕННЯ ВУЗЛА КРІПЛЕННЯ РІЗАЛЬНОЇ ВСТАВКИ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ

*Остапенко Б. А., аспірант; Мірошніченко О. Р., студент;
Кушніров П. В., доцент, каф. ТМВІ СумДУ; м. Суми*

Торцеве фрезерування великогабаритних плоских поверхонь можна здійснювати за допомогою спеціальних агрегатних фрезерних головок (АФГ). Оброблення площин торцевим фрезеруванням за допомогою таких АФГ на відміну від багатопрохідного фрезерування однією фрезою дозволяє за один прохід отримати безперервну широку плоску поверхню.

Торцеві фрези, що використовуються в конструкціях АФГ, мають відповідати вимогам точності, продуктивності та надійності. Тому подальше удосконалення вузла кріплення різальної вставки в торцевій фрезі є актуальним завданням.

Запропоноване удосконалення стосується способу закріплення циліндричної різальної вставки торцевої фрези. При цьому в нарізні радіальні отвори різальної вставки вкручують додаткові гвинти, які встановлюють співвісно з відповідними кріпильними гвинтами. Це забезпечує рівномірне локалізоване силове навантаження на різальну вставку (напруги розтягування-стискання, без згинальних деформацій). Таке локалізоване закріплення різальної вставки сприяє збереженню геометричної форми циліндричної різальної вставки та паралельності контактуючої площини лиски різальної вставки і площин торців кріпильних гвинтів (рисунк 1).

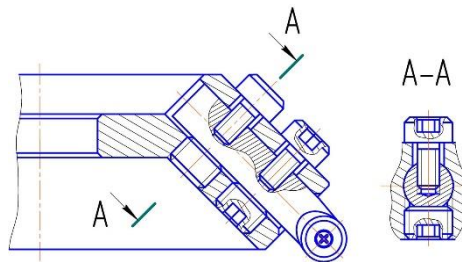


Рисунок 1 – Удосконалений вузол кріплення різальної вставки торцевої фрези

Таким чином, удосконалення вузла кріплення різальної вставки торцевої фрези дозволяє підвищити надійність інструмента за рахунок рівномірного локалізованого закріплення різальної вставки та збільшення сумарної сили закріплення різальної вставки в корпусі торцевої фрези, чим знижено ймовірність випадіння різальної вставки при випадковому її розкріпленні під час фрезерування інструментом.

РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ ТОРЦЕВОЇ ФРЕЗИ З ПІДВИЩЕНОЮ НАДІЙНІСТЮ ЗАКРІПЛЕННЯ РІЗАЛЬНИХ ВСТАВОК

*Орлов Р. О., аспірант; Кушніров П. В., доцент, каф. ТМВІ СумДУ;
Ступін Б. А., доцент, каф. ТМВІ СумДУ; м. Суми*

Підвищення ефективності торцевого фрезерування шляхом удосконалення конструкції різального інструмента є актуальною проблемою, яку розглядають в багатьох дослідженнях. Один із важливих критеріїв ефективності інструмента є надійність.

Згідно з ДСТУ 2860-94 («Надійність техніки. Терміни та визначення») надійність – це властивість технічних об'єктів зберігати протягом встановленого часу значення всіх параметрів, які характеризують здатність виконувати потрібні функції в заданих режимах та умовах застосування, технічного обслуговування, зберігання та транспортування. Якщо виріб складається з декількох елементів (деталей), то надійність виробу буде залежати від надійності установаження та виконання своїх функцій цих деталей.

При розгляді збірної торцевої фрези маємо аналогічний підхід: фреза складається з декількох елементів, якість закріплення її збірних частин суттєво впливає на критерії надійності. Тому для підвищення надійності торцевої фрези була запропонована конструкція інструмента з більш надійним механізмом закріплення різальних вставок.

Під час фрезерування виникають посилені вібрації та ударні навантаження на різальні вставки. Для того, щоб кріпильні гвинти самостійно не змогли розкручуватися, було запропоновано додати по одному стопорному гвинту на кожен боковий кріпильний гвинт. Оскільки для установаження додаткових стопорних гвинтів використовуються одні й ті ж самі різьбові отвори, що і для кріпильних гвинтів, то це не призведе до ускладнення конструкції торцевої фрези та збільшення собівартості її виготовлення (рисунок 1).



Рисунок 1 – Запропонована торцева фреза

Таким чином, надійна фіксація збірних елементів торцевої фрези допоможе знизити вібрації і підвищити безпеку та продуктивність фрезерування, що в свою чергу позитивно вплине на якість оброблення.

КОМП'ЮТЕРНІ ТЕХНОЛОГІЇ У МАШИНОБУДУВАННІ: ВИКЛИКИ СЬОГОДЕННЯ

Клецьков О. М., старший викладач кафедри вищої математики, фізики та загальної інженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Машинобудування завжди було високотехнологічною галуззю промисловості, і комп'ютерні технології не є винятком. Ці технології дозволяють розробляти більш ефективні та безпечні машини, скорочують витрати на їх виробництво, а також забезпечують максимальну точність та швидкість роботи.

Одним з основних напрямів застосування комп'ютерних технологій в машинобудуванні є комп'ютерне моделювання. Цей процес дозволяє створювати віртуальні прототипи машин та проводити тестування їх роботи без необхідності виготовлення фізичних моделей. Це дозволяє заощаджувати час та гроші, що були б витрачені на виробництво та тестування фізичних прототипів. Крім того, розробка високоточних комп'ютерних систем управління є іншим важливим напрямом розвитку комп'ютерних технологій в машинобудуванні. Ці системи дозволяють максимально точно контролювати рухи машин, забезпечуючи їх безпеку та ефективність. Вони також дозволяють розробляти та виробляти машини з різноманітними функціями, що можуть задовольняти потреби різних індустрій.

Одним з найбільш важливих напрямків розвитку комп'ютерних технологій у машинобудуванні є використання штучного інтелекту. За допомогою алгоритмів машинного навчання та нейронних мереж можна розв'язувати складні задачі, які раніше не могли бути вирішені звичайними методами. Наприклад, за допомогою штучного інтелекту можна покращити точність діагностики та прогнозування технічного стану машин, що дозволяє забезпечувати їх більш ефективно управління та ремонт.

Ще одним важливим напрямом використання комп'ютерних технологій у машинобудуванні є візуалізація та аналіз даних. Комп'ютерні системи дозволяють відстежувати та аналізувати роботу машин, що дозволяє покращувати їх ефективність та безпеку. Також ці системи дозволяють відстежувати стан машин та вчасно виявляти проблеми та дефекти.

Завдяки комп'ютерним технологіям машинобудування розвивається значно швидше та ефективніше. Застосування цих технологій дозволяє знизити витрати на виробництво та покращити якість машин, що позитивно впливає на розвиток різних індустрій, таких як автомобільна, авіаційна та суднобудівна. Однак, використання комп'ютерних технологій також вимагає певних знань та кваліфікації у розробників та працівників галузі машинобудування. Крім того, ці технології можуть стати об'єктом кібератак, тому безпека систем управління та моніторингу є дуже важливим аспектом роботи у даній галузі.

Отже, використання комп'ютерних технологій є ключовим фактором розвитку машинобудування, яке дозволяє створювати більш ефективні, безпечні та розумні машини. Важливо продовжувати розвивати ці технології та вдосконалювати їх, щоб забезпечити майбутнє галузі машинобудування та промисловості в цілому.

Крім того, комп'ютерні технології дозволяють проводити дослідження та моделювання процесів у машинобудуванні. За допомогою різних програмних засобів можна моделювати поведінку машин у різних умовах, відтворюючи різні впливи на них. Такі дослідження дозволяють виявляти слабкі місця машин та покращувати їхню конструкцію та ефективність. Ще одним важливим напрямом використання комп'ютерних технологій у машинобудуванні є автоматизація виробничих процесів. Комп'ютерно-числове управління обладнанням дозволяє покращити точність та швидкість виробництва, знизити витрати на оплату праці та скоротити час на підготовку виробництва до запуску нових моделей машин.

Загалом, використання комп'ютерних технологій у машинобудуванні дозволяє підвищувати ефективність, безпеку та якість машин, а також знижувати витрати на їх виробництво та експлуатацію. Крім того, комп'ютерні технології дозволяють значно зменшити кількість відходів і підвищити екологічність виробництва. Багато компаній вже успішно впровадили технології екологічного машинобудування, що дозволяє знизити витрати на ресурси та енергію, а також покращити якість продукції.

Однією з найбільш перспективних областей застосування комп'ютерних технологій у машинобудуванні є розробка автономних автомобілів. Сучасні технології дозволяють створювати автономні системи, які можуть забезпечити безпеку на дорозі та покращити комфорт для водіїв та пасажирів. Крім того, такі системи можуть зменшити кількість дорожньо-транспортних пригод та забезпечити більш ефективне використання дорожнього простору. У виробництві літаків також вже успішно використовуються комп'ютерні технології. Зокрема, це стосується розробки та виробництва великих літаків, таких як A380 та Boeing 787. Комп'ютерні технології дозволяють забезпечити максимальну точність та швидкість виробництва, а також підвищити безпеку польотів та ефективність роботи літаків.

Отже, комп'ютерні технології в машинобудуванні відіграють ключову роль у розробці та виробництві нових транспортних засобів. Вони дозволяють забезпечити максимальну точність та ефективність виробництва, підвищити якість та безпеку продукції, а також зменшити витрати на ресурси та енергію.

Список літератури

1.Бондаренко С.Г. Основи технології машинобудування : навчальний посібник / С.Г. Бондаренко. – Львів : «Магнолія 2006», 2014. – 500 с.

СИСТЕМНИЙ ПІДХІД ДО ПРОЕКТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВІДНОВЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ

Шепеленко І. В., професор, кафедра ЕРМ, Магопець М. С., магістрант, кафедра ЕРМ, Центральноукраїнський національний технічний університет, м. Кропивницький

Життєвий цикл виробів машинобудування містить такі основні етапи: проектування – виробництво – експлуатація – утилізація [1].

Подібна структура може бути уточнена і доповнена докладним описом окремих етапів і розв'язуваних на них завдань. Так, наприклад, продовження терміну служби виробу вирішується на етапі експлуатації шляхом ремонту та відновлення зношених деталей.

Слід зазначити принципову відмінність технологій виготовлення та відновлення деталей. Незважаючи на те, що кінцевим продуктом на виході є готова деталь зі своїми службовими функціями, під час виготовлення готова деталь за своїми технічними вимогами має відповідати її робочому кресленню. Розробка технології відновлення, крім усунення дефекту, пов'язана з підвищенням якості поверхневого шару деталі та її експлуатаційних властивостей. Якість самого технологічного процесу відновлення визначається сукупністю властивостей, що зумовлюють отримання якісної продукції (відновленої деталі).

Усі властивості технологічного процесу слід розділяти на такі групи: технічні (точність, надійність, контролепридатність та ін.), економічні (продуктивність, трудомісткість та ін.); екологічні [2].

З огляду на те, що технологічний процес відновлення деталі являє собою цілісний комплекс взаємопов'язаних елементів (деталь, технологічні операції, переходи, режими тощо), які можна розглядати як системи нижчого порядку, отже, такий технологічний процес володіє всіма властивостями, які висуваються до систем. При цьому слід виділити основні її ієрархічні рівні: I – технологічний процес, II - технологічний спосіб; III - операція; IV - перехід.

У загальному випадку технологічний процес відновлення деталі та його складові можуть бути представлені у вигляді функцій зі зв'язками між підсистемами, де на вході – зношена деталь. Об'єктами процесу виступають технологічний процес відновлення, операції, переходи тощо. На виході всієї системи слід очікувати відновлену деталь із підвищеними експлуатаційними властивостями.

Список літератури

1. Залога В.А. Функциональный подход к проектированию машиностроительного изделия / В.А. Залога, К.А. Дядюра // Збірник наукових праць НТУ «ХП» Високі технології в машинобудуванні. – Харків, 2010. – Вип. 2 (16). – С. 22–30.
2. Черновол М.И. Восстановление и упрочнение деталей сельскохозяйственной техники. К: УМК ВО, 1989. – 256 с.

АВТОМАТИЗАЦІЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ МОБІЛЬНИХ МАШИН

Ремарчук М. П., д-р техн. наук, професор, Чмуж Я. В. докторант, Галицький О. О., аспірант, Кебко О. В., зав. навч. лаб., кафедра МТСМ, УкрДУЗТ, м. Харків

До мобільних машин (ММ) відносяться землерийні, вантажопідійомні машини і засоби механізації (ЗМ), що використовуються при будівництві доріг та в сільському господарстві. В якості джерела енергії для приведення таких машин в функціональний стан використовуються двигуни внутрішнього згоряння (ДВЗ). При виконанні властивих для них функцій у ММ, зокрема, у колісних бульдозерів при їх буксуванні на підвищених навантаженнях для ДВЗ виникають автоколювання з власною частотою, що призводить до значних витрат палива і зниження ресурсу роботи таких машин [1]. Для землерийних машин з ланцюговим обладнанням, призначеним для копання траншей, процес переведення цього обладнання з транспортного положення в робочий стан складає 15...20 хвилин. Тривалість виконання цих дій залежить від рівня кваліфікації оператора машини. Причому, на їх виконання витрачається певна кількість палива. При управлінні ЗМ крім енергії ДВЗ використовується також енергія оператора. Із наведеного витікає що при виконанні роботи ММ і ЗМ на витрати палива впливають головним чином рівень кваліфікації і фізичний стан оператора.

Вирішення проблеми зменшення впливу стану оператора можна досягти запровадженням автоматизації робочих процесів для ММ і ЗМ. Для наукового обґрунтування цього напрямку при розгляді ММ або ЗМ необхідно включати в свій склад оператора, як сумісних елементів, що об'єднані на виконання одного і того ж завдання. Ці елементи складаються із штучного і природного об'єктів, які утворюють складну структуру. Дослідження цієї структури можливо на основі застосування теорії системного аналізу з застосуванням ряду допустимих припущень. Зокрема, при розгляді ММ або ЗМ сумісно з оператором досліджуватимемо їх при умові, що вони функціонують при взаємодії вхідних X , проміжних y_1 , y_2 та вихідних Y параметрах з урахуванням внутрішнього стану цих складових. Внутрішній стан для ММ характеризується параметром у вигляді $СМ$, а для ЗМ – у вигляді $СЗ$, а для оператора – у вигляді $Оп$. Зв'язок параметрів в складі сформованих систем для ММ, а також для ЗМ, показано на рис. 1 а) і б).

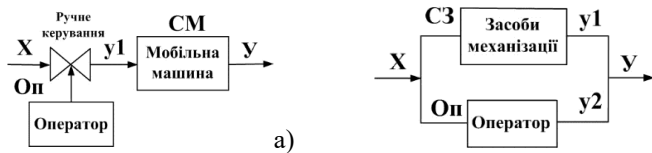


Рисунок 1 – Схеми керування штучними системами з участю оператора:

а) для складових ММ; б) для складових ЗМ.

Сформований зв'язок параметрів в структурі ММ та ЗМ при умові, що відомими, наприклад для рис. 1 а), являються його стан у вигляді СМ та вхідний параметр X у якості величини вхідної потужності, то згідно системному підходу вихідний параметр Y , що характеризує собою потужність на виході ММ, визначатиметься наступним чином:

$$y_1 = \text{Оп} \cdot X, \quad (1)$$

$$Y = \text{СМ} \cdot y_1 = \text{Оп} \cdot \text{СМ} \cdot X. \quad (2)$$

Отримана залежність (2) свідчить, що величина вихідної потужності Y залежить від рівня кваліфікації оператора Оп та стану ММ, який для ММ характеризується, наприклад, загальним коефіцієнтом корисної дії. Рівень відносної кваліфікації оператора Оп знаходиться в діапазоні від 1...0. Аналіз впливу обох факторів на величину вихідної потужності свідчить, що рівень кваліфікації оператора Оп має найбільший вплив. Він змінюється дискретно і залежить в основному від досвіду і стажу роботи оператора на даній машині.

Для структури ЗМ, згідно рис. 1 б), при умові, що її відомими параметрами, являються стан у вигляді СЗ та вхідний параметр X у якості величини вхідної потужності, то тоді вихідний параметр Y , що характеризує собою вихідну потужність, визначатиметься згідно залежностей:

$$y_1 = \text{СЗ} \cdot X, \quad (3)$$

$$y_2 = \text{Оп} \cdot X, \quad (4)$$

$$Y = y_1 + y_2 = (\text{СЗ} + \text{Оп}) \cdot X. \quad (5)$$

Стан оператора Оп для структури ЗМ, наведеної на рис. 1 б), характеризується рівнем умовно відносної величини природної потужності (або фізичного зусилля), якими володіє оператор ЗМ. Визначення цього показника потребує проведення додаткових досліджень.

Процес автоматизованого управління ММ представлено на рис. 2.



Рисунок 2 – Схема автоматизованого управління робочим процесом ММ.

Визначення вихідної потужності Y для автоматизованої системи управління ММ, без урахування втрат енергії в системі керування, забезпечується за наведеною залежністю

$$Y = \text{СМ} \cdot X. \quad (6)$$

Потужність вихідна, згідно (6), не залежить від рівня кваліфікації оператора. Встановлено в роботі, що ефективне підвищення продуктивності ММ і зменшення втрат палива забезпечує автоматизація їх робочих процесів.

Список літератури

1. А.с. 1713843 СССР, МКИ В 60 Т 7/12. Автоматический тормозной привод колесной машины / В.П. Истомин, Л.В. Назаров, Н.П. Ремарчук и др. – № 4808731/11; заявл. 04.04.90; опубл. 23.02.92. Бюл. № 7. – 5 с.

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОТОТИПУ МЕХАНІЗОВАНОГО РОБОТУ ДЛЯ ТРАНСПОРТУВАННЯ ОЗБРОЄННЯ

*Заяць І. А. студент МВ-01/1; Довгополов А. Ю. ст. викладач, каф. ТМВІ,
Сумський державний університет, м. Суми*

У сучасному світі роботи та роботизовані системи стають невід'ємною частиною людського життя. Починаючи від робота пылососа який зараз є майже у кожного, та використовується для прибирання житла, закінчуючи роботизованими комплексами які використовуються на виробничих підприємствах для виготовлення деталей та складання різного роду механізмів в готові машини. В наш час роботи стали невід'ємною складовою й у військовій справі. Всі сучасні та передові армії світу мають у своєму арсеналі досить велику кількість роботів. У більшості випадків це є бойові роботи, які використовуються для нанесення вогневого ураження противнику, є роботи для транспортування поранених з поля бою, також широко в армії застосовуються роботи для транспортування різного роду вантажів на полі бою(вони транспортують боєприпаси, їжу та інші необхідні на полі бою речі).

В умовах повномасштабної війни з Російською федерацією, питання розробки нових роботизованих систем та роботів для потреб Збройних сил України та інших силових структур України набуло досить високого значення. Вартість втраченого на полі бою дорогоцінного обладнання, ніколи не зрівняється із втратою життя українським солдатом, людське життя є безцінним. На основі вищезазначеного та загальновідомого твердження, задача створення вітчизняного робота для транспортування боєприпасів та продуктів харчування на лінію бойового зіткнення є досить актуальною задачею та потребує негайного вирішення.

Першочергове завдання яке потребує вирішення – це вартість робота, яка повинна бути набагато нижчою за закордоні аналоги, та відповідати вартості сучасного розвідувального квадрокоптера. Створення не дорогого робота, дозволить на полі бою солдату думати про збереження власного життя, а не про те як зберегти цілим коштовного робота.

Як прототип для створення військового робота для транспортування, було вирішено взяти модель роботизованого таргана, відео з різним моделями цієї механічної істоти досить багато на просторах інтернету. Використання цієї моделі було зумовлене простотою конструкції, адже для забезпечення руху цього робота необхідні: просте автономне джерело енергії (у вигляді акумулятора) та прості технологічні механізми поєднання яких через не складні кінематичні зв'язки дозволяє привести в рух цього робота. Розроблений авторами прототип досить швидко рухається і складається з недорогих компонентів.

Подальша робота буде спрямована на створення реальної моделі робота з можливістю переміщення по складній місцевості, з можливістю транспортування 50 - 80 кг корисної ваги(боєприпаси, харчі, вода).

FDM 3D-PRINTING

Komisarov O.

*Master of the Department of Mechanical Engineering Technology,
National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine;
Pukhalska G., PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department
of Machinery Engineering Technology, National University
"Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine*

Although 3D-printing is considered one of the main discoveries of the 21st century, in reality, 3D-printing technology appeared in 1986, when the company 3D Systems developed the first special printer – a machine for stereolithography, which was used in the defense industry. Today, it is difficult to find an industry where 3D-printers are not used: they are used to manufacture parts of airplanes, spacecraft, submarines, tools, prostheses and implants, jewelry, etc. The perspective is clear – additive technology will soon become a priority technology of mechanical engineering. The essence of additive technologies is to connect materials to create objects from 3D-model data layer by layer [1].

Nowadays, the three-dimensional printing market is growing rapidly and is replenished with new models of unique production equipment, the possibilities of which are almost limitless. Printed aircraft parts and assemblies, printed car body, printed residential building, printed clothing, printed medical implants - this is far from the entire list of achievements of modern additive technologies. However, the most interesting thing is that you can print with almost any materials: polymers, engineering plastics, composite powders, various types of metals, ceramics, sand, concrete, wood, and recently even food and biological substances. Due to availability and practicality, 3D-printing with various types of plastic is the most common today.

All plastic 3D-printing technologies are based on four main methods of processing polymer materials used in the industry for the production of plastic products: extrusion, photopolymerization, granulation and lamination.

Modeling by layer-by-layer deposition FDM is the most common 3D-printing technology in the world, on the basis of which millions of 3D-printers work – from the cheapest to industrial 3D-printing systems. To create products using the FDM 3D-printing method, filament (fiber for 3D-printers) is used from various thermoplastic materials, which are supplied in the form of coils. Filament can be of two standard diameters: 1,75 and 3 mm, depending on the specification of the printer [2].

As with all 3D-printing technologies, the first step in making a physical object is to build a digital 3D-model of it. The 3D-model in STL format is transferred to the 3D-printer software. The program automatically (or the operator manually) places the model in the virtual space of the working camera. Then the program calculates the elements of auxiliary structures – supporting structures for the overhanging elements of the object, as necessary, and calculates the necessary

amount of consumables, as well as the time of «growing» the prototype. Before starting the printing process, the model is automatically divided into horizontal layers and the paths of movement of the extruder (printing head) are calculated – a device that is equipped with a mechanical drive for feeding the filament, a heating element for its melting, and a nozzle through which extrusion is carried out directly – pushing out the molten polymer material onto surface of the product [1].

The received settings are saved, the model is converted into a control code for the 3D-printer. Then the filament from the coil is unwound for introduction into the extruder and the process of 3D-printing is started directly: the extruder melts the filament and with high precision supplies the molten polymer material in thin layers to the working surface of the 3D-printer in accordance with the printing algorithm and the CAD 3D-model. After the layer is applied, the polymer material cools and solidifies, and the platform on which the object is formed is lowered by an amount equal to the thickness of the applied layer. Movement in three planes of the head and platform is determined by an algorithm developed in advance using special software [3].

After the construction process of the product is completed, the auxiliary structures are removed (by hand or dissolved in a special solution), and the finished product can be used in printed form or subjected to any method of further processing.

The main advantages of FDM 3D-printing: ease of use and lack of special requirements for the room (suitability for use in the office); low cost of FDM-printers and consumables; the possibility of using a large assortment of types of plastic, depending on needs and colors [1, 2].

The main disadvantages of the technology: for overhanging elements, it is necessary to create supporting structures, which must be removed after printing is finished; low resolution, which leads to layering of the surface of the manufactured model; the presence of thermal shrinkage is possible, which leads to a change in the dimensions of the product after cooling.

List of references

1. Масючок, О.П. Адитивні технології полімерних матеріалів (Огляд) / О.П. Масючок, М.В. Юрженко, Р.В. Колісник, М.Г. Кораб // «Автоматичне зварювання»: – №5. – 2020. — С. 53-60.
2. 3D-принтеры FDM / 3D Profy, Октябрь 21st, 2014. URL: <http://3dprofy.ru/3d-printery-fdm/> (посилання дійсне на 15.03.2023 р.)
3. Моделирование методом послойного наплавления (FDM) / 3DProfy, Октябрь 10st, 2014. URL: <http://3dprofy.ru/modelirovanie-metodom-poslojnego-na/> (посилання дійсне на 15.03.2023 р.)

ANALYSIS OF CURRENT APPROACHES OF THE DEVELOPMENT OF TECHNOLOGICAL ROUTES FOR PARTS MANUFACTURING

Yaroslav Kusyi, DScTech, Associate professor of Department "Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies", Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine; Andrii Zinko, Student of Bachelor Degree of Education, Department "Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies", Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine

Regulated quality parameters of the technological surfaces of mechanical parts machined by using technological machining of cutting, pressure, welding, etc. are directly related to their operational characteristics and reliability parameters in accordance with the necessary operational conditions [1, 2]. The investigations of prioritized relationships need to analyse the physical and chemical processes during parts machining at important phases and stages in their Life Cycles in accordance with the important requirements of Industry4.0 and surface integrity [3, 4].

The current technologies for parts manufacturing have a priority influence on the provision of regulated parameters of their quality in specified technological chains "initial blank – workpiece – final detail – – final machine" at the stage of development and operation of parts and products [2, 4].

Technological ensuring of the necessary quality parameters of mechanical engineering parts is conducted by [1, 2]: design of the optimal structure of manufacturing routes for machined surfaces of parts; comprehensive development of finishing and finishing-strengthening operations for the specified technological process during manufacturing of mechanical engineering parts; consideration of the influence of technological media elements in different manufacturing conditions; investigations of the heredity processes during mechanical parts manufacturing and assembly of machines.

Technological route planning during the technological preparation of parts manufacturing is realized by conventional and progressive approaches.

The conventional approaches include tabular and discrete-analytical methods for technological routes planning of parts manufacturing [2, 3].

The tabular method for technological routes planning of parts manufacturing is used to estimate object-oriented technologies in manufacturing engineering [29, 30]. Its goal is to ensure the necessary requirements of accuracy indicators and quality of surface layers of parts technological surfaces using typical technological routes for their manufacturing. The tabular method of technological routes planning is a design-prior method and demands the perfect technical literacy of the designer and technologist [1, 2].

The discrete-analytical method of technological routes planning for details during parts manufacturing is used to investigate of object-oriented and functionally-oriented technologies. It analyses the changes of the technological inheritability of parts properties from the initial blank to the final part using the estimated refinement ϵ_{est} . [3].

The experimental and calculation methods of technological routes planning for parts manufacturing is used to investigate the current functionally-oriented technologies. This methods of technological routes planning analyses the technological inheritability of material properties of mechanical engineering parts in technological chains "initial blank – workpiece – final detail" determining of estimated refinement $\varepsilon_{est.}$ by means of the important indicators of the material homogeneity criterion (MHC) [3]:

$$\varepsilon_{est.} = m_{part} / m_{bl.} , \quad (1)$$

$$\varepsilon_{est.} = v_{bl.} / v_{part} , \quad (2)$$

where m_{part} , $m_{bl.}$ are the Weibull homogeneity coefficient (m) for the blank and mechanical engineering part, respectively; $v_{bl.}$, v_{part} are coefficient of variation for the blank and mechanical engineering part, respectively.

Refinement for the i -th technological step on specified technological operation is calculated by [3]:

$$\varepsilon_i = m_i / m_{i-1} , \quad (3)$$

$$\varepsilon_i = v_{i-1} / v_i , \quad (4)$$

where m_i , m_{i-1} are indicators of WHC at the current and previous technological steps, respectively; v_{i-1} , v_i are coefficient of variation at the previous and current technological steps, respectively.

The obtained regularities by means of possible approaches in manufacturing engineering allow for providing similar verified results for various principles in technology development during parts machining [1, 4]. The positive results were achieved using rational combining progressive rotes planning for technological surface machining of parts, complex development of finishing and finishing-strengthening operations, determining of influence of technological media during products manufacturing, and consideration of heredity properties in technological chains "initial blank – workpiece – final detail".

References

1. Davim, J.P.: Surface Integrity in Machining. Springer-Verlag, London, United Kingdom (2010).
2. Kusyi Ya, Stupnytsky V, Onysko O, Dragašius E, Baskutis S., Chatys, R.: Optimization synthesis of technological parameters during manufacturing of the parts. *Ekspluatacija i Niezawodnosc – Maintenance and Reliability* 24(4), 655–667 (2022).
3. Davim, P.J.: Manufacturing in digital industries: Prospects for Industry 4.0 (Advanced Mechanical Engineering, Book 6. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, Germany/USA (2020).

LASER STITCHING OF HOLES

Bezkhlibnyi D., Post-graduate student of the Department of Mechanical Engineering Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine; Pukhalska G., PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Machinery Engineering Technology, National University "Zaporizhzhia Polytechnic", Zaporizhzhia, Ukraine

The use of laser technologies is a progressive direction in mechanical engineering, which has gained significant development in recent years.

Laser technologies differ from traditional processing methods in the absence of contact phenomena in the processing zone and the possibility of precisely dosed intensive energy supply to the surface of the product; locality in depth and area of physical processes in the zone of thermal influence while preserving the initial properties of the main volume and the absence of significant deformations of the processed parts; the possibility of processing almost any materials, regardless of their mechanical properties, with high quality and productivity [1].

Compared to mechanical processing, laser piercing of holes has a number of advantages: it is possible to pierce any material regardless of its mechanical properties; it is possible to obtain holes of small diameters (from several micrometers to 0.3...0.5 mm) with a large ratio of depth to diameter (10...25). It is possible to obtain holes with an axis directed at an angle to the surface.

This type of processing is usually performed by pulsed radiation - monopulse, multipulse (pulse lasers on garnet and CO₂). However, there are a number of operations for which it is appropriate to use continuous radiation. The peculiarity of laser piercing of holes is the implementation of the process not due to mechanical removal of the material, but as a result of its melting and evaporation [2].

Increasing the accuracy of laser processing of holes can be achieved by improving the design of laser technological installations and improving their technical and operational characteristics. The intensification of the laser treatment process by supplying additional energy to the zone of influence of laser radiation is interesting. Processing of holes is currently the widest field of application of pulsed laser radiation. Due to the specificity of laser processing, its use is limited only to parts with a wall thickness of no more than 5...12 mm [3].

Here are some examples of the application of this technology. First, it is the processing of a series of holes (with a diameter of less than 1 mm) in long tubular and sheet blanks. Examples of such parts are long tubular blanks with a large number of holes for the fire protection system of the aircraft, for spraying systems, curved pipes, long profile rolled parts. It is advisable to use laser processing if it is necessary to obtain holes of the same diameter with a large density of their placement over the area of the sheet blank - in the manufacture of various sieves, filters, laminated surfaces of aircraft, etc.

The second is obtaining a system of holes for cooling turbine blades. To avoid so-called «hot spots» on the surface of the blades, the density of holes should be up

to ~200 holes/cm². In addition, the complex structure of heat-resistant nickel alloys used for these products requires such an arrangement of the system that does not change their structure and properties. A promising technology for obtaining cooling microholes (100...500 μm) in heat-resistant alloys is laser piercing [1].

The third is the processing of holes in watch and instrument stones (made of synthetic ruby, leucosapphire), which play the role of bearings. Currently, the low-performance mechanical drilling of holes in guard and instrument stones is almost universally replaced by laser drilling. A similar technology ensures the productivity of the equipment up to 45 thousand stones in two shifts [1, 2].

The fourth is the effective use of laser technology for piercing holes in diamond rods for drawing wire 10...1000 microns. Laser technology allows you to increase the productivity of traditional processing by more than 100 times.

For the fifth time, holes (with a diameter of 0.01 ... 0.25 mm) are obtained in the housings of fuel equipment sprayers.

Sixth, treatment of gas discharge holes in the liners of tire molds (used for vulcanization of tires in the automotive industry).

Seventhly, the processing of holes in ceramic materials (for example, spinnerets for textile engineering; ferrite memory plates); in other dielectric brittle materials – glass, quartz, etc.

Eighth, laser piercing of holes in medical parts - the heads of injection needles (made of brass wire by cold pressing).

One of the areas of expedient application of laser radiation is the piercing of holes for the introduction of the wire electrode of an electroerosion cutting machine in plate blanks of hard alloy punching dies, as well as other similar parts.

And the last is the production of sieves with holes less than 1 mm in diameter, with a density of 10 ... 15 thousand pieces/m² of holes (for the flour milling and chemical industry, for fishmeal production machines).

List of references

1. Пупань, Л. І. Лазерні технології у машинобудуванні: навч. Посібник / Л.І. Пупань. – Харків: НТУ «ХПІ», 2020. – 109 с.
2. Бобицький, Я.В. Лазерні технології : навч. посібник / Я.В. Бобицький, Г.Л. Матвіїшин. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2015.
3. LaRoux K. Gillespie. Design for Advanced Manufacturing: Technologies and Processes. – McGraw-Hill Education, 2017.

ПРОБЛЕМИ ТОЧНОСТІ ПРОФІЛЮ ВЕЛИКО-КРОКОВОЇ НАРІЗИ, ТОЧЕНОЇ З ДОПОМОГОЮ ДВОНИТКОВОГО РІЗЦЯ

*Онисько О. Р., професор, Фарилюк Р. М., аспірант, кафедра
комп'ютеризованого машинобудування, Івано-Франківський національний
технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ*

Велико-крокові нарізи широко використовуються у нафтогазовидобувній галузі для з'єднання обсадних, насосно-компресорних та бурильних труб. Усі нарізи таких з'єднань є конічними і їх виконують із великим кроком. Для бурильних труб крок становить від 4,2 до 6,35 (мм). До таких з'єднань є значні вимоги до міцності герметичності та згинчуваності, що у свою чергу вимагає дотримання точності щодо кроку, середнього діаметру та профілю нарізи.

Буріння свердловин процес тривалий, самі свердловини складаються із тисяч згинчених труб, а кількість свердловин визначається десятками тисяч, що ставить на чільне місце вимоги, щодо продуктивності процесу виготовлення нарізей. Як правило бурильні замкові нарізи виготовляють точінням, але при цьому застосовують тільки одниткові різця. Процес точіння двонитковим різцем вимагає теоретичного вивчення, у першу чергу для передбачення точності нарізи [1].

Проблеми точності виготовлення двонитковим різцем, полягає у наступному (рис.1):

- передня поверхня АС для продуктивності процесу повинна бути розміщена перпендикулярно до гвинтової лінії, тому виникає відхил Δ , що призводить до зміни кута профілю нарізи α ;

- профіль конічної нарізи є несиметричний, тобто сторона 1 є коротшою ніж сторона 2, що слід врахувати при профілювання різальної крайки [1];

- підйом гвинтової лінії у конічних нарізей є змінним, тобто максимальним на меншій основі конуса і мінімальним на його більшій основі, тобто у процесі слід визначитися, який кут підйому є пріоритетний для проектування різця;

- кут підйому гвинта є різний для впадин з діаметром, виступів з діаметром D major, середнього діаметру D pitch, що ставить питання вибору кута нахилу різальної крайки різця λ [2];

- крок P визначається не тільки кінематичними характеристиками процесу, але і конструктивними особливостями і точністю двониткового різця

- кут нахилу різальної крайки λ призводить до певних відхилів профілю та середнього діаметру, які слід враховувати, як складові допуску на точність [2, 3].

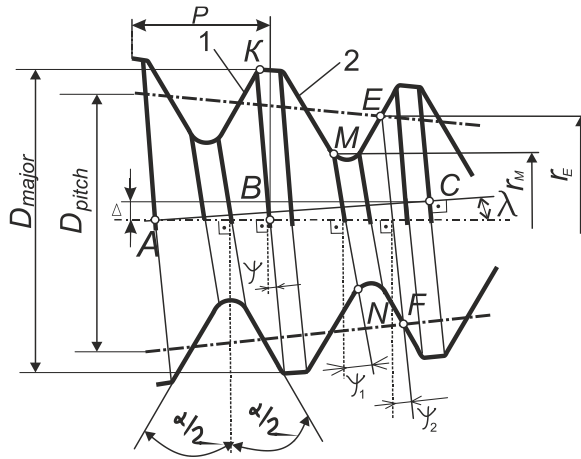


Рисунок 1 – Схема конічної замкової нарізі згідно зі стандартом API 7

Перелічені проблеми точності профілю, який для замкових нарізей за API 7 Standart перебуває у допустимих межах $\pm 40'$, як і точності кроку $\pm 0,11$ мм потребують аналітичного підходу у вивченні та їх експериментального підтвердження.

Список літератури

1. Онисько О.Р., Фарилюк Р.М. Багатолезовий процес точіння конічних нарізей із великим кроком. «Прогресивні технології в машинобудуванні». Збірник наукових праць XI Міжнародної науково-технічної конференції. 31 січня-3 лютого 2023, Львів-Звенів. 2023. С.72-74.
2. O. R. Onysko, Ya. M. Kusi, V.B. Kopei, A. P. Dzus. Accuracy of thread depends on the lathe tool angle of inclination. Theoretical investigation. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 1277 (2023) 012018 doi:10.1088/1757-899X/1277/1/012018
3. Oleh Onysko, Volodymyr Kopei, Cristian Barz, Vesna Rodic. Influence of side rake angle of a lathe cutter on the thread pitch diameter accuracy. Theoretical investigation. *10th International Conference of Applied Science ICAS2022*. 25-28 May 2022, Banja Luka, Bosnia and Herzegovina. Book of Abstract. P-118.

APPLICATION OF ECONOMIC CRITERIA FOR EVALUATING THE EFFICIENCY OF MACHINE PARTS MACHINING

Yaroslav Kusyi, DScTech, Associate professor of Department “Robotics and Integrated Mechanical Engineering Technologies”, Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine; Olha Kostiuk, PhD, Associate professor of Department of Marketing and Logistics, Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine; Uliana Shybunka, Student of Master Degree of Education, Department of Marketing and Logistics, Lviv Politechnic National University, Lviv, Ukraine

The approaches of sustainable manufacturing in mechanical engineering ensure systemic consideration of machining regularities for the provision of necessary technical requirements, including environmental, economic, and social directions [1].

Currently, environmental standards are more actually than other ones [1, 2]. Increasing energy consumption in different branches of manufacturing engineering, the significant using of lubricating and cooling fluids in machining, recycling parts of devices for blank manufacturing, metal-cutting tools, and chips of different types serve the global problems for the world economy.

However, the feasibility of use and efficiency of determined chemical and physical processes, the validity and solving of the necessary design and technological tasks, and the competitiveness of manufactured parts and products are estimated by economic approaches and techniques. Alternatively, the critical values of economic criteria often serve as target functions in practical optimization tasks of different complexity in manufacturing engineering [1].

Quality parameters of mechanical engineering parts and machines are ensured by cutting, surface plastic deformation, chemical and heat treatment, etc., using object-oriented and functionally-oriented technologies [1, 2].

Object-oriented technological processes are realized in traditional computerized systems of technological preparation of manufacturing. They use the typical technological processes of parts manufacturing with the regulated implementation of interconnected phases. The important task for object-oriented technologies is to ensure the product quality parameters using the provision of the necessary requirements for the design and technological documentation. The minimum technological cost of a mechanical engineering part or product is optimization criteria during the technological process design [3].

Technological cost $C_{techn.i}$ is determined by [3]:

$$C_{techn.i} = C_{stand.i} \cdot T_{p-c.i} (T_{p.i}), \quad (1)$$

where $C_{stand.i}$ – cost standard for i -th technological operation/step [UAH/min, etc.]; $T_{p-c.i}$, $T_{p.i}$ – piece–calculation time or piece time for i -th technological operation/ step, respectively [min, etc.].

Piece–calculation time $T_{p.-c.i}$ is calculated by [3]:

$$T_{p.-c.i} = T_{p.i} + T_{p.-f.i} / n, \quad (2)$$

where $T_{p.-f.i}$ – preparation and finishing–up time [min, etc.]; n – the number of parts in the batch.

Piece time is calculated by [3]:

$$T_{p.i} = T_{mach.i} + T_{add.i} + T_{serv.i} + T_{r.i}, \quad (3)$$

where $T_{mach.i}$, $T_{add.i}$, $T_{serv.i}$, $T_{r.i}$ – machining time, additional time, time for the service of the equipment, and time for the rest and worker’s private purposes, respectively.

The minimum value of rational machining time for object-oriented technologies for certain technological operation is the target function of the optimization problem and a function of the synthesized parameters [3]:

$$T_{mach.i}(t, S, n, V) \rightarrow \min, \quad (4)$$

where t , S , n , V are elements of optimal cutting modes for specific technological operation including cutting depth, feed rate, rotary speed, and cutting speed.

The solution of this optimization problem is possible by choice of rational cutting mode according to the maximum productivity of the technological equipment and the its rational loading.

Machining of the technological surfaces of mechanical engineering parts provides in accordance with the principle of functionally-oriented technologies. Their characteristic feature is the technological ensuring of the necessary operational characteristics and reliability parameters of the parts and machines in compliance with the accuracy and quality parameters of the surface layer of the product specified by the designer operational conditions [1, 3].

The maximum machining time in the certain technological operation or specified technological step during part machining is the target function of the optimization problem for the choice of its optimal parameters [3]:

$$[T_{mach.i}(t, S, n, V)] \rightarrow \max, \quad (5)$$

The solution of this optimization problem is possible by using Markov chains with the formation of a system of Kolmogorov-Chapman differential equations.

References

1. Davim, J.P.: Surface Integrity in Machining. Springer-Verlag, London, United Kingdom (2010).
2. Davim, P.J.: Manufacturing in digital industries: Prospects for Industry 4.0 (Advanced Mechanical Engineering, Book 6. Walter de Gruyter GmbH, Berlin/Boston, Germany/USA (2020).
3. Kusyi Ya, Stupnytskyy V, Onysko O, Dragašius E, Baskutis S., Chatys, R.: Optimization synthesis of technological parameters during manufacturing of the parts. *Eksplloatacja i Niezawodność – Maintenance and Reliability* 24(4), 655–667 (2022).

СИСТЕМА КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИРОБНИЦТВА ШАРОШОК

Сліпчук А. М., к.т.н., доцент, каф. робототехніки та інтегрованих технологій машинобудування, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів; Яким Р. М., д.т.н., проф. каф. технологічної та професійної освіти, Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І. Франка, м. Дрогобич; Кобилецький О. В., здобувач, м. Львів

Практика реалізації інтегрованих комп'ютеризованих систем виявила необхідність побудови ієрархічної інтелектуальної системи виробничого середовища відповідно до стадій створення і виготовлення доліт та життєвого циклу технологій долотного виробництва. Дуже важливе значення для реалізації інтегрованих технологій має рівень гнучкості та здатність до адаптації технологічних систем. Особливі вимоги висуваються до технологічної системи, в яких виробничі лінії, сумісно із системою організації виробничого потоку, застосовуються для виготовлення сімейства шарошок та лап для бурових доліт, складальних операцій (складання: шарошок з вставним оснащенням, опор секцій та секцій в готове долото). При цьому, для ефективного вирішення конструкторсько-технологічних задач на кожному етапі, створюються та систематично поповнюються бази знань, які мають включати, поряд з конструкторсько-технологічною документацією, протоколи диспетчеризації руху сировини, заготовок, півфабрикатів, інструменту та процесів тощо. Саме необхідність синергетичного поєднання наукоємних технологій, розв'язання проектних й конструкторсько-технологічних задач, функціонально орієнтованих інтегрованих технологій, гнучких комп'ютеризованих технологічних систем на базі кібернетичних середовищ з штучним інтелектом дає змогу різко змінити рівень якості тришарошкових бурових доліт. Це також максимально розкриває можливості паралельного проектування. Відтак, одночасно розробляються, проектуються і виготовляються шарошки №I, №II, №III тришарошкового бурового долота.

Для забезпечення заданих функціональних властивостей при експлуатації долота необхідно задовольнити вимоги комплексу якісних показників на рівні виготовлення і вдосконалення. Відправною точкою до формування критеріїв якості долота є дані з їхнього відпрацювання, характер та причини втрати працездатності, особливості зношення, пошкодження, руйнування тощо.

Аналізом відпрацювання бурових доліт встановлено, що відповідальні елементи долота виявляють такі особливості:

1. Неоптимальний розподіл внутрішніх напружень в тілах деталей.
2. Неоптимальний контакт в спряжених деталях. Зокрема виникнення небезпечних контактних деформацій відповідальних елементів конструкції. Наприклад, в спряженні «хвостовик твердосплавного вставного зубка – тіло шарошки» виникають напруженн, що різко знижують не тільки надійність

пресованого з'єднання, а й спричинюють руйнування твердосплавного вставного породоруйнівного оснащення шарошки [1].

3. Наявність різко відмінних один від одного місцевих концентраторів напружень. Зокрема, складний комплекс внутрішніх напружень спричинених особливістю конструкції порожнини шарошки та зовнішньої робочої частини де встановлене вставне породоруйнівне оснащення. Відтак при експлуатації маємо відмови й втрати працездатності шарошок через пошкодження та руйнування елементів опори або породоруйнівного оснащення. Також трапляються катастрофічні руйнування шарошок в небезпечних перерізах [2].

4. В процесі роботи долота тіла кочення опори, а відтак і шарошки змонтовані на опорах втрачають стійкість рівноваги [3]. Це спричинює заклинювання опор. Також фіксуються випадки, коли втрачаючи стійкість, прокручуються твердосплавні зубки. Відтак, змінюється орієнтація вражаючої частини зубка, або він випадає у вибій. Це також суттєво знижує ефективність долота і як наслідок, знижується темп буріння.

5. Елементи тришарошкового бурового долота функціонують в умовах комплексної дії повторно-змінних навантажень. Відтак, в процесі експлуатації виникають деформації, що істотно порушують функціональність не тільки відповідальних ділянок, складових елементів, а й долота в цілому. Наприклад, вінці шарошок та елементи опори зазнають пере деформації, в результаті цього фіксуються явища відшарування поверхневих шарів, сколювання фрагментів тощо.

Список літератури

1. Сліпчук А.М., Яким Р.С., Вишневський О.О. Вплив конструкторсько-технологічних чинників на довговічність вставного твердосплавного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошkových бурових доліт. Міжвідомчий науково-технічний збірник “Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні” 2022. №56. С. 75-85. DOI 10.23939/istcipa2022.56.075

2. Yakym R.S., Prtryna D.Yu. Analysis of Causes and Preventing Ways of Early Workability Loss of Three-Cone Rock Bit Cutters // *Metallophysics and Advanced Technologies*. Vol. 42, №5, May, 2020. p.731 – 751.

3. Петрина Ю.Д., Яким Р.С. Підвищення довговічності шарошkových бурових доліт шляхом оптимізації конструкції роликowego підшипника. Науковий вісник Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу. 2006. №2 (14). С.56–63.

СУПЕРФІНІШНА ПНЕВМОВІДЦЕНТРОВА ОБРОБКА ВНУТРІШНІХ ЦИЛІНДРИЧНИХ ПОВЕРХОНЬ СТАЛЕВИХ ЗАГОТОВОК

Куликівський В. Л., доцент кафедри А та ТС, Поліський національний університет, м. Житомир

Створення способу суперфінішної пневмовідцентрової обробки було обумовлено необхідністю поліпшення експлуатаційних властивостей поверхонь отворів сталевих заготовок, що не піддавались термообробці, до якості яких ставлять підвищені вимоги за рядом параметрів.

Особливість способу полягає в розмірній лезовій обробці поверхні отвору заготовки та наступному поверхневому пластичному деформуванні жорсткими робочими елементами до отримання на поверхні, що не піддавалась термообробці, параметра шорсткості $Ra \leq 0,16$ мкм. Із подальшою суперфінішною пневмовідцентровою обробкою робочими елементами – кульками, поверхня яких має параметр шорсткості $Ra \leq 0,08$ мкм. Спосіб дозволяє отримувати на внутрішній циліндричній поверхні сталевих нежорстких заготовок (без термообробки) шорсткість $Ra < 0,1$ мкм.

Отримання мінімальної шорсткості поверхні завжди пов'язане зі збільшенням трудомісткості та вартості обробки. За одержання однакової шорсткості, різними способами, найменша вартість відповідає обробці розкочуванням, а найбільша – абразивним методам обробки.

Досягнення параметра шорсткості Ra менше 0,1 мкм можливе при обробці поверхонь отворів жорсткими сепараторними накатниками (табл. 1). Проте слід враховувати вихідну шорсткість поверхні та жорсткість заготовки.

Таблиця 1 – Натяг при обробці отворів жорсткими сепараторними накатниками (мм)

Вихідний параметр шорсткості Ra , мкм	Параметр шорсткості, якого можна досягти Ra , мкм			
	0,32	0,16	0,08	0,04
1,25	0,01-0,04	0,015-0,05	0,02-0,06	0,02-0,08
2,5	0,03-0,06	0,04-0,07	0,06-0,09	0,08-0,11
5,0	0,06-0,10	0,08-0,13	0,09-0,16	0,14-0,19
10	0,12-0,17	0,14-0,19	0,17-0,22	0,19-0,24

Зі зростанням вихідної шорсткості, для отримання невеликих значень параметра Ra , необхідно збільшувати натяг. Який для тонкостінної заготовки призведе до об'ємного деформування стінок. Тому, рекомендується після попереднього вибору натягу, за таблицями, уточнити його оптимальне значення дослідним шляхом.

Аналіз особливостей обробки внутрішніх циліндричних поверхонь сталевих заготовок дозволяє зробити висновок про те, що у вітчизняному машинобудуванні суперфінішна пневмовідцентрова обробка дозволяє отримувати шорсткість поверхні $Ra < 0,1$ мкм, покращувати експлуатаційні властивості обробленої поверхні, без суттєвих матеріальних витрат.

DIGITAL TWIN OF THE CUTTING MACHINE

Oleksandr Sokolov, Ph.D. student; Vitalii Ivanov, DSc., Professor,
Head of the Department of Manufacturing Engineering, Machines and Tools,
Sumy State University, Sumy, Ukraine

In recent years, there has been a growing interest in using digital twins to optimize machining processes and improve the performance of metal-cutting machines [1]. Digital twins have become an increasingly important technology in the manufacturing industry, particularly for metalworking equipment.

The digital twin of a cutting machine is a virtual replica of the physical machine [2], created using simulation modeling. It represents the geometrical and kinematic properties of the physical machine and is calibrated using real-time data from the machine. Once validated, the model can be used to simulate various manufacturing processes and optimize cutting parameters, such as cutting speed, feed rate, and depth of cut, to achieve maximum efficiency.

The use of digital twins in cutting machines has several advantages [3]. Firstly, it can optimize the cutting parameters, decreasing production time and enhancing machine efficiency. Secondly, it can assist in selecting optimal cutting tools and materials for specific manufacturing processes. Thirdly, it has the potential to predict and prevent potential machine failures, thereby reducing maintenance costs and minimizing downtime.

Optimizing cutting parameters can lead to significant material and labor cost savings. Additionally, the digital twin of cutting machines can improve the quality of finished products by selecting the optimal cutting tools and materials.

In conclusion, the digital twin of the cutting machine is a promising technology with significant applications in the manufacturing industry. It can help optimize manufacturing processes, reduce errors, and improve efficiency, increasing productivity and cost savings.

Therefore, this study aims to create a digital twin of a metal-cutting machine capable of monitoring its parameters utilizing the cutting speed, feed, and cutting depth as the basis for real-time monitoring, analysis, and optimization.

The research was partially supported by the Polish National Agency for Academic Exchange within the projects BPI/UE/2022/8-00 and BPN/U LM/2022/1/00045, and International Association for Technological Development and Innovations.

References

1. Attaran, M., Celik, B. G. (2023). Digital Twin: Benefits, use cases, challenges, and opportunities. *Decision Analytics Journal*, Vol. 6, 100165.
2. Botkina, D., Hedlind, M., Olsson, B., Henser, J., Lundholm, T. (2018). Digital Twin of a cutting tool. *Procedia CIRP*, Vol. 72, pp. 215–218.
3. Xie, Y., Lian, K., Liu, Q., Zhang, C., Liu, H. (2021). Digital twin for cutting tool: Modeling, application and service strategy. *Journal of Manufacturing Systems*, Vol. 58(B), pp. 305–312.

ПРОФЕСІЙНА ТЕХНІЧНА ТЕРМІНОЛОГІЯ: СУЧАСНІ ВИКЛИКИ ЩОДО СТВОРЕННЯ НОРМАТИВНОЇ ДОКУМЕНТАЦІЇ

*Косова Т. М., ст. викл.; Демиденко Є. О., студ. гр. 302-о,
ВСП «Машинобудівний фаховий коледж СумДУ»; Павленко І. В., проф.
каф. КМ ім. В. Марцинковського; Іванов В. О., зав. каф. ТМВІ,
СумДУ, м. Суми*

У сучасних умовах воєнної агресії російської федерації в Україні, дуже гостро постає питання щодо розвитку національних стандартів. З огляду на це, є необхідність постійного вдосконалення нормативної бази з розроблення текстової та графічної документації з урахуванням лексико-семантичних особливостей перекладу термінологічних словосполучень.

Сучасні стандарти України мають ігнорувати застарілі норми пострадянської єдиної системи конструкторської документації та враховувати сучасні тренди в забезпеченні якості нормативних документів відповідно до вимог Міжнародної організації зі стандартизації.

Зокрема, значна кількість державних стандартів є адаптованою версією міжнародних стандартів ISO. З цієї причини деякі поняття, наведені українською мовою, не співпадають з безпосереднім перекладом відповідних англомовних словосполук [1].

Технічна термінологія має відповідати офіційним варіантам перекладів з англійської мови відповідно до нормативних документів Національного стандарту України [2] – аналогу ISO 5127:2001. У цьому стандарті наведено словник термінів, що стосується діяльності бібліотек, документаційних та інформаційних центрів, служб індексування й реферування, архівів, інформаційної науки та видавництва. До нього також долучено довідкові національні додатки.

Також для сприяння розвитку технічного рівня підготовки сучасного інженера відповідно до нормативної бази України, науковцями Сумського державного університету було створено навчальний посібник [3], який враховує сучасний стан інтеграції України в Європейський та міжнародний науково-технічний простір. Також враховано лексико-семантичні особливості україномовного перекладу основних технічних термінів і термінологічних словосполучень і містить відповідні рекомендації, словник та інші науково-технічні й довідкові матеріали.

Список літератури

1. ДСТУ ISO 128-1:2005. Кресленики технічні: Загальні принципи оформлення. Ч. 1. Передмова та покажчик понять. – Київ : Держспоживстандарт України, 2007.
2. ДСТУ ISO 5121:2007. Інформація та документів: Словник термінів. – Київ : Держспоживстандарт України, 2010.
3. Іванов В. О., Павленко І. В., Косова Т. М. (2015). Професійна технічна термінологія у галузі машинобудування. – Харків : НТМТ, 2015.

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ВЗАЄМОДІЇ ПЕРЕДНЬОЇ ПОВЕРХНІ ЛЕЗА ЗІ СТРУЖКОЮ

Тарасенко І. В., магістрант; Войчишин О. Л., директор Центру спеціальних технологій; Пацера С. Т., професор, кафедра технологій машинобудування та матеріалознавства, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», м. Дніпро

Моделюванню фізичних процесів механічного оброблення металів присвячена достатньо значна кількість сучасних наукових досліджень, наприклад, роботи [1–5]. В роботі [6] одержані математичні моделі, що пов'язують напруження на пластичному контакті стружка-лезо з дотичними напруженнями в площині зсуву і дозволяють підвищити точність розрахунку показників взаємодії передньої поверхні леза зі стружкою.

Практичне використання вказаних математичних моделей пов'язано з певними методологічними труднощами, що виникають внаслідок нелінійного характеру залежностей та присутності неявних взаємозв'язків параметрів.

Метою даного дослідження є розробка алгоритмічної моделі розрахунку нормальних і тангенціальних напружень від довжини контакту стружки з лезом.

Структурна схема розробленої алгоритмічної моделі наведена на рис. 1.

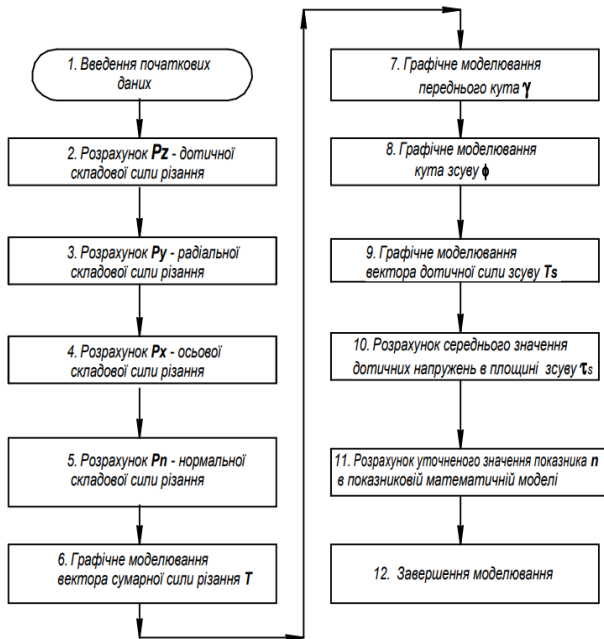


Рис. 1 – Схема створеної алгоритмічної моделі

Програмна реалізація проведена в середовищі NI LabVIEW. На рис. 2 наведено відповідний результат розрахунку для випадку оброблення аустенітної сталі 12X18НТ.

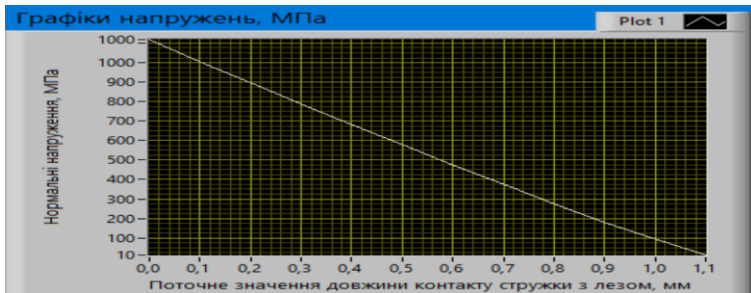


Рис. 2 – Графік розрахованої залежності нормальних напружень від довжини контакту стружки з лезом при відповідних початкових даних та прийнятих допущеннях

Список літератури

- 1 Mazur M.P. Osnovy teorii rizannia materialiv / M.P. Mazur, Yu.M. Vnukov, V.L. Dobroskok, V.O. Zaloha, Yu.K. Novosolov, F.Ia. Yakubov; pid zah. red. M.P. Mazura. – 2-e vyd. pererob. i dop. – Lviv: Novyi svit-2000, 2011. – 422. <https://xn--e1ajqk.kiev.ua/wp-content/uploads/2019/12/Mazur-M.-P.-Osnova-teori-rizannya-meterialiv.pdf>
2. Amir Malakizadia, Jannick Nils Oberbeck, Martin Magnevall, Peter Krajnik, A new constitutive model for cutting simulation of 316L austenitic stainless steel. 17th CIRP Conference on Modelling of Machining Operations. Procedia CIRP Volume 82, 2019, Pages 53-58 <https://doi.org/10.1016/j.procir.2019.04.064>
3. Saleem, W; Ijaz, H; (...); Zhang, J, Numerical modeling and simulation of macro- to microscale chip considering size effect for optimum milling characteristics of AA2024T351 Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering (2019), 41 (8), <https://doi.org/10.1007/s40430-019-1838-0>
- 4 Denkena, B; Kroedel, A; (...); Zender, F, Modelling of process Forces for Complex multi-axial Turning Processes. MMS Science Journal (2021), pp.5023-5029. https://doi.org/10.17973/MMSJ.2021_11_2021147
- 5 Afrasiabi, M; Saelzer, J; (...); Wegener, K, A Numerical-Experimental Study on Orthogonal Cutting of AISI 1045 Steel and Ti6Al4V Alloy: SPH and FEM Modeling with Newly Identified Friction Coefficients. Metals (2021), Volume 11 Iss(11), 1683. <https://doi.org/10.3390/met11111683>
- 6 Kravchenko Yu.H. Rozpodil napruzen na plastychno-pruzhnomu kontakti struzhka-lezo/ Yu.H. Kravchenko, S.T. Patsera // Zbirnyk naukovykh prats NHU: nauk.-tekhn. zb. – D.: NTU "Dniprovska politehnika", 2021. – № 66 – S. 140 – 152. <https://doi.org/10.33271/crpnmu/66.140>

АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ СИСТЕМНО-СТРУКТУРНОГО МОДЕЛЮВАННЯ НА ПРИКЛАДІ РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРЕСИВНОГО ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛЕЙ ТИПУ ШПИЛЬКА ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ ІНСТРУМЕНТІВ ТА ОСНАЦЕННЯ

*Дударь А. В., студент, гр. ТМм-21, СумДУ, м. Суми;
Биков М.С., аспірант, СумДУ, м. Суми*

Шпилька відцентрового насоса є дуже відповідальною деталлю у агрегаті і на пряму впливає на якість виробу, його довговічність та безпеку. Тому дані шпильки підлягають заміні під час виконання регламентних ремонтних робіт. Такі роботи проводяться досить часто, особливо на насосах, що використовуються для охолодження атомних реакторів.

В результаті цього виникає потреба у досить великій кількості шпильок, тому необхідно підвищувати продуктивність їх оброблення з дотриманням точності та інших вимог, що задані конструктором. Для цього перспективним рішенням є застосування прогресивних інструментів та оснащення, але це лише один із шляхів і його можна розвивати за рахунок зміни підходу саме до технологічного процесу проектування. Одним з таких шляхів є застосування системно-структурного моделювання технологічного процесу, що вже показало свою ефективність на прикладі оброблення деталей типу кришка підшипника [1].

Проте системно-структурне моделювання виконується в ручному режимі, що суттєво знижує продуктивність та вимагає зберігання документації як у паперовому так і в електронному вигляді.

Перспективним рішенням буде застосування програмного забезпечення MySQL, яке дозволить суттєво пришвидшити роботу з базами даних, а також зберігання і передачу інформації виключно в електронному вигляді, що скоротить допоміжний та організаційний час і зменшить витрати виробництва. MySQL це перевірена система, що працює вже майже 30 років, також вона доступна і проста до засвоєння, тому може бути швидко інтегрована на підприємствах з дрібносерійним та одиничним типами виробництва, що саме і займаються виготовленням відцентрових насосів.

Список літератури:

1. Тверезовський І. С. Системно-структурне моделювання операцій свердлильно-фрезерно-розточувальної групи на прикладі оброблення деталей типу кришки підшипника. Сучасні технології у промисловому виробництві: матеріали та програма VIII Всеукраїнської науково-технічної конференції: тези доповідей. : Сумський державний університет, 2021. С. 45.

*Робота виконана під керівництвом доцента, к.т.н., доцента
Дегтярєва І. М. та к.т.н., старшого викладача Нешиги А. О.*

ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЄКТУВАННЯ ЦИКЛОЇДНИХ ПЕРЕДАЧ З ПРУЖИННИМ СТАБІЛІЗАТОРОМ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ У МОБІЛЬНИХ РОБОТИЗОВАНИХ ПЛАТФОРМАХ

*Клок Я. В., студент, гр. ТМм-21, СумДУ, м. Суми;
Авраменко С. Є., аспірант, СумДУ, м. Суми*

Мобільні роботи вже є досить поширеними як у виробництві так і у інших видах життєдіяльності людини. Вони здатні виконувати як прості дії по переміщенню вантажів з одного місця в інше, так і здатні до більш складних рухів, що залежить від типу та складності систем керування.

У якості приводу на таких роботах використовуються електричні двигуни постійного струму або крокові двигуни. Недоліком крокових двигунів є їх велика маса для забезпечення необхідної потужності і складність керування ними, що вимагає застосування дороговартісних систем. Недоліками двигунів постійного струму є малий момент і вони як правило застосовуються разом із редукторами.

Найчастіше застосовуються черв'ячні або багатоступінчасті планетарні редуктори з загальним передатним відношенням 1:50...1:200. Таким чином суттєво зростає вага платформи, витрати електричної енергії на її рух, а також виникає проблема люфтів у зубчастому зачепленні планетарних та черв'ячних редукторів, що впливає на точність позиціонування та прискорює їх зношення через постійну зміну напрямку руху робочих органів робота. Застосування пружинних компенсаторів та розрізних шестерень частково виправляє ситуацію, але підвищує зношення через наявність необхідного початкового натягу в передачі, що забезпечується зусиллям від пружини.

Циклоїдні передачі через особливість своєї конструкції і можливість обкочування поверхонь мають суттєво менші зазори і люфти відповідно, але все одно вони присутні. Тому пропонується також вибирати зазор у циклоїдальному редукторі шляхом застосування пружинного механізму та амортизатора, які у купі будуть забезпечувати постійний контакт робочих поверхонь оберткових механізмів редуктора, та при цьому плавний хід при знакозмінному переміщенні робочих органів робота.

Через те, що у циклоїдальному редукторі проходить процес обкочування робочих поверхонь передачі при застосуванні початкового натягу знос буде мінімальним, ніж без його застосування, а можливо навіть і меншим, бо за рахунок стабілізатора мікроудару при зміні напрямку обертання вхідного валу будуть відсутні, що належить перевірити у подальшому шляхом чисельного моделювання.

*Робота виконана під керівництвом доцента, к.т.н., доцента
Дегтярьова І. М. та к.т.н., старшого викладача Нешии А. О.*

МОДЕЛЬ СИНТЕЗУ БАГАТОІНСТРУМЕНТНИХ НАЛАДОК

Яковенко І. Е., проф.; Біліченко М. В., студент, НТУ ХПІ, Харків

Перехід від масового автоматизованого виробництва до більш сучасного гнучкого виробництва не виключив інтерес машинобудівників до випуску агрегатних верстатів, тому що концентрація операцій є одним з основних методів підвищення продуктивності у машинобудуванні [1].

У загальному випадку основною особливістю концентрації операцій при багатоінструментній обробці є наявність руху заготовки або інструментального блоку з постійною швидкістю щодо інших елементів системи верстат-пристрій-заготовка-інструмент (ВПЗІ) [2].

Особливо це характерно для обробки різних деталей, що мають кілька сторін обробки, кожна з яких містить кінцеву кількість однакових або різних співвісних поверхонь, які можуть бути оброблені або кінцевим різальним інструментом (найчастіше для корпусних деталей). Тому при синтезі багатоінструментної обробки дуже важливо сформувати інструментальні блоки таким чином, щоб забезпечували мінімальну технологічну собівартість обробки при забезпеченні необхідної якості поверхонь виробу. Це стосується як формування структури, так і параметрів інструментальних блоків.

Задача синтезу інструментальних блоків може бути сформульована у наступному вигляді. Нехай у кожного об'єкта є множина сторін обробки $\vec{S} = \{1, \dots, k\}$, причому кожна містить підмножину осей обробки $\vec{O}_j = \{1, \dots, j\}$, $\vec{O}_j \in \vec{S}$, на яких розташовано підмножина оброблюваних поверхонь $\vec{P}_{ji} = \{1, \dots, i\}$, $\vec{P}_{ji} \in \vec{O}_j$, де кожен елемент системи, що реалізується, представлено у вигляді вектора, який має характерний набір параметрів (розташування поверхонь, вимоги до точності, параметри якості поверхні тощо). Тоді для здійснення процесу обробки необхідно сформувати сукупність множини компоновальних варіантів інструментальних блоків $\{\vec{N}_l\}$, $l \in L$, які можливо технічно реалізувати, та які відображені векторами проектних параметрів, таким чином, що $\bigcup_{l \in L} \vec{N}_l = \vec{E}$, (тобто, щоб виконувалася множина елементарних технологічних переходів, які відображені векторами $\vec{T} = \{1, \dots, l\}$ проектних параметрів, спрямованих на отримання параметрів об'єкта обробки \vec{P}_{ji}).

Очевидно, що кількість можливих варіантів багатоінструментних блоків різко зростає зі збільшенням кількості поверхонь деталі. Однак, кількість таких варіантів значно скорочується, якщо враховувати обмежуючі фактори, що впливають на можливість реалізації того чи іншого варіанта багатоінструментного блоку.

Об'єднання кількох елементарних інструментів у комбінований інструмент або у інструментальний блок можливе лише у разі виконання

системи обмежень, які можна поділити на три основні групи: геометричні, технологічні та технічні.

Основним геометричним обмеженням є умова належності поверхонь, що обробляються, до одної сторони обробки, тобто можливість забезпечити кінематику формоутворення при відносному переміщенні заготовки та інструментального блоку, а також додатково обмеження з вильоту інструменту, яке обумовлено необхідністю регулювання довжини вильоту шпинделя або патрона та відношення діаметрів інструментів у блоці, що пояснюється необхідністю забезпечення жорсткості системи в процесі обробки.

До технологічних обмежень відносяться фактори, які пов'язані безпосередньо з можливістю забезпечення кінематики формоутворення поверхні та вимог до шорсткості, розмірних параметрів і точності поверхні. Авторами було проведено аналіз теоретичної можливості виконання різних елементарних технологічних переходів загальним інструментальним блоком з урахуванням кінематики формоутворення, параметрів точності, що досягається в результаті обробки, енергетичними характеристиками процесу обробки та ін.

До технічних обмежень можна віднести можливість перемикання режимів різання в процесі обробки (з використанням мехатронних модулів це обмеження втратило актуальність); можливість забезпечити подачу ЗОТР у зону обробки у процесі різання; конструктивні особливості вузла (мінімально допустима міжцентрова відстань між осями шпинделів, використання кондукторних пристроїв та ін.).

Проведені дослідження дозволили авторам запропонувати удосконалену та орієнтовану на автоматизоване проектування математичну модель синтезу варіантів інструментальних блоків, що технічно реалізуються, яка заснована на принципах теорії графів. У методиці синтезу варіантів інструментальних блоків спирається на відомі алгоритми розв'язання задачі про найменше розбиття з урахуванням встановленої додаткової системи обмежень різного характеру, яка спирається на групи факторів, що були досліджені авторами. Це дозволяє скоротити кількість варіантів технологічних компоновок інструментальних блоків, що проглядаються в процесі синтезу, та, відповідно, спростити час та сам процес проектування технологічної компоновки верстата.

Список літератури

1. Metal Cutting Machine Market Size, Share & Trends Analysis Report By Product (Laser, Waterjet, Plasma, Flame), By Application (Automotive, Aerospace & Defense, Marine), By Region, And Segment Forecasts, 2020 – 2027.

2. Structural Optimization of Technological Layout of Modular Machine Tools / *Yakovenko I., Permyakov A., Prihodko O., Basova Y., Ivanova M.* // In: Tonkonogyi V. et al. (eds) *Advanced Manufacturing Processes. InterPartner 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. – 2020. – pp. 352-363.

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

УПРАВЛІННЯ ЯКІСТЮ ПРОЦЕСІВ РЕМОНТУ НА ВИРОБНИЦТВІ: ПРАКТИЧНЕ ЗАСТОСУВАННЯ

*Царицин В. О., аспірант; Денисенко Ю. О., старший викладач;
Ілюхін М. І., студент ТМ-91/1, Сумський державний університет, м. Суми*

Проблеми пошуку оптимальних механізмів ефективного управління процесами підготовки виробництва перебувають у центрі уваги під час удосконалення систем управління. Впровадження ERP-систем на сучасних підприємствах підвищує ефективність управління ресурсами, проте виникають складнощі при організації виробництва та експлуатації інструменту (оснащення), які зумовлюються величезною номенклатурою. Виникнення екстрених ремонтів ускладнює етапи планування та значна частина витрат на процес ремонту має ймовірнісний характер. Тому для передбачення виникнення випадкових факторів на процеси ремонту запропоновано математичну модель, яка базується на прогнозуванні витрат на процес ремонту інструменту та оснащення та використання дерева рішень. Цей метод застосовується для розробки рішень за умов невизначеності. Тут кожен варіант дій або події представлений окремою гілкою, яка веде до наступних гілок, що відображають подальші дії або можливі події.

Пропонована математична модель управління якістю процесу «Ремонт інструменту та технологічного оснащення» представляється у вигляді:

$$Z = Z_3 + Z_{\phi 1} \cdot P_1 + Z_{\phi 2} \cdot P_2 + \dots + Z_{\phi n} \cdot P_n,$$

де, C – постійні витрати процесу «Ремонт»;

C_z – сумарні витрати на зарплату та амортизаційні відрахування на верстати;

$C_{\phi 1}, C_{\phi 2}, C_{\phi n}$ – витрати при виникненні факторів;

P_1, P_2, P_n – імовірності виникнення факторів.

На вхід алгоритму можна подавати всі існуючі атрибути, алгоритм сам вибере найбільш значущі серед них, і тільки вони будуть використані для побудови дерева [1, 2]. У порівнянні, наприклад, з нейронними мережами, це значно полегшує роботу користувача, оскільки в нейронних мережах вибір кількості вхідних атрибутів істотно впливає на час навчання.

За запропонованою моделлю проводиться апробація прогнозування якості процесу «Ремонт інструменту та технологічного оснащення». Метод дерева рішень реалізовано за допомогою надбудови «Дерево рішень» Microsoft Excel. Як вихідні дані було взято витрати інструментального цеху за період 6 місяців.

Червоним текстом зазначено вузол дерева (статті витрат), у якому перевіряється умова ймовірності настання події – виникнення цих витрат та зазначається їх числове значення.

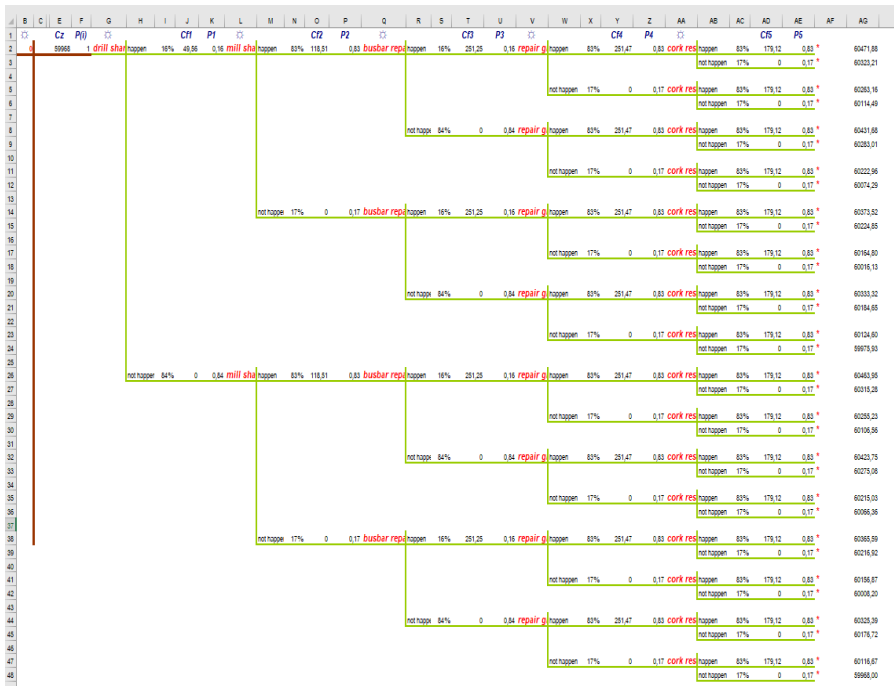


Рисунок 1 – Дерево рішень на прикладі процесу «Ремонт інструменту та технологічного оснащення»

Таким чином, було спрогнозовано величину витрат на прикладі процесу «ремонт інструменту та технологічного оснащення». Підрахувавши значення, отримали, що на сьомий місяць виникнуть витрати на суму 60219,94 грн.

Застосування запропонованого алгоритму дає можливість вберегти ремонтне господарство машинобудівного підприємства від неефективних витрат чи вкладень за умов обмежених ресурсів.

Частина результатів також отримано в рамках проекту «Виконання завдань перспективного плану розвитку наукового напрямку «Технічні науки» СумДУ», що фінансується Міністерством освіти і науки України (№ держ. 0121U112684).

Список літератури

1. Литвак, И.Г. Экспертные оценки и принятие решений [Текст] / И.Г. Литвак. - М.: - Патент, 2006. - 218с.
2. Герасимов, Б.И. Управление качеством: учебное пособие [Текст] / Б.И. Герасимов, Н.В. Злобина, С.П. Спиридонов. – М.: КНОРУС, 2005.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ АЕРОДИНАМІЧНИХ ХВОСТОВИКІВ ДЛЯ ЗАСТОСУВАННЯ БОЄПРИПАСУ ТИПУ «ВОГ» НА ДИСТАНЦІЙНО КЕРОВАНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ

*Проданчук О. О., аспірант, Національний університет
«Львівська політехніка», м. Львів*

ВОГ – це осколковий боєприпас, який має декілька різновидів у різних калібрах. Початково даний постріл призначався для стрільби з гранатомета. Класичне застосування є актуальним і досі, але має ряд обмежень, які не дозволяють на повну реалізувати його бойовий потенціал. З початком російського вторгнення у 2014 році бійці Збройних сил України та добровольчих формувань почали активно застосовувати дистанційно керовані літальні апарати, дрони, для розвідки та враження живої сили противника методом скидання саморобних боєприпасів. Після початку повномасштабного вторгнення, описані способи ведення бою вийшли на технологічно новий рівень. Боєприпаси для скидання з дронів почали обладнувати аеродинамічними хвостовиками Рис.1., завдяки яким значно зросла ймовірність успішної детонації снаряду та точність влучання.



Рисунок 1 – Аеродинамічний хвостовик-стабілізатор

Основним методом виготовлення аеродинамічних хвостовиків на даний момент є 3D Друк пластику. Дана технологія дозволяє отримувати пластикові хвостовики різних конфігурацій та розмірів. Виготовлення на 3D принтері має наступні кроки:

1. Створення цифрової 3D моделі виробу з допомогою спеціального програмного забезпечення для моделювання;
2. Підбір матеріалу та встановлення відповідних параметрів, температури та швидкості друку;
3. Доопрацювання виробу після завершення друку, знежирення, видалення допоміжних конструктивних елементів, шліфування.

Увесь описаний процес виготовлення є надзвичайно малопродуктивним та потребує значного часу. У сучасних дорогавартісних моделях 3D принтерів час друку хвостовика-стабілізатора середніх розмірів займає близько трьох годин, тоді як у звичайних бюджетних моделях друк може тривати понад вісім годин.

На даний момент виготовлення аеродинамічних хвостовиків-стабілізаторів польоту снаряду типу ВОГ не покриває кількості, необхідної для достатньо інтенсивної роботи операторів дронів на усій лінії фронту. Довгий техпроцес друку на 3D принтерах цілком виправданий в умовах відсутності альтернативних варіантів, та гостра необхідність у збільшенні забезпечення військовослужбовців підштовхує до пошуку альтернативних варіантів виготовлення.

Найбільшу продуктивність, серед обладнання, що здатне виготовляти вироби подібного типу, має термопластавтомат [1]. Це станок для лиття пластику під тиском. Принцип роботи термопластавтомата суттєво відрізняється від роботи 3D принтера.

Лиття пластикової продукції під тиском є дуже високопродуктивним, хоч і технологічно складним й дорогавартісним процесом, та навіть найпростіше обладнання здатне в рази перевершити продуктивність найкращих 3D принтерів. За умови виготовлення двомісної прес-форми, що означає наявність у ній двох порожнин у формі необхідного виробу, продуктивність виробництва може становити понад 200 штук за годину. Дана продуктивність не є граничною. При використанні високошвидкісних термопластавтоматів та прес-форм з більшою кількістю місць продуктивність можна збільшувати ще суттєвіше. Перепоною для впровадження такого виробництва є ціна виготовлення прес-форми, яка сягає понад 400 000,00 гривень для двомісної прес-форми. Значна вартість виготовлення обумовлена технологічною складністю, потребою застосування високоякісних матеріалів, сучасного обладнання та інструменту. Рішення проблем оптимізації виготовлення прес-форм є окремою важливою темою, до прикладу, у нагоді може стати імітаційне моделювання, з допомогою якого можна підібрати оптимальні режими обробки металу[2], знизивши фінансові витрати та час виготовлення.

Окрім продуктивності, лиття на термопластавтоматі забезпечує значно вищу якість кінцевого виробу при нижчій собівартості. Лиття під тиском гарантує однорідну структуру виробу, дозволяє використовувати значно ширший спектр матеріалів. Таким чином, отриманий шляхом лиття під тиском, хвостовик-стабілізатор буде виготовлятися у значно більшій кількості, матиме меншу собівартість, вищу якість поверхні і більшу пружність та міцність.

Список літератури

1. Osswald, E. Schmachtenberg and E. Baur, "International Plastics Handbook", Hanser Verlag, (2006). ISBN 978-1569903995
2. Stupnytskyu, V., Prodanchuk, O., Stupnytska, N. (2022). Simulation Studies of High-Speed Machining. In: Ivanov, V., Trojanowska, J., Pavlenko, I., Rauch, E., Peraković, D. (eds) *Advances in Design, Simulation and Manufacturing V. DSMIE 2022. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham, pp. 332–344.

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ СТАТИСТИЧНИХ МЕТОДІВ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ

*Льєвошкіна Н. В., аспірантка, Денисенко Ю. О., ст. викладач,
Сумський державний університет, м. Суми*

У попередній роботі була наведена класифікація, але недостатньо розкрита. Тому метою дослідження є вивчення особливостей, переваг та недоліків запропонованої класифікації щодо їх застосування для конкретних параметрів технологічної системи.

На сьогоднішній день в практиці статистичні методи можна поділити на наступні категорії [1]:

– методи високого рівня складності: використовуються розробниками систем управління підприємством або процесами. До них відносяться методи кластерного аналізу, адаптивні робастні статистики та ін.;

– спеціальні методи: використовуються при розробці операцій технічного контролю, планування промислових експериментів, розрахунки на точність і надійність і т. д.;

– методи загального призначення, у розробку яких великий внесок внесли японські фахівці. До них відносяться «Сім простих методів» (або «Сім інструментів якості»), що включають в себе контрольні листки; метод розшарування; графіки; діаграми Парето; діаграми Ісікави; гістограми; контрольні карти.

Таблиця 1 – Недоліки та переваги методів

Назва методу	Переваги	Недоліки
1	2	3
Кластерний аналіз	Дозволяє робити розбивку об'єктів не за одним параметром, а відразу за цілим набором ознак.	Чутливий до викидів, які можуть викривити середнє значення, та той факт, що кількість кластерів (що і являє тут собою k) має бути визначена спеціалістом заздалегідь.
Адаптивні робастні статистики	Простий у використанні	Погано обґрунтований, потребує багато ітерацій
Контрольні карти	Проста для побудови і бажана, якщо інші фактори обмежують розмір вибірки	Важко знайти субгрупову похибку
Метод екстраполяції	Простота, точність	Велика кількість умов для застосування

Продовження таблиці 1.

1	2	3
Метод розшарування	Це дозволяє використовувати різні методи оцінки, включаючи взаємозв'язок між різними шарами	Це дорожче і в часі, і в роботі
Діаграма Парето	Допомагає виявити і визначити першопричини дефектів або проблем	При побудові складної, не завжди чітко структурованої діаграми, можливі неправильні висновки
Діаграма Ісікави	Дає можливість провести змістовний аналіз ланцюжка взаємозалежних причин, що впливають на проблему	Складність правильного визначення взаємозв'язку досліджуваної проблеми й причин у випадку, якщо досліджувана проблема є комплексною, тобто є складовою частиною більше складної проблеми
Гістограма	Це дуже простий тип діаграми для створення. Крім того, це дуже корисно для передачі інформації	За допомогою цієї діаграми ми не можемо представити неперервну зміну. У цьому сенсі нам довелося б шукати інший тип графіка, такий як лінійний графік
Контрольні листки	Простота і доступність, це ефективний інструмент для збору та упорядкування первинних даних	Людський фактор - можливість помилки при зборі даних

Наведений аналіз дозволяє пришвидшити прийняття рішень щодо вибору методу дослідження параметрів технологічної системи.

Список літератури:

1. Клименко Г. П. Якість і надійність технологічних систем / Г. П. Клименко, Я. В. Васильченко, М. В. Шаповалов. – Краматорськ : ДДМА, 2018. – 200 с.

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

СУЧАСНІ МАТЕРІАЛИ В МАШИНОБУДУВАННІ

Берега О. М., професор кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін; Клецьков О. М., старший викладач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Машинобудування – це одна з найважливіших індустрій, яка забезпечує потреби сучасного суспільства в транспорті, енергії, виробництві, медицині та інших сферах. Швидкий технологічний прогрес зумовив зростання вимог до матеріалів, що використовуються в машинобудуванні. У цій статті розглянемо деякі з сучасних матеріалів, які знайшли своє застосування в машинобудуванні.

1. Композитні матеріали.

Композитні матеріали складаються з двох або більше компонентів, які мають різну структуру і хімічний склад. Вони можуть бути підсилені вуглецевим волокном, скляним волокном, кевларом, арамідом та іншими матеріалами. Композити мають високу міцність і жорсткість, а також низьку вагу, що робить їх ідеальними для використання в авіації, космічній техніці, автомобільній промисловості та інших галузях [1].

2. Титан

Титан – це метал, який має низьку щільність і високу міцність. Він відноситься до легких металів і має властивості, що зробили його важливим матеріалом в аерокосмічній техніці, авіації та автомобільній промисловості. Титан має високу корозійну стійкість і може працювати при високих температурах.

3. Наноматеріали

Наноматеріали – це матеріали, розміри яких менші за 100 нм. Вони мають унікальні фізичні та хімічні властивості, які роблять їх корисними в багатьох галузях, включаючи машинобудування. Наприклад, нанокристали можуть бути використані для покращення властивостей металів, збільшення міцності та жорсткості композитів, покращення електропровідності та термічної стійкості. Також наноматеріали можуть бути використані для створення нових видів матеріалів зі зменшеною вагою та підвищеною міцністю [1].

4. Кераміка

Кераміка – це матеріал, який має високу міцність та термічну стійкість. Вона широко використовується в машинобудуванні, зокрема для створення турбін та інших деталей, які працюють при високих температурах. Кераміка також використовується для створення композитних матеріалів, які мають високу міцність та жорсткість.

5. Полімерні матеріали

Полімерні матеріали – це матеріали, які мають високу міцність та жорсткість, а також низьку вагу. Вони широко використовуються в машинобудуванні для створення композитів, а також для виробництва

деталей, які працюють при високих температурах та корозійно-активних середовищах. Полімерні матеріали також можуть бути використані для створення еластомерів, які забезпечують гнучкість та пружність.

У сучасному машинобудуванні використовуються різноманітні матеріали, які мають високу міцність, жорсткість та термічну стійкість. Ці матеріали дозволяють створювати більш легкі та міцні машини, що сприяє економії палива та зниженню викидів. Постійний розвиток нових матеріалів і технологій в машинобудуванні дозволяє досягати високих показників ефективності та безпеки у виробництві транспортних засобів.

Одним з найбільш важливих напрямків розвитку нових матеріалів в машинобудуванні є зменшення ваги матеріалів, що використовуються у виробництві транспортних засобів. Це дозволяє зменшити витрати на паливо та знизити викиди в атмосферу. Крім того, нові матеріали повинні мати покращені властивості міцності та жорсткості, що забезпечує безпеку пасажирів та майстерності при керуванні транспортними засобами.

У цілому, сучасні матеріали в машинобудуванні пропонують значні переваги у порівнянні з традиційними матеріалами. Їх використання дозволяє створювати більш легкі, міцні та безпечні транспортні засоби, що забезпечує більш ефективне використання палива та зниження викидів в атмосферу. До того ж, постійний розвиток нових матеріалів та технологій дозволяє машинобудівним компаніям зменшувати витрати на виробництво транспортних засобів та підвищувати їх конкурентоспроможність на ринку.

Список літератури

1. Гарнець В. М. Конструкційне матеріалознавство / В. М. Гарнець, В. М. Коваленко. – К.: Либідь, 2007. – 384 с.

ОСОБЛИВОСТІ ПРОЦЕСІВ ДИСИПАЦІЇ В ЕВТЕКТИЧНИХ РОЗПЛАВАХ НА ПЕРЕДКРИСТАЛІЗАЦІЙНОМУ ЕТАПІ

Берега О. Ю., професор кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Розвиток багатьох сучасних технологій заснований на значному збільшенні швидкості зміни зовнішніх факторів, які впливають на систему. Яскравим прикладом цього може слугувати напрямок, пов'язаний з використанням високошвидкісного підведення та відведення тепла (гартування з рідкого стану, детонаційно-газове напилення, лазерна обробка, газове напилення та ін.), що призводить до нових ефектів у фазових переходах, зумовлених нерівноважністю процесів. У цьому плані все більшого значення набувають металеві сплави евтектичного типу, традиційне використання яких у різних галузях машинобудування можна істотно розширити, маючи на увазі характерну для евтектичних сплавів можливість квазірівноважних, але достатньо стійких станів. Прикладом можуть слугувати отримані в зазначених сплавах метастабільні стани, пов'язані з появою проміжних фаз, мікрокристалічних та аморфних структур. На прояв відзначених та інших явищ великий вплив мають як термодинамічні характеристики систем, так і кінетичні особливості фазових переходів. Аналіз цих параметрів дозволяє не тільки оцінювати можливість та своєрідність ефектів, що виникають, а й описувати їх механізми й закономірності фазових трансформацій.

Відповідно до положень нелінійної нерівноважної термодинаміки в різних нерівноважних відкритих системах існує можливість спонтанного виникнення впорядкованих структур, тобто може відбуватися процес їх самоорганізації з виникненням дисипативних структур. Відповідно до принципів синергетики затвердіння можна розглядати як послідовний перехід самоорганізованого процесу структуроутворення матеріала через точки біфуркації. Саме при проходженні через ці точки відбувається зміна механізму, який контролює процес атомної самоорганізації. У свою чергу механізми перетворень знаходяться в залежності від кінетичних параметрів трансформацій. Щодо розгляду систем з евтектичним перетворенням, яскравим прикладом дисипативних структур за умов значних відхилень від рівноваги може бути виникнення квазіевтектичних колоніальних бікристалічних структур у сплавах неевтектичного складу. За умов, близьких до рівноважних, у двокомпонентній системі одноетапна двофазна кристалізація відбувається тільки в одному сплаві – евтектичному. В усіх інших випадках процес затвердіння тільки починається з однофазної кристалізації і закінчується двофазною. Нерівноважні умови значно впливають на механізми фазових перетворень й можуть подавляти їх певні етапи. Це спричиняє цілу низку специфічних ефектів, поява яких значно ускладнює еволюційний шлях даної системи, починаючи з рідкого стану. Особливості будови рідини на

передкристалізаційному етапі мають особливе значення, тому що фактично в даному випадку розглядається особливість флюктуаційних самоорганізаційних процесів навколо точок біфуркації. Це набуває особливого значення в системах евтектичного типу, які підкорюються принципу мінімального виробництва ентропії. Через мінімальну температуру плавлення евтектики система характеризується мінімальним виробництвом ентропії та мінімальною енергією міжатомного зв'язку при утворенні евтектичної структури в твердому стані. Саме тому розвиток кооперативних процесів в евтектичних сплавах при значних відхиленнях від рівноваги стає можливим з виникненням дисипативних структур як у рідкому стані на передкристалізаційному етапі, так і в процесі евтектичної кристалізації [1]. Моделювання умов для виникнення самоорганізованих структур у розплаві показує, що нерівноважні умови створюються через неоднорідне охолодження розплаву, коли в тонкому приповерхневому шарі виникає різниця температур, тобто переохолодження. При невеликих значеннях переохолодження нижче деякого критичного значення відведення тепла з нижньої частини призводить до того, що нагріта у нижній частині рідина піднімається доверху внаслідок теплопровідності й рідина залишається нерухомою. Але коли ступінь переохолодження перевищує критичне значення в рідині починається конвекція: холодна рідина опускається донизу, в той час як нагріта піднімається вгору. Розподіл цих двох протилежно спрямованих потоків є самоорганізованим, в результаті чого, відповідно до запропонованої моделі, виникає система правильних шестикутних комірок за аналогією з комірками Бенара і тією різницею, що комірки Бенара виникають в неоднорідно нагрітому горизонтальному шарі рідини. Але за основною сутністю ці ефекти аналогічні і є проявом формування самоорганізованих структур.

Запропонована модель виникнення самоорганізованих дисипативних структур у тонкому прошарку розплаву дає можливість внести пояснення щодо утворення комірчаного фронту кристалізації, що було підтверджено експериментальними дослідженнями. Саме періодичність мікрозон із різним ступенем переохолодження та їх правильна шестикутникова будова визначають і форму фронту кристалізації, який так само має комірчану будову.

Таким чином, на відміну від рівноважних умов кристалізаційних процесів, де важливу роль відіграє розподіл концентрацій, тобто концентраційне переохолодження, за нерівноважних умов першорядне значення має розподіл температур, тобто температурне переохолодження, що виникає в тонкому прошарку на межі рідина-кристал.

Список літератури

1. Береза О.Ю., Береза О.В. Особливості процесів кооперації на межі кристал-рідина за нерівноважної кристалізації. / МТОМ, № 2, 2017, С.25-28.

ДЕФОРМАЦІЙНІ ПРОЦЕСИ У ПОВЕРХНЕВИХ СТРУКТУРАХ РІЗАЛЬНИХ ІНСТРУМЕНТІВ

*Білоус Д. О., аспірант; Гончаров О. А., професор, кафедра ПМіМСС
Сумський державний університет, м. Суми*

Одним з ефективних методів подовження строку експлуатації різального інструменту вважається нанесення на його робочі поверхні зносостійких захисних покриттів. Дослідження металообробних процесів показало, що нанесення покриття на поверхню ріжучого інструмента забезпечує підвищення стабільності структури, перешкоджає окисленню, знижує пластичну деформацію ріжучого інструменту, збільшує зносостійкість та опірність втомної ушкоджуваності [1]. Під тиском зовнішніх факторів в процесі експлуатації інструментів у поверхневих шарах формуються відповідні теплові та деформаційні поля, що впливають на трибо технічні характеристики процесу різання (дивись рис. 1).

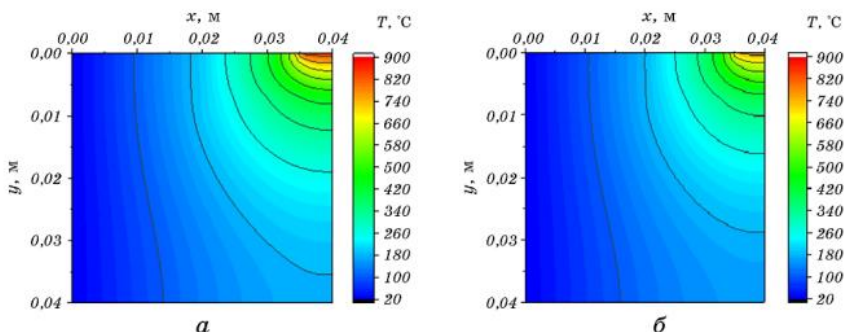


Рисунок 1 – Температурне поле в області різання: різальна пластина без покриття (а); різальна пластина з тришаровим покриттям (б) [1].

За результатами дослідження зроблений висновок про зменшення покриттям теплового навантаження спричиненого тертям в зоні різання, встановлені та проаналізовані відповідні деформаційні характеристики.

Список літератури

1. Goncharov, A. Effect of a Protective Coating on the Temperature Distribution in a Revolving Cutting Tool and the Cutting Tool Lifetime / A. Goncharov, A. Yunda, E. Mironenko, D. Belous, L. Vasilyeva // High Temp. Mater. Proc. – 2018. – Vol. 22, № 4. – P. 279-291.

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КОЛЕСО РОБОЧЕ» ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСА

Бурлака А. Ю., магістрант гр. МТ.м-21/1; Сергієнко В. М., магістрант гр. МТ.м-21/2; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

Робоче колесо відцентрового насоса є важливим елементом його конструкції, основне призначення якого полягає в передачі енергії від валу, що обертається, до рідини. Робоче колесо піддається дії значних сил реакції потоку, дії відцентрових сил та у разі посадки на вал з натягом – дії сил у місці посадки. За конструктивним виконанням робочі колеса насосів бувають закриті з покривним диском, відкриті, колеса двостороннього входу та інші. В нашій роботі буде розглянуто робоче колесо закритого типу з зовнішнім діаметром 710 мм та масою 92,5 кг (рис. 1).

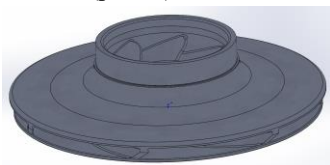


Рисунок 1 – 3D модель деталі «колеса робоче»

Колеса робочі закритого типу виготовляють за допомогою лиття і, найчастіше, це лиття в піщано-глиняні форми або лиття за виплавляємими моделями. В нашому випадку буде використовуватися перший спосіб.

Для проектування вилівка і перевірки вилівка на усадкові раковини спочатку потрібно створити саму 3D модель вилівка. Модель робочого колеса та його вилівка були створені в програмі SolidWorks.

При моделюванні 3D деталі вилівка «колесо робоче», перш за все, потрібно врахувати можливість формування в піщано-глиняну форму моделі вилівка, тобто правильно побудувати модель вилівка з урахуванням уклонів, щоб її можливо було вийняти з форми без її руйнування, та правильної побудови ливникової системи, яка при неправильному розрахунку може зламати частину форми, пошкодити стінки форми через занадто високий напір рідкого металу, або через некоректну ливникову систему в вилівку буде велика кількість шлаку, який потрапить до форми під час заливання металу.

Також при створенні такої моделі потрібно врахувати її можливість формування для лиття. Оскільки колесо робоче має складну форму через присутність лопаток та поле в середині, то для його формування потрібно буде його фіксувати за допомогою спеціальних стрижнів, які заповнять собою всю порожню область в вилівку деталі.

При побудові 3D моделі вилівка також потрібно правильно прорахувати ливникову систему, оскільки її неправильний розрахунок може привести до браку деталі. На рисунку 2 наведено 3D модель спроектованого вилівка колеса робочого в збірному вигляді для лиття, вага якого становить

340 кг. На даному рисунку наведено виливок та ливникова система (сірим кольором), прибилі (помаранчевим кольором), екзотермічна вставка (жовтим кольором) та стрижень (синім кольором).

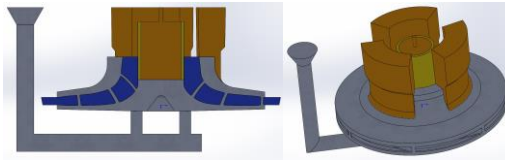


Рисунок 2 – 3D модель виливка колеса робочого в зборі

Після створення 3D моделі виливка треба провести аналіз на утворення усадкових раковин в спеціальних програмних забезпеченнях, таких як MAGMASOFT, NovaFlow&Solid та інші. В нашому випадку аналіз проводиться в програмі MAGMASOFT.

На рисунку 3 показано результати моделювання кристалізації металу на утворення усадкових раковин. Як видно (рис. 3,а), покриваючий диск без раковин, а от в бокових прибилях усадка доходить майже до самого низу прибилі, що є гарним результатом, оскільки ми не витрачаємо зайвого металу на заливку виливка, але в той же час така велика усадка може інколи призвести до більшої кількості браку при руйнуванні піщаної форми.

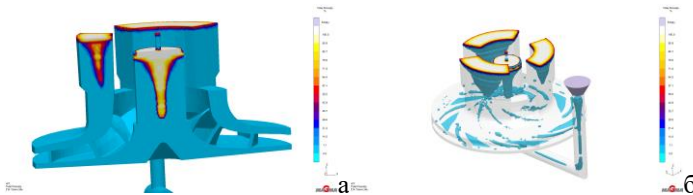


Рисунок 3 - Результати моделювання на усадкові раковини в програмі MAGMASOFT (а) і в програмі MAGMASOFT в режимі X-Ray (б)

Усадка в центральній екзотермічній прибилі також доходить до самого низу, але в даному випадку це не має значення, оскільки в тому місці буде центральний отвір з пазом для посадки колеса на вал, тому навіть якщо б усадкова раковина заходила в зону виливка, то це було б допустимо. На рисунку 3,б показано той же результат, але в режимі X-Ray. Синіми зонами показані усадкові дефекти. На відміну від рисунка 3,а, на рисунку 3,б видно дефекти на лопатках. Але хоч вони там і показано, реальний шанс їх утворення в тих місцях дуже малий, а якщо там все ж таки і з'явиться усадкова раковина, то вона буде в середині деталі, тому виявити їх все одно не буде ніякої можливості, а їх максимальний розмір буде не більше 0,5 мм, тому такі дефекти не є браком. Шкала на рисунку 3 вказує на відсоток утворення та розміри усадкових раковин. Білим позначена область без усадки, а далі за кольором від 0 до 100 позначений відсоток утворення усадки. Чим яскравіший колір, тим більший шанс утворення дефектів.

ЗМІЦНЕННЯ РІЖУЧОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ІНСТРУМЕНТУ ПРИ НАНЕСЕННІ ОКСИДНО-НІТРИДНИХ БАГАТОШАРОВИХ ПОКРИТТІВ

Варакін В. О., аспірант; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

Одним із основних напрямків розвитку металообробної галузі є підвищення продуктивності процесу різання. Для досягнення цієї мети розроблені багатокоординатні, автоматизовані обробні центри, що дозволяють значно знизити час виготовлення деталей. Однак виконання вищезазначеної задачі стримується застосуванням інструменту з низькими експлуатаційними характеристиками. Основним чинником, що впливає на обмеження стійкості інструменту при форсованих режимах експлуатації, є висока температура у зоні різання. Для зниження температури використовують різні технологічні прийоми: застосування мастильно-охолоджуючих рідин (МОР), накладання вібрацій на інструмент, оптимізація геометрії, нанесення зносостійких покриттів, застосування нових інструментальних матеріалів (кераміки, композитів та інше). Кожен із запропонованих методів має поряд з перевагами ряд обмежень, наприклад, за міцністю, за температурою експлуатації, є складним у реалізації. Все різноманіття методів поверхневої зміцнюючої обробки, що використовуються в інструментальному виробництві, можна розділити на 5 основних груп: деформаційний вплив; термічний вплив; поверхневе легування; нанесення покриттів; комбінована обробка [1-2].

Методи, що відносяться до різних груп, мають різний вплив на поверхню і поверхневий шар ріжучого інструменту. Всі розглянуті методи нанесення покриттів здатні підвищити стійкість інструменту в 1,2-3 рази при швидкості різання, що використовується, або дають можливість підвищити швидкість різання на 10-20 %, а також обробляти ширше коло важкооброблюваних матеріалів (жароміцні сталі і сплави, титанові сплави, сплави тугоплавких металів) та на більш інтенсивних режимах різання. Товщина покриттів, що наносяться, зазвичай складає від 2 до 8 мкм, а швидкість їхнього осадження різними методами становить 0,2–1 мкм/хв. [3-4].

Покриття, що наноситься на твердосплавний інструмент, зазвичай складається з одного шару, але все більшого поширення набуває практика використання багатошарових покриттів. У таких покриттях перший шар служить для поліпшення адгезії основного покриття до матеріалу інструменту, а наступний шар дозволяє поліпшити поєднання властивостей матеріалів коефіцієнта термічного розширення, стійкості до механічних і термічних ударів і інше. Очевидна перевага багатошарових покриттів перед одношаровим за зносостійкістю, яка досягається комбінуванням відповідних шарів [4].

До найбільш перспективних напрямків розвитку технологій для зміцнення твердосплавного інструменту відноситься нанесення зносостійких покриттів методами фізичного насичення (PVD-процес) та хімічного насичення (CVD-процес) або їх комбінації. Методи CVD менш чутливі до

якості підготовки матеріалу перед нанесенням на нього покриття, у той час як при методі PVD матеріал повинен піддаватися тривалому багатоступеневому очищенню, інакше не можна гарантувати властивості покриття. В результаті зазначених відмінностей двох методів визначилися їх сфери застосування. Хімічний метод CVD застосовується для нанесення покриття на твердосплавні пластини, що використовуються в першу чергу для токарної обробки. Фізичний метод нанесення покриття PVD застосовується, в основному, для фрезерного, різьбонарізного інструменту, а також інструменту, що використовується при обробці нержавіючих сталей і жароміцних сплавів [1-3].

Методами CVD і PVD наносяться в основному нітридні та карбідні покриття. Але останнім часом найбільша увага приділяється покриттям на основі сполук алюмінію. Розроблені покриття (AlTiN та AlCrN) із вмістом AlN понад 50 %, що дозволяють працювати на підвищених температурах та швидкостях різання [2, 4].

При використанні методу CVD можна наносити тільки метастабільну модифікацію оксиду алюмінію, а зовнішній шар складається з нітриду титану TiN, що працює при відносно низькій температурі. При видаленні шару TiN пористий оксид алюмінію швидко зношується через низьку твердість. Наносити високотемпературні покриття доцільно комбінованими методами, наприклад, шар, що прилягає до твердосплавної основи – методом PVD, що забезпечує хорошу адгезію між покриттям. Верхній шар бажано мати з оксидів, наприклад алюмінію із шарів стабільної і метастабільної модифікацій. Оксид алюмінію в порівнянні з іншими елементами, що застосовуються для покриття, є найбільш дешевим, інертним до оброблюваного матеріалу, екологічно безпечним, може мати α -Al₂O₃ стабільну модифікацію до температури 2044 °C, а також метастабільну γ - Al₂O₃ модифікацію.

Високопродуктивне покриття має витримувати високу температуру і бути інертним до взаємодії з матеріалами, що оброблюються. Саме такі властивості має покриття на основі оксиду алюмінію.

Список літератури

1. K. Czechowski, Effect of nanostructured multilayer coatings on functional properties of tools, *Mechanik*, Vol. 90 (1), pp. 28-33 (2017). DOI: <https://doi.org/10.17814/mechanik.2017.1.27>.
2. A.D. Pogrebnyak, M.A. Lisovenko, A. Turlybekuly, V.V. Buranich, Protective coatings with nanoscale multilayer architecture: Current state and main trends // *Physics-Uspekhi* this link is disabled, Vol. 64(3), pp. 253–279 (2021). doi: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2020.08.038823>.
3. H.-Ch. Möhring, V. Kushner, M. Storchak, Th. Stehle, Temperature calculation in cutting zones // *Manufacturing Technology*, Vol. 67 (1), pp. 61–64 (2018). doi: 10.1016/j.cirp.2018.03.009.
4. Czechowski, K., D. Toboła, I. Wronska. Nanostructured Multilayer Coatings on Cemented Carbide and High Speed Steel Cutting Tools// *Mechanik*, Vol. 92 (3), pp. 174-8 (2019), doi:10.17814/mechanik.2019.3.26.

ПРОГРЕСИВНІ ЗНОСОСТІЙКІ МАТЕРІАЛИ ДЛЯ АГРОПРОМИСЛОВОГО ВИРОБНИЦТВА

*Василенко М. О., зав. відділу; Буслаєв Д. О., старш. наук. співроб.;
Калінін О. Є., старш. наук. співроб.; Кононогов Ю. А., пров. інж.,
відділ НРОСМ, ІМА АПВ НААН, с.м.т. Глеваха*

Основною причиною низького наробітку на відмову деталей технічних засобів для обробки ґрунту і сівби вітчизняного агропромислового виробництва в порівнянні з зарубіжними є недостатня зносостійкість їх робочих поверхонь, що обумовлено недосконалістю існуючих технологій виготовлення та технологічним відставанням вітчизняного сільськогосподарського машинобудування [1].

В Україні та світі розроблена велика кількість зносостійких матеріалів, які доцільно використовувати для зміцнення деталей робочих органів технічних засобів для обробки ґрунту і які можна розподілити на чотири загальні групи (рис.).



Рисунок – Зносостійкі матеріали для зміцнення деталей робочих органів

Зміцнення поверхонь зпеченими металокерамічними сплавами у виді зносостійких змінних елементів із карбиду вольфраму проводять зарубіжні фірми, зокрема, французькі AgriCarb, Agriest і Agrisem International S.A.S., іспанська Velotta, британська Vulkan, а також австрійські та німецькі фірми проводять шляхом напаявання.

Використання таких елементів в деталях робочих органах розпочали також українські фірми – постачальники зарубіжних запасних частин ТОВ «Альфагро», ТОВ «Франк Лемекс», ТОВ «ТВК Рамос» та ін.

Суттєва вартість вольфраму змушує виробників створювати безвольфрамові матеріали з включенням до них нікелю та молібдену, що поряд зі зниженням вартості змінних елементів веде також до деякого зниження показників зносостійкості.

Мінералокерамічні сплави (біла оксидна кераміка, чорна оксидно-карбідна кераміка та оксидно-нітридна кераміка) мають більшу твердість, ніж металокерамічні сплави, але їм властива підвищена крихкість.

Для матеріалу змінних зносостійких пластин можуть також застосовуватись композитні (ельбори) та литі сплави (стеліти).

Зміцнення поверхонь литими сплавами проводять індукційним та електродуговим наплавленням або дифузійним наморозуванням при зануренні нагрітої флюсованої деталі в розплав сплавів з витримкою 1-2 с та утворенням шару зносостійкого матеріалу товщиною 2-3 мм і твердістю 52-55 HRC. Флюсування нагрітої до 850-950 °С деталі проводять в флюсах на основі бури, борного ангідрида та флюсу АН-348А [2].

Реалізація даної технології вимагає високої кваліфікації робітників, дороговартісного обладнання, не забезпечує достатньої твердості.

Зміцнення поверхонь з використанням паст можна проводити при вібродуговому наплавленні чи за схемою прямої або непрямої дуги з використанням графітового електроду. Горіння дуги супроводжується нагрівом електроду і випаровуванням його матеріалу, який дифундує в поверхню. При цьому розплавляється нанесена на деталь паста. Хімічні компоненти паст дисоціюють на активні елементи: *B, N, C, Al*, які також дифундують в поверхневий шар деталі на глибину до 2 мм. Внаслідок термодифузійного процесу поверхня насичується зміцнюючими елементами з утворенням металокерамічної структури твердістю HRC 65-68 [2].

Із-за складності процесу він не набув широкого застосування.

Порошкові тверді сплави ПГ-ФБХ-6-2 та ПР-ФБЮ-1-4 на різальні поверхні наплавляють плазмовим методом у середовищі повітря або аргону. В результаті на поверхні, що зміцнюється, утворюються покриття, які мають міцне зчеплення з основою та високу зносостійкість [2].

Відсутність публікацій про широке використання описаного методу змінення свідчать про неперспективність його застосування.

Зміцнення поверхонь електродами та дротами для наплавлення проводять ручним дуговим наплавленням, що характеризується простотою і доступністю обладнання та методу, але водночас малою продуктивністю наплавлення шару, або напівавтоматичним чи автоматичним наплавленням, що характеризуються універсальністю та значною продуктивністю.

Список літератури

1. Гриник І.В., Адамчук В.В., Калетнік Г.М., Булгаков В.М. Стан проектування і виготовлення в Україні сільськогосподарських машин сучасного технічного рівня. *Механізація та електрифікація сільського господарства*. Вип. 99. Т. 1. Глеваха, 2014. С. 34–39.

2. Денисенко М.І., Рубльов В.І. Технологічні методи для забезпечення довговічності робочих органів і надійності сільськогосподарських машин. *Конструювання, виробництво та експлуатація сільськогосподарських машин*. Вип. 42. Част. 2. Кіровоград, 2010. С. 92–102.

ВИБІР ТЕХНОЛОГІЇ ТЕРМІЧНОГО ОБРОБЛЕННЯ ДЕТАЛІ «КОЛЕСО РОБОЧЕ» НАСОСУ

Голуб Н. Р., магістрантка гр. МТ.м-21; Гончаров Б. С., магістрант гр. МТ.м-21, СумДУ, м. Суми

У дослідженні конструкції та умов експлуатації насосу встановлено, що основне напруження в корпусі колеса викликається відцентровою силою, яка може спричинити кавітацію та вихід з ладу крильчатки. Робоче колесо є найважливішою частиною насоса, тому матеріал його виготовлення повинен відповідати вимогам за надійністю та довговічністю. Для виготовлення робочих коліс відцентрових насосів найчастіше використовуються аустенітні сталі або інші матеріали, що відповідають вимогам умов експлуатації.

Нержавіюча сталь 12Х18Н10Т є аустенітною сталлю з додаванням титану, що зменшує схильність сталі до міжкристалічної корозії, містить хром та нікель, які покращують її корозійну, кавітаційну стійкість, жаростійкість і жароміцність. Для вивчення властивостей сталі використовуються методи макро- та мікроаналізів, визначення твердості та струменевоударні випробування.

Пропонована технологія отримання виробу включає такі етапи як металургійне отримання сталі, отримання виливки, чорнова та чистова механічні обробки з попередньою і остаточною термічною обробкою. Робоче колесо насосу було виготовлено методом лиття по моделям, що виплавляються. Після охолодження виливки піддаються відпалюванню та чорновій механічній обробці, а потім проходить остаточну термічну обробку та чистову механічну обробку. Мета механічної обробки – позбавлення від окалини, корегування розмірів деталі та надання естетичного вигляду. Мета термічної обробки – формування необхідної структури і фізико-механічних властивостей.

Термічна обробка металу є необхідною для зміни структури та властивостей металу з метою підготовки металу до оброблення, отримання однорідної дрібнозернистої структури, усунення наклепу і зниження внутрішніх напружень, поліпшення комплексних механічних властивостей, а також для покращення корозійної стійкості, пластичності та в'язкості сталі. Для проведення термічної обробки металу використовують спеціальні печі з різними характеристиками, залежно від типу обробки.

В даній роботі запропоновано виготовлення робочого колеса відцентрового насоса з нержавіючої титано-вмісної сталі аустенітного класу 12Х18Н10Т з проведенням попередньої та остаточної термічної обробки – аустенізації для досягнення необхідних механічних властивостей, з метою підвищення міцності, корозійної та кавітаційної стійкості деталі.

Робота виконана під керівництвом Гапонової О. П.

РОЗРОБКА МЕТОДОЛОГІЇ МОДУЛЬНОГО СТРУКТУРНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОМПОЗИТНИХ ЛОПАТЕЙ НЕСУЧОГО ГВИНТА ВЕРТОЛЬОТУ

Грибанова С. А., викладач, КЛК ХНУВС м. Кременчук

Проектування та виготовлення лопатей гвинтів вертольоту складний процес, який охоплює задачі матеріалознавства, опору матеріалів аеродинаміки тощо. На глобальному рівні аеропружна поведінка лопатей ротора оптимізована таким чином, щоб рівні шуму і вібрацій знижувалися, також лопати повинні мати достатній термін служби втоми та безпечні рівні напруги під час екстремальних умов польоту.

Сучасні композитні матеріали використовуються в лопатях ротора головним чином через їх високе співвідношення міцності до ваги. Іншим, більш перспективним аспектом композитів є їхня анізотропія, яка дає значну свободу застосовувати властивості жорсткості конструкцій. В даний час у конструкціях лопатей ротора використовується унікальне еластичне поєднання композитів для покращення аеропружних властивостей, зменшення вібраційних навантажень і подовження ресурсу експлуатації.

Попри те, що композити мають багато переваг, одна з ключових проблем полягає в тому, як ефективно і точно моделювати композитні лопаті. На щастя, в останні десятиліття нелінійна теорія анізотропного пучка досягла значного прогресу. VABS (варіаційний асимптотичний пучок), інструмент аналізу композитного пучка, став більш досконалим. Точність і ефективність VABS доведено застосуванням в академічних колах і промисловості. Іншим великим завданням є аналіз композитної втоми та часу передбачення. Проведено широкі дослідження різних аспектів від теоретичних моделей до експериментальних методів.

Крім завдань аналізу та проектування, виробники композитних конструкцій виявляють різні унікальні дефекти, такі як хвилястість шарів у ламінованих матеріалах, що призводить до мінливості секційних властивостей. Щоб компенсувати загрозу невизначеності, фактор безпеки встановлюється в процесі проектування. Проблема з фактором безпеки полягає в тому, що він не може визначити наскільки буде безпечним за певних умов навантаження. Структурні властивості лопаті підбираються за допомогою автоматизованих методів оптимізації для зменшення вібрації та напруги/деформації лопаті ротора. Аналіз втоми інтегровано в динамічний аналіз на основі кінцевих елементів та оптимізації конструкції лопаті ротора.

Список літератури

1. The material properties of commercial pure titanium,” 2018. – Режим доступу http://www.ife.no/media/446_FactsTiAlloy.pdf

ПОВЕРХНЕВА ОБРОБКА СПЛАВІВ НА ОСНОВІ АЛЮМІНІЮ

Зінченко І. Д., аспірант, СумДУ, м. Суми

Метою поверхневої обробки металів і сплавів є, підвищення їх стійкості проти впливу зовнішніх агресивних середовищ при нормальній і підвищеній температурах.

У сучасному світі досить широкого застосування набули алюмінієві сплави, які використовуються в різних галузях промисловості. Однак, алюміній і його сплави мають ряд недоліків: низький модуль пружності, невисока зносостійкість, недостатня корозійна стійкість при високих температурах і механічній напрузі. Для усунення цих недоліків застосовують методи модифікації поверхні, які формують на поверхні сплавів захисний шар.

На сьогодні, з багатьох методів поверхневого зміцнення по ряду параметрів найефективнішим є електроіскрове легування, яке дозволяє отримувати на поверхні алюмінієвих деталей покриття з різних матеріалів досить простим способом, як в технологічному відношенні, так і в апаратній оформленні, що є його великою перевагою [1].

Процес електроіскрового легування заснований на переважному руйнуванні (ерозії) матеріалу анода при іскровому розряді. Основні закономірності та явища, що визначають процеси ЕІЛ, залежать від матеріалу легувального електрода й режимів обробки. Іншими істотними перевагами електроіскрового легування є: висока адгезія покриття з основою, можливість локальної обробки поверхні, відсутність необхідності в попередній підготовці поверхні і екологічність процесу. Висока адгезія покриття, отриманого методом електроіскрового легування, до підкладки пояснюється тим, що електроіскрове легування – процес дифузійний, тобто атоми покриття дифундують в підкладку і відрив покриття від підкладки практично неможливий [2-4].

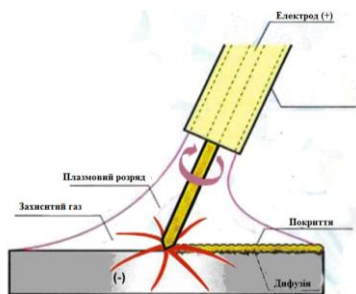


Рисунок 1 – Схема нанесення електрода на поверхню металу [2]

Перевагами електроіскрового легування є: висока адгезія покриття з основою, можливість локальної обробки поверхні, відсутність необхідності в попередній підготовці поверхні і екологічність процесу. Висока адгезія покриття, отриманого методом електроіскрового легування, до підкладки пояснюється тим, що електроіскрове легування – процес дифузійний, тобто

атоми покриття дифундують в підкладку і відрив покриття від підкладки практично неможливий [1, 3, 5].

Питання отримання зносостійкого покриття на алюмінієвих сплавах за допомогою електроіскрового легування є виключно важливим, так як дозволяє відкрити нові можливості для застосування цих сплавів у вузлах тертя з використанням покриття отриманого методом електроіскрового легування і розширити сферу їх застосування в машинобудуванні.

У набагато меншому ступені досліджено процес отримання нанопокриттів і наноструктурування поверхні алюмінієвих сплавів, зокрема, алюмінієво-мідних сплавів типу дюралюміна, які широко застосовуються в промисловості [6, 7]. В основному ведуться дослідження властивостей поверхневих шарів алюмінієвих сплавів при введенні в них нанопорошків способом електроіскрового легування [6]. При електроіскровому легуванні поверхні литих деталей з алюмінієво – кремнієвих сплавів (АК12, АК9) із застосуванням в електродах ультрадисперсних порошків отримані позитивні результати: твердість поверхні збільшилася в два рази, а її зносостійкість – у три рази. Однак при цьому слід враховувати значне подорожчання технології, так як сам процес отримання ультрадисперсних порошків з тугоплавких сполук є досить трудомістким і дорогим.

Список літератури

1. Проблеми безпечної експлуатації компресорного та насосного обладнання в сучасній промисловості : колективна монографія / В.С. Марцинковський та ін. ; за ред. В. Б. Тарельника, Є.В. Коноплянченка. Суми : ФОП Литовченко Є. Б., 2020. 410 с.

2. Антонюк В.С., Дигам М.С. Новое в формировании упрочняющих покрытий фрикционных поверхностей // Сучасне машинобудування. – 1999. – № 1. – С. 105–110.

3. Николенко С.В. Наноструктурирование поверхности стали 35 электроискровой обработкой новыми электродными материалами на основе карбида вольфрама с добавкой Al_2O_3 / С.В. Николенко // Вестник машиностроения. – №6. – 2011. – С.47-51.].

4. В.Ф. Лабунець, О.А. Городиський. Аналіз особливостей змін у структурі сплаву АЛ25 після електроіскрового легування перехідними металами. Національний авіаційний університет, 2009.

5. Гапонова О.П. Структурно-фазовий стан жаростійких покриттів, отриманих методом електроіскрового легування Компрессорное и энергетическое машиностроение. 2019. № 2 (55). С. 2–6.

6. Левашов Е.А., Кудряшов А.Е., Малочкин О.В. О влиянии нанокристаллических порошков на процесс формирования, структуру и свойства электроискровых покрытий на основе титанохромового карбида. // Известия ВУЗов. Цветная металлургия. – 2001. - №3. – С.44-51

7. Формирование наноструктурированных алюминиевых плёнок / А.С. Письменная [и др]. Труды БГТУ. - 2016. - № 3. - С. 111 – 114.

Робота виконана під керівництвом Гапонової О. П.

МЕТОДИ МОДИФІКУВАННЯ ТЕРМОПЛАСТІВ ВУГЛЕЦЕВИМИ НАНОТРУБКАМИ

*Марченко С. В., доцент, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, Суми;
Марченко К. С., аспірантка, гр. А-25/МТ, кафедра ПМ і ТКМ,
СумДУ, м. Суми*

Термопластичні полімери користуються попитом, зокрема в машинобудуванні завдяки універсальності та можливості вторинної переробки. Отримують термопласти шляхом сполучення мономерів, утворюючи ланцюги та розгалуження. При переробці вхідний гранульований напівфабрикат доводять до температури в'язкотекучого стану та вприскують до форми під тиском, де пластик набуває форми та стає твердим. Часто застосовують термопласти як матеріал для тривимірного друку, переробляючи гранули на струни та плавлячи їх у принтерах.

Частіше застосовують такі види термопластичних полімерів: поліетилен (ПЕ), поліпропілен (ПП), полівінілхлорид (ПВХ), полістирол (ПС), поліамід (капрон) тощо. Створюються також суміші полімерів та сополімери для досягнення високих характеристик.

Окремим напрямком покращення комплексу механічних властивостей термопластів є армування скло-, вуглеволокном - як рубаним так і суцільним. Разом з цим армовані термопласти вимагають спеціального обладнання при переробці, що часто робить їх використання необґрунтовано дорогим.

Перспективним є застосування нанотрубок як армувальної/модифікувальної фази в пластиках, що дозволяє, не змінюючи обладнання для переробки, отримувати вироби підвищеної міцності, вільними від накопичення статичного заряду тощо.

Запорукою високих показників пластику при наноармуванні є оптимальна кількість та відмінна дисперсність нанооб'єктів в матриці пластику. Для реалізації таких вимог використовують метод диспергування в розчині з відповідним розчинником, який після цього випаровують. [1]

Вибір технологічного розчинника для термопластичних полімерів є вирішеним для обмеженої номенклатури пластиків: так, для ПЕ найпоширенішими розчинниками є бензол (C_6H_6), ксилол (C_8H_{10}), циклогексан (C_6H_{12}) (за t 80°C). Вплив бензолу на нанотрубки (OCSiAL) досліджено в роботі [2].

ПП розчиняється у бензолі (C_6H_6), толуолі ($C_6H_5CH_3$) за t 100°C. ПВХ обмежено розчинний у бензолі (C_6H_6), ацетоні (C_3H_6O). За t 110°C-120°C та вище розчиняється у циклогексаноні ($C_6H_{10}O$), тетрагідрофурані (ТГФ) (C_4H_8O), диметилформаміді (ДМФА) (C_3H_7NO), дихлоретані ($C_2H_4Cl_2$). ПС розчиняється в сірководні (H_2S), піридині (C_5H_5N), ацетоні (C_3H_6O), толуолі ($C_6H_5CH_3$), дихлоретані ($C_2H_4Cl_2$), хлороформі ($CHCl_3$), чотирьоххлористому вуглеці (CCl_4), складних ефірах, важче розчиняється в бензині.

Поліамід (капрон) важкорозчинний термопласт, розчиняється лише в сірчаній кислоті (H_2SO_4) і фторованих спиртах [3].

Один зі способів отримання композита «полімер-нанотрубки» на підложці полягає в розчиненні композита в першому розчиннику за $t\ 90^\circ C$ (для полімера), обробка ультразвуком в другому розчиннику (для НТ), перемішування розчиненого полімера та розчину НТ за допомогою ультразвуку (підвищення дисперсності НТ) та з використанням магнітного поля протягом певного часу для розподілення НТ по матриці. Завдяки магнітному полю вдається сформувати НТ в одному паралельному напрямку, що в деяких випадках впливає на міцність композита. Однак, існує недолік – видалення розчинника.

Для диспергування в розплаві використовують двошнекові екструдери, які за рахунок зсувних сил розпорошують агломерати нанотрубок.

Проведений аналіз показав, що у випадку існування технологічного розчинника для даного полімеру (наприклад, полістиролу, полівінілхлориду, полікарбонату тощо) існує можливість досягти якісного диспергування нанотрубок в розчині з подальшим випаровуванням, хоча це супроводжується багатостадійністю і складністю процесу. Диспергування в розплаві малопродуктивне для створення якісної дисерсії, але у випадку ПЕ, ПП це, вочевидь, найдоступніша технологія.

Існує невирішена проблема, яка полягає у відсутності ефективної технології введення і рівномірного розосередження нанотрубок в термопластах, особливо, за відсутності ефективного і недорогого розчинника. Розв'язання цієї задачі дозволить отримати пластикові вироби з високими експлуатаційними показниками при використанні типових термопластів, до того ж при незмінній технології, а лише доповнивши етапом диспергування загальний процес переробки.

Список літератури

1. Díez-Pascual, Ana M. “Multiscale fiber-reinforced thermoplastic composites incorporating carbon nanotubes: A review.” *Current opinion in solid state and materials science* 18.2 (2014): 62-80.
2. Russo, Pietro. “Tensile properties, thermal and morphological analysis of thermoplastic polyurethane films reinforced with multiwalled carbon nanotubes.” *European Polymer Journal* 49.10 (2013): 3155-3164.
3. Hemmati, M., et al. “Study on morphology, rheology and mechanical properties of thermoplastic elastomer polyolefin (TPO)/carbon nanotube nanocomposites with reference to the effect of polypropylene-grafted-maleic anhydride (PP-g-MA) as a compatibilizer.” *International Journal of Polymeric Materials* 60.6 (2011): 384-397.

ПІДВИЩЕННЯ ЯКОСТІ ПОВЕРХНІ ТА ДОВГОВІЧНОСТІ ЗА ДОПОМОГОЮ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ

*Охріменко В. О., аспірант, Гапонова О. П., зав. каф. ПМ і ТКМ,
СумДУ, м. Суми*

Електроіскрове легування (ЕІЛ) є ефективним методом покращення якості поверхні деталей із різних матеріалів. Цей метод полягає в обробці поверхні металу високовольними електричними іскрами, що викликає процес розплавлення поверхні і дозволяє додавати до неї інші матеріали, які підвищують її міцність, зносостійкість і корозійну стійкість [1,2].

У сучасному світі, де вимоги до якості та ефективності деталей зростають, електроіскрове легування є надзвичайно важливим методом для покращення якості поверхонь різноманітних матеріалів.

Застосування ЕІЛ дозволяє змінювати хімічний склад поверхні деталей, використовуючи для цього різні матеріали, такі як метали, кераміку, тверді сплави тощо. Зміна складу дозволяє підвищити міцність, зносостійкість і корозійну стійкість деталей [3-5].

Одним з основних переваг ЕІЛ [3] є те, що воно може бути застосовано на практиці для покращення властивостей поверхонь навіть в тих випадках, коли ці поверхні не можуть бути леговані з використанням інших методів, наприклад, за допомогою хіміко-термічної обробки (ХТО) [6].

До того ж, ЕІЛ дозволяє досягнути більш високих значень міцності, зносостійкості і корозійної стійкості, порівняно з іншими методами легування. Це забезпечує можливість використання деталей, оброблених електроіскровим легуванням, в умовах високої навантаженості й агресивного середовища [3].

Застосування електроіскрового легування знайшло своє застосування в різних галузях, таких як авіаційна промисловість, машинобудування, електроніка, а також в промисловості нафтовидобування та газовидобування. У цих галузях ЕІЛ застосовують для покращення властивостей нафтогазової арматури, нафто-водопровідної арматури, нафтогазових насосів та інших обладнань, які працюють в умовах агресивного середовища [1, 3, 5].

Одним з найбільш важливих аспектів ЕІЛ є його відносна ефективність і порівняно низька вартість з іншими методами легування поверхні (ХТО). Цей метод не вимагає високої температури і високого тиску, що робить його більш доступним для виробництва в порівнянні з іншими методами.

Окрім того, ЕІЛ застосовують для відновлення та підвищення якості різних зношених деталей, таких як циліндри, поршні, вали, шестерні та інші механічні деталі, які втратили свою початкову міцність та стійкість до зносу внаслідок довгого використання. ЕІЛ дозволяє відновити їхню форму та розміри, а також підвищити їхню міцність та стійкість до зносу, що дозволяє збільшити термін їхнього експлуатації. Цей процес також може застосовуватися для відновлення геометричних параметрів деталей, що

дозволяє збільшити точність їхнього функціонування та знизити ризик виникнення несправностей [5, 6].

Отже, ЕІЛ є важливим методом для покращення якості поверхонь деталей з різних матеріалів. Цей метод дозволяє змінювати хімічний склад поверхонь, що підвищує їх міцність, зносостійкість і корозійну стійкість. Однією з головних переваг електроіскрового легування є можливість застосування його для забезпечення необхідних властивостей поверхонь, які не можуть бути отримані за допомогою інших методів.

Цей метод застосовують у різних галузях, таких як авіаційна промисловість, машинобудування, електроніка та інші. Застосування електроіскрового легування дозволяє досягати більш високих значень міцності, зносостійкості і корозійної стійкості, що забезпечує можливість використання деталей, оброблених електроіскровим легуванням, в умовах високої навантаженості й агресивного середовища.

Список літератури

1. Афтандіянц Є.Г. Матеріалознавство / Є.Г. Афтандіянц, О.В. Зазимко, К.Г. Лопатько. – К.: Вища освіта, 2012. – 548 с.
2. Анурьев В.И. Справочник конструктора машиностроителя: В 3-х т. – М.: Машиностроение, 2006. – Т. I – 928 с.; Т. 2. – 559 с.; Т. 3. – 557 с.
3. Ющенко К.А. Інженерія поверхні / К.А. Ющенко, Ю.С. Борисов, В.Д. Кузнецов, В.М. Корж. – К: Наукова думка, 2017. – 557с.
4. Radek N., Bartkowiak K. Performance properties of electro-spark deposited carbide-ceramic coatings modified by laser beam // Physics Procedia. – 2010. – Vol. 5; Part A. – P. 417-423.
5. Кіндрачук М.В. Комбінований метод підвищення зносостійкості деталей трибомеханічних систем / М.В. Кіндрачук, О.І. Духота, В.В.Харченко, Н.М. Стебелецька, А. Л. Гловин // Проблеми Тертя та Зношування.– 2022. – №2(95). – С. 46-57.
6. Гапонова О.П. Застосування електроіскрового легування з метою підвищення працездатності трибосистем / О.П. Гапонова, Т.П. Волошко, Я.І. Ковалик, М.А. Марченко // Компресорне та енергетичне машинобудування. – 2018. №2 (52). – С. 2-5.

RESEARCH OF NANOSTRUCTURED COATINGS BASED ON NITRIDES

Pakhnenko D. V., master, Khaniukov K. S., postgraduate Varakin V. O., postgraduate, Hovorun T.P., associate professor of the department of PM and TCM, Sumy State University, Sumy, Ukraine

In recent years, strengthening and protective coatings, in particular highly effective functional nanostructured nitride coatings, have been put into practical use at industrial enterprises. The creation and research of advanced materials for functional coatings, which allow to increase the stability of parts for various purposes and the productivity of the enterprise in general, is an urgent task. An important circumstance that affects the properties of the formed coatings is the nature of the location of the structural elements of the reinforcing coatings, the presence or absence of their orientation.

Table 1 - Generalized data on various types of coatings [1-3]

	(TiAlZrN)	(AlTiZrN)	(Y)
	TiN- coating	TiAlN- coating	AlTiN - AlTiN nano coating
Basis	high-speed steel, hard alloy, cermet	high-speed steel, hard alloy, cermet	high-speed steel, hard alloy, cermet
Structure of layers	multi-layered	nanolayer	multilayer, nanocomposite
Color	pale gold	pale gold	bronze
Hardness (HV 0,05)	3300	3400	3500
Working temperature (°C)	< 800	< 800	< 800
Thermal conductivity (kW,mK)	0,05	0,05	0,03
Type of processing	milling, drilling, thread cutting	drilling, threading	drilling, turning, milling
Processed materials	universal	stainless steels, Ni alloys	universal, cast iron, hardening steels, high-strength steels, composites
Features	better chip removal	reduction of friction	high hardness

TiAlN coating (titanium aluminum nitride). Special coating for processing abrasive materials (cast iron, Al-Si alloys) and/or under temperature loads, as well as processing without lubricating and cooling liquid. Therefore, nitride coatings

containing aluminum have high resistance to oxidation [750 °C for $(\text{Ti}_{75}\text{Al}_{25})_{1-x}\text{N}_x$, 830 °C for $(\text{Ti}_{40}\text{Al}_{60})_{1-x}\text{N}_x$] and maintain high performance at high cutting speeds of hard-to-machine materials. The coating is well suited for cutting titanium and nickel alloys, stainless steel, hardened materials. It was determined that the hardness and strength of the multilayer coating increases with the decrease in the thickness of the individual layers to units of nanometers.

The formation of the TiAlN coating on tool matrices occurred with local features (Fig. 1). The deposition process is characterized by such mechanisms as the formation of blockiness, and, in the general case, the appearance of a morphological hierarchy in the form of a loss of single crystallinity. The results of a local chemical analysis showed that the strengthening coating on the basis of TiAlN, formed by the method of magnetron deposition of titanium and aluminum targets, is uneven in composition.

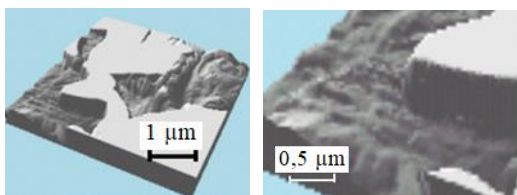


Figure 1 – Local features of TiAlN coating formation

Multilayer coatings containing layers of the complex composition of TiN-TiCN-TiN and TiAlN-CrN allow to reduce not only the temperature and mechanical factors that initiate adhesion, but also increase the resistance of the coating to destruction under the conditions of adhesive processes.

Thus, the increase in performance of cutting tools with multi-layer composite coatings is due to the fact that these coatings meet the requirements of the "third environment", i.e. have in their composition layers that correspond to the properties of the instrumental matrix, layers that provide high resistance to wear under conditions of alternating voltage and algesia-fatigue processes.

List of references

1. Pogrebnjak A. Nanocomposite Multilayer Binary Nitride Coatings Based on Transition and Refractory Metals: Structure and Properties / Pogrebnjak A., Smyrnova K., Bondar O. *Coatings*. 2019. Vol. 9, 155.
2. Zhang Z. Mapping the mechanical properties in nitride coatings at the nanometer scale / Zhanga Z., Chena Z., Holecb D., Liebscherc C., Koutna N., Bartosikd M., Zhenga Y., Dehmc G., Mayrhofer P. // *Acta Materialia*. – 2020. – Vol.194. Pages 343-353.
3. Pogrebnjak, V. Ivashchenko, O. Maksakova, V. Buranich, P. Konarski, V. Bondariev, P. Zukowski, P. Skrynsky, A. Sinelnichenko, I. Shelest, N. Erdybaeva, P. Galaszkiwicz, T.N. Koltunowicz, Comparative measurements and analysis of the mechanical and electrical properties of Ti-Zr-C nanocomposite: Role of stoichiometry, *Measurement*. 176 (2021) 109223.

РОЗРОБКА СУЧАСНОЇ ТЕРМІЧНОЇ ОБРОБКИ ДЕТАЛІ «ГОЛКА ДОЗУЮЧА»

*Піменов О. О., студент гр. МБ-91/1 МТ,
Чумаков Д. С., аспірант гр. А-15МТ, Назаренко І. В. аспірант гр. А-25МТ,
Харченко Н. А., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ*

Дана робота присвячена вдосконаленню технології виготовлення і термічної обробки деталі “дозуюча голка”, яка застосовується в літакобудува

Деталь “дозуюча голка” – це елемент паливної системи, призначений для регулювання подачі палива до двигуна. Вона є однією з ключових деталей в авіаційному та ракетному будівництві, оскільки від точності та надійності її роботи залежить безпека польотів та економія палива [1]. У якості основного матеріалу для виготовлення деталі «голка дозуюча» використовується високолегована неіржавіюча сталь 14X17H2. Основним легуючим елементом сталі є хром. Підраховано, що дана сталь відноситься до перехідного класу аустеніт-мартенсит-ферит. Одночас треба зазначити, що частка фериту в структурі становить 7,22%. Неіржавіючі сталі мають високу корозійну стійкість, але вони також мають певні недоліки, такі як низька міцність та жорсткість [2]. Термічна обробка дозволяє підвищити міцність та жорсткість нержавіючих сталей, покращити їх стійкість до міжкристалітної корозії та зносу, що робить їх більш ефективним та довговічним матеріалом. Застосування термічної обробки є особливо актуальним для нержавіючих сталей [3].

В даній роботі запропоновано реалізувати комплексний метод термічної та хіміко-термічної обробки, що включає попередню термічну обробку для підготовки основи: відпал при температурі 800°C 10-20 годин, гартування при 1020-1050°C 30 хвилин та відпуск при 600°C 5 годин. На першому етапі хіміко-термічної обробки реалізовували рідинне азотування. Азотування проводили в розчині солі KCN при температурі 550 впродовж 2 годин. Основною операцією даної роботи є цементація. Пропонуємо реалізувати даний етап за сучасною технологією в вакуумі, в середовищі метану при температурі 1050 під тиском 15-35 кПа, впродовж 30 хвилин. Після цементації обов'язковим етапом обробки була остаточна термічна обробка, яка складалась з гартування при 1000°C продовж 30 хвилин та низький відпуск при 200°C.

Визначена твердості після відпалу – 255 НВ, після повної попередньої термічної обробки 27,5-28 HRC. Після азотування та цементації визначена твердість поверхневого шару. Твердість після азотування у різних шарах має такі значення: Fe₂₋₃N – 6-8 ГПа, Fe₄N – 12-14 ГПа. Значення твердості карбонітридного шару після цементації 17-19 ГПа.

Отриманні результати говорять про перспективність використання неіржавіючої сталі 14X17H2 в якості матеріалу заготовки і впровадження даної технології термічної обробки деталі «голка дозуюча».

Список літератури

1. В.О. Богуслаєв, О.Я. Качан, А.І. Долматов та ін. Технологія виробництва авіаційних двигунів: підручник для студентів вищ. навч. закладів. Ч. 4. Складання авіаційних двигунів / ред. В.О. Богуслаєва. – Запоріжжя: Мотор Січ, 2013. – 328 с.- Дар ВАТ "Мотор Січ".
2. Л.Ф. Руденко Леговані сталі та сплави: навч. посібн. / Л.Ф. Руденко, Т.П. Говорун – Суми: СумДУ. 2012, 171 с.
3. О.А. Кузін, Р.А. Яцюк. Металознавство та термічна обробка металів / Підручник. Львів: Афіша. – 2002, 300 с.

ХАРАКТЕР РУХУ МЕЖФАЗНИХ ГРАНИЦЬ ПРИ НЕІЗОТЕРМІЧНИХ УМОВАХ ФОРМУВАННЯ ДИФУЗІЙНОГО ЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА МЕТАЛАХ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЕНЕРГІЙ АКТИВАЦІЇ ДИФУЗІЇ

Нестеренко О. І., професор кафедри енергетики, доктор фізико-математичних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро; Сахно В. М., доцент кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, кандидат фізико-математичних наук, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро; Нестеренко М. Г., доцент кафедри програмного забезпечення інформаційно-виміральної техніки, кандидат фізико-математичних наук, Український державний хіміко-технологічний університет, м. Дніпро

Еволюція структури та фазового складу дифузійних захисних шарів, у більшості випадків, визначається дифузійним перенесенням компонентів, що входять до складу цих шарів. Вивченню кінетики дифузійних процесів, дослідженню структури та фазового складу багатофазних дифузійних систем присвячено низку робіт радянських та зарубіжних вчених: Гурова К.П., Щербединського Г.В., Мокрова А.П., Лобова Б.Я., Ларікова Л. Н., Райченко А.І., Хусіда Б.М., Бокштейна С.З., Ісакова М.Г., Криштала М.А., Зайта Би., Даркена Л.С. та ін.

Однак, дифузія в багатофазних системах, що протікає в неізотермічних умовах при впливі на поверхню металу локальних концентрованих джерел енергії, вивчена як в експериментальному, так і в теоретичному плані недостатньо глибоко [1]. Це пов'язано насамперед зі складністю механізму неізотермічного насичення та його експериментального відстеження. Дифузія в неізотермічних умовах протікає на тлі таких процесів, як подрібнення зеренної структури, зміна щільності дефектів кристалічної ґратки, виникнення значних напружень і градієнтів температур. Тому проблема моделювання поведінки дифузійної системи в неізотермічних умовах, кількісний опис еволюції міжфазних границь та концентраційного поля на кожній стадії неізотермічної обробки є актуальною.

Характер руху межфазної границі на ділянці неізотермічного нагрівання чи охолодження має складний вид. Закон руху міжфазного кордону значною мірою відрізняється від класичного параболічного зростання фаз. А, як було показано нами в роботах [2, 3], при термоциклічній обробці цей рух носить зворотно-поступальний (коливальний) характер.

Дифузія в бінарній системі, при неізотермічному режимі нанесення захисного покриття, описується системою диференціальних рівнянь другого порядку в приватних похідних на основі другого закону Фіка. Слід враховувати ще експоненціальну (Ареніусівську) залежність коефіцієнта дифузії від температури. Крім того, систему рівнянь необхідно доповнити граничними умовами на зовнішній поверхні і рівнянням балансу маси на внутрішній рухомій границі розділу фаз.

Розв'язання цієї задачі проводилося чисельно, з використанням розробленого авторами методу «допоміжної сітки» [4, 5], адаптованим для умов неізотермічної дифузії.

На рис.1 наведено результати розрахунку модельної задачі для двохфазної системи з урахуванням різних значень співвідношення енергій активації дифузії в фазах покриття, що зростають, і характеру неізотермічного нагріву (або охолодження) металу основи.

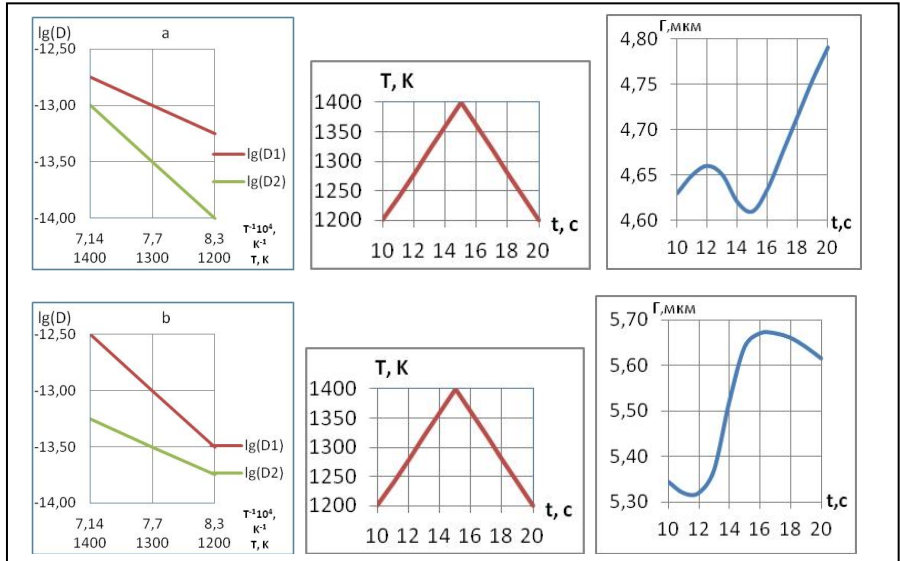


Рис.1 Характер руху міжфазної границі, в залежності від значень енергії активації у фазах та зміни температури дифузійної зони.

Для ідентифікації характеру руху міжфазної границі було обрано два варіанти можливих співвідношень між енергіями активації в зростаючих фазах. У першому випадку, енергія активації дифузії у першій фазі менша, ніж у другій $Q_1 < Q_2$. Тобто зростання значення коефіцієнта дифузії з температурою у другій фазі відбуватиметься швидше, ніж у першій. У другому випадку - зворотна ситуація.

Як видно з малюнка, графіки температурних залежностей D_1 і D_2 у першому випадку зближуються зі збільшенням температури (рис.1a), тоді як у другому разі – розбігаються (рис.1b). Залежно від цього, кордон поводить неординарно. У разі a) -інтенсивно росте при охолодженні і підрозчиняється при нагріванні. У разі b) – картина обернена.

Резюмуючи, можна зробити такі висновки:

- Еволюція фаз при неізотермічному режимі нанесення захисного дифузійного покриття носить неординарний характер - міжфазна границя

рухається складним чином, і її рух значною мірою відрізняється від класичного параболічного закону зростання фаз.

- Величини енергій активації дифузії у фазах системи визначають характер залежності положення міжфазного кордону $\Gamma(t)$ від часу. А саме, якщо енергія активації дифузії в першій фазі менша, ніж у другій, то крива залежності випукла при нагріванні (і, в деяких випадках, може навіть спостерігатися підрозчинення фази при нагріванні!) і увігнута при охолодженні (спостерігається інтенсивне зростання фази при охолодженні!). Якщо ж енергія активації дифузії в першій фазі більша, ніж у другій, то крива залежності вогнута при нагріванні і опукла при охолодженні (розчинення фази можливе тільки при охолодженні).

- З розрахунку, цілком очевидно, що при термоциклічному режимі нанесення покриттів, моментам початку і кінця нагрівання будуть відповідати точки перегину залежності координати міжфазної границі $\Gamma(t)$ від часу.

Список літератури

1. Yarmolenko M. V. Enhanced diffusion and other phenomena during rapid heating of bimetals: Theory and experiments //Defect and Diffusion Forum. – Trans Tech Publications Ltd, 1997. – Т. 143. – С. 1613-1618.

(DOI:10.4028/www.scientific.net/DDF.143-147.1613)

2. Nesterenko A. Limiting processes in the creation of protective diffusion layers under non-isothermal conditions / A. Nesterenko, N. Nesterenko, V. Sakhno // Science, Practice and Theory: Abstracts of the IV International Scientific and Practical Conference (February 1-4, 2022, Tokyo, Japan). – International Science Group, 2022. – P. 479–488.

(UDC 01.1 ISBN - 978-1-68564-507-6 DOI - 10.46299/ISG.2022.I.IV)[

3. Nesterenko A. Analysis of the influence of diffusion activation energies and parameters of thermal cycling treatment on the evolution of the structure and composition of multiphase metallic systems / A. Nesterenko, N. Nesterenko, V. Sakhno // Theoretical Foundations in Practice and Science: Abstracts of XIV International Scientific and Practical Conference (December 21-24, 2021, Bilbao, Spain). – International Science Group, 2021. – P. 497–504.

(UDC 01.1 ISBN - 978-1-68564-523-6 DOI - 10.46299/ISG.2021.II.XIV)

4. NESTERENKO, A. I.; SAKHNO, V. N. Quantitative analysis of the influence of in-phase diffusion activation energy on the interfaces evolution under thermal cycling saturation.// Fizika i Khimiya Obrabotki Materialov, 1994, Pp. 98-108. (ISSN 0015-3214)

5. AI Nesterenko, VN Sakhno, VF Shatinskii Computer modeling of the process of deposition of the two-phase chrome coating on steel in thermal cycling conditions with high-frequency heatin Soviet materials science: a transl. of Fiziko-khimicheskaya mekhanika materialov/Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, 1989, 24, # 4, p. 341-345 (ISSN: 00385565 1573885X DOI: 10.1007/BF00720640)

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ПРОДУКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ АЛІТУВАННЯ МЕТОДОМ ЕЛЕКТРОІСКРОВОГО ЛЕГУВАННЯ НА МІКРОСТРУКТУРУ ПОКРИТТІВ

Тарельник Н. В., с.н.с.; Гапонова О. П., зав. каф. ПМ і ТКМ, Юскаєв С. В., аспірант; Жиленко О. І., магістрант гр. МТ.м-21, СумДУ, м. Суми

Для надання поверхневому шару деталі необхідних фізичних, хімічних, трибологічних та експлуатаційних властивостей існує багато способів модифікації поверхні. Для надання залізовуглецевим сплавам підвищеної окалинотійкості, опору атмосферній корозії і ряду інших властивостей застосовують алітування. Особливе місце серед зміцнюючих технологій займають технології, що використовують для обробки матеріалу концентровані потоки енергії (КПЕ), при яких протікають нерівноважні умови нагріву та охолодження, що сприяє формуванню принципово інших, ніж при традиційних методах обробки, структур поверхневого шару. Одним із таких методів є електроіскрове легування (ЕІЛ).

Метою роботи є дослідження впливу продуктивності процесу ЕІЛ сталей з покриттями алюмінієвим електроодом-інструментом на структуроутворення поверхневого шару сталі 20.

Покриття формували алюмінієвим електроодом на установці моделі «Елітрон 52А» з використанням різних режимів – енергії розряду і продуктивності. На сформоване на першому етапі алюмінієве покриття наносили спеціальне технологічне середовище (СТС), що складалося з вазеліну (10%) і алюмінієвої пудри (90%), і далі проводили наступне легування алюмінієвим електроодом. Шорсткість поверхні визначали на приладі профілограф-профілометр шляхом зняття та обробки профілограм. Структури поверхневого шару вивчали на оптичному мікроскопі МІМ-7, мікротвердість – на приладі ПМТ-3.

Дослідження показали, що при зменшенні продуктивності ЕІЛ у два рази, при зростанні енергії розряду з 0,52 до 6,8 Дж на першому етапі алітування сталі 20 товщина «білого» шару збільшується з 20 до 75 мкм; дифузійної зони з 35 до 120 мкм; мікротвердість «білого шару» зростає з 2200 до 7400 МПа; шорсткість поверхні Ra зростає, відповідно з 1,1 до 9,0 мкм, а суцільність – з 80 до 100 % починаючи з $W_p=4,6$ Дж. А при традиційній продуктивності ЕІЛ отримано значення параметрів якості на 3-4% кращі значення.

Проведений аналіз структуроутворення і властивостей поверхневих шарів сталевих деталей після алітування традиційними технологіями і методом електроіскрового легування (ЕІЛ) виявив резерви для підвищення параметрів якості поверхневих шарів сталевих деталей при алітуванні методом ЕІЛ. Встановлено, що зменшення продуктивності процесу ЕІЛ у два рази сприяє погіршенню параметрів якості покриттів.

ВИКОРИСТАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ПРОГНОЗУВАННІ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

*Сергій Вареник, аспірант, гр.А-15/МТ; Христина Берладір,
ст. викладач кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми*

В наш час застосування полімерних композитних матеріалів (ПКМ) набуло широкого розповсюдження. Можливість розрахунку характеристик ПКМ є найважливішою їх перевагою. Існує безліч варіантів створення ПКМ, що містять різного роду наповнювачі або армуючі елементи. Крім того, можна враховувати не тільки різні типи, але й різні властивості матричного матеріалу, наповнювачів та зміцнювачів, а також орієнтації волокон [1].

У процесі виробництва такі ключові параметри, як температури затвердіння та швидкість виготовлення необхідно аналізувати, адже вони визначають кінцеву якість композитів. Дослідження властивостей відіграє ключову роль у матеріалознавстві під час оцінки ПКМ, розроблених для спеціальних інженерних операцій.

Також важливим моментом є визначення можливих кореляцій між деякими простими вимірними параметрами (наприклад, модуль міцність і деформація руйнування) і більш складними властивостями (наприклад, втома, знос, комбіноване навантаження та повзучість). Розуміння всіх цих взаємозв'язків є важливим у науці про композитні матеріали, щоб відповідати вимогам для конкретних інженерних застосувань [1].

З цією метою впроваджують штучні нейронні мережі (ШНМ). Натхненні біологічною нервовою системою, ШНМ можна використовувати для вирішення широкого спектру складних наукових та інженерних проблем. Вони можуть вчитися на прикладах, і тому їх можна навчити знаходити рішення складних нелінійних, багатовимірних функціональних зв'язків без будь-яких попередніх припущень щодо їх природи. Крім того, мережа будується безпосередньо з експериментальних даних завдяки її здатності до самоорганізації.

Таким чином, стає актуальним примножувати й узагальнювати розробки та застосування ШНМ, з метою сприяння ширшому розгляду використання цього потенційного математичного інструменту в дослідженнях ПКМ [2].

Список літератури

1. Pradeep, K.S. Virtual metallurgy: Alloy formation and prediction of their properties through artificial neural network. *International Journal of Engineering Trends and Technology* 68(10), 28–32 (2020).
2. Elenchezhian, M., Nandini, A., Vadlamudi, V.: Detection and prediction of defects in composite materials using di-electric characterization and neural networks. In: *Proceedings of SAMPE Conference 2018*. Long Beach, CA, May (2018).

ЗНОСОСТІЙКІ ДИФУЗІЙНІ ПОКРИТТЯ

*Дегула А. І., доцент кафедри ПМ і ТКМ; Ситніков В. О., аспірант
гр. А-25/МТ, СумДУ; Кравченко В. В., аспірант А-25/МТ, СумДУ, м. Суми*

У сучасній промисловості при вирішенні проблеми підвищення експлуатаційних властивостей деталей машин, штампів та інструменту великого значення набувають розроблення та впровадження нових технологічних процесів з нанесення захисних зносостійких покриттів.

Вибір оптимального складу покриття та технології його нанесення визначається умовами експлуатації певного виробу. При цьому повинні бути враховані такі властивості та характеристики матеріалу основи і покриття як: міцність, твердість, коефіцієнти термічного розширення, жароміцність тощо.

У теперішній час використовується велика кількість методів нанесення на вироби різноманітних покриттів. Кожен із них, маючи певні особливості, забезпечує отримання покриттів, які відрізняються за складом, структурою, щільністю, адгезією і комплексом корисних властивостей. Слід зазначити, що дифузійні покриття на відміну від покриттів, отриманих іншими методами, характеризуються поєднанням стабільності властивостей в різних умовах експлуатації, високою адгезією з основою за рахунок значного проникнення насичуючих елементів в основу, а елементів основи в покриття [1].

Дифузійні покриття при ХТО наносять зазвичай в ізотермічних умовах в штучно створених активних середовищах. Оптимальні температурно-часові умови насичення вибираються таким чином щоб забезпечити максимальну ефективність дифузії легуючих елементів чи атомів впровадження і отримати покриття значної товщини за відносно короткій проміжок часу [1].

Аналізуючи отримані дані можна зробити висновок, що раціональний час насичення для однокомпонентних карбідних покриттів на основі Ti, V, Cr становить 1,5-3 години. Насичення двома компонентами доцільно проводити протягом 3-4 годин (відповідно 2+1 та 2+2 години), що дає можливість отримати оптимальні по товщині та мікротвердості покриття. Подальше насичення приводить до порівняно незначного збільшення товщини покриття, в той же час відбувається перегрів сталей (твердих сплавів) і нераціональні витрати енергоресурсів [2].

Список літератури

1. Лоскутов В.Ф. Диффузионные карбидные покрытия / Лоскутов В.Ф., Хижняк В.Г., Куницкий Ю.А., Киндрачук М.В. – К.: Техніка, 1991. – 168 с.
2. Дослідження фазового та хемічного складу комплексних карбідних покриттів / А. І. Дегула, Т. П. Говорун, Н. А. Харченко, В. Г. Хижняк, М. В. Карпець, О. М. Мисливченко, Р. С. Сметанін // Металлофізика и новейшие технологии. — 2015. — Т. 37, № 11. — С. 1461-1476.

ВПЛИВ УМОВ ГАЛЬВАНІЧНОГО ХРОМУВАННЯ НА ЯКІСТЬ УТВОРЕНОГО ПОКРИТТЯ

Іжик В. М., студ. гр. МгТЕ-22; Кислова О. В., доцент кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження, Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Електролітичне хромування широко застосовується завдяки наступним властивостям утвореного покриття: висока хімічна, термічна та зносостійкість, твердість, міцність, привабливий зовнішній вигляд. Їх одержують за різних умов гальванічної обробки деталей [1].

Захисно-декоративні хромові покриття наносять з сульфатних електролітів при густині струму 15-20 А/дм² і температурі 50°C, тоді як покриття з підвищеною зносостійкістю утворюються при густині струму 30-50 А/дм² та температурі 60°C. Відомо, що в процесі нанесення блискучих хромових покриттів на їх поверхні формуються пори і тріщини, які суттєво знижують захисні властивості [2,3]. Тому для забезпечення корозійної стійкості сталевих виробів їх попередньо вкривають міддю і нікелем. Основним компонентом класичного електроліту хромування є хромовий ангідрид CrO₃ (150-400 г/л) та сульфатна кислота. Відомо, що максимальний вихід електроосадження за струмом спостерігається при ваговому співвідношенні CrO₃ : H₂SO₄ близькому до 100. В процесі електролізу відбувається збільшення напруги на електролізері через накопичення іонів Cr³⁺, що обумовлює зниження якості блискучого покриття. Для збереження концентрації Cr³⁺ у технологічних межах необхідно, щоб швидкості окиснення іонів хрому на аноді та відновлення його до Cr³⁺ на катоді були приблизно однаковими [1]. Це можна забезпечити, якщо відношення між площами катодної та анодної поверхонь знаходиться в межах від 2:1 до 3:2.

Високий ступінь дисперсності блискучого хромового покриття полегшує часткове проникнення водню в кристалічну ґратку, що призводить до збільшення її параметрів [2]. Найбільш розвинена сітка пор і каналів утворюється при катодній густині струму 40-60 А/дм² і температурі 60°C. Проте наявність таких дефектів на поверхні хромованих виробів дозволяє, зокрема, утримувати мастильні. Отже, різні умови нанесення дають можливість отримати хромові покриття різного призначення.

Список літератури

1. Qian H., Li Q., Sun J. et al. Characterization and Analysis of Chromium Coating Electrodeposited on Brass in ChCl-EG Deep Eutectic Solvent. Int. J. Electrochem. Sci., 2020, V.15, P.8960 – 8970.
2. Martinuzzi S., Donati L., Giurlani W. et al. A comparative research on corrosion behavior of electroplated and magnetron sputtered chromium coatings. Coatings, 2022, V.12, P.257-264.
3. Makarov I., Chen J., Yurasovskaya E. et al. Effect of Electrolyte Additives on Microstructure and Properties of Electroplated Chromium Coatings. Can. Metall. Q., 2011, V.50, P.153–165.

ВИКОРИСТАННЯ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ З ВІДКРИТИМ ВИХІДНИМ КОДОМ У МАТЕРІАЛОЗНАВСТВІ

*Ситніков В. О., аспірант, гр. А-25/МТ, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми;
Дегула А.І., доцент, кафедра ПМ і ТКМ, СумДУ, Суми*

Програмне забезпечення (ПЗ) з відкритим вихідним кодом все частіше використовується у багатьох програмах, від серверних операційних систем до наукових обчислень і високоякісної графіки. Такі додатки мають вихідний код і немає ніяких обмежень на створення та поширення покращених версій. Таким чином, ліцензійні збори відсутні, а доступ до вихідного коду є великою перевагою для викладачів, дослідників і тих, кому потрібно самостійно його змінювати.

Незважаючи на недоліки, пов'язані з недостатньо розвиненим інтерфейсом додатку та відсутністю прибутку від ліцензування, деякі пакети ПЗ з відкритим кодом нещодавно стали більш складними та вдосконаленими до такого рівня, що їх широко використовують для надійного інженерного моделювання. Інтерфейс користувача також покращено, і невелика, але зростаюча кількість цих інструментів також доступна для непрофесіоналів.

Дивлячись на інструменти моделювання процесів у новій парадигмі інтегрованої обчислювальної розробки матеріалів (ICME), існує дуже багатий і різноманітний набір ПЗ для моделювання матеріалів з відкритим кодом. Відносно нова сфера ICME передбачає інтеграцію комплексної інформації про всі відповідні матеріальні явища, від атомних до макроскопічних. Цей підхід може потенційно прискорити розробку нових матеріалів, насамперед за рахунок зменшення зусиль, пов'язаних із циклами проектування, синтезу та оцінки, що досягається шляхом інтеграції моделей процесів обробки матеріалів і моделювання властивостей у процес проектування.

По суті, ICME базується на взаємозв'язку процес-структура-властивість (PSP), який був наріжним каменем матеріалознавства протягом десятиліть. Останні дослідження продемонстрували роль ICME у зменшенні кількості ітерацій у процесі розробки матеріалів, що, у свою чергу, зменшує вартість і час, пов'язані з пошуком оптимальних інженерних рішень. Завдяки нещодавній появі колекції потужного ПЗ для обчислення матеріалів з відкритим вихідним кодом стала можливою широка реалізація ICME для багатьох інших проблем проектування матеріалів.

Розуміння макроскопічних властивостей матеріалу спочатку спирається на точний опис зв'язку між цими властивостями та електронною структурою матеріалу. Визначення останнього в принципі вимагає вирішення рівняння Шредінгера, що стало можливим завдяки розвитку теорії апроксимації. Серед них DFT став найбільш широко використовуваним у спільноті матеріалознавства. Всього за кілька років дуже потужний код DFT з відкритим вихідним кодом ABINIT став одним із основних обчислювальних інструментів для досліджень електротехніки, молекулярної та періодичної структури

кристалічних твердих тіл. Широкий діапазон фізичних властивостей можна розрахувати за допомогою розрахунків DFT першого порядку. Що стосується термодинаміки, то немає відкритих засобів, за допомогою яких повні моделі технологічно важливих систем стають доступними для загалу.

Щоб зробити обґрунтовані прогнози щодо еволюції матеріальної системи, коли вона наближається до рівноваги, спочатку потрібен точний опис її фазової стабільності. Дуже успішним підходом до моделювання мікроструктурної еволюції є підхід фазового поля. Незважаючи на успіх, фазові поля не були включені в масштабні зусилля ICME, частково через відсутність простого у використанні ПЗ з відкритим кодом. Нещодавно цю проблему вдалося вирішити за допомогою коду FiPy, розв'язувача диференціальних рівнянь у частинних похідних, написаного на Python10. Маючи в руках цей вражаючий інструмент, тепер можна зосередитися на розробці складних моделей фазового поля для вивчення явищ у складних матеріалах, не надто зосереджуючись на фактичній реалізації чисельного моделювання. Тому цей інструмент можна використовувати для розробки симуляцій вищого рівня в дусі ICME.

Відносно новим підходом до моделювання мікроструктурного відгуку є код OOF. Цей код поєднує графічні дані мікроструктури (реальної або віртуальної) з базою даних властивостей матеріалу (скалярних або тензорних) для кожної складової фази мікроструктури. Хоча код наразі обмежений двовимірними геометріями та простими реакціями на матеріал, очікується, що подальший розвиток дозволить дослідникам матеріалів використовувати OOF та інші подібні коди як інструменти обчислювальної мікроструктури.

Існує невирішена проблема, яка полягає в недоробці інтерфейсів та недостатній кількості функцій програмного забезпечення з відкритим вихідним кодом. Це дозволяє пропріетарним програмам мати більшу популярність в багатьох галузях, зокрема в термодинаміці, макроскопічному моделюванні та пластичності кристалів. Але незважаючи на це, роль відкритого коду продовжить розширюватися, що дозволить йому зайняти лідируючі позиції на довгі роки.

Список літератури

1. Axel van de Walle, Gautam Ghosh, and Mark Asta, “Ab initio Modeling of Alloy Phase Equilibria,” *Applied Computational Materials Modeling* (2007), pp. 1–34; http://dx.doi.org/10.1007/978-0-387-34565-9_1.

2. X. Gonze et al., “First-Principles Computation of Material Properties: The ABINIT Software Project,” *Computational Materials Science*, 25 (November 2002), pp. 478–492.

ДОСЛІДЖЕННЯ СТРУКТУРИ ТИТАНОВИХ ПОРИСТИХ МАТЕРІАЛІВ З ВІДХОДІВ БІОМЕДИЧНОГО ВИРОБНИЦТВА

*Повстяной О. Ю., д.т.н., професор, кафедра прикладної механіки та мехатроніки, Луцький національний технічний університет, Луцьк;
Імбірович Н.Ю., к.т.н., доцент, кафедра матеріалознавства,
Луцький національний технічний університет, м. Луцьк*

Титан характеризується цікавим поєднанням таких властивостей, як висока міцність, низька щільність, стійкість до корозії та біосумісність. Тому титан все частіше використовується в галузях з високими вимогами, таких як аерокосмічна промисловість, виробництво біомедичних пристроїв тощо. Вважається, що застосування титанових відходів є суттєвим способом здешевлення виробництва нових виробів різноманітного призначення..

Для створення пористих матеріалів (ПМ) було обрано сировину – відходи біомедичної техніки MEDGAL® (рис. 1.). Це чистий титан (99%), відходи після переробки титанових або ортопедичних протезів.



Рисунок 1 – Відходи біомедичного виробництва

Технологічна схема переробки відходів біомедичної промисловості складалася з двох стадій – подрібнення та відновного відпалу [1].

На рис.2. показано вироби з відходів біомедичного виробництва – титанові трубки, які отримані методом радіального ізостатичного пресування та саморозповсюджуючого високотемпературного синтезу (СВС-спікання).



Рисунок 2 – Титанові ПМ з відходів біомедичного виробництва

Мікроструктура отриманого матеріалу (рис.3) дозволяє стверджувати, що під час реакції відновлення металу можна отримати пористий матеріал з однорідною структурою.

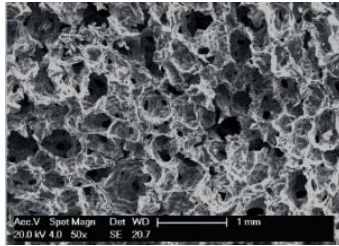


Рисунок 3 – Мікроструктура титанового ПМ

Створення тривимірної середовища зображення ПМ здійснювалося шляхом накладання плоских поперечних перерізів відповідного діапазону висоти готового пористого матеріалу (рис.4).

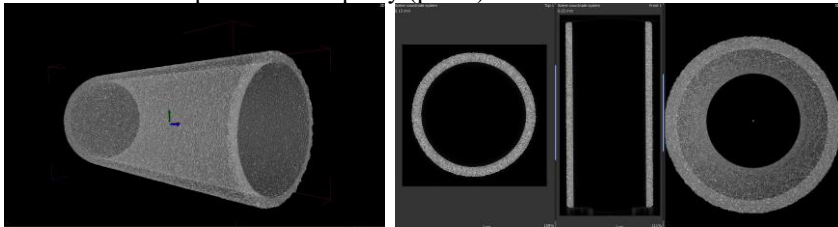


Рисунок 4 - Визначення та аналіз структурних компонентів ПМ

Морфологія ПМ визначає їх фільтраційні характеристики і, отже, ефективність у багатьох сферах застосування. Кількісні та якісні співвідношення між морфологією пористого матеріалу та фільтрувальними властивостями є важливими в багатьох галузях їх застосування [2].

Встановлення кількісних морфологічних і фільтрувальних властивостей базується на прямому моделюванні пористої структури шляхом перенесення потоку фільтрувальної речовини в 3D реконструкцію матеріалу. Це зробить можливим дослідження розподілу радіальної та осьової пористості та комплексного дослідження структури ПМ.

Список літератури

1. Rud' V., Gal'chuk T., Povstyanoi, O. Powder metallurgy use of waste from bearing production. Powder Metallurgy and Metal Ceramics. Vol.44 Issue 1-2, pp. 88–92 (2005).
2. Povstyanoy O., Zabolotnyi O., Rud V., Kuzmov A., Herasymchuk H. Modeling of Processes for Creation New Porous Permeable Materials with Adjustable Properties. In: Ivanov V. et al. (eds) Advances in Design, Simulation and Manufacturing II. DSMIE 2019. Lecture Notes in Mechanical Engineering. Springer, Cham (2019).

РОЗРОБКА ПРИПРАЦЮВАЛЬНИХ ПОКРИТТІВ, МОДИФІКОВАНИХ ЕЛЕКТРОІСКРОВИМ ЛЕГУВАННЯМ З ПОЛІПШЕНИМИ ЕКСПЛУАТАЦІЙНИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Галкін Д. С. аспірант гр.А-15/МТ, СумДУ, м. Суми

Розробка припрацювальних покриттів модифікованих електроіскровим легуванням з поліпшеними експлуатаційними характеристиками є актуальною темою в сучасній інженерії та промисловості. Електроіскрове легування (ЕІЛ) є одним із методів, який дозволяє модифікувати поверхню металевих виробів та покращувати їх експлуатаційні характеристики. Припрацювальні покриття, отримані шляхом ЕІЛ, мають значні переваги порівняно з традиційними методами отримання покриттів [1, 2].

Однією з головних переваг ЕІЛ є можливість точного контролю розміру, форми та складу припрацювального покриття. Це дає змогу досягти більшої точності та повторюваності результатів, що є важливим для промисловості. Крім того, ЕІЛ дозволяє отримати покриття з більш високими експлуатаційними характеристиками, такими як міцність, зносостійкість та стійкість до корозії.

Іншою важливою перевагою ЕІЛ є можливість використовувати широкий спектр матеріалів для легування. Це дає змогу вибирати матеріали, які мають бажані властивості для конкретного застосування. Крім того, ЕІЛ може бути використаний для легування поверхні матеріалів, які неможливо легувати іншими методами.

Таким чином, розробка припрацювальних покриттів модифікованих ЕІЛ є важливим напрямком досліджень та розвитку в промисловості. Цей метод дозволяє покращувати експлуатаційні характеристики різних деталей та інструментів, що використовуються в різних галузях промисловості. Однак для досягнення максимальної ефективності використання ЕІЛ, потрібно дотримуватись правильної технології та контролювати процес легування. Необхідно також проводити додаткові дослідження та аналізувати результати для досягнення оптимальних параметрів процесу.

Список літератури

1. Martsinkovsky V.S. Optimization of electroerosive alloying modes for formation of running-in coatings on bronze bearing shells //Compressor and power engineering. - 2007. - No. 2(8). - S. 33-36.
2. Formation of wear-resistant coatings on aluminum alloys by electrospark alloying with tungsten / S. S. Mekhontsev, et al. *Journal of Materials Science*, 2005.
3. Electrospark Coatings: A Review / A. Mishra, et al. *Journal of Materials Engineering and Performance*, 2013.

Робота виконана під керівництвом доц. Юскаєва В. Б.

ПРОЦЕС ОТРИМАННЯ ДЕТАЛІ «КОЛІНЧАСТИЙ ВАЛ»

Хвостенко Р. О., магістрант гр. МТ.м-21/2; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

Колінчастий вал (колінвал) – це головний елемент двигуна автомобіля, є частиною кривошипно-шатунного механізму, який перетворює енергію газів, що згорають в циліндрах двигуна, в механічну енергію. Головне завдання колінчастого валу – перетворити поворотно-поступальні рухи поршнів двигуна в крутний момент, який через трансмісію передається на колеса автомобіля.

Однією з основних технічних характеристик колінчастого валу, як і всього двигуна, є радіус кривошипу. Це відстань від осей корінних шийок (шийки, у яких обертається колінвал у циліндровому блоці) до осей шатунних шийок (шийки, які обертаються всередині великої головки шатуна). Подвійний радіус кривошипа є довжиною ходу поршня, яка визначає об'єм циліндрів. Якщо змінити довжину радіуса кривошипа при незмінному діаметрі циліндра, це призведе до зміни об'єму циліндрів. Цю залежність часто використовують, щоб змінювати технічні характеристики всього двигуна у певному напрямку. Підбираючи співвідношення довжини ходу поршня та діаметра циліндра, двигун можна зробити довгохідним (хід поршня перевищує діаметр циліндра) або короткохідним (діаметр циліндра більше, ніж хід поршня). Короткохідні двигуни дають можливість підвищити потужність за рахунок збільшення швидкості обертання. А довгохідні двигуни економічніші і забезпечують високий крутний момент на низьких оборотах. При зміні параметрів колінчастого валу відбувається зміна всіх параметрів двигуна, тому потрібно бути дуже обережним, тюнінгуючи свій автомобіль, так як технічні характеристики часто змінюються не на краще.

Коли двигун працює, на колінчастий вал діють сильні навантаження. Його надійність визначається конструкцією та матеріалом, з якого він виготовлений. Цей елемент двигуна зазвичай має цілісну структуру. Тому матеріали для нього повинні бути максимально міцними, бо від міцності колінчастого валу залежатиме робота всієї системи двигуна. Як матеріали для виготовлення колінвалів використовують вуглецеву та леговану сталь або чавун високої міцності.

Колінвал можна виготовити методом лиття, методом кування зі сталі або методом точення. Заготовки отримують способом гарячого штампування або способом лиття. Дуже важливо, як розташовані волокна матеріалів у заготовках. Коли заготовка виготовлена, то її додатково обробляють при високій температурі і очищають від окалини (дробометною машиною або методом травлення). Матеріал і спосіб виробництва колінвалу підбирається в залежності від типу та класу автомобіля:

1. У серійних моделях колінвал виробляють із чавуну методом лиття, що дає можливість зменшити собівартість виробництва.

2. Більш дорогі спортивні моделі оснащують кованим сталевим колінвалом. Подібні деталі мають безліч переваг над литими за габаритами, вагою та міцністю, а тому все частіше застосовуються в автомобілебудуванні.

3. Для найдорожчих двигунів колінвал виточують із цілісного сталевого шматка. При цьому значна частина матеріалу просто стає відходами.

Колінчасті вали працюють в умовах високих навантажень, а шийки валу піддаються інтенсивному зносу. Термічна обробка (ТО) колінчастих валів має дві мети: підвищити їхню міцність і зносостійкість. Колінчасті вали автомобільних і тракторних двигунів, компресорів виготовляють із сталей 45, 50Г, 30ХГ2, 47ГГ, 40ХН та інших (гарячим штампуванням). Завдяки штампуванню виходить хороша макроструктура – волокна металу не перерізаються, а відповідають конфігурації валу.

Застосовують також нормалізацію штампованих заготовок колінчастих валів із використанням тепла після гарячого штампування. Наприклад, штамповані заготовки валів із сталі 45 піддають нормалізації у спеціальній щільній нормалізаційній печі з підвісним конвеєром. Перед надходженням в робочу камеру печі, нагріту до 850 °С, штамповані заготовки валів проходять через спеціальний коридор, де охолоджуються з 1050-1100 °С до 600-650 °С. Після нормалізації штамповані заготовки проходять через камеру попереднього охолодження та вивантажуються на повітря. Нагрів штампованих заготовок у підвищеному стані при нормалізації в печі з підвісним конвеєром має перевагу перед їх нагріванням у горизонтальному положенні в штовхальних печах, так як виключається нерівномірне нагрівання випромінюванням пода печі і штамповані заготовки не деформуються від провисання під власною вагою.

Після нормалізації штамповані заготовки для обробки надходять на металорізальні верстати, а потім шатунні і корінні шийки валів піддають гартуванню при індукційному нагріванні із застосуванням автоматизованих установок, на яких послідовно проводять нагрівання і охолодження кожної шийки. Час нагріву та охолодження шийок регулює реле часу. За рахунок скорочення тривалості охолодження проводиться самовідпуск шийок (температура самовідпуску 240-250 °С). Загартований шар має товщину 3-5 мм, твердість поверхні шийок складає 56-62 HRC, мікроструктура шару – дрібногочастий мартенсит.

Термічна обробка колінчастих валів проводиться за наступним режимом: нормалізація – нагрівання до 950-960 °С, витримка 8 год., охолодження зі швидкістю 30-60 °С/хв до 600 °С; відпуск – нагрівання до 725-740 °С, витримка 8 год., охолодження на повітрі. Отримувана після ТО структура – зернистий перліт і кулястий графіт, твердість 24-25 HRC.

Термічну обробку колінчастих валів доцільно проводити в печах із захисною атмосферою, і для зменшення жолоблення нагрівати колінчасті вали на спеціальних піддонах або підвішувати.

ПІДВИЩЕННЯ МІЦНІСНИХ І ТРИБОЛОГІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК РІЗУЮЧОГО ІНСТРУМЕНТА ПРИ НАНЕСЕННІ НАНОСТРУКТУРОВАНИХ ПОКРИТТІВ

Ханюков К. С., аспірант; Говорун Т. П., доцент кафедри ПМ і ТКМ, СумДУ, м. Суми

Основними показниками якості відповідальних вузлів машин є надійність, працездатність та коефіцієнт корисної дії, які переважно визначаються властивостями поверхневих шарів деталей, що сполучаються – твердістю, коефіцієнтом тертя, зносостійкістю, корозійною стійкістю та іншими. Усі технологічні методи інженерії поверхні або спрямованого створення поверхневих шарів та керування їх властивостями можна поділити на такі групи: зміна фізико-хімічних властивостей поверхневих шарів основного матеріалу виробу методами модифікування; нанесення плівок, покриттів та захисних шарів; комбіновані, що поєднують методи модифікування та нанесення покриттів [1].

Серед усіх наорієнтованих технологій обробки поверхні на сьогоднішній день найбільш перспективними є іонно-вакуумні технології нанесення покриттів – PVD (Physical Vapour Deposition – «фізичне осадження з парової фази») та CVD (Chemical Vapour Deposition – «хімічне осадження з газової фази») [2, 3].

Різновидом методів PVD на основі тліючого розряду є магнетронного розпилення. Це іонне розпилення металів у магнетронному розряді – в даний час один із найпоширеніших методів нанесення захисних покриттів. Робоче середовище – чисті гази Ar, N₂, O₂, CH₄, тиск 0,05 - 1 Па, температура 60 - 600 ° C; одержувані покриття – металеві покриття (Al, Ag, Au, Cu, Zn, Sn, Cd, Ti, Zr, Hf, Cr, Ta, Ni, Co, Si, MCrAlY (M=Ni, Co)), металокерамічні покриття (TiN, ZrN, CrN, TiC, TiCN, ZrON, TiAlN, AlCrN, TiBN CrAlTiYN, TiO₂, ZrO₂, Al₂O₃, SiO₂); нанокompозити (TiAlN/Si₃N₄, TiN/BN, AlCrN/Si₃N₄, ZrN/Cu, ZrO₂/Al₂O₃, TiN/NbN, TiN/CrN, TiN/AlN, CrN/AlN, TiN/CN); алмазоподібне покриття [2, 4].

З устаткування, що використовує метод розпилення, найбільше застосування знаходять установки на основі магнетронів. Процес магнетронного розпилення характеризується рядом технологічних параметрів, основними з яких є потужність розряду, тиск робочої суміші, склад робочої суміші, ступінь попереднього вакууму [4].

При магнетронному розпиленні якість покриттів залежить від багатьох параметрів осадження - вмісту реактивного газу в камері під час осадження, потужності струму, тиску, температури підкладки і напруги зміщення та інших. Але через низьку швидкість осадження товщина покриття при цьому не перевищує 1 мкм. Склад та властивості одержуваних покриттів значною мірою залежать від техніки та технології їх нанесення. До сьогодні актуальні технології нанесення зносостійких покриттів, таких як TiN, TiCN, TiAlN, TiCrN, TiAlSiN і інших.

Останнім часом у науці та техніці становлять інтерес розробки нових металевих та керамічних матеріалів з вираженою нанокристалічною структурою, які знаходять застосування у багатьох галузях техніки. Зменшення розміру будь-яких структурних складових матеріалу (розміру зерен, кристалітів) нижче за деяку порогову величину (менше 100 нм) призводить до радикальної зміни фізико-механічних властивостей, які в свою чергу визначаються характером розподілу, формою та хімічним складом нанорозмірних елементів. Формування нанокристалічних структур призводить до значного підвищення механічних характеристик нанокристалічних матеріалів, серед яких насамперед висока твердість. Наприклад, в отриманих магнетронним розпиленням покриттях на зразках зі сталі Р6М5 мікротвердість покриттів складає: TiN - 20 – 24 ГПа, AlN – до 16 ГПа, TiAlN – до 35 ГПа, AlTiN – до 32 ГПа, TiAlSiN - 32 - 37 ГПа, в той час як мікротвердість самої підкладки зі сталі Р6М5 – 6 – 9 ГПа [4].

В даний час вивчається збільшення твердості та міцності сучасних наноматеріалів, зміна пластичності, пружних характеристик, стабільності та інших властивостей. Встановлення відповідних розмірних закономірностей відкриває можливості початку новому поколінню матеріалів, властивості яких можна регулювати з допомогою розмірів і форми складових їх структурних елементів. Використання сучасних методів поверхневої модифікації та їх комбінування відкриває нові можливості для формування наноструктур у поверхні оброблюваних матеріалів та відкриття нових ефектів, які призведуть до розвитку зміцнювальних технологій для вирішення проблем машинобудування.

Список літератури

1. Kuo Chin-Chiuan. High Temperature Wear Behavior of Titanium Nitride Coating Deposited Using High Power Impulse Magnetron Sputtering / Kuo Chin-Chiuan., Lin Yu-Tse, Chan Adeline and Chang Jing-Tang // *Coatings*. 2019. Vol. 9, 555. DOI:10.3390/coatings9090555.
2. A. Panda, K. Dyadyura, T. Hovorun, M. Dunaeva, I. Pandová, *Nanostructured wear-resistant coatings based on refractory metals nitrides: Physical-mechanical properties and structural-phase state* // *Management and Production Engineering Review* this link is disabled, Vol. 10 (4), pp. 133–139 (2019). doi: 10.24425/MPER.2019.131453.
3. A.D. Pogrebnyak, M.A. Lisovenko, A. Turlybekuly, V.V. Buranich, *Protective coatings with nanoscale multilayer architecture: Current state and main trends* // *Physics-Uspekh* this link is disabled, Vol. 64(3), pp. 253–279 (2021). doi: <https://doi.org/10.3367/UFNe.2020.08.038823>.
4. Hovorun T., Khaniukov K., Varakin V., Pererva V., Vorobiov S., Burlaka A., Khvostenko R. (2021). Improvement of the physical and mechanical properties of the cutting tool by applying wear-resistant coatings based on Ti, Al, Si, and N. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 8(2), pp. C13-C23. doi: 10.21272/jes.2021.8(2).c3.

ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВА ПЛАВКА МЕТАЛІВ І СПЛАВІВ

*Спаський Р. М., студ. гр. 306-л; Гальченко І. Г., викл. вищої кат.,
Павленко В. В., ст. викл., ВСП «Машинобудівний фаховий
коледж СумДУ», м. Суми*

Однією з основних проблем сучасної металургії є розробка ефективних способів видалення шкідливих домішок в процесі отримання і подальшої оброблення металів і сплавів. Велика потреба в особливо чистих, високоякісних металевих матеріалах виникла у зв'язку з розвитком атомної енергетики, авіації, ракето- і суднобудування, електроніки і хімічного машинобудування. Потреби цих галузей промисловості в металах і сплавах з високими експлуатаційними характеристиками можуть бути задоволені шляхом удосконалення існуючих технологічних процесів, пошуку і розробки нових, прогресивних процесів виробництва і оброблення металів і сплавів.

На даний час найперспективнішими для здійснення хіміко-металургійних процесів є електронно-променеві технології. Електронно-променева плавка застосовується для одержання високоякісних сплавів та виробів із унікальними експлуатаційними характеристиками. Особливістю електронно-променевих технологій, порівняно з іншими способами спеціальної металургії, є найвища ефективність рафінування металів від газів, неметалевих включень та шкідливих домішок. Високий ступінь рафінування сплавів досягається шляхом плавлення їх висококонцентрованим джерелом нагріву (електронним променем) у глибокому вакуумі. У таких агрегатах сплави плавляться за рахунок енергії, що утворюється в результаті прискорення електронів до великих швидкостей та їх гальмування при зіткненні з поверхнею металу.

В електронних гарматах відбувається утворення електронів та їх фокусування у щільний пучок – електронний промінь. Рідкий метал, що утворюється під час розплавлення заготовки електронним променем, стікає в проміжну ємність і рафінується в ній. Після цього розплав надходить у кристалізатор. Переплавлені матеріали можуть бути у формі злиwkів, кускової шихти, стрижнів і різних відходів, наприклад пресованої стружки.

У порівнянні з плавкою у дугових печах електронно-променеві технології дають менше шкідливих викидів в атмосферу і характеризуються меншим споживанням електроенергії. Електронно-променева технологія дозволяє одержувати виливки з тугоплавких і високореакційних сплавів на основі титану, цирконію, нікелю, кобальту, заліза, а також із складно легованих сталей з низьким вмістом газів і домішок. Електронно-променеве плавлення знайшло застосування і у технологіях адитивного виробництва на основі 3D-друку з використанням порошкових металевих сплавів для виготовлення імплантатів, протезів та деталей аерокосмічної галузі.

Отже, технологія електронно-променевої плавки металу дає виключно високу якість металу, є найефективнішим і економічно виправданим способом одержання особливо чистих металів.

СЕКЦІЯ «ДИНАМІКА І МІЦНІСТЬ, КОМП'ЮТЕРНА МЕХАНІКА»

КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В МЕХАНІЦІ: СУЧАСНИЙ ПОГЛЯД

Клецьков О. М., старший викладач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Комп'ютерне моделювання стає все більш популярним і важливим інструментом в багатьох галузях науки та техніки, зокрема в механіці. Віртуальне моделювання дозволяє досліджувати складні процеси та взаємодії, що важко відтворити в реальних умовах.

Одним з основних завдань механіки є аналіз поведінки тіл під дією зовнішніх сил. Комп'ютерні методи моделювання дозволяють виконувати різноманітні аналітичні розрахунки та чисельні симуляції, що дають можливість визначити поведінку тіла при різних умовах.

Одним з найбільш поширених методів комп'ютерного моделювання в механіці є метод скінченних елементів. Цей метод заснований на розбитті складної системи на простіші складові частини - елементи. Кожен елемент має свої характеристики, такі як жорсткість, геометричні розміри та матеріал, і може бути описаний математичними формулами. Для складної системи таких елементів можна побудувати математичну модель, яка дозволяє виконувати розрахунки для різних умов. Для створення комп'ютерної моделі необхідно визначити характеристики кожного елемента, а також параметри взаємодії між елементами. Наприклад, для моделювання поведінки моста під час проходження автомобіля необхідно визначити матеріал, з якого виготовлені елементи моста, їх геометричні розміри та взаємодію між ними.

Комп'ютерне моделювання в механіці використовується для дослідження поведінки тіл та систем в різних умовах. Застосування комп'ютерних програм дозволяє створювати віртуальні моделі, що дозволяють здійснювати дослідження без необхідності проводити фізичні експерименти. Одним з прикладів використання комп'ютерного моделювання в механіці є розробка нових матеріалів та конструкцій. Віртуальні моделі дозволяють досліджувати властивості матеріалів та оптимізувати їх структуру з метою досягнення кращих характеристик. Крім того, комп'ютерне моделювання дозволяє проводити тестування конструкцій на міцність та довговічність, що дозволяє зменшити кількість експериментів на реальних об'єктах та знизити витрати на дослідження. Комп'ютерне моделювання також знайшло застосування в розробці нових технологій та процесів виробництва. Віртуальні моделі дозволяють досліджувати ефективність різних процесів та знаходити способи їх оптимізації. Крім того, комп'ютерне моделювання використовується в механіці для дослідження поведінки систем в різних умовах, наприклад, для вивчення руху тіл у середовищі з різними параметрами, для дослідження динаміки конструкцій в умовах дії зовнішніх сил, для дослідження характеристик рідини та газу у трубопроводах тощо. Одним з найпоширеніших програмних засобів для

комп'ютерного моделювання в механіці є Ansys. Ansys - це програмне забезпечення для комп'ютерного моделювання в області інженерії та науки про матеріали. Ansys може бути використана для дослідження різних фізичних явищ, таких як напруження, деформація, термічні ефекти, акустика та інші. За допомогою Ansys, інженери можуть створювати віртуальні моделі складних конструкцій та прогнозувати їхню поведінку в різних умовах, що дозволяє зменшити кількість прототипів, які потрібно виготовляти для валідації конструкції. Крім того, Ansys може бути використана для проектування різних елементів, таких як вали, шестерні, блоки циліндричних головок, або навіть елементів аеродинаміки. Ansys дозволяє інженерам створювати віртуальні прототипи, які можуть бути оптимізовані та вдосконалені до того моменту, коли вони будуть готові для виробництва. Один з головних переваг Ansys - це можливість моделювання складних систем, в яких враховується взаємодія різних елементів та фізичних явищ. Наприклад, Ansys може бути використана для дослідження взаємодії різних матеріалів у складних конструкціях, таких як автомобільні кузови або літаки. За допомогою Ansys можна досліджувати вплив різних факторів на конструкцію, таких як вібрації, температура, наскрізні навантаження, або удари. Крім того, Ansys дозволяє проводити аналіз на міцність конструкцій та прогнозувати їхню поведінку в різних умовах, таких як вітрове навантаження, зміна температури, збільшення навантаження тощо. Це дозволяє інженерам зробити більш точні розрахунки, а також знизити ризик пошкодження конструкції під час експлуатації [1]. Ansys також дозволяє проводити різні експерименти на віртуальних моделях та визначати різні параметри, такі як деформація, напруження, вібрації та інші. Це дозволяє інженерам досліджувати різні варіанти конструкцій та вибирати найбільш оптимальний варіант. Крім того, Ansys дозволяє інженерам проводити експерименти в режимі реального часу та візуалізувати результати. Це дозволяє інженерам бачити, як буде поводитися конструкція в різних умовах та вчасно вносити зміни в проект. Отже, використання Ansys для комп'ютерного моделювання в механіці дозволяє інженерам та науковцям докладно та змістовно дослідити як структуру так і фізичні явища, що протікають в механічних системах.

Список літератури

1. Розв'язок задач проектування приладів та систем з використанням ANSYS і MATHCAD : підручник / І. А. Гришанова, Л. П. Згуровська, Ю. В. Киричук. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 180 с.

ПОБУДОВА КОМП'ЮТЕРНОЇ МОДЕЛІ ВПЛИВУ РОЗТЯГУЮЧОГО НАВАНТАЖЕННЯ В ПРОГРАМІ ANSYS

Клецов О. М., старший викладач кафедри вищої математики, фізики та загальноінженерних дисциплін, Дніпровський державний аграрно-економічний університет, м. Дніпро

Проведемо моделювання на прикладі навантаження циліндричної оболонки з двома отворами. Дана оболонка симетрична відносно кожної зі своїх осей. У цій задачі використаємо принцип симетрії і побудуємо лише $\frac{1}{4}$ моделі, яку згодом відобразимо відносно осей. Це дозволить значно зменшити мінімальну кількість елементів, а отже – збільшити їх кількість біля отворів, що підвищить точність і швидкість розрахунків.

Спочатку створимо суцільну оболонку, а потім зробимо в ній отвори. Побудова моделі починається з опорних вузлів [1], які згодом будуть з'єднані лініями між собою.



Рис.1. Опорні вузли

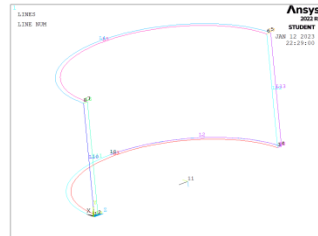


Рис.2. Лінії між вузлами

Таким чином, отримали певний каркас моделі з ліній. Тепер усі ці лінії об'єднуються у одну область:

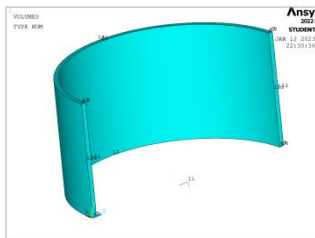


Рис.3. Область $\frac{1}{4}$ оболонки

Для побудови коректних отворів у циліндрі зробимо наступне: у декартовій системі координат, у площині XY, створимо основу еліпсоїда, який видовжимо по всій оболонці наскрізь [1]. Після чого залишається лише вирізати його з оболонки. Отримуємо отвори, що повторюють форму оболонки і є еліптичними.

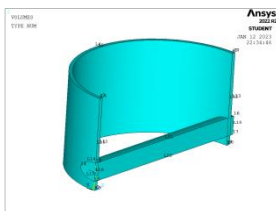


Рис.4. Еліпсоїд у оболонці

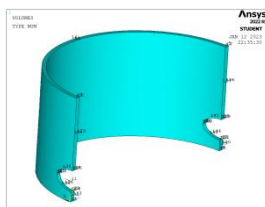


Рис.5. Вирізаний еліпсоїд дає отвори

Сітку будемо з елементів тетраедричної форми S, що мають 10 вузлів і будуть зручними для 3D розрахунку напружень у тілах, що мають певну кривину. Основна сітка має елементи довжини приблизно 0.01м. та згущення сітки у отворах. Коефіцієнт згущення – 20. Дана модель має 31781 елемент [1].



Рис. 6. Основна сітка

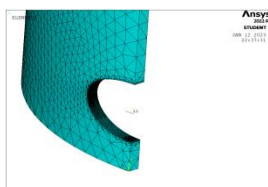


Рис.7. Адаптована сітка

Наприкінці до верхньої грані прикладається розтягуюче навантаження уздовж осі OY і застосовуються симетричні граничні умови на нижній та бокових гранях для дії навантаження у симетричному відображенні.

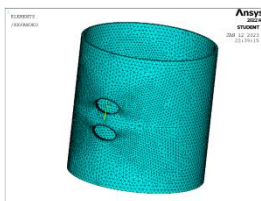


Рис.8. Остаточний вигляд моделі оболонки з двома отворами

Надалі проводиться моделювання напружено-деформованого стану циліндричної оболонки при заданні певного значення розтягуючого навантаження.

Список літератури

1. Васильків В.В. Інженерний аналіз в Ansys Workbench. / Данильченко Л.М., Радик Д.Л., Дивдик О.В. – Тернопіль : Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021.– 58 с.

ПРО ОДНУ АСИМПТОТИЧНУ ВЛАСТИВІСТЬ ФУНКЦІЇ МІТТАГ-ЛЕФФЛЕРА

Павленко І. В., д-р техн. наук, проф., професор кафедри комп'ютерної механіки ім. В. Марцинковського, Сумський державний університет, м. Суми

Функція Міттаг-Леффлера є узагальненою показниковою функцією комплексної змінної, запропонованою у 1905 році шведським математиком, проф. М. Й. Міттаг-Леффлером [1]:

$$E_{\alpha,\beta} = \sum_{k=0}^{\infty} \frac{z^k}{\Gamma(\alpha k + \beta)}, \quad (1)$$

де k – індекс; z , α , β – комплексні числа ($\text{Re}(\alpha) > 0$); $\Gamma(x)$ – гамма-функція Ейлера комплексного аргумента x .

Функція Міттаг-Леффлера широко розповсюджена в аналітичних дослідженнях фізичних процесів різної природи (тепломасообмін, процеси сепарації, динаміка роторних систем тощо). Вона застосовується під час створення математичних моделей процесів, що описуються диференціальними рівняннями дробового порядку та їх системами, наприклад, фільтрації у пористому середовищі, осадження зважених частинок, аномальної дифузії та багато ін.

Функція Міттаг-Леффлера також використовується для опису гідромеханічних систем із затримкою у часі, врахування сили Басе-Озеена при сепарації багатокомпонентних гетерогенних систем, узагальнення задачі Штурма–Ліувіля на випадок дробових похідних, синхронізації хаотичних мереж тощо.

Незважаючи на те, що функція Міттаг-Леффлера має рекурентну властивість і розкладається в асимптотичний ряд Пуанкаре, шляхи її застосування для розв'язання проблем вимушених коливань систем і динамічної стійкості механічних систем, що описуються рівняннями дробового порядку, все ще залишається відкритою проблемою. Це пояснюється тим, що похідна Рімана–Ліувілля дробового порядку α не тотожна похідній цілого порядку для експоненціальної функції [2]:

$$\frac{d^\alpha}{dt^\alpha} (e^{i\omega t}) = t^{-\alpha} E_{1,1-\alpha}(i\omega t) \neq (i\omega)^\alpha, \quad (2)$$

де $i = \sqrt{-1}$ – уявна одиниця; ω – частота; t – час.

Для остаточного вирішення цієї проблеми було виявлено одну важливу асимптотичну властивість функції Міттаг-Леффлера (рис. 1):

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \left[e^{-\tau} \frac{\sum_{k=0}^{\infty} \tau^{k-\alpha}}{\Gamma(k-\alpha+1)} \right] = 1, \quad (3)$$

де τ – безрозмірний часовий параметр.

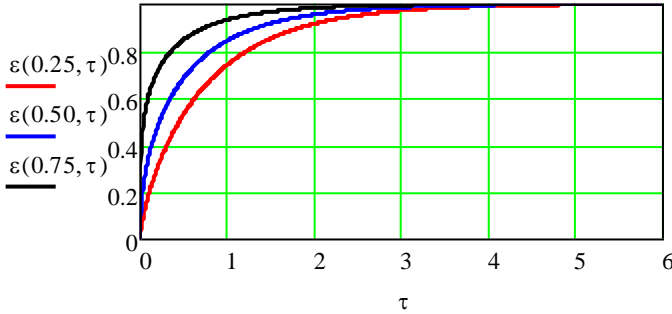


Рисунок 1 – Асимптотичне наближення функції Міттаг-Леффлера

Ця властивість доводиться шляхом багаторазового застосування правила Лопітала для границь з невизначеністю типу $\left\{ \frac{\infty}{\infty} \right\}$. Вона дозволяє одержати наступну залежність:

$$\lim_{t \rightarrow \infty} \left[\frac{\frac{d^\alpha}{dt^\alpha}(e^{i\omega t})}{e^{i\omega t}} \right] = (i\omega)^\alpha. \quad (4)$$

Отже, для випадку усталених коливань, і лише для них, дробова похідна (2) наближається до похідної цілого порядку $(i\omega)^\alpha \exp(i\omega t)$ показникової функції.

Виявлена асимптотична властивість (4) функції Міттаг-Леффлера обґрунтовує можливість застосування методу комплексних амплітуд для знаходження стаціонарних розв'язків узагальненого рівняння, що описує поведінку динамічних систем дробового порядку:

$$\sum_k a_k \frac{d^{n_k} y(t)}{dt^{n_k}} = f(t). \quad (5)$$

Список літератури

1. Pavlenko, I., Ochowiak, M., Agarwal, P. et al. (2021). Improvement of mathematical model for sedimentation process. *Energies*, Vol. 14(15), 4561.
2. Podlubny, I. (1999). *Fractional differential equations*. Academic Press, San Diego, CA, USA.

A PYTHON-BASED COMPUTER PROGRAM FOR CALCULATING FREE OSCILLATIONS OF ROTOR SYSTEMS

Prof. Dr. Ivan Pavlenko, DSc., Ing.-Paed.; Mykola Burym, Student, group KM-91-1, Department of Computational Mechanics named after Volodymyr Martynovskyy, Sumy State University, Sumy, Ukraine

Ensuring the vibration reliability of rotary machines is an important problem in up-to-date machinery [1]. This problem becomes more topical due to a permanent increase in the operating parameters of pumps, compressors, turbines, etc. In this regard, efficient ways for designing high-speed rotor systems before their manufacturing should be developed. However, most computational means allow for evaluating critical frequencies of a rotor based on Campbell's diagram [2]. However, such a technique reduces the importance of fundamental approaches in machine learning-assisted parameter identification of mechanical systems.

Due to the mentioned above, a computer program for calculating critical frequencies of rotor systems has been compiled. During programming, Python programming language was used to realize finite-element modeling. The initial data is formed using MS Excel. The results are plotted in Fig. 1.

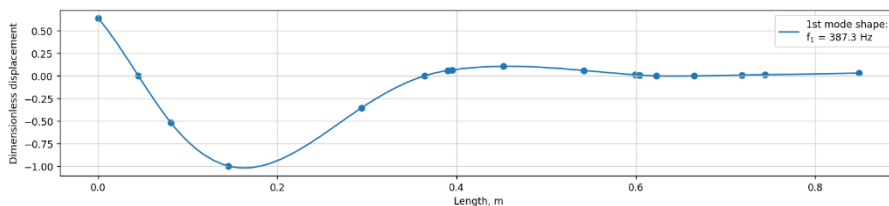


Figure 1 – First critical frequency and the mode shape

The developed approach has significantly improved the outdated program [3], realizing the finite element modeling based on the computer-algebra system MathCAD. The Python-based program also includes an improved Block Lanczos algorithm to evaluate eigenfrequencies and a Sparse Matrix technique to build the corresponding mode shapes.

References

1. Tiboni M., Remino C., Bussola R., Amici C. (2022). A review on vibration-based condition monitoring of rotating machinery. *Applied Sciences*, Vol. 12(3), 972.
2. Pavlenko I., Simonovskiy V., Demianenko M. (2017). Dynamic analysis of centrifugal machines rotors supported on ball bearings by combined application of 3D and beam finite element models. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 233(1), 012053.
3. Pavlenko I., Symonovskyy V. (2015). The computer program “Critical frequencies of the rotor”. Certificate of Authorship, Ukraine, No. 59855.

The research was realized within the NAWA Ulam Programme, grant number BPN/ULM/2022/1/00042.

ВПЛИВ ГЕОМЕТРІЇ КОСО ЗАТИСНЕНОГО КЕСОНА КРИЛА ПЛАНЕРА НА МІЦНІСТЬ ТА ВІБРОСТІЙКІСТЬ

Осіпов О. О. студент, група КМ-91/1; Жигилій Д. О., к.т.н., доцент, СумДУ, м. Суми

Косо затиснені кесони крила планера (КЗККП) — це тип вдосконаленої конструкції літака, який був розроблений, щоб забезпечити ряд переваг порівняно з традиційними конструкціями крила літака. Основною метою використання КЗККП є підвищення міцності та жорсткості конструкції крила при одночасному зменшенні його ваги.

Унікальна конструкція КЗККП передбачає вбудовування коробчастої конструкції в крило літака під косим кутом, а не під традиційним перпендикулярним кутом. Цей косий кут створює більш ефективний спосіб навантаження для крил, дозволяючи їм витримувати більш високі рівні навантаження без додачі ваги.

Ключовими перевагами КЗККП є покращена паливна ефективність, збільшений запас ходу та покращена ефективність конструкції. Зменшивши вагу конструкції крила, літаки можуть перевозити більше палива або корисного вантажу, споживаючи менше палива в цілому, що призводить до зниження експлуатаційних витрат і покращення характеристик. КЗККП також забезпечує підвищену безпеку та довговічність літаків. Покращена структурна ефективність забезпечує більшу стійкість до втоми та пошкоджень, тоді як зменшена вага та підвищена міцність можуть підвищити стійкість до ударів у разі аварії.

В роботі проаналізовано теоретичні основи проектування кесона крила планера та його несучих поверхонь. До спроектованого технічного рішення застосований метод скінчених елементів з метою моделювання напруженого та вібраційного станів. Обґрунтовано застосування розв'язування типів динамічних задач та розв'язані статична задача міцності й проведено аналіз гармонічного відгуку та спектральний аналіз.

Твердогільна модель являє собою оболонкову конструкцію постійної товщини підкріплену стержнями прокатних профілів. Симуляційна скінчена елементна модель косо затисненого кесона крила планера дозволила створити параметричну модель напруженого, деформованого та вібраційного станів конструкції. На основі параметричної моделі побудовано двовимірний ортогональний план експерименту У ортогональному плані рівні факторів змінюються систематично, так що кожна комбінація рівнів виникає лише один раз, а план збалансований відносно рівнів факторів. Досліджуваними факторами є товщина оболонки кесона та геометричні характеристики нормального перерізу балок прокатного профілю (площа та осьові моменти інерції).

На основі статистичних методів обробки даних симуляцій за планом експерименту дані рекомендації для факторів експерименту за умови збереження маси конструкції.

ЗАСТОСУВАННЯ РІЗНИХ СИМУЛЯЦІЙНИХ МОДЕЛЕЙ РЕЗОНАНСНОГО МЕТОДУ НЕРУЙНІВНОГО КОНТРОЛЮ ПЛАСТИН З ПОЛІМЕРНИХ КОМПОЗИЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ

Старинський П. С. студент, група КМ-91/1; Жигилій Д. О., к.т.н., доцент, СумДУ, м. Суми

Використання імітаційних моделей є ефективним способом дослідження застосовності різних методів неруйнівного контролю полімерних шаруватих композитних пластин із застосуванням резонансних методів. Ці моделі дозволяють досліджувати поведінку матеріалу за різних умов і визначати потенційні обмеження або проблеми в процесі випробувань.

Одним із поширених підходів до моделювання резонансного методу є використання методу скінчених елементів (МСЕ), який передбачає створення симуляційної віртуальної моделі матеріалу та застосування механічних навантажень для моделювання поведінки матеріалу за різних умов. МСЕ може надати уявлення про напружено-деформований стан матеріалу, а також вплив різних факторів, серед яких властивості матеріалу та його геометрія.

Інший підхід полягає у використанні аналітичних моделей, які базуються на математичних рівняннях і можуть забезпечити швидкі та ефективні рішення конкретних проблем. Ці моделі можуть бути менш точними, ніж МСЕ, але можуть бути корисними для аналізу простих геометрій або для порівняння результатів різних підходів.

Загалом, застосовність різних імітаційних моделей для неруйнівного контролю полімерних композитних пластин залежить від ряду факторів, включаючи тип матеріалу, що випробовується, діапазону пошуку власних частот, геометрії та розмірів зразків та конкретних використовуваних методів тестування.

В роботі для симуляції резонансного методу неруйнівного контролю полімерних композиційних матеріалів на основі МСЕ методом багатоточкового спектру відгуку проведено спектральний аналіз.

Досліджуються такі моделі дефектів у шаруватих композитах за С. М. Верещакою:

1) між жорсткими шарами в процесі виготовлення анізотропних оболонок наявний міжфазний м'який клейовий шар, товщина цього шару вважається нульовою. У області дефекту можливе пружне проковзування жорстких шарів один відносно одного;

2) аналогічно до першої, тільки товщина клейового шару ненульова;

3) класична модель пружно еквівалентного ортотропного матеріалу з порою у вигляді досліджуваного дефекту.

Твердотільна модель у вигляді квадратної в плані шаруватої пластини з дефектом за зазначеними моделями шарнірно оберті по ребрах верхньої та нижньої граней.

Досліджено вплив товщини, глибини залягання та площі дефекту на поверхні відгуку пластин з шаруватих композиційних матеріалів.

РЕАБІЛІТАЦІЯ ПАЦІЄНТІВ З СУДИННИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ. ЧАСТИНА II

Олександр Литвиненко, студент, група ІМ-11/1; Катерина Бурдюк, 11 клас, Центр позашкільної освіти, школа № 7, м. Лебедин; Смірнов В.О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми; Стовбур О. А., завідувач відділенням судинної хірургії, лікарня № 5, м. Суми

У попередній частині розглядалися наступні питання: мотивація, розрахунково-теоретичні, проведення експериментів, підведення підсумків та економічні. Мотивація включала аналіз журналу «Обліку прийому хворих у стаціонар хірургічного відділення КИП, клінічна лікарня № 5, м. Суми за 2021 р.. На підставі цього було побудовано в графічному режимі наступні показники: кількість пацієнтів по кожному місяцю, чоловіки і жінки, взагалі та окремо. (графіки №1, №2, №3). Кількість пацієнтів з урахуванням віку: <40 років, $40 \leq 60$ років (графіки №4, №5, №6). Кількість днів на лікуванні, стаціонар, по кожному місяцю, чоловіки і жінки, взагалі та окремо та з урахуванням віку: <40 років, $40 \leq 60$ років (графіки №7, №8, №9, №10, №11). Аналізуючи графіки знаходили їх «*max*» і «*min*» значення. Розрахунково-теоретична частина включала: вибір конструктивних розмірів окремих елементів, знаходження центрів ваги їх та всієї фігури. Розглядалися спочатку статична задача (побудували епюри N), потім фізична задача (побудували епюри σ), для трьох положень фігури. Ці задачі розглядалися з урахуванням статичного навантаження. У випадках тимчасового навантаження будувалися аналогічно ВСФ (N σ). Проводився аналіз «*max*» і «*min*».

Значень ВСФ в залежності від ЗСФ, знаходився небезпечний переріз. Розглядалося положення матеріальної точки у різноманітних системах: рухомої $x'y'z'$ та нерухомої xyz то її обертальний рух у блоковій формі (види руху, рівняння, типи завдань, одиниці виміру). Знаходились підстави для проведення експериментів з урахуванням форм руху. У вибраному масштабі будувалися графіки II порядку та їх співвідношення між собою у графічному режимі (циклоїда, евольвента, спіраль Архімеда). До речі, остання будувалась на підставі рівнянь $y=x$ ($x=1,2,3$) $y=2x$, $3x$, $y=x^n$ ($n=2,3$), $y=nx^n$ ($n=0,1,2$). Проводилось співвідношення значень у графічному режимі та вибирався оптимальний з урахуванням кута $0 \leq \alpha \leq 360$ та ординати $0 \leq y \leq 6,24$; $6,24 \leq y \leq 12,46$; $12,46 \leq y \leq 18,46$ для I, II, III спіралі Архімеда. На підставі цих даних будувався графік площин секторів спіралі I, II, III. Давалися принципові аксонометричні схеми обертального руху з напрямом швидкостей V , прискореннями σ_m , σ_n .

Для проведення експериментів використовувався пристрій «microlife» Вр, Ві classic (вимірювач артеріального тиску, був розроблений у співпраці з лікарями, а клінічні тести підтвердили високу точність його вимірювань). Знімалися показники: тиску, систолічні та диастолічні показники частоти пульсу. В аксонометричних проєкціях давалися схеми проведення експериментів з урахуванням різноманітних видів руху., кількість вимірювань для кожного експерименту приймалася $n=5$. Всі данні зводились у таблицю, де вказувався вік пацієнта, його стать, дата проведення, схема руху елемента, час утримання в кожному положенні ($t=0c, t=5c, t=10c, t=15сек, t=20c, t=25c$) та результати вимірювання. В окремих випадках (експериментах) результати вимірювання виконувались через $t= 1год, t= 2год, t= 3год$.

Для більшої наочності будувались графіки в певному масштабі. Всього проведено 227 експериментів та у стаціонарі – 8. Виконувались спочатку окремо ліва і права нога і обидві. Час проведення експериментів – з 12.08.2022 р. по 13.09.2022 р. та 10.10.2022 р. по 18.10.2022 р. Кількість іспитів у експериментах дорівнює: 1-18, 2-18, 3-18, 4-36, 5-30, 6-30, 7-28, 8-21, 9-28. У висновках потрібно відмітити використання деформації поперечного згину та явище гідравлічного удару та доцільність їх використання. Розраховувалися середні показники $Pc, Pq, П$ для кожного експерименту, які становлять:

$$1. Pc=+0,7\% \quad Pq=+2,6\% \quad П=+2,6\%$$

$$2. Pc=-4,9\% \quad Pq=-3,6\% \quad П=+0,9\% \quad - \text{ явище гідравлічного}$$

удару не використовувалося.

$$3. Pc=-2,4\% \quad Pq=-3,6\% \quad П=-4,7\%$$

$$4. Pc=-12,9\% \quad Pq=-15,5\% \quad П=-2,5\%$$

$$5. Pc=-13,2\% \quad Pq=-18,4\% \quad П=-10,5\%$$

$$6. Pc=-8,7\% \quad Pq=-18,1\% \quad П=6,1\%$$

$$7. Pc=-10,3\% \quad Pq=-10,2\% \quad П=-7,4\%$$

$$(-4,6\%) \quad (-5,7\%) \quad (-6,9\%) \quad - \text{ показники через 3 години після проведення}$$

експерименту.

$$8. Pc=-2,3\% \quad Pq=-8,2\% \quad П=-7,2\%$$

$$(+8,5\%) \quad (-1,9\%) \quad (-2,6\%)$$

$$9. Pc=-6,5\% \quad Pq=-5,8\% \quad П=-5,6\%$$

$$(+0,9\%) \quad (-1,3\%) \quad (-10,3\%) \quad - \text{ показники через 3 години після}$$

проведення експерименту.

На підставі цих значень доцільно запропонувати наступні висновки:

$$\Sigma(Pc+Pq) \leq 200 \quad - \text{ нормальний тиск.}$$

$$\Sigma(Pc+Pq) \geq 200 \quad - \text{ тиск підвищений або дуже високий.}$$

РЕАБІЛІТАЦІЯ ПАЦІЄНТІВ З СУДИННИМИ ЗАХВОРЮВАННЯМИ. ЧАСТИНА ІІІ

Олександр Литвиненко, студент, група ІМ-11/1; Катерина Бурдюк, 11 клас, Центр позашкільної освіти, школа № 7, м. Лебедин; Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми; Стовбур О. А., завідувач відділенням судинної хірургії, лікарня № 5, м. Суми

Запропоновані вправи з елементами кінцівок допомагатимуть нормалізувати артеріальний тиск на певний відсоток.

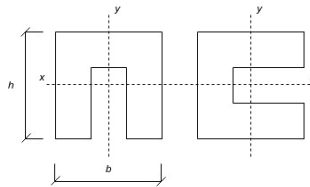
При розгляді економічних питань враховувалися пацієнти, як чоловіки, так і жінки з віком від 40 до 60 років. Далі знаходили загальну кількість днів на стаціонарі та середнє значення робочих днів у кожному місяці. Приймалася середня платня за місяць. Середній показник зменшення артеріального тиску ставиться 0,13 з урахуванням системи часткових коефіцієнтів, $\gamma_{\text{вік}}=0,85$ $\gamma_{\text{природ.факт.}}=0,85$ $\gamma_{\text{умови пров.}}=0,85$, знаходимо приблизний еквівалент у гривнях щомісяця та за рік. Він може становити у відділенні більше 11.91.10⁴гр. при умовах виконання пацієнтами методичних рекомендацій.

З метою збільшення часу процесу реабілітації пацієнтів, після перебування на стаціонарі, пропонується подальше проведення циклів. Це можливо на підставі розгляду окремих функцій головного мозку, зокрема психологічної та педагогічної. Спочатку коротко зупинимось на так званому «дереві» психологічної науки, що базується на теорії відображення, рефлекторній теорії, принципах психології та методології і для визначення положення медичної психології. Основний стовбур «дерева» можна розділити на дві частини: це соціальна та індивідуальна психологія, що базується на історії психології. В цьому разі медична психологія відноситься до індивідуальної. Більш детально розглянемо педагогічну функцію. Яка включає категорії педагогіки: теорію навчання, теорію виховання у «вузькому» та «широкому» значенні і теорію освіти та розвитку. Дедукційні принципи включають вивчення протиріч між внутрішніми та зовнішніми факторами з урахуванням «золотого» правила дидактики. Подальша мета відображення: результати у свідомості, просування у свідомості результатів, на досягненні якого спрямовані дії пацієнта. Зміст полягає в системі спеціальних знань, умінь і навичок; відповідь на питання – чому вчити і як вчити. Розглядалися методи навчання: монологічний, діалогічний, показовий, алгоритмічний, евристичний та проблемний, а також прийоми навчання як складова частина метода навчання. До форми можна віднести: індивідуальну, групову та масову. Наприкінці можливо відзначити такі шляхи навчання: від легкого до важкого, від відомого до невідомого, від приватного до загального, від простого до складного. Велике значення має визначення типів темпераменту пацієнтів, які перебувають на лікуванні в стаціонарі, з метою проведення більш системної роботи щодо реабілітації їх.

ПОЛОЖЕННЯ НЕБЕЗПЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ БРУСА ПРИ НАВАНТАЖЕННІ ЙОГО СИЛОВИМИ ФАКТОРАМИ ТА ГЕОМЕТРИЧНИХ ФАКТОРІВ МІЦНОСТІ

Андрій Тимофєєв, студент, група ІМ-21/2; Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми

Спочатку з'ясовувався вид деформації бруса та внутрішні силові фактори, у даному разі N . На підставі універсального метода перерізів, знаходилися значення N . Після вирішення статичної задачі, розглядалася фізична: знаходилося значення нормальних напружень у перерізах під кутом 90° до сили F за формулою $\sigma=N/F$. В цьому випадку можливе знаходження небезпечного перерізу бруса на «тах» значенні σ . Надалі розглядалася геометрична задача $\Delta l=Nl/EA$, де EA – жорсткість при деформації осьового розтягання. Проводився аналіз задачі, а саме навантаження бруса силою F поза центра ваги (позацентрове розтягування), послаблення перерізу бруса: симетричне та несиметричне ($A_{\text{брунто}}$, $A_{\text{нет}}$). Давалися методичні рекомендації щодо розв'язування цих задач.



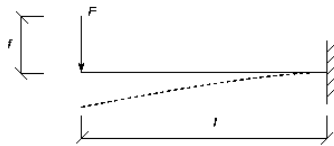
Надалі розглядався складовий переріз ($b \times h$), де знаходився центр ваги з урахуванням однієї осі симетрії за формулою $x_c = \sum A_i x_i / \sum A_i$; $y_c = \sum A_i y_i / \sum A_i$. Після знаходження центра ваги (с) проводилися головні центральні осі x_c, y_c та відстань між центральними осями $x_1, y_1, x_2, y_2, x_3, y_3$ та головними центральними a_i, b_i . Головний центральний момент інерції I_{x_c} та I_{y_c} обчислювався за формулою $I_{x_c} = I_{x_1} + a_1^2 A_1 + I_{x_2} + a_2^2 A_2 + I_{x_3} + a_3^2 A_3$ аналогічна I_{y_c} . Значення I_{x_c} та I_{y_c} . Порівнювалися між собою. Знаходилося оптимальне положення перерізу з урахуванням EI_{x_c}, EI_{y_c} , при деформації поперечного згину. Головні осі I_U, I_V , їх «тах» та «мін» значення, положення вирішувалося за формулами

$$tg 2\alpha = \frac{2I_{xy}}{I_{yc} - I_{xc}} \quad I_{\min} = \frac{I_{xc} + I_{yc}}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{I_{xc} - I_{yc}}{2}\right)^2 + I_{xy}^2}$$

ЗНАХОДЖЕННЯ ГЕОМЕТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТАТИЧНО ВИЗНАЧУВАНИХ БАЛОК

Максим Усенко, 11 клас, Центр позашкільної освіти; Володимир Левченко, 11 клас, школа № 6, м. Лебедин; Смірнов В.О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми

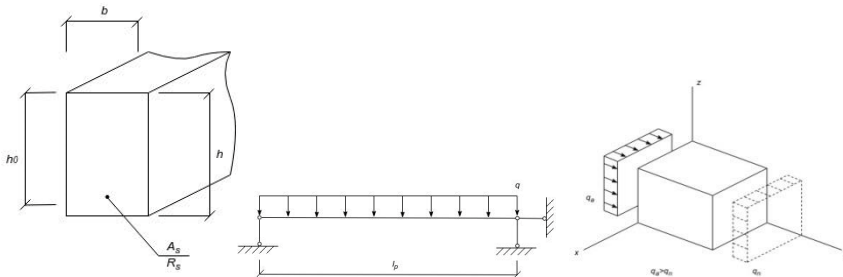
Розглядалися три консольні балки з навантаженням F , m , q послідовно, а також три звичайні балки з шарнірно рухомою та шарнірно нерухомою опорами. Виходячи з умов міцності для деформації поперечного згину $M_{max}/W \leq [\sigma]$, розв'язувалася проектна задача $W = M_{max}/[\sigma]$. На підставі значень допустимих напружень $[\sigma] = МПа$ та згинаючого моменту M_{max} ; по сортименту прокатних профілів приймався номер двотавра з характеристиками площі перерізу A та його маси m . Для знаходження ВСФ – Q, M будувалися епюри на підставі правила знаків та методу перерізів. У разі розглядання умов жорсткості $f_{max} \leq [f]$ треба враховувати тільки нормативне навантаження F , m , q . Для кожної розрахункової схеми максимальний f_{max} прогиб має вигляд $f_{max} = \frac{F \cdot l^3}{3EI_x}$; $f_{max} = \frac{q \cdot l^4}{8EI_x}$; $f_{max} = \frac{m \cdot l^2}{2EI_x}$. У цьому разі знаходилося значення моменту інерції I_x з урахуванням допустимої величини прогину $f/l \leq \left[\frac{1}{100} \right]$. Для консолі довжина l збільшувалася у два рази.



Остаточно значення I_x для кожної розрахункової схеми мають вид $I_x = \frac{F \cdot l^3 \cdot 2^3}{3 \cdot E \cdot l}$; $I_x = \frac{q \cdot l^4 \cdot 2^3}{8 \cdot E \cdot l}$; $I_x = \frac{m \cdot l^2 \cdot 2^2}{2 \cdot E \cdot l}$. За цими значеннями за допомогою таблиць прокатних профілів приймався номер двотавра. Значення геометричних характеристик міцності – W_x та геометричних характеристик жорсткості I_x прокатних профілів порівнювалися.

ВИБІР НАЙБІЛЬШ НЕБЕЗПЕЧНИХ РОЗРАХУНКОВИХ СХЕМ СТАТИЧНО ВИЗНАЧЕНИХ БАЛОК ТА ОПОРНИХ ЗАКРІПЛЕНЬ РАМ

*Максиміліан Рожков, 11 клас, школа № 1, м. Суми;
Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми*

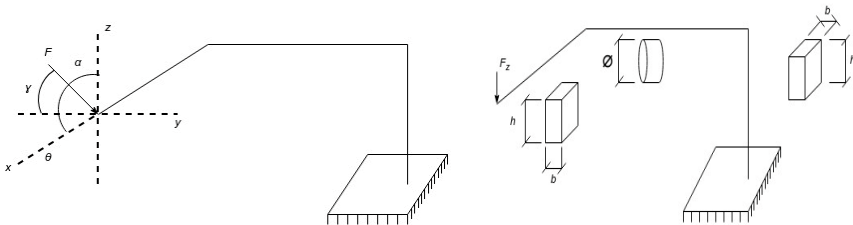


Розглядалися декілька конструктивних аксонометричних схем цивільних будівель в прямокутних і косокутних проекціях у просторій системі координат x, y, z . Виконувалося їх навантаження як статичне так і тимчасове. Q, q_A, q_l на підставі БА і П. Опрацьовувалися розрахункові схеми плити перекриття ПП-60-10 з урахуванням епюри σ у вигляді прямокутника та трикутника, знаходився центр ваги цих фігур. Вибиралась найбільш небезпечна розрахункова схема статично визначуваної балки з умов $M_{max} = \frac{ql^2}{8}$; $Q_{max} = \frac{ql}{2}$; $A_3 = \frac{M_{max}}{R_S h_0 \gamma_3}$. Будувалися та розраховувалися значення ВСФ – Q, M у наступних випадках: монтажу та проектного положення. Розраховувалися так звані «грузові» площі для побудови епор Q, N, M , ригеля, колони, тобто елементів «працюючих» на деформацію поперечного згину та подовжнього стиснення. З урахуванням певного навантаження виконувався розрахунок статично-визначуваної рами і перевірка її вузлів: $\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum M = 0$. Знаходилося небезпечне навантаження зовнішніми силовими факторами на підставі епор ВСФ. Особлива увага зверталась на перехід конструктивних вузлів рами в розрахункові: шарнірно-рухомий та нерухомий опори і жорсткому закріпленню.

ПОБУДОВА ЕПЮР ВСФ, НОРМАЛЬНИХ І ДОТИЧНИХ НАПРУЖЕНЬ У ПРОСТОРОВОМУ ЛОМАНОМУ БРУСІ

*Максиміліан Рожков, 11 клас, школа № 1, м. Суми;
Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми*

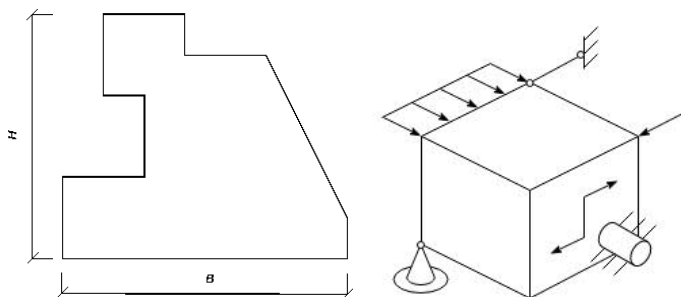
Відразу знаходилися компоненти зовнішнього силового фактора F на осі $x, y, z - F_x, F_y, F_z$ за допомогою $\cos \alpha, \cos \gamma, \cos \theta$. Надалі на підставі методу «характерних» точок будувалися епюри Q, M, N, M_{kp} в залежності від виду і характеру деформації. Аксонометричні проєкції сил F_x, F_y, F_z та бруса виконувалися на підставі дидактичних принципів. Слід відзначити, що значення ВСФ для елементів бруса знаходилися окремо для F_x, F_y, F_z , застосовуючи правила знаків, одночасно проводилися перевірка побудови епюр, за допомогою так званих «стрибків». В аксонометричних проєкціях виконувалася статична перевірка вузлів рами. Будувалися загальні епюри ВСФ, де знаходилися небезпечні перерізи з точки зору $Q_{max}, N_{max}, M_{max}, M_{max}^{kp}$. Виходячи з умов міцності для кожного виду деформації, знаходилося рішення геометричних задач, тобто виду поперечного перерізу $\frac{M_{max}}{W} \leq [\sigma]$ $\frac{Q_{max} S}{I_8} \leq [\tau]$ $\frac{N}{A} \leq \sigma$ $\frac{M_{kp}}{Wg} \leq [\tau]$. Проводилися побудова епюр нормальних та дотичних напружень σ, τ та виконувалися їх аналіз для кожного елемента просторового ломаного бруса. До речі, поперечний переріз виконувався також із прокатних профілів: двох швелерів, чотирьох рівнокутних кутів, які склалися у формі квадрата і прямокутника, з урахуванням економічних задач.



ЗНАХОДЖЕННЯ ПОЛОЖЕНЬ ГОЛОВНИХ ЦЕНТРАЛЬНИХ ВІСЕЙ СКЛАДОВИХ ФІГУР ТА РАЦІОНАЛЬНОГО РОЗТАШУВАННЯ ОПОР

*Назар Лобода, учень 9 класу, школа № 9, м. Суми;
Смірнов В. О., директор центру НТТУМ СумДУ, м. Суми*

Розглядалося чотири задачі. У перших двох знаходилися центри ваги. Спочатку складову фігуру розподіляли на декілька простих, де позначали положення центральних вісей x, y, \dots з центром ваги c_1, \dots . Вибирали положення допоміжних осей x, y та відстань між c_1, \dots і осями x, y . Знаходили площі простих фігур A_1, \dots і за формулою $x_c = \frac{\sum A_i x_i}{\sum A_i}$, $y_c = \frac{\sum A_i y_i}{\sum A_i}$ отримували місцезнаходження головних центральних вісей x_c і y_c . Їх положення буде корисним для подальших розрахунків для геометричних характеристик міцності, а саме $I_{x_1}, I_{x_2}, \dots, I_{y_1}, I_{y_2}, \dots, I_{x_c}, I_{y_c}$. Виконувалася перевірка рішення за допомогою значень статичного моменту площі S_{x_c}, S_{y_c} . Розглядалися інші методи розрахунків та їх зіставлення. Далі знаходилися реакції опор просторої системи довільно розташованих сил. Загруження зовнішніми силовими факторами, F, m, q . На підставі принципу незалежності дії сил складалися шість незалежних рівнянь статички, а саме $\sum X = 0, \sum Y = 0, \sum Z = 0, \sum M_x = 0, \sum M_y = 0$, з яких знаходилися реакції V_z, H_x, H_y опор: шарнірно рухомої, циліндричного шарніра, сферичного шарніра. Виконувалася перевірка рішення. Подальше проводилася зміна розташування опор. Зовнішнє навантаження не змінювалося. Проводився аналіз значень реакцій та їх напрям. Розглядалися деякі види деформацій та їх характер у всіх елементах просторої фігури.



ЧИСЕЛЬНИЙ РОЗРАХУНОК ДВОСТОРОННЬОЇ ЗАДАЧІ ГІДРОПРУЖНОСТІ ТОРЦЕВОГО САЛЬНИКОВОГО УЩІЛНЕННЯ - АНАЛІЗ ВПЛИВУ ЗМІНИ ПАРАМЕТРІВ

*Сапожников Я. І., аспірант; Загоруйко А. В., к.т.н., доцент, зав. каф. КМ
ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми*

Машинобудівна промисловість стикається з проблемою дотримання екологічних норм, що вимагає вдосконалення ущільнень насоса для зменшення витоків робочого середовища. Торцеві механічні ущільнення, зокрема торцеві сальникові ущільнення (ТСУ), залишаються енергоефективними для ущільнення валів відцентрових машин. Пропонується вдосконалення ТСУ та обговорюється використання обчислювальної техніки для створення комп'ютерних моделей, які точно імітують реальні умови експлуатації відцентрових машин.

Описано розробку комп'ютерної моделі за допомогою програмного комплексу ANSYS для дослідження процесу герметизації сальникових ущільнень. Модель використовує довільний метод Лагранжа-Ейлера для передачі даних і неконформний тип зв'язку між елементами сітки. Дослідження аналізує розподіл гідростатичного та контактного тиску вздовж ширини пари тертя та вивчає такі параметри, як коефіцієнт навантаження, модуль пружності, коефіцієнт Пуассона, коефіцієнт тертя та товщина пластини. Результати показують, що зміни коефіцієнтів тертя та коефіцієнтів Пуассона мало впливають на розподіл тисків, але зміни інших параметрів значно впливають на розподіл контактного тиску.

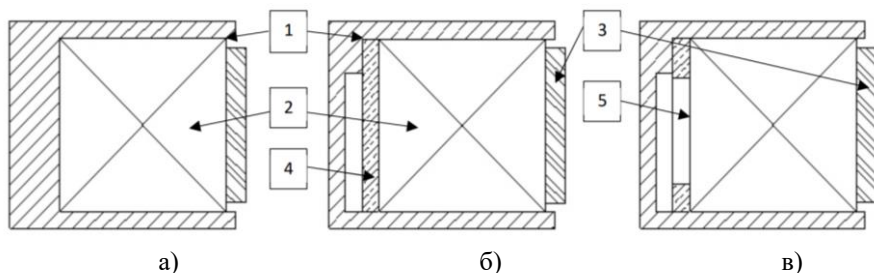


Рисунок 1 – а) традиційна конструкція ТСУ, б) ТСУ з кільцевою пластинною в) ТСУ з отворами в кільцевій пластині; 1 – обойма сальникового ущільнення, 2 – сальникова набивка, 3 – натискна втулка, 4 – кільцева пластинна

У дослідженні порівнюються різні конструкції ТСУ, включаючи традиційну конструкцію, конструкцію з кільцевою пластиною та конструкцію з отворами в кільцевій пластині. Результати показують, що конструкція з отворами забезпечує найбільш повну картину розподілу тиску і може бути корисною для оптимізації роботи ущільнення. Розроблена комп'ютерна модель дозволяє розв'язати комплексну задачу, яка поєднує розв'язок задачі гідропружності та контактної задачі.

Однак отримані результати мають відмінності від експериментальних, і в подальшому необхідно визначити ті параметри моделі, які необхідно враховувати при побудові нової моделі. При порівнянні різних конструкцій ТСУ визначено таку комбінацію параметрів, при яких досягається вирівнювання контактного тиску по ширині пари тертя із збереженням оптимального показника витоків. Наявність кільцевої пластини призводить до зниження контактного тиску по ширині пари тертя і збільшення швидкості витоків, що підтверджено експериментально. Тим не менш, створена модель дозволяє визначити параметри, які найбільше впливають на розподіл гідростатичного та контактного тиску.

Список літератури

1. Sapozhnykov Y., Zahorulko A., Peczkis G. (2022). Numerical simulation of 2-way FSI problem of face packing seal: Impact of parameters change. *Journal of Engineering Sciences*, Vol. 9(2), pp. E12-E27, doi: 10.21272/jes.2022.9(2).e3
2. Zahorulko A. Solution of problem concerning elasto-hydrodynamic lubrication for friction pair of face packing seal/ A. Zahorulko, S. Gudkov // *Proc. XIII int. Conference in Sealing Technology*. - Stuttgart, 2010. - 317 – 326
3. Загорулько А.В. Дослідження процесів тертя та герметизації в чоловому сальнику // *Машинознавство*. – 1999. - №8(26). – С.45-48.

ОБЧИСЛЮВАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ГЕРМЕТИЧНОСТІ ТА СТІЙКОСТІ ДЕФОРМОВАНОГО ПЛАВАЮЧОГО ТА НЕРУХОМОГО КІЛЕЦЬ ШПАРИННОГО УЩІЛЬНЕННЯ

*Борсук С. А., студент, група КМ-81; Загорулько А. В., к.т.н., доцент,
зав. каф. КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми*

У сучасному насосному обладнанні широкого застосування набули безконтактні ущільнення шпаринного типу [1]. Особливість даних ущільнень полягає в їх безпосередньому впливі на вібраційний стан роторів. В залежності від конструктивного виконання ущільнень гідродинамічні сили, що виникають в них, можуть мати на ротор як центруючий, так і децентруючий вплив. Головним недоліком таких ущільнень є відносно великі витоки перекачуваної рідини, які знижують коефіцієнт корисної дії насосів. Тому, таке положення визначає важливість досліджень, спрямованих на підвищення герметизуючої здатності та вібраційної надійності безконтактних ущільнень роторів швидкохідних насосів та зменшення трудомісткості розрахунків [2].

Розв'язання задачі гідропружності за допомогою Ansys System Coupling (Mechanical і CFX) для плаваючого та закріпленого кілець деформованого шпаринного ущільнення дозволило проаналізувати вплив товщини циліндричної оболонки, розмірів вхідного і вихідного буртів, вхідного тиску та радіального зміщення вала на розподіл гідростатичного тиску та величину зазору по довжині, витоки, напружено-деформований стан та радіальну силу. Аналіз статичної стійкості при вхідному тиску 10 МПа для базової конструкції ущільнення показав, що статична радіальна сила у діапазоні радіальних переміщень вала від 0 до 50 % від зазору є центруючою, не дивлячись на те, що вхідна частина зазору ущільнення має конфузорну, а вихідна частина має диффузорну форму зазору. Проте динамічні коефіцієнти закріпленого кільця ущільнення мають негативне значення прямої жорсткості, але позитивні значення прямого демпфірування, прямої та перехресної жорсткостей. Верифікація обчислювальних 2D і 3D моделей з результатами експерименту, відомими з літератури, показала, що максимальна відносна похибка не перевищує 10.7 % за гідростатичним тиском, 18 % за зазором і 8.6% за величиною витоків. При цьому за трендом всі розрахункові залежності ідентичні до результатів експерименту.

Перелік джерел посилання

1. Марцинковский В. А. Гермомеханика, ее роль в обеспечении экономичности и экологичности насосного и компрессорного оборудования [Текст] / В. А. Марцинковский // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. - 2005. - №1 (73) - С. 5-10.
2. А.В. Загорулько, К.П. Герасимива, Е.И. Алтынцев, С.Н. Гудков. Компьютерное моделирование пространственного течения в кольцевом канале щелевого уплотнения-опоры // Восточно-Европейский журнал передовых технологий 6/7 (42) 2009 - С. 22-26.

РОЗРОБКА МОБІЛЬНОГО ЗАСТОСУНКУ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ ГІДРОДИНАМІЧНИХ СИЛ ТА ВИТОКІВ У БАГАТОШПАРИННИХ УЩІЛЬНЕННЯХ ВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

*Яненко С. В., аспірант; Позовний О. О., к.т.н., асистент,
каф. КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми*

Відцентрові насоси широко використовуються у багатьох сферах промисловості, включаючи нафтогазову та хімічну галузі, енергетичну сферу, водопостачання, водовідведення та інші. Дані агрегати є ключовим елементами у системах перекачування рідин, споживаючи велику кількість енергії [1]. Саме тому підвищення продуктивності та надійності роботи відцентрових насосів є важливою технологічною задачею та актуальною темою в інженерній галузі. Одним із перспективних шляхів підвищення ККД відцентрових насосів є зменшення витоків за рахунок використання багатошпаринних ущільнень в якості передніх або міжступеневих ущільнень робочих коліс [2].

Гідродинамічні процеси в багатошпаринних ущільненнях мають значний вплив на динамічні характеристики ротора відцентрового насоса, тому такі ущільнення необхідно враховувати при проектуванні. За умови оптимальної геометричної конструкції багатошпаринних ущільнень можливо не тільки зменшити витоків, а також підвищити вібронадійність ротора насосу.

У середовищі програмування Xcode розроблено мобільний додаток для операційної системи iOS з використанням мови програмування Swift та технології SwiftUI, який дозволяє розрахувати коефіцієнти гідродинамічних сил та величину об'ємних витоків для багатошпаринних ущільнень відцентрового насоса. У якості вхідних даних у застосунок вводяться геометричні параметри ущільнень (радіус каналів, довжина каналів, радіальний зазор шпарини, радіальне зміщення ротора), а також значення вхідного та вихідного тиску. Для розрахунків використовується методика теоретичного розрахунку динамічних характеристик багатошпаринних ущільнень, яка ґрунтується на розв'язанні рівнянь Рейнольдса для автотельної області турбулентної течії в'язкої нестисливої рідини та вимушених коливань одномасової моделі ротора [2]. Після проведення відповідних обчислень застосунок дозволяє отримати в якості вихідних даних значення сумарних коефіцієнтів потенційних, дисипативних і циркуляційних сил для відповідної конфігурації багатошпаринного ущільнення, а також величину об'ємних витоків. У застосунку також реалізована функція збереження результатів розрахунку для відповідних параметрів ущільнення, що створює можливість порівняння отриманих даних.

Даний застосунок може використовуватись інженерами при проектуванні та модернізації відцентрових насосів для автоматизації складних розрахунків та ефективного підбору оптимальної конфігурації багатошпаринного ущільнення. Однією з головних переваг мобільного застосунку є можливість проведення розрахунків у будь-якому місці без прив'язки до конкретного робочого місця та без необхідності мати відповідне програмне забезпечення.

АНАЛІЗ СТАТИЧНИХ ТА ДИНАМІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК УЩІЛЬНЕНЬ З ПЛАВАЮЧИМИ КІЛЬЦЯМИ

*Колеченко Б. О., студент, група КМ-91/1; Позовний О. О., к.т.н., асистент,
каф. КМ ім. В. Марцінковського, СумДУ, м. Суми*

Плаваючі ущільнення - це пристрої, які використовуються для обмеження витoku рідини або газу між ротором та статором при великих тисках та кутових швидкостях двох поверхонь з яких одна обертається. Такий тип ущільнень набуває більшої популярності та представляє практичний інтерес завдяки перевагам над контактними [1,2]. Їх використовують у нафтовій, газовій, хімічній, а також в енергетичній і водній промисловостях для запобігання витoku рідин. Вони є ефективним і надійним методом запобігання витoku рідин і газів, забезпечуючи безпечну і стабільну роботу обладнання.

Ще одним важливим аспектом плаваючих кільцевих ущільнень є їхня екологічність. Оскільки вони обмежують витікання небезпечних речовин, що чинять негативний вплив на навколишнє середовище, вони сприяють зниженню впливу на навколишнє середовище і забезпеченню екологічної безпеки. Таким чином, плаваючі кільцеві ущільнення є важливим компонентом виробничих процесів у найрізноманітніших галузях промисловості, що забезпечують надійну і безпечну роботу обладнання.

Принцип дії плаваючих ущільнень описано більш детально на схемі рис.1. В корпус обладнання встановлюють нерухомі кільцеві втулки 1, до яких прилягає плаваюче кільце 2, яке встановлюється на валу з малим радіальним зазором. Кільце може вільно переміщатися в радіальному напрямку, але зафіксовані в окружному напрямку за допомогою стержнів 3. За рахунок тиску ущільнюваного середовища, плаваюче кільце 2 піджимається до нерухомої втулки 1. Попередній контакт забезпечується пружинами 4.

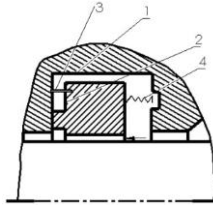


Рисунок 1 Схема ущільнення з плаваючим кільцем

В роботі проведено аналіз статичних та динамічних характеристики, які є важливими в процесі проектування та вибору типу ущільнень. Статичні характеристики включають в себе герметичність ущільнення та радіальні гідростатичні сили при високих тисках. Динамічні характеристики включають в себе демпфуючу та циркуляційну сили [3]. Для аналізу статичних та динамічних характеристик ущільнень з плаваючими кільцями використовуються різні методи. В роботі представлені результати аналітичних та числових розрахунків за допомогою сучасних програмних комплексів. Представлені амплітудно-фазові частотні характеристики для визначення межі стійкості з та без ущільнень. Аналіз статичних та динамічних характеристик ущільнень з плаваючими кільцями є важливим етапом проектування та забезпечення безперебійної, безпечної роботи відцентрових насосів.

АНАЛІЗ СПІЛЬНИХ РАДІАЛЬНО-ОСЬОВИХ КОЛИВАНЬ РОТОРА З УРІВНОВАЖУЮЧИМ ПРИСТРОЄМ

*Григор'єв В. С., студент; група КМ-91/1; Позовний О. О., к.т.н., асистент,
каф. КМ ім. В. Марцинковського, СумДУ, м. Суми*

Балансувальний пристрій (гідроп'ята) - це пристрій, який встановлюється у системі насосу, для автоматичного контролю потоку рідини і відіграє дуже важливу роль, оскільки забезпечує високу довговічність і надійність насоса та низьке енергоспоживання. Він також забезпечує рівномірний розподіл тиску перекачуваного середовища на робоче колесо насосу, а також вирівнює та зменшує осьові сили, що діють на нього, оскільки в сучасних відцентрових насосах сумарна осьова сила, яка діє на робочі колеса, вимірюється десятками тон[1]. Врівноваження таких сил являє собою великі труднощі та потребує значних втрат потужності.

Установка врівноважуючих пристроїв дозволяє зменшити об'ємні втрати, які можуть досягати, як в і шпаринних ущільненнях до 10% від їх подачі[1], тому підвищення методів герметизації супроводжується певними впливом на тиск всього агрегату.

Головними елементами класичного врівноважуючого пристрою є розвантажувальний диск, жорстко з'єднаний з ротором, радіальна щілина з постійним гідравлічним опором і торцева щілина, опір якої змінюється в залежності від зміни торцевого зазору при осьовому зміщенні ротора.

Під час проектування врівноважуючих пристроїв метою є мінімізація об'ємних втрат та запобігання надмірному зменшенню торцевого зазору під час роботи, що може призвести до задирів, коли осьові сили змінюються при різних робочих тисках.

Врівноважуючі пристрої бувають різних конструкцій: звичайна конструкція, з упорним підшипником, з розвантажувальним поршнем, гідроп'ята з елементом розвантажувального поршня.

В роботі проведений аналіз та розрахунки характеристик гідроп'яти зі звичайною класичною конструкцією та конструкцією кільцевих і торцевих щілинних ущільнень, яка відрізняється від традиційної, перш за все, механізмом зворотного зв'язку. Ці розрахунки дозволяють визначити яка конструкція є ефективнішою для використання у відцентрових насосах, визначення витоків та провідностей торцевого і радіального зазору. Подальше порівняння конструкцій дозволило виявити переваги та недоліки кожної з них.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Martsynkovskyy V.A., Deineka, A., Kovalenko, V. Evaluation of rotor axial vibrations in a turbo pump unit equipped with an automatic unloading machine. IOP Confer-ence Series: Materials science and Engineering. 2017, Vol. 233 (1), 012057.

ПРИКЛАДНІ АСПЕКТИ ЗАСТОСУВАННЯ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ ПРИ КОМП'ЮТЕРНОМУ МОДЕЛЮВАННІ В МЕХАНІЦІ

Мельник А. І., вчитель фізики, НВК № 1, м. Ялівець

Штучний інтелект (ШІ) — це галузь науки, яка займається створенням і розвитком систем, що можуть здійснювати інтелектуальну діяльність, котру зазвичай пов'язують з людьми. У сучасному світі ШІ використовується в багатьох галузях науки та технологій, зокрема в механіці.

Комп'ютерне моделювання в механіці є дуже важливим інструментом для розуміння поведінки різних систем та прогнозування їхньої динаміки. Застосування ШІ у цій галузі може значно покращити точність прогнозування та ефективність моделювання.

Один з прикладів використання ШІ в механіці — це моделювання руху часток в рідині або газі. Такі моделі зазвичай засновані на рівняннях Нав'є-Стокса, які досить складні для розв'язання аналітичним методом. ШІ може бути використаний для розв'язання цих рівнянь чисельним методом. Методи глибинного навчання можуть бути використані для створення моделей, які можуть прогнозувати поведінку рідини або газу з високою точністю.

Ще одним прикладом використання ШІ в механіці є моделювання поведінки матеріалів при високих температурах. Такі матеріали можуть бути використані для виготовлення деталей двигунів або інших систем, що піддаються впливу високих температур. Так, використання ШІ доцільне при створенні моделей для прогнозування поведінки матеріалів при різних температурах і навантаженнях.

Інший приклад використання ШІ в механіці — прогнозування поведінки структурних елементів, таких як мости або будівлі, під час землетрусів чи інших природних катастроф. ШІ може бути використаний для створення моделей, які можуть прогнозувати деформації та напруження в структурних елементах і допомогти розробити ефективніші системи зменшення ризиків. Крім того, ШІ може бути використаний для створення більш точних та ефективних алгоритмів обробки даних у механічних системах, таких як розпізнавання образів або визначення параметрів об'єктів. Зокрема, це необхідно при розробці автоматизованих систем контролю та управління механічними системами. Отже, штучний інтелект — корисний інструмент для комп'ютерного моделювання в механіці. Він може допомогти покращити точність прогнозування та ефективність моделювання руху тіл, поведінки матеріалів, структурних елементів й інших систем. Застосування ШІ сприятиме підвищенню якості алгоритмів обробки даних у механічних системах. Динамічний розвиток ШІ передбачає розширення його застосування в механічних системах, що дозволить якісніше прогнозувати їхню поведінку та підвищувати ефективність відповідних систем.

ДОСЛІДЖЕННЯ ДИНАМІКИ ТА СТІЙКОСТІ РОТОРА НАСОСА ЦНА 600-35 ДЛЯ АТОМНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

Вербовий А. Є., асп.; Павленко І. В., д-р техн. наук, проф.; Симоновський В. І., д-р техн. наук, проф., СумДУ, м. Суми, Україна; Неамцу К., канд. техн. наук, доц., Технічний університет м. Клуж-Напока, м. Клуж-Напока, Румунія

Забезпечення енергоефективності та вібронадійності відцентрових машин є одним із пріоритетних завдань при їх проектуванні й експлуатації. Розв'язання цієї проблеми полягає у забезпеченні низького рівня вібрації і стійкості прецесії ротора. Проблема посилюється наявністю у відцентрових машинах не лише викликаних дисбалансами відцентрових сил з частотою, що дорівнює частоті обертання вала, але й високочастотних складових сил (наприклад, лопатевих компонентів) з частотами, які суттєво перевищують частоту обертання ротора.

У разі втрати стійкості виникають неприпустимі автоколивання, характерні для нелінійних динамічних систем. Їх наявність може бути визначена на основі спектрального аналізу. У цьому випадку невідповідний стан динаміки ротора може бути виявлено спеціальним обладнанням, яке не завжди передбачено при експлуатації відцентрових машин.

Згідно з вищесказаним, динаміка і стійкість роторів відцентрових насосів для атомних електростанцій (АЕС) є актуальною проблемою. Її вирішення неможливе без застосування сучасних обчислювальних засобів у комплексному поєднанні з аналітичними методами.

Таким чином, метою роботи є розроблення узагальненого підходу до забезпечення вібраційної надійності відцентрових насосів АЕС на прикладі багатоступінчатого насоса ЦНА 600-35, призначений для водопостачання промислового контуру АЕС.

У роботі для забезпечення вібраційної надійності насоса ЦНА 600-35 застосовувались методи ідентифікації параметрів спільно зі скінченно-елементним аналізом та аналітичним моделюванням.

У результаті були оцінені еквівалентна маса і жорсткість роторної системи. У результаті було розроблено уточнену математичну модель динаміки ротора з урахуванням сил інерції, жорсткості, демпфування, внутрішнього тертя, а також циркуляційної сили в ущільненнях.

Також на основі алгебраїчного критерія Рауса–Гурвіца оцінювалась динамічна стійкість ротора в залежності від значень частоти обертання і коефіцієнта тертя; побудовано відповідну область стійкості.

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

ВПЛИВ ТЕХНОГЕННОГО СЕРЕДОВИЩА НА ОЗОНОВИЙ ШАР ПЛАНЕТИ

Сумцова К. С., студентка, СумДУ, м. Суми

Озоновий шар захищає життя на Землі, поглинаючи більшу частину шкідливого ультрафіолетового випромінювання Сонця. Однак діяльність людини, зокрема викиди озоноруйнівних речовин, призвела до зменшення озонового шару, що може мати серйозні наслідки для здоров'я людини. Тому розуміння впливу техногенного середовища на озоновий шар є критично важливим для забезпечення безпеки життя на нашій планеті.

Мета: дослідити вплив людської діяльності на озоновий шар та визначення заходів, які можна вжити для зменшення шкоди. Для вирішення поставленої мети були поставлені наступні завдання:

- Проаналізувати основні джерела озоноруйнівних речовин.
- Дослідити механізми, за допомогою яких ці речовини руйнують озоновий шар.
- Визначити наслідки руйнування озонового шару для здоров'я людини та навколишнього середовища.
- Обговорити міжнародні угоди та заходи, спрямовані на захист озонового шару.
- Запропонувати додаткові заходи, які можна вжити для зменшення впливу людської діяльності на озоновий шар.

Людська діяльність призвела до вивільнення таких речовин, як оксиди азоту, хлорфторвуглеці, галони та інші озоноруйнівні речовини (ОРР), які руйнують молекули озону. Ці речовини широко використовуються в авіапромисловості холодоагентах, кондиціонерах, піноутворювачах та вогнегасниках тощо. Коли ці речовини досягають озонового шару, вони розпадаються і вивільняють атоми хлору і бром, які потім реагують з молекулами озону, розщеплюючи їх на молекули кисню. Цей процес відомий як озонове виснаження, і він зменшує кількість озону в атмосфері.

Для вирішення проблеми виснаження озонового шару був сформований Монреальський протокол, який підписали понад 160 країн. Пізніше було засновано міжнародний фонд «Глобальний екологічний фонд» для спрямування зусиль на допомогу країнам, що розвиваються.

Однак, все ще існують проблеми, які необхідно вирішити. Деякі країни все ще використовують ОРР, і є свідчення того, що відбувається нелегальна торгівля цими речовинами.

Тому для забезпечення подальшого захисту озонового шару і безпеки життя на нашій планеті можуть знадобитися додаткові заходи, такі як просування альтернативних технологій і забезпечення дотримання правил.

Керівник: Трунова І. О., доцент

ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ МОДЕЛІ РОЗСІЮВАННЯ ЗАБРУДНЮЮЧИХ РЕЧОВИН З ВИКОРИСТАННЯМ WEB-ПЛАТФОРМИ

Вихрова А. Ю., студент; Козій І. С., доцент, СумДУ, м. Суми

З огляду на те, що в Україні не має нормування пилу в залежності від дисперсного складу, то відповідно під час організації та проектування потенційних джерел викидів ризик для здоров'я населення, яке проживає в зоні впливу промислових підприємств не розглядається. Це, своєю чергою, вимагає достовірних оцінок та вивчення закономірностей поширення викидів, які містять дрібнодисперсні зважені речовини.

Реалізація заходів громадського контролю якості атмосферного повітря вимагає створення спеціальних програмних застосунків, які дозволяють забезпечити прозорість та відповідальність з боку підприємств, а також допоможе населенню приймати інформовані рішення щодо захисту свого здоров'я та довкілля.

В останні роки Web-додатки стрімко розвиваються, поступово витісняючи настільні рішення і стаючи найважливішою складовою програмного розвитку сучасного світу. Моделювання дальності поширення забруднюючих речовин від джерела викидів в приземному шарі атмосфери реалізовано відповідно до алгоритму моделі поширення дрібнодисперсних зважених речовин в програмному середовищі Mathcad Prime 7 і поділяється на наступні основні кроки: Перевірка вхідних даних, Введення даних швидкості вітру, Розрахунок моделі, Створення хмари та Показ результату.

Для початку роботи з програмою необхідно перейти на початкову сторінку програми в браузері і ввести дані у відповідні поля. Після введення необхідних даних у вікні браузера потрібно натиснути кнопку «Обчислити», щоб побачити результати розрахунку дальності поширення забруднюючої речовини та візуалізовану хмару (рис. 1).

Розроблений Web-додаток оцінки дальності поширення забруднюючих речовин від джерела їх викидів є основою для розрахунку техногенного впливу промислових підприємств на навколишнє природне середовище, який може бути доступний широкому колу користувачів. Дані, зібрані за допомогою додатку, можуть допомогти у питаннях розуміння та зменшення рівня забруднення повітря, підвищення екологічної свідомості громадськості.

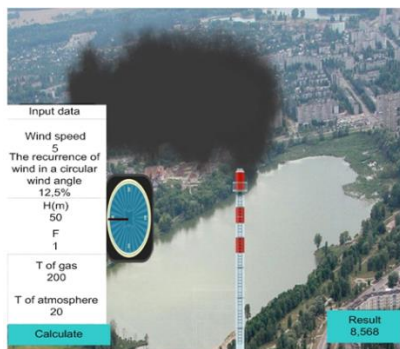


Рисунок 1 – Web-додаток

AMMONIA REMOVAL IN ANAEROBIC DIGESTION BY BIOGAS STRIPPING

*Holovaty A. Yu., PhD student; Ablieieva I. Yu., Associate Professor,
Sumy State University, Sumy, Ukraine*

Food waste (FW) is a significant waste stream, and disposing of it can be difficult due to its high moisture content, bulk density, and biodegradability. When mixed with commercial or municipal waste, it can complicate or prohibit the recovery of other great potential materials because of the contamination from FW interaction. As a result, there is growing interest in the separate gathering and handling of source segregated food waste, with a focus on recovering extra value by this waste. The high moisture level and heat capacity of FW make it appropriate for anaerobic digestion, that produces biogas, a biofuel, and also the digestate nutrition values makes it suitable for use as a biofertilizer on farmland.

Ammonia stripping is a regulated procedure for removing ammonia out of a mixture that, in combination with absorbing, can extract and reclaim ammonia from wastes. Samples from biogas plant must be fresh from the reactor, because during week properties of digestate is dropping down, result at first day of sampling are different from last day of experiment during the week. That means that it is necessary to randomize duration for treatment. To maximize efficiency of stripping, find the best combination of factors impacting processing such as temperature, duration, pH, and mass flow. For our experiment diverse types of combinations were chosen between these parameters, for temperature are 38 °C (reactor temperature), 55 °C (thermophilic) and 70 °C (pasteurization), pH level was changed to 9 or left as it is, duration diapason was 15, 30, 60 and 75 minutes, mass flow was constant 1100 units per time. For these parameters was created “temperature weeks” its mean that during the week temperature is unchanged, durations during the weeks was randomized because of degradation of sludge, for each combination both pH 9 and pH unchanged was tested.

Also, for raw material and after each treatment it is necessary to provide general and special analysis. Raw samples must be analyzed at the beginning of experimental day to find how sludge behaves, so the aim of experiment is total ammonia nitrogen (TAN) it must be done as soon as possible then total solids (TS), Alkalinity and Rheology. Alkalinity is necessary only for raw material. Another analysis is attached to treated samples.

Thus, biogas stripping is capable of lowering the TAN content in the digestate in all experimental runs, implying that this method may be useful as a tool for ammonia control in anaerobic digestion to reduce toxicity and regulate digestate ammonia levels. Increased temperatures and duration increased the rate of removal. Lowest percent of removing ammonia from digestate was during reactor temperature week at every time duration. Significant amount of ammonia stripping starts from 70 degrees and 30 minutes' duration, 15 minutes with 70 degrees is not enough to start removing process.

МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ВПЛИВУ НА ДОВКІЛЛЯ ПРИ ВИБОРІ ПЕРСПЕКТИВНОГО НАПРЯМКУ ПОВОДЖЕННЯ З ВІДХОДАМИ ВИРОБНИЦТВА

Гурець І. М., аспірант, СумДУ, м. Суми

Екологічна ситуація в Україні є найбільш загрозливою серед країн Європи, що робить надзвичайно актуальним питання екологізації промислового виробництва. Екологізація передбачає впровадження технологічних, управлінських та інших рішень, які дозволяють підвищувати ефективність використання природних ресурсів разом зі збереженням якості природного середовища. Головним напрямком екологізації є перехід до використання замкнених циклів та маловідходних або безвідходних технологій, що особливо актуально при утворенні великотоннажних відходів виробництва. З метою досягнення цілей сталого розвитку та імплементації Директиви 2010/75/ЄС Про промислові викиди (інтегроване запобігання та контроль забруднення) в Україні розроблено Концепцію реалізації державної політики у сфері промислового забруднення [1], яка спрямована на запобігання, зменшення і контроль промислового забруднення та впровадження найкращих доступних технологій та методів управління виробництвом. Зменшенню утворення відходів та забезпеченню поводження ними за європейськими стандартами сприяє Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року [2], яка реалізує принципи поводження з відходами, що запроваджені в ЄС та базуються на Рамковій директиві Європейського парламенту та Ради 2008/98, ЄС про відходи.

Для того, щоб прийняти правильне рішення в напрямку в сфері поводження з відходами, необхідно застосування різних методів оцінювання, які б допомогли проаналізувати вже існуючі або можливі технологічні варіанти поводження з відходами, а також оцінити екологічні та економічні наслідки прийняття таких рішень. Існує ціла низка класифікацій цих методів, які дозволяють виділити основний принцип оцінювання. Так, широко поширеним є поділ методів на кількісні, що базуються на вимірюванні вмісту та кількості різних показників компонентів довкілля та порівнянні їх з нормативами, та якісні, або експертні методи, які дають можливість оцінити виробничі процеси, джерела негативного впливу та структурні частини ландшафту і відповідь об'єктів екосистеми на антропогенний вплив. Методи кількісного аналізу поділяються: на хімічні, фізико-хімічні, фізичні та біологічні [3].

Група якісних або експертних методів включає методи, в результаті проведення яких за описом комплексу ознак складають шкали балів або розробляються індекси та показники як окремих так і загальних характеристик антропогенного впливу. Ці методи зазвичай базуються на результатах експертно-аналітичних оцінок. Кожна з цих груп методів має свої переваги і

недоліки: кількісний підхід до екологічного оцінювання впливу на довкілля [3] не дозволяє повною мірою врахувати питання управління природоохоронною діяльністю; в той же час ефективність застосування експертних методів оцінювання залежить від кваліфікації експертів та обраних ними підходів і отримані в результаті розрахунків дані можуть потребувати перевірки кількісними методами

Широкого поширення при оцінюванні впливу на довкілля знайшло застосування екологічних індикаторів. Програма ООН з довкілля ЮНЕП [4] визначає термін "екологічний індикатор" (environmental indicator) як статистичні дані чи параметр, які, розглянуті у часі, забезпечують інформацією про явища. Основні групи критеріїв (індикаторів) на рівні оцінки глобальних процесів це: критерії якості довкілля (тип SOE - State of the Environment); критерії впливу, що відображають ефект впливу (stress indicators); критерії сталого розвитку (sustainable indicators); критерії якості середовища для проживання і впливу на людину (environmental health indicators). Більшість систем міжнародних екологічних індикаторів включають три блоки показників: екологічні індикатори впливу на навколишнє середовище; індикатори якісного стану під час даного рівня впливу; індикатори реагування – покращення сучасного стану навколишнього середовища, або регулювання впливу. У Національній стратегії екологічної політики до 2030 року [5] введено близько 30 вимірювальних індикаторів, наприклад індекс екологічної ефективності (Environmental Performance Index), який стосується глобальних процесів збереження довкілля та досягнення сталого розвитку. Проведений аналіз показав необхідність розробки комплексних показників оцінювання впливу на довкілля при виборі технологій переробки відходів.

Список літератури

1. Концепція реалізації державної політики у сфері промислового забруднення. [Електронний ресурс]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/402-2019-%D1%80#Text>.
2. Національна стратегія управління відходами в Україні до 2030 року. [Електронний ресурс]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text>
3. Мусіна Л.А. Взаємний вплив економіки та природного середовища в сучасному світі: політика, стратегії, технології: монографія / Л.А. Мусіна, А.В. Ямчук, Т.К. Кваша. – К.: УкрІНТЕІ, 2012. – 260 с
4. Напрямки роботи. Індикатори сталого розвитку. Офіційний веб-сайт Організації Об'єднаних Націй. [Електронний ресурс]. http://www.un.org/esa/dsd/dsd_aofw_ind/ind_index.shtml?utm_source=OldRedirect&utm_medium=
5. Закон України. Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року. [Електронний ресурс]. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>

ОСОБЛИВОСТІ ВПЛИВУ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕПЛОВИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ

Залевська І. В., аспірантка; Гурець Л. Л., професор, СумДУ, м. Суми

Використання енергоресурсів є однією з обов'язкових умов існування та розвитку людської цивілізації. Розвиток суспільства призводить до зростання потреб суспільства в енергоресурсах, зокрема в електричній та тепловій енергії. Сьогодні теплоелектростанції є найпоширенішими виробниками теплової та електричної енергії в Україні. Близько 40% електроенергії у нашій країні виробляється тепловими електростанціями [1].

Разом з цим вони є найпотужнішими об'єктами антропогенного впливу на навколишнє природне середовище серед всіх джерел виробництва електроенергії. Вплив є багатоплановим, тобто одночасним на всі компоненти біосфери: атмосферу, гідросферу та літосферу, а також масштабним, тобто проявляється не тільки в локальному, а в регіональному та глобальному масштабах.

Згідно з екологічними законами, неможливо створити повністю безпечну та безвідходну теплову електростанцію. Однак, теплові електростанції можуть бути класифіковані як екологічно безпечні (або маловідходні), якщо їх негативний вплив на довкілля під час експлуатації є мінімальним та знаходиться в межах самоочищення біосфери [2].

Збільшення обсягів споживання енергії призводить до збільшення обсягів спалювання твердого палива. При цьому також збільшується кількість твердих золошлакових відходів, складованих у золовідвалах. В Україні щорічно накопичується більш ніж 7 млн т золошлакових відходів, які займають площу більшу за 20 тис. га. На даний час золовідвали більшості теплоелектростанцій переповнені, адже накопичено більш ніж 1000 млн т. Слід зазначити, що в Україні утилізується близько 10% золошлаків, в той час, як в країнах Європи утилізується понад 90% [3].

Золовідвали – це гідротехнічні споруди, призначені для зберігання золошлакових відходів, територія яких обмежена огороджувальними дамбами та рельєфом місцевості. Зола та шлаки – являються токсичними, за хімічним складом золошлаки являються складною сумішшю різноманітних речовин, переважно мінеральних [4]. Вміст хімічних сполук в золошлакових відходах напряму залежить від типу використаного палива. Для теплоелектростанцій України використовуються вугілля різних типів, проте у більшості випадків основними золошлакоутворюючими компонентами є кисневі сполуки кальцію, магнію, кремнію, алюмінію і заліза.

У золовідвалі постійно протікають два процеси. Перший з них – це випаровування води з формуванням на території золовідвалу так званих "пляжів" – сухих ділянок із пиловими частинками під дією вітру. Другий процес – інфільтрація води (освітленої або навіть частково неочищеної) і

потрапляння розчинених форм токсичних компонентів золошлаків в ґрунтові води та водойми, що знаходяться за межами золовідвалів.

Таким чином, золовідвали, незважаючи на всі заходи, спрямовані на ізоляцію їх території, є відкритими системами. Шкідливі речовини, що містяться в золошлаках можуть мігрувати з поверхні золовідвалу повітряним і водним середовищем, забруднювати тропосферу, ґрунт, підземні та поверхневі води районів, що розташовані на відстані до декількох кілометрів від накопичувача відходів [5].

Транспортування золи та шлаків у сухому вигляді до золовідвалів потребує додаткових заходів з пригнічення пилоутворення. Застосування таких технологій додатково збільшує обсяги виходу золи [6].

Схильні до пилоутворення золовідвали погіршують санітарно-гігієнічну обстановку на прилеглих територіях, зменшують виробничий ресурс машин, механізмів, викликають деградацію біосистеми, а іноді негативно впливають на продукцію з прилеглих сільськогосподарських угідь, що надалі може негативно впливати на здоров'я людей.

Тобто, екологічний вплив золовідвалів теплоелектростанцій є комплексним: порушення геологічного середовища, забруднення родючого шару ґрунту, погіршення санітарно-гігієнічної ситуації на прилеглих територіях, є потенційним джерелом забруднення природних вод.

На основі проведених досліджень особливостей впливу можна зробити висновок про актуальність оцінки впливу об'єктів теплоенергетики на навколишнє середовище та подальшу розробку заходів щодо попередження, зниження негативного впливу теплоенергетики на довкілля та впровадження методів утилізації уже існуючих відходів у золовідвалах.

Список літератури

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року “Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність”: Розпорядження Каб. Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р.
2. Батальцев Є. В. Моделювання техногенного впливу на навколишнє природне середовище об'єктами теплоенергетики : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Суми, 2021. 168 с.
3. Яцишин А. В. Особливості впливу золовідвалів підприємств теплоенергетики на навколишнє середовище. *Проблеми надзвичайних ситуацій*. 2018. № 28(2). С. 57–68.
4. Борисовська О. О. Оцінка екологічної небезпеки золошлакових відходів теплоелектростанцій. *Геотехнічна механіка*. 2017. № 134. С. 36–46.
5. Serafin E. Methods for the reduction of harmful substances in the process of energy generation. *Autobusy. Bezpieczeństwo i ekologia*. 2016. № 12. P. 409–413.
6. М'якаєва Г. М. Моделювання техногенного впливу об'єктів теплоенергетики на гідросферу : дис. ... канд. техн. наук : 21.06.01. Суми, 2018. 200 с.

ВИКОРИСТАННЯ ЛІГНОЦЕЛЮЛОЗИ В ЯКОСТІ СИРОВИНИ ДЛЯ ОТРИМАННЯ БІОДОБРИВА

Сінко І. О., аспірантка; Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

Сучасний технологічний розвиток людства передбачає появу не лише продукції та матеріалів, але й відходів різноманітного складу, які поки що важко включити в цикли для подальшого використання. На прикладі метанового бродіння в біогазових установках у результаті отримують газ, який складає близько 10 % загальної біомаси. Решта – органічна біомаса, яка отримала назву дигестат. Він може бути використаний в якості біодобрива. Дигестат багатий на азот (N), фосфор (P), сірку (S), кальцій (Ca), калій (Ca), магній (Mg) і мікроелементи [1]. Його внесення ефективніше, ніж застосування, наприклад, незброджених відходів тваринництва [2]. Застосування біодобрива підвищує родючість та підтримує високий вміст органічних речовин у ґрунті й поступово вивільняє мікроелементи [3].

Метою роботи є визначення можливих способів попереднього оброблення сировини (лігноцелюлози) для одержання більшого виходу біогазу та екологічно безпечного дигестату.

Склад дигестату залежить від походження сировини для ферментації в біогазовій установці. Серед найбільш поширеної сировини використовуються сільськогосподарські та харчові відходи, стічні води та енергетичні культури. Зокрема, використання лігноцелюлози у виробництві біогазу є досить практичним, оскільки джерел її утворення багато і її використання в якості субстрату для збродження скоротить забруднення довкілля.

Лігноцелюлоза – поширений відновлюваний ресурс і практично необмежений субстрат для ферментації. Вона складається з лігніну, геміцелюлози та целюлози. Залежно від виду відходів відсотковий склад компонентів відрізняється [4]. Лігноцелюлоза є основним джерелом вуглецю для твердих сільськогосподарських відходів у анаеробному збродженні, але вона важко піддається біологічному розкладанню через високостійку та стійку структуру біомаси [5].

Для інтенсифікації процесу розкладання лігноцелюлози під час анаеробного збродження вдаються до різних способів попереднього оброблення сировини. Встановлено [6], що найбільш поширеними є: термічні, ультразвукові, термолужні, механічні і ферментативні методи. Фізико-хімічні методи мають значний прогрес, але індустріалізація цих методів нижча через більші витрати енергії разом із складною обробкою. Біологічна попередня обробка також показує значущість для анаеробного збродження лігноцелюлозних матеріалів і визнана екологічно безпечною у порівнянні з хімічною попередньою обробкою. Проте пошук економічно ефективної технології попереднього оброблення целюлози для повної її утилізації залишається невирішеним та актуальним питанням [7].

Застосування дигестату потребує попередньої обробки за допомогою фізичних, хімічних, біологічних методів перед внесенням у ґрунт як біодобрива для досягнення вимог екологічної безпеки ґрунту. Крім того, необхідно проводити наступне знезараження дигестату для попередження забруднення навколишнього середовища речовинами та мікроорганізмами, що виявилися стійкими до процесів ферментації.

Таким чином, використання зброженої біомаси, отриманої з галузі біоенергетики, стає популярним в останні роки. Дигестат у якості біодобрива дозволяє підвищувати врожайність та підтримувати високий вміст органічних речовин у ґрунті. Його склад та ефективність залежить від субстрату. Застосування біологічного шламу потребує попередньої обробки та наступного знезараження з метою мінімізації можливого забруднення довкілля поліюгантами. У якості можливого субстрату розглянута лігноцелюлоза, оскільки вона є досить доступною для дослідження та важко піддається біорозкладанню, а, отже, накопичується в значних об'ємах відходів, що робить її об'єктом зацікавленості.

Список літератури

1. Masse D., Talbot G., Gilbert Y. On farm biogas production: A method to reduce GHG emissions and develop more sustainable livestock operations. *Anim Feed Sci Technol.* 166–67, 2011. P. 436–445.
2. Galvez A., Sinicco T., Cayuela M., Mingorance M., Fornasier F., Mondini C. Short term effects of bioenergy by-products on soil C and N dynamics, nutrient availability and biochemical properties. *Agric Ecosyst Environ.* 160, 2012. P. 3–14.
3. Kizito S., Luo H., Lu J., Bah H., Dong R., Wu S. Role of Nutrient-Enriched Biochar as a Soil Amendment during Maize Growth: *Exploring Practical Alternatives to Recycle Agricultural Residuals and to Reduce Chemical Fertilizer Demand.* 11(11), 2019. P. 3211.
4. Шульга С. М., Тігунова О. О., Блюм Я. Б. Лігноцелюлоза як альтернативна сировина для одержання біобутанолу. *Biotechnologia Acta*, V. 6, No 2, 2013. С. 9–20.
5. Sawatdeenarunat C., Surendra K. C., Takara D., Oechsner H., and Khanal S. K. Anaerobic digestion of lignocellulosic biomass: challenges and opportunities. *Bioresource Technol.* 178, 2015. P. 178–186. doi: 10.1016/j.biortech.2014.09.103
6. Del Borghi A. et al. Hydrolysis and thermophilic anaerobic digestion of sewage sludge and organic fraction of municipal soil waste. *Bioprocess Engineering.* 20 (6). 1999. P. 553–560. doi: 10.1007/s004490050628
7. M. U. Khan et al. A review of recent advancements in pretreatment techniques of lignocellulosic materials for biogas production. Opportunities and Limitations. *Chemical Engineering Journal Advances*, Vol. 10, 2022. P. 100263. doi.org/10.1016/j.cej.2022.100263.

ВИЗНАЧЕННЯ РІВНЯ ФІТОТОКСИЧНОСТІ ДИГЕСТАТУ ЗА ДОПОМОГОЮ ІНДЕКСУ ПРОРОСТАННЯ НАСІННЯ

Скворцова П. О., аспірант; Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

Для визначення рівня фітотоксичності та зрілості дигестату широко використовують біологічний індикатор – індекс проростання насіння через його простоту та надійність. Даний тест має матричний підхід, так як враховує джерело забруднення в матриці та взаємодію токсичних компонентів [1]. Через те, що дигестат з гною тварин може мати високу концентрацію амоніаку, дигестат із харчових відходів – летких органічних кислот, дигестат із осаду стічних вод – численних токсичних органічних сполук і металів, то для мінімізації екологічних ризиків у польових масштабах варто визначати ступінь фітотоксичності матеріалу [2].

Відомо, що різні види культур по-різному реагують на біогазові дигестати. Наприклад, томати потребують великої кількості поживних речовин, тому для менш вибагливих рослин, таких як салат, дигестати будуть проявляти свої корисні властивості. Низька концентрація макроелементів у дигестаті на основі гною корів не стала придатним середовищем для вирощування томатів на гідропоніці [3]. Саме тому, справедливо стверджувати, що концентрація поживних речовин дигестату залежить від використовуваних субстратів, умов анаеробного зброджування та методів обробки дигестатів.

У роботі [4] зазначається, що різні види насіння мають не однакову чутливість до токсичних компонентів, що містяться в дигестаті. Вибір насіння є важливим процесом, так як воно повинно бути належної якості, включаючи швидкість росту (особливо в деіонізованій воді) та толерантність. Для визначення фітотоксичності компосту за допомогою індексу проростання спочатку обрали 17 видів насіння різних культур, які інкубували в деіонізованій воді в темному місці протягом 48 годин при температурі 25°C. Насіння восьми видів рослин проросло (редька біла, огірок, редька плодова, ріпак їстівний, редька кругла, гібридний огірок, пекінська капуста), дев'яти – не проросло (морква, трава, петрушка, стручковий перець, салат, троянда, помідор, мімоза, китайська троянда) протягом указанного часу. Тобто, для проростання деяких рослин необхідно більше часу, але це не сприяє швидкому проведеному тесту.

Для експерименту щодо визначення фітотоксичності дигестату було обрано насіння томату. Насіння пророщували в чашках Петрі, кожна з яких покривалася 2 листами фільтруючого паперу Whatman №1 діаметром 9 см. У кожну чашу Петрі поміщали по 10 насінин та дигестат, змішаний з деіонізованою водою в співвідношенні 1 г дигестату та 9 г води. Зразки інкубували у темряві протягом 72 год. У якості субстратів для біогазових реакторів використовували гній, рослинні відходи, харчові відходи та осад

стічних вод міських очисних споруд. Використовували три фракції дигестату: повний, рідку фракцію та тверду фракцію.

Одержані результати засвідчують, що зразки з розчином твердої фракції дигестатів мають низький індекс проростання, а для більшості зразків проростання взагалі не відбулося. Тверда фракція дигестату негативно вплинула на ріст насіння томату, що може бути пов'язане з переходом розчинних елементів, зокрема нітрогену, калію, сірки до рідкої фракції під час центрифугування, і як наслідок позбавлена потрібної кількості поживних речовин у необхідних кількостях.

У процесі анаеробного зброджування органічна частина субстрату деградується та переходить у неорганічну частину у вигляді біогазу. Вкрай низький відсоток або відсутність проростання були характерні для дигестатів на основі відходів бійні, свинячого гною та гною великої рогатої худоби, оскільки вони мають більший біометановий потенціал, а, відповідно, менший вміст поживних речовин у дигестаті.

Використання дигестату після анаеробного зброджування є перспективною стратегією повторного внесення поживних речовин у ґрунт для відновлення його основних функцій і отримання екологічних продуктів харчування. Але лише при належному контролі субстратів, гігієнічних вимог, аналізі концентрації поживних речовин і забруднювачів дигестат може бути застосований на сільськогосподарських угіддях без шкоди для навколишнього середовища.

Список літератури

1. Da Ros C., Libralato G., Ghirardini A. V., Radaelli M., Cavinato C. Assessing the potential phytotoxicity of digestate from winery wastes. *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 2018. Vol. 150. P. 26-33. DOI: 10.1016/j.ecoenv.2017.12.029.
2. Gell K., van Groenigen J., Cayuela M. L. Residues of bioenergy production chains as soil amendments: Immediate and temporal phytotoxicity. *Journal of Hazardous Materials*. 2011. Vol. 186, Issue 2-3. P. 2017-2025. DOI: 10.1016/j.jhazmat.2010.12.105.
3. Mupambwa H. A., Namwoonde A. S., Liswaniso G. M., Hausiku M. K., Ravindran B. Biogas digestates are not an effective nutrient solution for hydroponic tomato (*Lycopersicon esculentum* L.) production under a deep water culture system. *Heliyon*. 2019. Vol. 5, Issue 10. e02736. DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02736.
4. Yang Y., Wang G., Li G., Ma R., Kong Y., Yuan J. Selection of sensitive seeds for evaluation of compost maturity with the seed germination index. *Waste Management*. 2021. Vol. 136. P. 238-243. DOI: 10.1016/j.wasman.2021.09.037.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВПЛИВУ НА ВОДНІ ОБ'ЄКТИ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ рф

*Гончаренко А. В., студентка; Яхненко О. М., старший викладач,
СумДУ, м. Суми*

Внаслідок повномасштабної війни значно ускладнилися екологічні проблеми, що існували в Україні і до її початку. Вже сьогодні вражають масштаби екологічних злочинів російських окупантів, деякі екосистеми та унікальні природні об'єкти вже не підлягають відновленню, стан деяких, наприклад біосферного заповідника Асканія – Нова в невідомому стані. Спричинена екологічна шкоди очевидна, її оцінка потребує нових підходів, бо зараз повний обсяг збитків та шкоди довіллю залишається невідомим, оскільки системи моніторингу були порушені або знищені.

Через військові дії зазнають забруднення повітря, вода та ґрунти, зазнають шкоди природні види та їх оселища, втрачається біорізноманіття, нівелюються досягнення зі збереження природи. Внаслідок вибухів, пожеж, руйнування будівель і техногенних об'єктів у довкілля потрапляють отруйні речовини, серед яких і важкі метали, токсичні гази, тверді частки. Безумовно військові дії також негативно впливають і на здоров'я людей. Внаслідок воєнних дій постійно погіршується стан водних ресурсів України. Вода — це цінний, але обмежений ресурс, особливо в південних і східних регіонах України. Воєнні дії з боку окупантів погіршують ситуацію з водою в Україні.

Військові дії стали причиною підриву мостів, потрапляння їх частин, військового транспорту, мастила тощо в річкові екосистеми, забруднення і загородження річкового русла, зміни інтенсивності водообміну. Актуальною є проблема потенційного біологічного забруднення водних джерел, в яких можуть потрапляти токсичні речовини в наслідок розкладанні біологічного матеріалу різного походження.

Інтенсивні, неприцільні артилерійські та ракетні обстріли призводять до забруднень водойми токсичними важкими металами, а також ракетним паливом та паливом транспортних засобів. У місцях інтенсивних боїв суттєво порушується нерест риб, руйнуються місця гніздівлі птахів через гучні звуки вибухів, нерідко боеприпаси вибухають у самих водоймах. На стан водно-болотних екосистем негативно впливає також форсування річок плавучими бронетранспортерами і зведення понтонних переправ для інших транспортних засобів.

Військовими діями було спричинено руйнування дамб та виведення з ладу (зупинки функціонування) очисних споруд, як наслідок потрапляння неочищених стічних вод у поверхневі та підземні води. В результаті військової агресії було пошкоджено гідротехнічні споруди, що забезпечували регулювання стоку, а внаслідок затоплення значних територій надалі може спостерігатися погіршення якості вод через змив забруднюючих речовин та

зростання концентрацій біогенних та органічних сполук у воді. Руїнація дамби на Київському водосховищі в місті Ірпінь нанесла чималу шкоду родючим землям — десятки гектарів наразі затоплені.

Більш пролонгована і складна небезпека – забруднення артезіанських вод, які раніше були законсервованими і вважалися стратегічним запасом. Зараз внаслідок бойових дій та руїнацій ці свердловини забруднюються. Достатньо одного потрапляння забрудника, який розповсюджується на весь горизонт і зробить воду непридатною для вживання.

Беручи до уваги дані щодо пошкодження резервуарів з відходами хімічного виробництва на Азовсталі, які тепер потенційно можуть потрапляти до вод Азовського моря, існування небезпека втрати окремих морських видів та забруднення морських екосистем.

З початку повномасштабної війни Державна екологічна інспекція Сумської області нарахувала майже 1,5 млрд грн екологічних збитків за засмічення водних об'єктів Сумщини, внаслідок збройної агресії рф. Було розраховано збитки за засмічення 9 водних об'єктів, зокрема Охтирщини внаслідок підриву автомобільних мостів, причому сума заподіяної шкоди не є остаточною. Так, інспектори виявили, що руйнування мосту поблизу с. Пожня Великописарівської громади призвело до засмічення р. Ворсклиця більш ніж на 97 млн грн збитків. Біля с. Куземин Груньської громади залишки будівельних конструкцій мосту засмітили р. Ворскла, що потягло за собою екологічні збитки на суму майже 69 млн грн. Таку ж суму шкоди, майже 69 млн грн, заподіяно докільню внаслідок засмічення водного об'єкта в с. Семереньки Тростянецької громади. Підрив ще одного мосту Тростянецької громади в с. Микитівка призвів до засмічення природного водотоку на суму понад 17 млн грн.

Отже, зумовлені військовими діями проблеми, пошкоджена інфраструктура, знищення рослинних формацій, проблеми з якістю водних ресурсів, забруднення довкілля є довготривалими та потребують часу, розроблення методик для підрахунку збитків і заходів по відновленню, ресурсів для їх вирішення.

Список літератури

1. Оцінка екологічної шкоди та пріоритети відновлення довкілля на сході України. – К.: ВАІТЕ, 2017. - 88 с
2. ENVIRONMENTAL IMPACTS OF EXPLOSIVE ORDNANCE CONTAMINATION. MINE ACTION REVIEW POLICY BRIEF 2021
3. Матеріали VII Міжнародної науково-практичної конференції “Розбудова інноваційних економіки, менеджменту та освіти в умовах нової соціальної реальності” Вип. 14: Київ, Міжрегіональна Академія управління персоналом, 26 травня 2022 р. /редкол. : М. Ф. Гончаренко. 2022. 346 с.
4. Компенсація екологічної шкоди внаслідок воєнних дій: міжнародна практика. Аналітична записка. – Андрусевич А., Козак З. – Ресурсно-аналітичний центр «Супільство і довкілля». 2022

РІЧКА СУМКА ЯК ДЖЕРЕЛО ЗАБРУДНЕННЯ РІЧКИ ПСЕЛ

Кузьміна Т. М., доцент, СумДУ, м. Суми; Остапенко В. В., студентка;
Бабко Р. В., Інститут зоології ім. І. І. Шмальгаузена НАН України, м. Київ

Річка Сумка є правою притокою першого порядку річки Псел. Її довжина становить близько 29 км. Русло річки і заплава істотно змінені від витоків до гирла. 5-кілометрова передгірлова ділянка русла Сумки розташована у межах міста Суми і витримує вплив низки негативних чинників, серед яких визначальну роль відіграє Косівщинське водосховище [1]. Об'єм водосховища становить близько 14,1 млн.м³, що у маловодні роки перевищує об'єм річного стоку Сумки. Формування стоку Сумки у нижній течії відбувається переважно за рахунок надходження води з Косівщинського водосховища, що добре помітно у періоди «цвітіння» води, коли вода у водосховищі і на нижчерозташованій ділянці русла річки набуває яскравого смарагдового кольору, зумовленого розвитком у водосховищі фітопланктону.

Метою цієї роботи було оцінити біомасу фітопланктону, яка надходить у Псел по руслу Сумки в період «цвітіння» Косівщинського водосховища і фактично являє собою органічне забруднення.

Проби води відбирали протягом вересня-листопада 2022 р. на передгірловій ділянці річки Сумки вище та нижче впадіння її правого допливу – річки Стрілки. Камеральну обробку проб здійснювали з використанням оптичного мікроскопу PZO Warszawa. Кількість клітин водоростей підраховували у мікропробах об'ємом 25 мкл при збільшенні 150^x, а їх індивідуальну біомасу визначали за методом об'ємних моделей [2].

Домінуючими у період «цвітіння» були два види: ціанобактерія (синьо-зелена водорість) *Oscillatoria* sp. і криптофітова водорість *Cryptomonas* sp. При цьому значну перевагу за чисельністю і масою мала *Oscillatoria* sp., яка і спричиняла смарагдово-зелене забарвлення води.

Результати кількісного обліку фітопланктону у р. Сумка представлені на рис. 1. Найвищі значення чисельності і біомаси фітопланктону спостерігалися у вересні. Максимальна зареєстрована чисельність фітопланктону у річці Сумці в період досліджень досягала 57,96±9,09 млн. кл/л, а біомаса водоростей – 287,5±44,89 мг/л. Згідно з Комплексною екологічною класифікацією якості поверхневих вод суші [3], біомаса фітопланктону понад 50 мг/л відповідає категорії природних вод – дуже брудна (5 клас), а за тропністю – гіпертрофна.

Як видно з графіків, інтенсивне «цвітіння» тривало протягом вересня і жовтня. Для визначення біомаси водоростей, яка за означений період надійшла з Косівщинського водосховища по руслу Сумки у Псел, врахували середню питому біомасу водоростей для вересня й жовтня (228,3 г/м³) та величину витрат води річки Сумки в період літньо-осінньої межени, яка становила 0,215 м³/с [4].

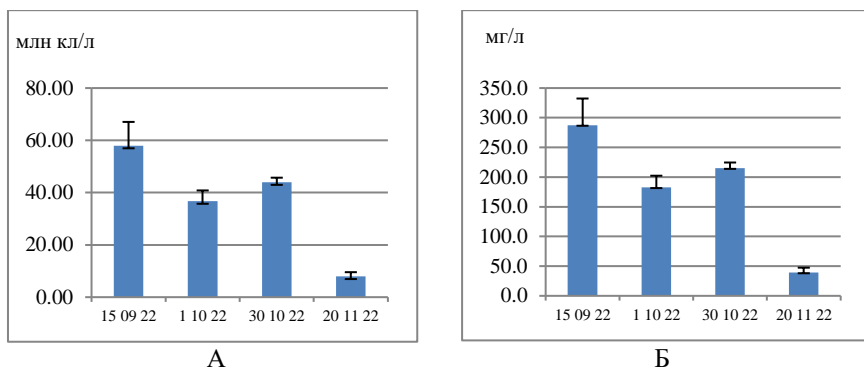


Рис. 1 – Чисельність (А) і біомаса (Б) фітопланктону в р. Сумка (вересень-листопад 2022 р.).

Проведені дослідження показали, що лише за два місяці «цвітіння» з річки Сумки до річки Псел надійшло 254,5 т водоростей. Треба зазначити, що більша частина біомаси була утворена ціанобактерією з роду *Oscillatoria*, яка містить такі небезпечні речовини як гепатотоксини, нейротоксини і дерматоксини. З біомасою водоростей до річки Псел за визначений період надійшло 3,8 т нітрогену та 0,5 т фосфору. За такий же період – 60 діб зі стічними водами з очисних споруд м. Суми у річку Псел може надходити до 9 т нітрогену і до 7 т фосфору. Отже, річка Сумка в період «цвітіння» Косівщинського водосховища є потужним джерелом забруднення річки Псел, яке за кількістю нітрогену і фосфору є порівнюваним з аналогічним впливом на річку Псел стоків з очисних споруд м. Суми.

Список літератури

1. Кузьміна Т. М., Спориш О. О., Лагуд Г., Бабко Р. В. Фактори впливу на стан річки Сумки на території міста Суми. Матеріали наук.-техн. конф. викл., співр., аспір. і студ. ф-ту ТеСЕТ «Сучасні технології у промисловому виробництві» (Суми, 18–21 квітня 2017 р.) Ч. 2, Суми, СумДУ, 2017. – С. 148-149.
2. Nesterenko G.V., Kovalchuk A.A. Determination of the Ciliates individual mass by the improved «Volumes Ratio» method // Acta hydrochim. Hydrobiol. – 1991. – 19(1). – P. 23-28.
3. Оксюк О.П., Жукинський В.Н., Брагинський Л.П. та ін. Комплексна екологічна класифікація якості поверхневих вод суші // Гідробіол. журн., 1993. – Т. 29 (4). – С. 62-76.
4. Паспорт річки Сумка. Звіт про стан малих річок. Обласне управління водними ресурсами, м. Суми, 1991.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТУ ВПЛИВУ НА ЛАНДШАФТ ТА ҐРУНТОВИЙ ПОКРИВ ЕКОСИСТЕМ НАСЛІДКІВ ВІЙСЬКОВОЇ АГРЕСІЇ рф

Курас Б. П., студент; Яхненко О. М., ст. викладач, СумДУ, м. Суми

Географічне розташування і клімат України наділили її багатством ландшафтів, флори і фауни. На її територію припадає 35 % біорізноманіття Європи. Саме кліматичні умови та біотична складова стали основним фактором формування родючих ґрунтів на території України, 46% з яких приходиться на чорноземи різного типу. Ґрунт – це жива екосистема і в той же час обмежений життєвонеобхідний екосистемам і людині ресурс, який легко втратити, бо утворення і відновлення ґрунту відбувається століттями.

Причинами втрати родючості ґрунтами донедавна були масштабне розорювання, надмірне випасання худоби, переущільнення, зменшення вмісту гумусу, виснаження ґрунту через використання неправильних сівозмін, забруднення ґрунту через внесення надмірної кількості добрив та пестицидів, засолення через неправильний полив тощо. Не останнє місце стала відігравати зміна клімату, що посилює проблему посух і стало загострювати проблему посилення спустелювання.

Нажаль військова агресія рф додала нових проблем як населенню, так і природним ресурсам України. Окрім зруйнованих міст та великої кількості загиблих, постійні обстріли наносять серйозні екологічні збитки: вибухи, пожежі, бомбардування, руйнування промислових об'єктів та обслуговуючих систем призводять до забруднення повітря, води, знищення рослинних формацій та унікальних екосистем. Агресія рф призвела до потрапляння у довкілля шкідливих і небезпечних речовин, знищення родючого шару ґрунту, зміни ландшафтів на великих ділянках територій, знищення рослинного покриву, об'єктів дикої фауни, в тому числі занесених до Червоної книги України.

На стані ландшафтів та ґрунтів безпосередній вплив воєнний дій проявляється в вигляді трансформації поверхневих ділянок, фізичного (уламками, осколками) і хімічного забруднення територій, зміною фізичних і хімічних властивостей, знищенням біологічної складової. На місці вибухів і бойових дій утворюються вирви, руйнуючи структуру та порушуючи стабільність ґрунту, їх властивості, стають подальшою причиною деградації ґрунту, викликаючи місцеве ущільнення, підвищуючи здатність верхнього шару ґрунту до вітрової чи водної ерозії.

Ступінь шкідливого впливу на місці вибухів і утворення вирв і швидкість їх природного відновлення залежить від типу ґрунту, типу боєприпасу, складу вибухової речовини. Значно небезпечніші наслідки і більший об'єм шкоди відчувають сухі, піскоподібні, нещільні, мало захищені рослинністю ґрунти посушливих регіонів.

Прикладом швидкої деградації ландшафтів і ґрунтів посушливих регіонів можуть слугувати Олешківські піски, виникнення яких пов'язано якраз з військовими навчаннями на цих територіях.

Особливістю позиційних воєнних протистоянь є риття окопів та створення інших фортифікаційних споруд, що веде до руйнування ландшафту та верхнього шару ґрунту, до руйнування структури ґрунту призводять і переміщення важкої техніки. Знищена і діюча техніка залишає значну кількість шкідливих речовин у ґрунті через впливи від викидів пального та підтікань оливи.

При вибухах або детонаціях боєприпасів відбувається виділення небезпечних хімічних речовин, наприклад токсичних забруднювачів, таких як тротил, гексоген або циклонит. Разом із залишками вибухових речовин в середовище можуть надходити і інші токсичні продукти розпаду чи компоненти боєприпасів, в тому числі важкі метали. Оскільки боєприпаси з часом деградують, гільзи піддаються корозії, то небезпечні хімічні речовини можуть протікати в ґрунт і ґрунтові води, і надалі становити загрозу здоров'ю людей, тварин і рослинного світу. Не меншою проблемою є масштабне замінування територій. За офіційними даними площа таких територій може сягати до 15% території України.

У квітні 2022 року в рамках проєкту SIDA P1400 / A1900 - "INSURE: moving nature based climate solutions into Ukraine's Reform agenda" була проведена оцінка фізичного руйнування ґрунтового покриву Харківської та Сумської областей за допомогою аналізу космічних знімків (Sentinel). Було обстежено 1 655 845.3 га орних земель станом на 20.03.2022. Площа пошкодженого ґрунтового покриву становила 6582.0 га. За експертними оцінками площа фізичного руйнування може бути збільшена на 20 %. За даними "Асоціації саперів", станом на зараз забруднено вибуховими предметами близько 82 тисяч квадратних кілометрів України. Це майже 15% від загальної площі держави.

Список літератури

- 1 Блага А.Б., Загороднюк І.В., Короткий Т. Р. та інші. На межі виживання: знищення довкілля під час збройного конфлікту на сході України. Київ, Кит, 2017.- 88 с.
2. Mitigating the Environmental Impacts of Explosive Ordnance and Land Release. Mine action review policy brief no.1 2021. – 28 с.
3. Планування відновлення довкілля. Аналітична записка.

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ВИКОРИСТАННЯ БІОЛОГІЧНИХ МЕТОДІВ ОЧИЩЕННЯ ҐРУНТІВ ВІД ВАЖКИХ МЕТАЛІВ

Мороко С. О., студент; Яхненко О. М., старший викладач, СумДУ, м. Суми

Техногенез став провідним процесом, що визначає формування еколого-геохімічного стану території. Інтенсивне промислове використання природних ресурсів викликало суттєві зміни розподілу багатьох хімічних елементів у поверхневому шарі літосфери. Насамперед це стосується важких металів (ВМ).

Ґрунт є основним середовищем, в яке потрапляють ТМ, у тому числі з атмосфери та водного середовища. Характерною особливістю ґрунтів є їхня здатність акумулювати забруднюючі речовини, що багато в чому визначає стійкість екосистем до антропогенного впливу. Завдяки високій поглинаючій здатності, ґрунт виступає в ролі основного акумулятора, сорбенту та руйнівника токсикантів, будучи геохімічним бар'єром для міграції забруднюючих речовин та захищаючи суміжні середовища від антропогенного впливу. Накопичення токсинів та продуктів їх трансформації у ґрунтах веде до зміни їх фізичних, хімічних, біологічних властивостей. Саме тому очищення ґрунтів від ВМ є актуальною проблемою, що потребує вирішення.

Важкі метали в основному поступають у ґрунт у вигляді оксидів чи катіонів (які можуть бути розчинними, так і практично нерозчинними у воді). У разі підвищення кислотності ґрунту певні елементи важких металів (кадмій, плумбум тощо) із нерозчинних солей переходять в іонну форму і становляться доступними для поглинання їх з водними розчинами рослинними організмами, і надалі мігрують по трофічним ланкам екосистем.

Відомі наступні групи методів, що використовують для очищення ґрунтів від ВМ: механічні, фізико-хімічні та біологічні. При механічних та фізико-хімічних методах очищення забруднену частину ґрунту знімають, вивозять на біотехнологічне звалище і зберігають його там. Цей метод економічно затратний і не вирішує основного екологічного завдання.

Фізико-хімічні методи включають створення комплексів «десорбент – метал» та їх вимивання за допомогою розчинника. Це більш дешевий метод, але вимивання комплексу «метал – десорбент» органічними й неорганічними розчинниками може призводити до погіршення властивостей ґрунтів, створюючи додатковий фактор руйнування природних властивостей ґрунтів, виключаючи можливість їх подальшого використання.

Саме тому особливо актуальним є використання біологічних методів очищення, які мають високу ефективність, нетоксичні і економічно доцільні. Прикладами біологічних методів очищення є: фіторе mediaція, очищення за використання мікроорганізмів, очищення за допомогою препаратів ПАР, очищення комплексних забруднень нафтою і важкими металами за допомогою мікроорганізмів і препаратів ПАР.

Фіторе mediaція включає очищення, що базується на використанні

зелених рослин. Існують різноманітні підходи для реалізації даного способу очищення. Фітодеградація базується на розкладанні високомолекулярних, в основному органічних сполук в ґрунті до речовин, які не є токсичними і не становлять небезпеки; фітостабілізація (фітоімобілізація) базується на зниженні біодоступності забруднювача в ґрунтах; фітовипарювання включає використання рослин для поглинання речовин рослинами з ґрунтів, трансформації їх в летку форму і транспірацію в атмосферу.

Найчастіше використовується фітоекстракція, яка базується на видаленні важких металів та інших полютантів із забрудненого ґрунту за допомогою рослин. Суть методу полягає у поглинанні ВМ коренями, концентрування їх у надземних частин рослин. Надалі такі рослини видаляють з територій і використовують як субстрат в біогазових установках для отримання біогазу. ВМ з рослин в процесі отримання біогазу переходять в відновлену форму, і утворені сполуки нетоксичні для екосистем. Плюси мінуси методу фітоекстракції наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги і недоліки метода фітоекстракції

Переваги	Недоліки
Можна застосовувати для широкого ряду органічних і неорганічних забруднювачів	Використовується в основному для очищення середовища з низькою чи середньою концентрацією збудників
Можна використовувати in – situ так і ex – situ, як на ґрунтових, так і на водних субстратах	Метод є ефективним тільки при усуненні поверхневого забруднення ґрунтів в межах кореневої зони рослин
Не потребує дорого обладнання чи спеціально навченого персоналу	Процес очищення ділянки може займати де-кілька років
Зменшує кількість відходів, що захороняються на полігонах	Лімітуючим фактором є кліматичні умови і періодичність вегетації
Запасена в рослинній біомасі потенційна енергія може бути використана для виробництва біогазу як альтернативного джерела енергії	Необхідність обов'язкової утилізації біомаси та контролю за процесом утилізації біомаси після фітоекстрагування

До рослин – фіторемедіаторів висувають низку вимог: стійкість до високих концентрацій металів у ґрунті, здатність поглинати декілька металів одночасно у високих концентраціях, забезпечення ефективного транспорту важких металів із кореневої системи у зелену частину рослини, висока швидкість росту, стійкість рослин до різноманітних хвороб і шкідників. Прикладами рослинам, що ефективно використовуються в фітоекстракції є райграс, просо волосовидне, амарант, озимий ріпак, біла гірчиця, редька олійна, буркун жовтий.

СТАТИСТИЧНІ МЕТОДИ В ЕКОЛОГІЧНИХ ДОСЛІДЖЕННЯХ

*Штанько М. О., Маландій Д. Д., Зубко Д. І. студенти;
Рой І. О., доцент, СумДУ, м. Суми*

Статистичні методи є невід'ємною частиною екологічних досліджень та дозволяють оцінювати статистичну значимість отриманих даних, знаходити зв'язки між різними параметрами та проводити прогнозування. Найчастіше вони використовуються для аналізу популяцій видів, оцінки ризиків забруднення довкілля та визначення причин природних катастроф.

До статистичних методів, які широко використовуються в екології, входять аналіз варіантності, кореляційний аналіз, регресійний аналіз, кластерний аналіз та аналіз головних компонент. Використання цих методів дозволяє отримати більш точні та достовірні результати екологічних досліджень та підвищити ефективність прийнятих заходів для збереження навколишнього середовища.

Застосування статистичних методів у екології дозволяє науковцям проводити більш складний аналіз даних, так як в екології зазвичай присутні багатовимірні змінні, такі як різноманітні параметри середовища, фізичні та біологічні характеристики популяцій тварин і рослин тощо. Використання статистичних методів дозволяє зробити висновки на основі великої кількості даних, що важливо для розуміння складних екологічних процесів та вирішення проблем екології.

Одним з основних завдань екологічних досліджень є вивчення екосистем та їх функціонування. Використання статистичних методів дозволяє проводити аналізи, які виявлять зміни у функціонуванні екосистем та ідентифікують чинники, які можуть впливати на ці зміни. Застосування статистичних методів у екології є досить різноманітним, наприклад:

1. Аналіз популяцій: оцінювання розмірів та динаміки популяцій тварин і рослин. Наприклад, використання моделей лінійного росту дозволяє оцінити розміри популяції за її розмірами на початку дослідження та швидкості приросту протягом дослідження.

2. Визначення біорізноманіття: визначення різноманіття екосистеми та її рівень стабільності. Наприклад, індекс Шеннона використовується для визначення біорізноманіття екосистем на основі кількості видів в ній.

3. Аналіз екосистемних процесів: аналіз процесів, таких як цикл вуглецю, рух поживних речовин, енергетичні потоки тощо. Наприклад, застосування кластерного аналізу може допомогти ідентифікувати схожість між екосистемами та їх особливостями.

Використання статистичних методів в екологічних дослідженнях є необхідним кроком для отримання точних та достовірних результатів. Ці методи допомагають зрозуміти складні екологічні процеси, виявити проблеми та прийняти необхідні заходи для збереження навколишнього середовища.

ПІДВИЩЕННЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ГАЛЬВАНІЧНОГО ЦИНКУВАННЯ ПРИ ЗАСТОСУВАННІ МОДИФІКОВАНИХ ЦИНКАТНИХ ЕЛЕКТРОЛІТІВ

*Коломосць О. О., студент; Кислова О. В., доцент, Київський національний
університет технологій та дизайну, м. Київ*

Одним з розповсюджених методів захисту металів від корозії є електрохімічне цинкування [1]. Проте цей процес є екологічно шкідливим. Через накопичення в робочому розчині речовин, які незворотно погіршують технологічні параметри процесу, відбувається злив відпрацьованих електролітів. Тому стічні води містять солі важких металів, ціанід-йони, солі амонію, різні органічні сполуки, які значно забруднюють навколишнє середовище [2, 3].

Проведення регенерації електролітів гальванічного виробництва і, зокрема, електрохімічного цинкування, полегшує процеси очищення стічних вод, дає можливість повторно використовувати деякі компоненти електроліту та очищену воду на різних стадіях технологічного процесу, а також суттєво знижує собівартість виконаних робіт [2].

Для процесу цинкування деталей зі складною геометричною формою використовуються лужні електроліти, які характеризуються високою розсіювальною здатністю, що забезпечує нанесення рівномірного тонкого покриття при невисокій густині струму. Проте ціаністи та амікатні лужні електроліти є шкідливими для навколишнього середовища [1].

Тому перспективними є цинкатні електроліти, до складу яких входять поліаміни, що виявляють поверхнево-активні та комплексоутворюючі властивості. Вони не тільки покращують процес електрокристалізації цинку та технологічні умови, якість утворених покриттів, перешкоджають проникненню різних агресивних речовин вглиб металу, а також дозволяють знизити вміст сполук цинку в складі електроліту в 2-3 рази [1].

Подальшого зниження шкідливого впливу гальванічного процесу на навколишнє середовище можна досягти шляхом створення замкненої системи водообігу, вдосконаленню складу електролітів гальванування, можливості регенерації компонентів електроліту.

Список літератури

1. Hsieh J., Hu C., Lee C. Effects of polyamines on the deposition behavior and morphology of zinc electroplated at high-current densities in alkaline cyanide-free baths. *Surface and Coatings Technology*. 2009. V. 203 (20–21). P. 3111-3115.
2. Zhong X., Jiao F., Qin W., Wang D. Review on treatment and disposal methods of electroplating sludge. *Electrop. Finish.* 2017. V.36. P. 948-953.
3. Song S., Sun W., Wang L. et al. Recovery of cobalt and zinc from the leaching solution of zinc smelting slag. *J. Environ. Chem. Eng.* 2019. V.7 (1). P. 7.

УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ БІОЛОГІЧНОГО ОЧИЩЕННЯ СТІЧНИХ ВОД ШЛЯХОМ БІОЛОГІЧНОЇ ІНДУКОВАНОЇ АКТИВАЦІЇ МІКРООРГАНІЗМІВ АКТИВНОГО МУЛУ

*Забара І. І., аспірантка; Плячук Л. Д., професор;
Батальцев Є. В. старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Однією з головних причин, що призводять до недостатньої ефективності біологічного очищення стічних вод на міських станціях очисних спорудах, є порушення біоценозу мікроорганізмів активного мулу від дії різноманітних токсичних забруднюючих речовин, які надходять на очисні споруди. Біоценозом мікроорганізмів активного мулу (далі – біоценоз МО АМ) називається спільне існування мікроорганізмів активного мулу, що належать до різних фізіологічних типів, обумовлене відмінностями їх функцій.

Глибина та швидкість трансформаційних перетворень токсичних речовин МО АМ залежить від цілого комплексу взаємопов'язаних чинників: структури і властивостей токсичних сполук, фізико-хімічних умов середовища та окислювального потенціалу, який залежить від характеру біоценозу МО АМ. Найчастіше для деградації забруднюючих речовин необхідним є цикл послідовних мікробіологічних перетворень з поєднанням різного типу бактеріального метаболізму.

У штучно створюваному біоценозі МО АМ аеротенків забезпечуються умови для розвитку флокулоутворюючих бактерій. Вони мають перевагу завдяки високій швидкості відтворення й окислення органічних сполук.

Саме в робочих зонах аеротенків створюються умови для циклу послідовних мікробіологічних перетворень: періоду адсорбції забруднюючих речовин, далі ферментаційному періоду та періоду клітинного дихання, характерного для нітрифікаційних бактерій.

Клітинне дихання є складним процесом, який включає ферментаційні реакції окислювально-відновного типу, що закінчуються постачанням водню до дихального ланцюга клітини. Цикл послідовних ферментаційних реакцій клітини, який супроводжується синтезом АТФ, називають окислювальним циклом трикарбонових кислот (циклом Кребса) [1, 2].

Можливо припустити, що для покращення біоценозу мікроорганізмів активного мулу будь-яка речовина, яка є безпосереднім компонентом циклу Кребса, може бути джерелом енергії та надходити з їжею, як цінна енергетична речовина. Тому, запропоновано спосіб біологічної індукованої активації мікроорганізмів активного мулу, який включає відбір зворотного активного мулу та його обробку карбоновими кислотами циклу Кребса (лимонною та бурштиною) з подальшим підрощуванням на освітлених стічних водах в бактеріальних культиваторах.

Так, на станції очисних споруд м. Суми протягом двох років йде дослідження способу біологічної індукованої активації мікроорганізмів

активного мулу визначеними карбоновими кислотами циклу Кребса. Результати мікробіологічного контролю за проведенням способу біологічної індукованої активації мікроорганізмів активного мулу наведені у табл. 1.

Таблиця 1 – Мікроскопування видового складу МО АМ до та після проведення способу біологічної індукованої активації за 8-9.02.2022 року

Мікроорганізми активного мулу (МО АМ)	До біоактивації МО АМ	Після біоактивації МО АМ	Кількість представників МО АМ
Саркодові	++	+	«+» – присутність представників МО;
Джугитикові	+	–	
Інфузорії	+	++	
Коловертки	+	++	
Інші хижачки	+	+	«+++» – присутність великої кількості видів МО;
Бактерії Zoogloea	+	++	
Бактерії полі-фосфорні	+	++	
Бактерії-нітрифікатори	+	++	
Нитчасті сіркобактерії	+	–	
Інші нитчасті бактерії	++	+	«–» – відсутність представників МО
Гриби (fungi)	–	–	
Актиноміцети	++	+	

За результатами лабораторного контролю можна зробити висновок, що спосіб індукованої біоактивації з лимонною та бурштиною кислотами дає підвищення ефективності біологічного очищення стічних вод завдяки прискоренню метаболічних процесів аеробних бактерій, а також призводить до зниження кількості нитчастих бактерій в біоценозі активного мулу. Лимонна та бурштинова кислоти є метаболітами циклу Кребса, які посилюють ферментоутворення аеробних бактерій, збільшують дозу активного мулу та покращують видове різноманіття МО АМ. Також, спосіб індукованої біоактивації з лимонною та бурштиною кислотами не потребує значних фінансових витрат і не вимагає модернізації аеротенків.

Список літератури

1. Біологічна і біоорганічна хімія : у 2 кн. : підручник. Кн. 2. Біологічна хімія / Ю.І. Губський, І.В. Ніженковська, М.М. Корда та ін. ; за ред. Ю.І. Губського, І.В. Ніженковської. – 3-є вид. – К. : ВСВ «Медицина», 2021. – 544 с.
2. Курс лекцій з біохімії. Розділ «Загальні закономірності метаболізму. Молекулярні основи біоенергетики»: для студ. спец. 7.110101 денної форми навчання / Л. І. Гребеник, І. Ю. Висоцький. – Суми : СумДУ, 2011. – 74 с.

НОВЕ ТЕХНОЛОГІЧНЕ ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ КАНАЛІЗАЦІЙНИХ ОЧИСНИХ СПОРУД БАРБОТАЖНОГО ТИПУ

Жуга О. О., аспірант, НТУ «ХПІ», м. Харків

Посилення екологічних вимог та зростання цін на енергоресурси наводять до необхідності очищення стічних вод відповідно до норм скидання та розробки більш енергоефективних процесів. Одним з основних напрямів для зниження екологічної шкоди та економічних витрат є стадія біологічної очистки. Можливе зниження енерговитрат Близько 30-70 відсотків енергоспоживання очисних споруд сьогодні припадає на аераційні системи. Збільшивши ефективність стадії біологічного очищення, Ви можете значно скоротити витрати на енергію та експлуатацію.

Принцип роботи системи аерації складається в наступному: повітря від повітродувного обладнання через магістральний повітропровід через опуск та повітродозподільний колектор рівномірно розподіляється за допомогою аераційних модулів, із встановленими на них аераторами, в обсязі аеротенка у вигляді бульбашок діаметром від 0,8 до 3,0 мм, забезпечуючи ефективне барботування перемішування водно-мулової суміші та насичення її киснем. Застосування аераторів з перфорованою мембраною дозволяє експлуатувати систему як у безперервному, так і періодичному режимі аерації, оскільки при відключенні подачі повітря в систему отвору в мембрані закриваються, запобігаючи цим надходження води в систему. Аераційні системи експлуатують спеціалізовані підприємства з очищення господарсько-побутових та промислових стічних вод, відповідно до "Правил технічної експлуатації систем та споруд комунального водопостачання".

Мембранні дифузори – інноваційна технологія дрібнопухирчастої аерації. Якщо потрібна висока щільність установки дифузорів та малі швидкості подачі повітря, вони можуть бути встановлені на будь-якій донній поверхні. неперевершену ефективність аерації. Енергоефективність Унікальна геометрія дифузора з покращеною перфорованою мембраною забезпечує висока щільність установки та низька подача повітря, що призводить до високої швидкості перенесення кисню за мінімальних витрат енергії.

Мембрани розроблені з метою зменшення втрат тиску, що додатково скорочує споживання енергії. Висока надійність Тести за умов прискореного старіння довели переваги товстих, гнучких мембран з поліуретану. Водонепроникна конструкція системи торцевих з'єднань та ущільнень зменшує знос при постійній експлуатації. Тести за умов прискореного старіння довели переваги товстих, гнучких мембран з поліуретану. Водонепроникна конструкція системи торцевих з'єднань та ущільнень зменшує знос при постійній експлуатації. Можливе застосування в умовах "вкл./вимк. подання повітря".

Керамічні дифузори застосовуються для аерації агресивних, високо корозійних стічних вод, забезпечуючи ефективне та економічне перенесення кисню. Низькі загальні витрати Керамічні диски пресуються особливим способом досягнення високої ефективності переносу кисню при низьких тисках повітря. Різна щільність поверхні диска забезпечує рівномірний розподіл повітря. Це зменшує втрати тиску в системі, споживання енергії, експлуатаційні витрати та, таким чином, загальні витрати. Енергоефективність Різьбове стопорне кільце забезпечує надійну герметизацію керамічних дисків. При підвищенні тиску повітря збільшується і тиск на кільцеве ущільнення, що забезпечує належну герметизацію. Оскільки немає витоків повітря, відсутні й втрати енергії.

Дрібнопухирчасті дифузори, як правило, використовуються для біологічного очищення, аерації перед скиданням та дезодорації шламозбірників. можливо вибрати високоєфективні дифузори для стандартних застосувань та при малих тисках повітря або надійні керамічні дифузори для застосування, що вимагають корозійної стійкості.

Для застосування в більш агресивних середовищах, таких як промислові стічні води або шлам, вибирайте системи великопухирчатої аерації. Встановлюються в пісковловлювачах, усереднювачах та шламозбірниках, ширококутові дифузори.

Аераційні (бризкальні) дифузори. Аератори цього типу розміщуються над поверхнею блоку фільтрів або над водозбірним резервуаром малої місткості, якщо технологія не передбачає тривалого контакту води з повітрям, або безпосередньо над контактним резервуаром. Конструкція аераційного басейну є системою водорозподільних труб, обладнаних соплами, розташованими рівномірними пучками по кілька штук по всій площі басейну. Сопла служать для розкручування потоку води, який на виході утворює факел, що забезпечує високий ступінь аерації. Аераційний басейн складається не менше ніж із двох секцій. При очищенні в цій споруді видаляється до 50% розчиненого вуглекислого газу. Недоліком аератора цього є його велика площа при невисокому гідравлічному навантаженні.

Як висновок можна відзначити, що не достатньо тільки купити аератори, важливо грамотно та професійно прорахувати та змонтувати всю систему. При простоті установки, що здається, треба дотримуватися послідовності дій: подбати про підведення повітроводів, використовувати перехідники і таке інше.

Список літератури

1. Ruane, R.J., Hauser, G.E., Factors Affecting Dissolved Oxygen in Hydropower Reservoir, Waterpower 1991, Proceedings of the International Conference on Hydropower, ASCE, Denver, Colorado, July 1991.

2. Kiss A. Cyclic distillation – Design, control and applications // Separation and Purification Technology. – 2014. – Vol. 125. – P. 306–336.

РЕГІОНАЛЬНА ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Твердохлебова Н. Є., доцент; Євтушенко Н. С., доцент, кафедра безпеки праці та навколишнього середовища, НТУ «ХП», м. Харків

Екологічні наслідки війни, яка триває в Україні вже більше року внаслідок вторгнення російської федерації величезні. Обстріли житлових будинків, промислових підприємств, транспортної інфраструктури, наземних і морських споруд, а також об'єктів водопостачання, санітарії та управління відходами завдали широкомасштабної та серйозної шкоди з безпосередніми й довгостроковими наслідками для здоров'я людей та екосистем.

Найбільшу шкоду оточуючому середовищу наносять ракетні удари ворога. Ракетне паливо забруднює ґрунт і воду небезпечними хімічними речовинами. Внаслідок постійних ударів по нафтопереробних, хімічних заводах, енергетичній інфраструктурі, промислових складах та трубопроводах повітря, вода та ґрунт у країні забруднені токсичними речовинами, пожежами та обвалами будівель. Так, внаслідок обстрілів українських територій російськими ракетами знищено понад 40 нафтобаз. Російські атаки на паливні склади призвели до викиду токсинів у повітря та ґрунтові води. Масштаби настільки великі, що біорізноманіття та стабільність клімату перебувають під загрозою у багатьох регіонах країни. Через пожежі в атмосферне повітря потрапило понад 500 тис. тон токсичних речовин. Нажаль, країна буде мати від цього довготривалий негативний ефект.

Серед потенційно небезпечних екологічних наслідків війни в Україні, у глобальному масштабі є ризики, пов'язані з АЕС [1] та руйнуванням ГЕС. Можуть пройти роки, перш ніж вплив забрудненої води та вплив токсинів на здоров'я стане очевидним. За даними Всесвітньої екологічної організації WWF, внаслідок пошкодження інфраструктури водопостачання близько 1,4 млн осіб в Україні нині не мають доступу до безпечної води, а ще 4,6 млн осіб мають лише обмежений доступ [2]. Окрім відсутності джерел питної води, ще одним наслідком війни є інфекції у постраждалих районах.

Зростають викиди в атмосферу парникових газів, таких як двоокис вуглецю (CO_2). Є прямі викиди, які відбуваються в рамках бойових дій (обстріл українських міст крилатими ракетами або обстріл російської артилерії). Крім того, існують викиди від військових транспортних засобів, таких як танки, винищувачі та кораблі. Це також величезне навантаження на довкілля. Внаслідок пожеж та розливу паливно-мастильних матеріалів знищується верхній родючий шар землі. Це негативно позначиться на сільському господарстві та постачанні населення продовольством після закінчення війни. Від вибухів боєприпасів та ракет порушується рельєф, руйнуються і просідають ґрунти, виводяться з ладу значні масиви ріллі, забруднюються важкими металами, енергетичними сполуками, такими як тринітротолуол (ТНТ), гексоген (гексоген) та ракетним паливом водойми та

грунти на території країни. Сірка, яка негативно впливає на дихальну систему людини, є складовим елементом практично всіх вибухонебезпечних предметів. Наслідками цього можуть бути довгострокові загрози для здоров'я населення, зокрема ризик онкологічних та респіраторних захворювань. Внаслідок війни значно постраждали лісові масиви країни. Знищено понад 280 000 га лісу. Збитки флори та фауни лісів складають близько 185 млрд грн.

Ще однією екологічною проблемою, яку буде необхідно вирішувати не один рік – це наслідки ведення воєнних дій (нерозірвані міни, снаряди, їх уламки, зруйнована воєнна техніка, зруйновані будівлі і споруди). Залишки боєприпасів, наземні міни або інші вибухонебезпечні пережитки війни самі по собі можуть забруднювати ґрунт та ґрунтові води металами та токсинами на десятиліття. На сьогодні великі масиви територій залишаються замінованими і для того, щоб їх розмінувати, знадобляться роки. Станом на січень поточного року потенційно небезпечні території, які необхідно розмінувати, складають 174 тис км², що становить 30% загальної площі держави.

Збитки навколишньому середовищу в Україні внаслідок війни величезні. Українська неурядова організація «Рахункова палата» передбачає, що фінансові збитки від руйнування навколишнього середовища під час війни становлять понад 37 мільярдів доларів. Руйнівна екологічна шкода від війни буде обтяжувати Україну ще довгі роки. У короткостроковій перспективі Україна має зосередитись на усуненні та зниженні безпосередніх ризиків для здоров'я людей та навколишнього середовища. У більш довгостроковій перспективі повоєнне «зелене» відновлення слід розглядати як економічну необхідність фундаментального перетворення України у бік «зеленої» та нульової економіки. Головне завдання людства на післявоєнний час – очищення та відновлення земельних ресурсів України, перехід на відновлювані джерела енергії. Важливим завданням, серед іншого, є створення та розвиток соціальних систем, таких як продовольче та енергопостачання а також система охорони здоров'я.

Список літератури

1. Твердохлебова Н. С., Денисенко Ю. І. Забезпечення техногенної безпеки на об'єктах ядерної енергетики у воєнний час. Матеріали III Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції студентів та молодих науковців «Актуальні питання охорони праці у контексті сталого розвитку та європейської інтеграції України», 09-11 листопада 2022 р. – Х. ХНУМГ імені О.М. Бекетова, 2022. – 256 с. С 89-91.

2. Сайт Всесвітньої екологічної організації WWF [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://wwf.ua/about-wwf/about-wwf/>

НАДЗВИЧАЙНІ СИТУАЦІЇ ПРИРОДНОГО ХАРАКТЕРУ ЯК РЕЗУЛЬТАТ ПОТЕПЛІННЯ КЛІМАТУ

Лисенко Д. С., студент; Трунова І. О., доцент, СумДУ, м. Суми

Надзвичайні природні події, що сталися за останній період часу, є доказом того, що зміна клімату та інші глобальні чинники природного середовища, можуть викликати загрозу для людини та суспільства в цілому. Великі пожежі в Австралії, повені в Азії та Європі, торнадо в США та урагани в Карибському басейні є прикладами надзвичайних природних подій, які сталися за останні роки. Природні катастрофи впливають на всі сфери життєдіяльності, економіку та суспільства загалом.

Вплив природних небезпек не має кордонів. Такі явища як глобальне потепління (зміна клімату Землі), деградація довкілля, зменшення кількості прісної води та інше – підвищують ризики виникнення надзвичайних природних подій. Людство повинно усвідомити реалії сучасності і направити свою діяльність на зменшення впливу на навколишнє середовище, адаптації до змін, що відбуваються на планеті, та впроваджувати новітні екологічні технології.

Передове місце в реалізації екологічних проєктів займають країни Європи і є багато позитивних прикладів реалізації стратегій сталого розвитку по зменшенню впливу на довкілля. Україна, як і багато інших країн, зазнає впливу різних природних катастроф, включаючи повені, урагани, заморозки, лісові та торф'яні пожежі та багато інших катастрофічних природних явищ. Ці явища відбуваються незалежно від пори року та місцевості.

Необхідно шукати комплексне рішення, яке б дозволило вирішити проблему повеней раз і назавжди, замість того, щоб щороку мати ризик виникнення надзвичайних небезпек та наслідки від них.

Одним з найважливіших кроків є зменшення викидів парникових газів, таких як вуглекислий газ, метан та діоксид азоту. Це можна зробити шляхом переходу на відновлювану енергетику, енергозбереження та ефективне використання ресурсів. Крім того, можна зменшити викиди парникових газів шляхом зменшення споживання м'ясних виробів тваринництва, тому що процес вирощування скотини забирає багато природних ресурсів, а також є одним з найбільших джерел парникових газів. Наступним кроком може бути підтримка розвитку наукових досліджень та розробок нових технологій, що дозволять ефективніше зменшувати викиди парникових газів та боротися з наслідками зміни клімату.

Нарешті, країни повинні співпрацювати та узгоджувати свої дії, щоб досягти загальних цілей у зменшенні викидів парникових газів та зменшенні наслідків зміни клімату для всього світу.

РОЛЬ ДІГЕСТАТУ У ПІДВИЩЕННІ РОДЮЧОСТІ ҐРУНТІВ

Парамонов А. В., аспірант; Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

Найважливішу роль у підтримці екологічної рівноваги в ґрунті відіграє запас гумусу, який є поживним середовищем для мікроорганізмів, які стимулюють живлення рослин та процесу їх росту [1].

Основу природного гумусу становлять залишки органічних рослинних речовин: найменш розкладені частини, частини, що ще розкладаються, складні речовини, отримані гідролізом і окисленням органічної речовини, результат життєдіяльності мікробів. Під час процесів з використанням гумусу спостерігається збільшення врожайності.

У Данії, Німеччині, Індії, та інших країнах з 1990-х років проводились різного роду випробування, результатами яких було збільшення врожаю при використанні дігестату як добрива.

Підвищення ефективності утилізації залишків біогазу пов'язане з реорганізацією основних видів ґрунтових мікроорганізмів, збільшенням частки бактерій, що сприяють росту рослин, і зменшенням частки грибних мікробних угруповань і актиноміцетів. Поживні речовини та елементи, вміст білків, жирів, вітамінів містяться в продуктах рослинного походження

У світовій практиці біологічні добрива застосовують у різному вигляді. Тверді речовини отримують висушуванням рідкої фракції та рідини на виході з біореактора.

Біодобрива сприяють обробленню ґрунту, тим самим покращуючи його основні властивості, а також водний та повітряний режим. Ґрунт багатий гумусом, фосфором, та іншими елементами.

Збагачення ґрунту органічними речовинами - головна особливість дігестату. Регулярне постачання поживних речовин, таких як азот і фосфор, необхідне для глобальної продовольчої безпеки, а збільшення повторного використання поживних речовин назад у сільське господарство з потоків органічних відходів є необхідним для підвищення стійкості сільської та міської місцевості [2].

Список літератури

1. Івлєєва А. В. Технології використання дігестату для підвищення родючості ґрунтів: Магістерська робота. Суми, 2020. 59 с. [1, с.33]
URL: https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/80150/1/Ivlieva_bak_2020.pdf;jsessionid=FD9070A6CFB5DB41B7133E38FD2F2385 (дата звернення: 16.03.2023).
2. Lorik D., Makura B., Alström M. and others. Effectiveness of struvite precipitation and ammonia stripping for recovery of phosphorus and nitrogen from anaerobic digestate: a systematic review *Environmental Evidence*. *BioMed Central*. URL: <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-020-00211-x> (date of access: 18.03.2023).

ДО ПИТАННЯ ВИДІЛЕННЯ ПАРНИКОВИХ ГАЗІВ У ПРОЦЕСІ КОМПОСТУВАННЯ

*Джафарова В. Р., аспірантка; Васькіна І. В., старший викладач,
СумДУ, м. Суми*

Компостування є одним із поширених методів переробки органічних відходів, що дозволяє знизити їх кількість на звалищах, зменшуючи викиди метану, і, водночас, повернути в кругообіг поживні речовини шляхом додавання компосту в ґрунт.

Загальновідомими перевагами використання компостування є:

- уникнення неконтрольованих викидів метану (CH_4);
- зменшення кількості органічних відходів на звалищі;
- створення компосту, для використання в сільському господарстві в якості добрива або для боротьби з ерозією.

Хоча уникнення викидів CH_4 з сміттєзвалища є однією з мотивацій для компостування органічних відходів, однак сам процес компостування також є джерелом викидів парникових газів. В процесі компостування в атмосферу виділяються CO_2 , CH_4 , N_2O , NH_3 .

Вуглекислий газ CO_2 є основною сполукою, що викидається в атмосферу під час компостування. Під час кожного етапу компостування, деяка кількість вуглецю, наявного в органічній сировині, окислюється до CO_2 . Але оскільки продукція CO_2 є природною частиною розкладання будь-яких органічних речовин, а вуглець, наявний у вихідній сировині є біогенним, ці викиди можна вважати кліматично нейтральними. Тобто така сама кількість CO_2 буде надходити до атмосфери навіть за розкладання в природніх умовах.

Релевантні дослідження показують, що сполуки азоту (N_2O , NO , NH_3) мають більш значну роль як парникові гази, ніж це вважалось раніше. Кругообіг азоту під час компостування передбачає численні прямі та непрямі процеси. Біологічне видалення азоту включає нітрифікацію та денітрифікацію та, зрештою, призводить до викидів N_2O . Доведено, що 46–98% CH_4 , виробленого під час компостування споживається метанотрофами до потрапляння в атмосферу

NH_3 також може безпосередньо викидатися в атмосферу, особливо з добре аерованої сировини, де мікроорганізми зможуть її окислити. Викиди NH_3 від компосту збільшуються пропорційно збільшенню аерації, знижуючи співвідношення C:N, підвищуючи температуру та рН компосту.

Таким чином, при правильному температурному режимі (50-70 °C) в процесі компостування вплив парникових газів при процесі компостування є допустимим і не призводить до додаткових викидів парникових газів.

ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ БУДІВНИЦТВА СЕЛІТЕБНИХ ЗОН МІСТ

Кужьоменська К. В., аспірантка; Батальцев Є. В., ст. викл., СумДУ, м. Суми

Градосфера – приземна частина атмосфери, усередині якої спостерігається вплив міського середовища на санітарно-гігієнічні та кліматичні умови середовища [1].

Компонентами впливу на градосферу можуть бути: теплові противипромінювання земної поверхні разом із випромінювачами від теплових та енергетичних установок, що утворюють «тепловий ковпак» над містом; аерозолі, гази, інші речовини, що є відходами технологічних виробництв та є причиною утворення туманів, смогу; вітровий режим, що змінюється залежно від ландшафту, поверховості забудови, структури міста. Розміри простору відчутного впливу цих чинників на градосферу залежать від рельєфу та параметрів забудови міста, характеру [1] та інтенсивності виробничо-технологічних процесів і автотранспорту, а також від організації збору та переробки побутових відходів. Промислові комплекси, особливо фосфорні, металургійні та тепловиробничі підприємства, викидаючи аерозолі та газові відходи, поширюють їх на сотні й тисячі кілометрів в окозі.

Унаслідок взаємодії техногенних чинників (електричні поля, шум, вібрація, підвищена витрата кисню та викиди відпрацьованих газів, аерозолів) із навколишнім природним середовищем на території міста формуються особливі біокліматичні умови, знання та врахування яких необхідні під час розроблення генеральних планів міста.

Біокліматична ситуація в житловому середовищі складається у взаємодії фонових показників міських середовищ із забудовою та елементами благоустрою. Прогноз і формування сприятливих біокліматичних умов засобами планування, забудови та благоустрою – важливе завдання проекту детального планування житлового району. Екологічний фактор визначає проєктне рішення: вибір напрямків розвитку міст, прогноз екологічної та мікрокліматичної ситуації, враховуючи антропогенні та природні чинники.

Найбільш несприятливий вплив на природне середовище чинить господарська діяльність, пов'язана з прямим забрудненням атмосфери, ґрунту та води. Найзначніший вплив на здоров'я чинить забруднення атмосфери. Зрештою забруднювальні речовини більшою чи меншою мірою залежно від типу виробничої діяльності та умов проживання в міському середовищі впливають на мешканців міста. Все це потребує подальших досліджень для забезпечення благополуччя та здоров'я населення міст.

Список літератури

1. Гурець Л. Л. Науково-методологічні основи екологічної безпеки при забрудненні атмосферного повітря газопиловими викидами промислових підприємств : дис. ... д-ра техн. наук : 21.06.01. Суми, 2017. 313 с.

ФЛОТОЕКСТРАКЦІЯ – ТОНКЕ ОЧИЩЕННЯ СТИЧНИХ ВОД

Мар'єнко Н. М., студентка; Пляцук Л. Д., професор, СумДУ, м. Суми

Високий ступінь очищення стічних вод вимагає розробки нових перспективних методів очищення. Одним із них є флотоекстракція.

У 1961 році Ф. Себба вперше запропонував флотоекстракцію як альтернативу іонній флотації для відокремлення речовин, коли утворення потрібної для флотації піни неможливе або необхідно відокремити її для подальшого аналізу. Особливістю цього методу є відділення сублат, який концентрується на поверхні водної фази в шарі органічної рідини. Сублат може розчинятися в органічному шарі або утворювати суспензію, що утримується завдяки змочуванню.

Флотоекстракцію використовують для вилучення розчинних органічних речовин на основі їх поверхневої активності, при флотації осадів і гідрофобних рідин, а також для очищення стічних вод від органічних і неорганічних домішок, які перебувають у розчиненій формі або як рідинні і тверді сполуки нерозчинні у воді. Крім того, цей метод використовують у аналітичній хімії як спосіб кількісного визначення слідів металів та поверхнево-активних речовин [1].

Флотоекстракція має переваги порівняно з рідинною екстракцією, оскільки не залежить від основних параметрів процесу екстракції, таких як об'єм органічного розчинника, коефіцієнт розподілу речовини між органічною та водною фазами та витрати органічної фази. При цьому, порівняно з екстракцією, зменшується витрата органічного розчинника, об'єм якого зазвичай є основним параметром.

Недоліками методу флотоекстракції порівняно з флотацією є його менша продуктивність, оскільки він вимагає меншої кількості газу, що не руйнує верхній шар органічної рідини в розподільному апараті. Проте ця точка зору може бути спірною, оскільки у процесі флотоекстракції сублат може бути швидко екстрагований та розчинений в шарі рідини, що не змішується з водою, що дозволяє використовувати більше газу.

Продуктивність також збільшується за рахунок зменшення розміру бульбашок газу, наприклад, застосуванням принципу напірної флотації. Конструкція апаратів частково полегшує негативний вплив перемішування під час флотоекстракції. Крім того, речовина, що вилучається, не обов'язково повинна добре розчинятися в органічному розчиннику, достатньо мати хорошу змочуваність.

Список літератури

1. Казначеев О. С. Очищення стічних вод від важких металів : спец. 161 – Хімічні технології та інженерія / наук. кер. Т. І. Обушенко. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2020. 116 с.

ТЕХНОЛОГІЯ ЗАХОРОНЕННЯ РАДІОАКТИВНИХ ВІДХОДІВ АЕС

*Мосійчук Р. А., студент; Пляцук Л. Д., професор;
Батальцев Є. В., старший викладач, СумДУ, м. Суми*

Ядерна енергетика є одним з ключових джерел енергії в багатьох країнах. Проте, зберігання та утилізація радіоактивних відходів, що виникають під час роботи АЕС, є складними технічними та екологічними проблемами.

Існує глобальний консенсус країн, які використовують ядерну енергію, що єдиним остаточним безпечним рішенням (кінцевою точкою) для довгострокового поводження з ядерними відходами є їх захоронення – розміщення відходів у відповідному сховищі без наміру їх вилучення [1].

Захоронення у космічному просторі або в зонах субдукції, наразі виглядають нереалістичними, а захоронення у стабільних геологічних формаціях є добре опрацьованим. Всі зусилля спрямовані на захоронення таким чином, щоб навіть у дуже далекому майбутньому ймовірність втручання радіонуклідів у біосферу була практично відсутня або зведена до мізерного рівня, якщо таке втручання потенційно можливе.

Мультибар'ерна система захоронення ядерних відходів (рис. 1) зазвичай складається з природного геологічного бар'єру, що забезпечується вміщуючими породами, та інженерної бар'єрної системи. Система інженерних бар'єрів включає кілька компонентів, такі як форма відходів, тип контейнеру, вкладишів та засипки, стін та засипки сховища. Ці бар'єри діють спільно: спочатку для утримання радіонуклідів, а потім для обмеження їх виходу в доступне середовище. Приповерхневі сховища в основному покладаються на інженерні бар'єрні системи, тоді як глибокі геологічні сховища використовують природний геологічний бар'єр як основний, що діє в геологічних часових масштабах.

Отже, безпечне зберігання та захоронення ядерних відходів є необхідною складовою поводження з ними, що покликана мінімізувати будь-який ризик міграції радіонуклідів у біосфері.

Список літератури

1. Ojovan, M.I.; Steinmetz, H.J. Approaches to Disposal of Nuclear Waste. *Energies*. 2022. 15. 7804. <https://doi.org/10.3390/en15207804>

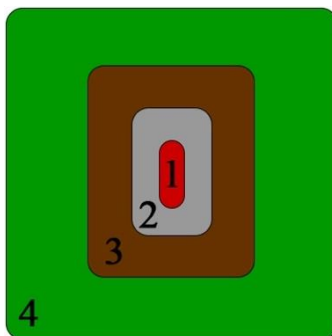


Рисунок 1 – Схема мультибар'єрної системи захоронення ядерних відходів [1]: 1 – ядерні відходи; 2 – система інженерних бар'єрів, 3 – природний геологічний бар'єр, 4 – біосфера

РОЛЬ ДИГЕСТАТУ У ЗНИЖЕННІ ТЕХНОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ НА ГРУНТИ

Парамонов А. В., аспірант; Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

Екологічна рівновага в ґрунті підтримується за рахунок запасів гумусу, який є поживним середовищем для мікроорганізмів, що стимулюють живлення рослин та процеси їх росту. Гумус складається із залишків органічних рослинних речовин, розкладених мікроорганізмами. Під час процесів з використанням гумусу спостерігається збільшення врожайності.

Анаеробний дигестат є побічним продуктом процесу анаеробного зброджування, який є біологічним процесом, під час якого відбувається перетворення органічних речовин в біогаз, відновлюване джерело енергії. Анаеробний дигестат багатий такими поживними речовинами, як азот (N), фосфор (P) і калій (K), що робить його цінним біодобривом для сільськогосподарського застосування. Внесення дигестату може стимулювати мікробіологічну активність та покращити родючість ґрунту завдяки надходженню поживних органічних речовин в ґрунт.

Повторне внесення дигестату має потенціал для покращення стану органічної речовини ґрунту з відповідним покращенням біологічного та фізичного функціонування ґрунту [1]. На додаток до вмісту поживних речовин, анаеробний дигестат може також покращити структуру ґрунту та утримання води, зменшити потенціал ерозії ґрунту, що може призвести до збільшення росту рослин та їх врожайності.

Дигестати зазвичай використовуються як органічні добрива завдяки високому вмісту поживних речовин для рослин (N, P, K та основних мікроелементів) [2] і зазвичай мають дуже хороші властивості добрива. Таким чином, біогазовий дигестат є хорошим кандидатом на заміну неорганічних добрив, високоякісного компосту та покращувачів ґрунту, за умови, що він приносить користь суспільству в цілому та навколишньому середовищу зокрема, а також допомагає зберегти обмежені природні ресурси, такі як вкопні запаси мінерального фосфору. Використання дигестатів може допомогти зменшити використання неорганічних добрив і покращити структуру ґрунту та біологію ґрунту [3]. У Данії, Німеччині, Індії та інших країнах з 1990-х років проводились різного роду випробування, результатами яких було збільшення врожаю при використанні дигестату як добрива.

Підвищення ефективності утилізації залишків біогазу пов'язане з реорганізацією основних видів ґрунтових мікроорганізмів, збільшенням частки бактерій, що сприяють росту рослин, і зменшенням частки грибних мікробних угруповань і актиноміцетів. Поживні речовини та елементи, вміст білків, жирів, вітамінів містяться в продуктах рослинного походження

У світовій практиці біологічні добрива застосовують у різному вигляді. Тверді речовини отримують висушуванням рідкої фракції та рідини на виході

з біореактора. Біодобрива сприяють обробленню ґрунту, тим самим покращуючи його основні властивості, а також водний та повітряний режим. Ґрунт багатий гумусом, фосфором, та іншими елементами.

Протягом останніх 25 років у кількох країнах ЄС було запроваджено схеми забезпечення якості компосту та дигестату. Вони складають основу сталої переробки біоресурсів, забезпечуючи постійне виробництво якісної продукції та розміщення її на ринку з високою якістю.

Стратегії розвитку сільського господарства в країнах, що розвиваються, які ведуть до економічного розвитку, мають бути спрямовані на доступне збільшення сталої продуктивності землі, що обробляється. Дигестити беруть участь у цій дискусії, сприяючи здоровій системі ґрунт-рослина-довкілля, з такими аспектами, як збільшення органічної речовини в ґрунті та водоутримуючої здатності для зменшення деградації землі та покращення сталого сільськогосподарського виробництва.

Збагачення ґрунту органічними речовинами – головна особливість дигестату. Регулярне постачання поживних речовин, таких як азот і фосфор, необхідне для глобальної продовольчої безпеки, а збільшення повторного використання поживних речовин назад у сільське господарство з потоків органічних відходів є необхідним для підвищення стійкості сільської та міської місцевості [4].

Таким чином, наступні дослідження будуть пов'язані з розробленням та впровадженням технологій оброблення дигестату для одержання екологічно безпечного добрива, здатного замінити мінеральні добрива, тим самим знижуючи рівень техногенного навантаження на ґрунти.

Список літератури

1. Bhogal, A., Taylor, M., Nicholson, F., Rollett, A., Williams, J., Newell Price, P., Chambers, B., Litterick, A., Whittingham, M. (2016). DC-Agri; field experiments for quality digestate and compost in agriculture. Work Package 1 Final report (2010-2015). UK.
2. Świątczak, P., Cydzik-Kwiatkowska, A. (2018). Treatment of ammonium-rich digestate from methane fermentation using aerobic granular sludge. *Water, Air, & Soil Pollution*, 229, 24. <https://doi.org/10.1007/s11270-018-3887-x>. (date of access: 26.03.2023).
3. Nkoa, R. (2014). Agricultural benefits and environmental risks of soil fertilization with anaerobic digestates: a review. *Agronomy for Sustainable Development*, 34, 473-49. <https://doi.org/10.1007/s13593-013-0196-z> (date of access: 26.03.2023).
4. Lorik D., Makura B., Alström M. and others. Effectiveness of struvite precipitation and ammonia stripping for recovery of phosphorus and nitrogen from anaerobic digestate: a systematic review Environmental Evidence. *BioMed Central*. URL: <https://environmentalevidencejournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/s13750-020-00211-x> (date of access: 18.03.2023).

ОЦІНКА ПРИДООХОРОНИХ ЗАХОДІВ І ПРОЕКТІВ НА ПРИДООХОРОНОМУ ОБ'ЄКТІ

Бурла О. А. асистент; Будьоний І. І, студент, СумДУ, м. Суми

Процес екстенсивного розвитку виробництва та споживання природних ресурсів призводить до вилучення сировинних ресурсів з навколишнього середовища в дедалі більших масштабах, що у свою чергу викликає порушення сформованих в екосистемах екологічних зв'язків.

Основною причиною антропогенного забруднення довкілля є промислова діяльність, що викликає як локальне, а й глобальне вплив на екологію. Сукупний вплив промислових підприємств визначає стан і якість природного середовища, оскільки в ході господарської діяльності промислові підприємства використовують невідновлювані природні ресурси, як правило, використовуючи ресурсомісткі технології, застаріле обладнання та антиекологічний напрямок розвитку [1-2].

Забруднення природного середовища побутовими відходами та вуглецевими викидами від промислових підприємств веде до збільшення витрат на утилізацію цих відходів та запобігання забрудненню. Зменшення обсягу родючих ґрунтів веде до зменшення кількості земель, які придатні для сільського господарства. Це веде до виникнення продовольчих проблем та відбувається збільшення собівартості продукції та на комплекс заходів щодо відновлення деградованих земель у процесі природокористування. Погіршення геологічного стану відбувається через вичерпання природних ресурсів і, як наслідок, їх недолік є передумовою подорожчання сировинних ресурсів та збільшення витрат на видобуток корисних копалин. Навіть у тих випадках, коли природні об'єкти не беруть участь безпосередньо у виробничій чи господарській діяльності, вони все одно схильні до антропогенного впливу. Зміни хімічного складу земної поверхні, збільшення радіаційного фону, коливання загальнокліматичних умов тощо – практично всі об'єкти природи стають прямою чи непрямою функцією виробничої діяльності.

Оскільки антропогенне навантаження на природне середовище значною мірою перевищує його асиміляційні можливості, проблеми обліку та оптимізації еколого-економічних взаємин мають особливе значення, оскільки поведінка всього людства веде до виникнення екологічних проблем, що перешкоджають сталому розвитку підприємств, країн та регіонів.

Список літератури

1. Белобородова М. В. Особливості впровадження екологічної відповідальності в стратегію розвитку промислових підприємств. Науковий вісник Ужгородського національного університету. № 17 (1). 2018. С. 20 – 24.
2. Феценко О. Л., Каменева Н. В. Теоретичні засади визначення поняття еколого-економічної безпеки підприємства. Університетські наукові записки. 2017. № 1. С. 223–231.

ВПЛИВ АНАЕРОБНОГО ДИГЕСТАТУ ЯК БІОДОБРИВА НА АКУМУЛЯЦІЮ ВУГЛЕЦЮ В ҐРУНТІ

Михно Г. І., студентка; Аблєєва І. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

Тема ролі анаеробного дигестату як біодобрива для накопичення вуглецю в ґрунті є надзвичайно актуальною в поточному контексті сталого сільського господарства та пом'якшення наслідків зміни клімату. Сільське господарство вносить значний внесок у викиди парникових газів, але воно також має потенціал поглинати вуглець у ґрунті за допомогою різних методів управління. Таким чином, розуміння ролі анаеробного дигестату як біодобрива для накопичення вуглецю в ґрунті має вирішальне значення для розробки стійких сільськогосподарських методів. Тема має велике значення для політиків, фермерів, дослідників та інших зацікавлених сторін, залучених до сільського господарства та управління навколишнім середовищем.

Однією з найбільш потенційних переваг використання анаеробного дигестату як біодобрива є його здатність сприяти накопиченню вуглецю в ґрунті. Накопичення вуглецю в ґрунті означає процес поглинання вуглецю ґрунтом шляхом додавання органічної речовини. Це важливо для пом'якшення зміни клімату, оскільки допомагає зменшити кількість вуглекислого газу в атмосфері.

Рівень органічного вуглецю в ґрунті безпосередньо пов'язаний з кількістю органічної речовини, що міститься в ґрунті, а його рівень є результатом взаємодії декількох екосистемних процесів, серед яких ключовими є фотосинтез, дихання та розкладання. Матеріальний баланс органічного вуглецю може бути змщений у бік накопичення вуглецю, якщо надходження вуглецю перевищує його віддачу (втрати вуглецю). Цей ефект може бути досягнутий за рахунок секвестрації вуглецю ґрунтом під час фотосинтезу, а переважання процесу гуміфікації над процесом мінералізації органічної речовини ґрунту призводить до зростання рівня органічного вуглецю в ґрунті з часом.

Склад дигестату може мати значний вплив на накопичення вуглецю в ґрунті. Вміст вуглецю в дигестаті залежить від типу органічних відходів, які використовувалися як сировина для анаеробного зброджування. Наприклад, дигестат, отриманий з тваринного гною, як правило, має більш високий вміст вуглецю, ніж дигестат, отриманий з харчових відходів. Коли дигестат вноситься в ґрунт, органічна речовина в дигестаті розкладається ґрунтовими мікроорганізмами, вивільняючи поживні речовини та вуглекислий газ у ґрунт. Однак деяка частина органічної речовини також включається в запас органічної речовини ґрунту, що з часом може призвести до збільшення запасів вуглецю в ґрунті.

Склад дигестату може впливати на швидкість і ступінь поглинання вуглецю в ґрунті. Наприклад, дигестат з більш високим вмістом вуглецю може призвести до більшого поглинання вуглецю в ґрунті, але також може бути

більш схильним до розкладання, що може призвести до вивільнення вуглекислого газу назад в атмосферу. Окрім вмісту вуглецю, інші фактори, такі як співвідношення азоту до вуглецю та рН дигестату, також можуть впливати на поглинання вуглецю в ґрунті [1, 2].

Коли анаеробний дигестат вноситься в ґрунт, він може сприяти накопиченню вуглецю кількома способами. По-перше, органічна речовина в дигестаті може розщеплюватися ґрунтовими мікроорганізмами, вивільняючи вуглекислий газ та інші поживні речовини. А деяку частину органічної речовини також можна стабілізувати та включити в ґрунт, сприяючи довгостроковому накопиченню вуглецю.

Однак як правило, внесення дигестату в ґрунт може з часом збільшити вміст органічного вуглецю в ґрунті. Дослідження показує, що застосування більшої фракції дигестату на сільськогосподарських угіддях призвело до більшого поглинання вуглецю в ґрунті порівняно з нижчою фракцією [3]. Проте, надмірне використання дигестату може призвести до дисбалансу поживних речовин і екологічних проблем, тому важливо використовувати дигестат відповідальним і екологічним способом.

Крім того, поживні речовини в дигестаті можуть сприяти росту рослин, що, у свою чергу, може призвести до збільшення поглинання вуглецю за допомогою фотосинтезу. Коли рослини ростуть, вони поглинають вуглекислий газ з атмосфери та накопичують вуглець у своїй біомасі, яку можна повернути в ґрунт через кореневі екsudати, підстилку та інші органічні речовини.

Підсумовуючи, анаеробний дигестат має потенціал бути цінним біодобривом для сільськогосподарського застосування, а також сприяє накопиченню вуглецю в ґрунті. Однак ефективність анаеробного дигестату як біодобрива та його вплив на накопичення вуглецю залежатиме від кількох факторів, включаючи якість дигестату, умови ґрунту та методи управління, що використовуються.

Список літератури

- 1 Risberg, K., Cederlund, H., Pell, M. et al (2017). Comparative characterization of digestate versus pig slurry and cow manure – chemical composition and effects on soil microbial activity. *Waste Management*, 61, 529-538. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2016.12.016>. (date of access: 26.03.2023).
2. Nyang'au J. O., Møller H. B., Sørensen P. Nitrogen dynamics and carbon sequestration in soil following application of digestates from one-and two-step anaerobic digestion. *Science of The Total Environment*. 2022. P. 158177. URL: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158177> (date of access: 26.03.2023).
3. M. Cattin et al. Changes in microbial utilization and fate of soil carbon following the addition of different fractions of anaerobic digestate to soils. *European Journal of Soil Science*. 2021. URL: <https://doi.org/10.1111/ejss.13091> (date of access: 26.03.2023).

МІГРАЦІЯ ВАЖКИХ МЕТАЛІВ ПО ҐРУНТОВОМУ ПРОФІЛЮ

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

Міграція забруднюючої ґрунт хімічної речовини - це горизонтальне та вертикальне переміщення хімічної речовини, що забруднює ґрунт та з ґрунту в інші об'єкти природного середовища і назад. Встановлено, що характер профільного розподілу важких металів (ВМ) у природних та техногенних ландшафтах істотно відрізняється. Для техногенних територій незалежно від типу ґрунту характерний регресивно-акумулятивний тип розподілу важких металів, що виявляється у накопиченні металів у верхньому гумусовому горизонті ґрунту та різкому зниженні їх зміст у нижчих горизонтах. Згодом із гумусового горизонту відбувається повільне видалення металів при вилугуванні, споживанні рослинами, ерозії та дефляції.

Кількісною оцінкою здатності важких металів до міграції є інтенсивність міграції, що характеризується тією частиною важких металів, що за одиницю часу перейшла у рухомий стан. Вважається, що на інтенсивність перерозподілу важких металів у профілі ґрунтів впливає комплекс факторів. Внутрішні фактори: електростатичні властивості іонів, форма знаходження ВМ у ґрунті, хімічні властивості сполук ВМ. Зовнішні фактори: температура, гранулометричний склад ґрунту, органічна речовина ґрунту, ступінь електролітичної дисоціації, кислотно-основні умови, окисно-відновні умови, біогенний фактор та ґрунтові колоїди.

Зовнішні фактори міграції характеризують реальну геохімічну обстановку ландшафту. Саме ці фактори і визначають рушійні сили трансформації та міграції речовин, які опосередковуються через внутрішні фактори. З підвищенням температури збільшується міграційна здатність ВМ, що знаходяться в розчинах, підвищується швидкість протікання хімічних реакцій. Гранулометричний склад ґрунту визначає її питому поверхню, а, отже, і вміст ВМ, пов'язаних з глинистою фракцією, а також водний режим та інтенсивність водної міграції. Ґрунти важкого механічного складу характеризуються меншою потенційною небезпекою надходження важких металів до рослин. Органічна речовина ґрунту грає одну з основних ролей у процесах міграції ВМ. Місткість поглинання ВМ гумусом у чотири рази вища, ніж глиною. Здатність ґрунтів містити ВМ у розчиненому вигляді залежить від характеру та кількості органічної речовини. Важкі метали здатні утворювати складні комплексні сполуки з органічною речовиною ґрунту, тому в ґрунтах з високим вмістом гумусу вони мають меншу міграційну здатність.

Слід зазначити подвійну дію органічних речовин на міграцію ВМ у ґрунті. Фульвокислоти утворюють з ВМ хелатні сполуки, розчинні в широкому діапазоні рН, що мігрують вниз за профілем ґрунту.

Комплекси ВМ з гуміновими кислотами малорухливі, нерозчинні у кислому середовищі, що сприяє нагромадженню ВМ в органічному горизонті. В цьому разі проявляється іммобілізуючий ефект органічної

речовини по відношенню до ВМ.

Кисотно-основні умови контролюють осадження з розчинів багатьох важкорозчинних сполук, коагуляцію колоїдів, впливають на надходження елементів у рослини та на рухливість багатьох металів. Група пріоритетних важких металів - Cd, Pb, Zn, Cu, Ni - має значну рухливість у кислому середовищі і стає інертною при підлужуванні. Малорухомим елементом у більшості природних умов є хром. Встановлено, що для мінімального зниження доступності ВМ рослин необхідно підтримувати величину рН ґрунтів на рівні 6,5.

Встановлено, що реакція середовища є провідним фактором, що управляє вилюговуванням ВМ з гальваношламу: в кислому та слабкокислому середовищі гальваношлам здатний створювати імпактні ударні техногенні навантаження поліметального характеру на ґрунт.

Багато в чому на міграцію ВМ впливають окислювально-відновні умови. Як правило, ВМ рухливі і слаборухливі кислому середовищі та інертні у лужному середовищі (Zn, Ni, Pb, Cd, Mo, Hg, Ag), або характеризуються малою рухливістю. Включення елементів живлення рослин у біологічний кругообіг сприяє перерозподілу та акумуляції у верхньому гумусовому горизонті ґрунтів багатьох важких металів. Істотний вплив на міграцію ВМ мають ґрунтові колоїди. Міграція в колоїдній формі характерна для сполук ВМ з гумусом, оксидами та гідроксидами заліза, алюмінію, марганцю, кремнезему, вторинними глинистими мінералами ґрунтів (каолініт). Окиси Fe і Mn відіграють велику роль у затриманні ВМ ґрунтом. На долю сорбованих ними сполук Zn, Co, Ni, Mo, V, Cr і Ba доводиться 40 - 90% від загальної кількості цих сполук у ґрунті.

Дерново-підзолисті ґрунти розвиваються в умовах добре вираженого промивного режиму; атмосферні опади, надходячи у ґрунт, щорічно промивають її товщу на більшу глибину. Дренуючий шар відходів води та ґрунтові розчини є основними транспортними шляхами, якими здійснюється міграція важких металів у таких ґрунтах.

Більшість хімічних елементів мігрує в іонних, молекулярних чи колоїдних розчинах. Хімічні умови міграції елементів в першу чергу визначається значеннями рН та окисно-відновного потенціалу Eh середовища міграції. З іонами групи перехідних елементів аніони ґрунтових розчинів утворюють комплексні сполуки, що відіграє важливу роль у міграції майже всіх важких металів: хімічний елемент зв'язується у стійкому розчинному комплексному з'єднанні, що здатний до міграції.

Утворення комплексних іонів сприяє підвищенню розчинності більшості металів. Багато металоорганічних комплексів добре розчиняються у воді та сприяють перенесенню металів у поверхневих та ґрунтових водах. утворення неорганічних комплексних сполук характерно для хрому, нікелю, кобальту, міді, цинку.

АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА ІНТЕНСИФІКАЦІЯ ПРОЦЕСІВ РЕЦИКЛІНГУ ВІДХОДІВ В БІОЕНЕРГЕТИЧНИХ ТЕХНОЛОГІЯХ

Білоус О. О., Данилов Д. В., студенти гр. ТС.м-21; Черниш Є. Ю., доцент, Скиданенко М. С., старший викладач, СумДУ, м. Суми

Використання біогазу є важливим елементом екологічної стратегії, що відповідає вимогам сталого розвитку. Біоенергетичні технології з використанням біогазу стали популярними завдяки здатності до використання відновлювальних джерел енергії та низькій викидів в атмосферу. Автоматизація процесів рециклінгу відходів в біогазовій технології дозволяє знизити витрати на працю та збільшити продуктивність виробництва. Інтенсифікація процесів рециклінгу відходів в біогазовій технології дозволяє зменшити час, необхідний для обробки відходів, та підвищити якість отриманих продуктів. Використання біогазової технології з автоматизованими процесами рециклінгу відходів дозволяє підвищити ефективність процесів рециклінгу в біогазовій технології, знизити кількість відходів та зменшити викиди парникових газів та забруднення навколишнього середовища.

Оптимізація процесів рециклінгу відходів в біогазовій технології може бути досягнута шляхом використання спеціальних програмних засобів та моніторингових систем, що забезпечують автоматизацію процесу. Розглянемо автоматизацію процесів рециклінгу відходів в біогазовій технології на прикладі застосування системи Ардуіно. В дослідженні системі онлайн-моніторингу процесу анаеробного збродження було використано програмний продукт Ардуіно для контролю температури, вологості та інших параметрів у пристроях. Використовуючи датчики, які підключаються до Ардуіно, можна контролювати компонентний склад біогазу і виконувати автоматичні дії, які забезпечують оптимальні умови для розкладання відходів та вироблення біометану. Ардуіно для збору та аналізу даних про процес рециклінгу відходів дозволяє виявляти можливі проблеми та вдосконалювати процес. Крім того, це може допомогти знизити витрати на автоматизацію процесу рециклінгу відходів, оскільки такий мікроконтролер з відкритим кодом, який можна програмувати безкоштовно та з використанням доступних компонентів. Система Ардуіно використовується як частина процесу автоматизації біогазових технологій для забезпечення оптимальних умов для вироблення біогазу, збору та аналізу даних про процес, а також для зниження витрат на автоматизацію. У результаті автоматизації та інтенсифікації процесів рециклінгу відходів в біогазовій технології отримується значний екологічний та економічний ефект, сприяючи сталому розвитку суспільства.

В межах наукового гуртка «Експеримент в екології та технологіях захисту довкілля» на базі кафедри екології та природозахисних технологій СумДУ на сьогодні проводяться налаштування датчиків в біореакторі класичного типу для оптимізації анаеробного збродження.

ІНТЕЛЕКТУВЛЬНІ МЕТОДИ АНАЛІЗУ ДАНИХ В СИСТЕМІ МОНІТОРІНГУ ДОВКІЛЛЯ

*Ізмалкова М. А., студентка гр. ОС-01, Черниш Є. Ю., доцент,
СумДУ, м. Суми*

Екологічний моніторинг є інформаційною основою широкого спектра природоохоронної діяльності. Отримані дані використовуються для наукових досліджень, оцінки стану довкілля та прийняття управлінських рішень.

Сьогодні в проєктах контролю забруднення навколишнього середовища починають застосовувати технології Інтернету речей, штучного інтелекту та великих даних, що дозволяє говорити про перехід до інтелектуальних цифрових платформ екологічного моніторингу, здатних генерувати нові знання на базі даних, що вже надходять, а також самостійно приймати рішення. Чого раніше потрібно залучати експертів [1]. Багато додатків контролю забруднення повітря виконують аналіз вмісту у зразках дрібно дисперсних частинок та хімічних сполук, наприклад, CO₂. Для цього застосовують спеціалізовані датчики та сенсори, що встановлюються в регіональних, локальних, пересувних чи персональних станціях. Об'єднання таких пристроїв в єдиний цифровий простір здійснюється за допомогою технологій Інтернету речей, проте поки що станції здатні надати невелику частину даних про склад забруднень [2]. Прогнозування ґрунтується на застосуванні машинного навчання спільно з даними дистанційного зондування Землі. Знімки використовують для отримання індексів, які стають додатковими даними під час навчання моделі та основними даними при побудові прогнозу. Для обчислення індексів застосовується платформа Google Earth Engine, що містить дані десятків різних супутникових програм та продуктів. У результаті при побудові світових та регіональних карт точність моделей може досягати 95%. В останні роки інтенсивно розвиваються гібридні інтелектуальні системи, що дозволяють використовувати переваги традиційних засобів і методів штучного інтелекту. Гібридні інтелектуальні системи дозволяють більш ефективно поєднувати знання, що формалізуються і неформалізуються, за рахунок інтеграції традиційних засобів штучного інтелекту [3].

Список літератури

1. Advances in Ecological Research. Edited by Nico Eisenhauer, David A. Bohan, Alex J. Dumbrell. Elsevier, 2019. - 356 p.
2. Берко А. Ю., Буров Є. В., Верес О. М. Організація наукових досліджень, написання та захист магістерської дисертації : навч. посіб. Львів : Новий Світ-2000, 2019. - 282 с.
3. Ужинський О., Ососков Г., Фронтасьєва М. Управління даними моніторингу довкілля. Відкриті системи. СУБД. 2017. № 4. С. 42-43.

НАПРЯМКИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЗОЛОШЛАКОВИХ ВІДХОДІВ ТЕС

Левенець К. Р., студент гр. ОС-01; Черниш Є. Ю., доцент, СумДУ, м. Суми

Енергетика є найголовнішим сектором для визначення ефективності розвитку народного господарства і технічний рівень різних галузей промисловості. На вугільні ТЕС припадає третя частина забруднюючих речовин, що викидаються атмосферу. Крім газоподібних та рідких речовин, викидається також і велика кількість золошлакових відходів, що містять такі токсичні речовини, як важкі метали, поліциклічні ароматичні вуглеводні та діоксид кремнію [1].

Сьогодні полігони із відвалами золошлакових відходів (ЗШВ) поблизу ТЕС вражають своїми розмірами, а забруднюючі речовини, що є в їхньому складі видуваються вітром та вимиваються водою (інфільтруються) і тим самим завдають негативного впливу на навколишнє середовище та здоров'я людей, що проживають поруч. Утилізація, переробка та вторинне використання золошлаків допоможе зменшити забруднення та принести користь в інших сферах діяльності.

Хімічний і мінеральний склад золошлакових відходів багато в чому ідентичний природній мінеральній сировині. Їх використання в промисловості, будівництві та сільському господарстві є одним із стратегічних шляхів вирішення екологічних проблем на територіях діяльності ТЕС.

Зола від ТЕС успішно використовується для зміни деградованих ґрунтів у поєднанні з органічними добавками, такими як коров'ячий гній. Високі концентрації в золі таких елементів, як калій, натрій, кальцій, магній та ферум підвищують урожайність сільськогосподарських культур, однак внесення сухої золи може накопичувати такі елементи, як бром, молібден та алюміній, які у високих концентраціях можуть знизити врожайність, а також негативно вплинути на здоров'я тварин і людей.

Також відомо, що у розвинених країнах відвали ЗШВ готують для продажу, доводячи його характеристики до вимог офіційних будівельних норм. В Україні золошлаки офіційно називають відходами, тому замість технічно вдосконаленого продукту електростанція надає споживачеві повні відходи, характеристики яких не відповідають вимогам і як висновок, будівельні компанії не хочуть купувати золошлаки, оскільки ще варто їх переробити під готовий до виробництва матеріал.

Одним з найефективніших методів утилізації ЗШВ, який дуже активно практикується у світі, є виробництво цегли та будівельних блоків. Золошлаки можна використовувати як недорогий замітник глини в складі сировинної суміші для виробництва цегли. Порівняно з традиційними методами виробництва глиняної цегли, виробництво цегли із золи спричиняє менше

забруднення ртуттю, є енергоефективним і коштує приблизно на 20% менше, ніж традиційне виробництво глиняної цегли.

Крім цього, зернистий шлак є альтернативою піску при піскоструминних роботах, або його ще можна використовувати для виробництва дорожнього полотна [3]. Одним із прикладів використання золи ТЕС у проектуванні доріг є Велика Британія та США, де зола активно використовується як стабілізатор у будівництві доріг або як основа наповнювача для верхнього шару дорожнього покриття.

Використання золошлакових відходів потребує вирішення низки складних завдань – від розробки технічних умов утилізації шлаків, до коригування менталітету менеджерів вторинних мінеральних ресурсів та впровадження приведення законодавства України у відповідність до європейського, оскільки досвід країн ЄС та США щодо успішного використання золи в різних галузях народного господарства показують, що в Україні існує нагальна необхідність вивчення можливості переробки цих відходів, оскільки на території нашої держави є досить велика кількість ТЕС та золошлакових полігонів, а екологічна ситуація на їхній території та біля них не є ідеальною для навколишнього середовища.

Список літератури

1. Кошлак Г., Павленко А. Перспективи використання золи тес для виготовлення будівельних матеріалів. Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування. 2021. С. 92–99. URL: <https://ebzr.nung.edu.ua/index.php/ebzr/article/view/458/447> (дата звернення: 24.11.2022).
2. Попівчак Б. Переробка золошлакових відходів ТЕС та утилізація CO₂ шляхом карбонізації мінералів : Дипломна робота на здобуття ступеня бакалавра : 105. Київ, 2022. 51 с. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/49072/1/Popivchak_bakalavr.pdf (дата звернення: 26.11.2022).
3. Білик Д. До питання використання золошлакових відходів на теплоелектростанціях. Сталий інноваційно-креативний розвиток соціальноекономічних систем : Матеріали Міжнар. науково-практ. конф., м. Бережани, 29 листоп. 2019 р. / ред. Н. Семенова. Бережани, 2019. С. 121–122. URL: <http://bit.do/fVGxg> (дата звернення: 26.11.2022).

СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ІНЖЕНЕРІЯ»

РЕЖИМНО-ТЕХНОЛОГІЧНА ТА АПАРАТУРНО-КОНСТРУКТИВНА ОПТИМІЗАЦІЯ ДЛЯ ІНТЕНСИФІКАЦІЇ ПРОЦЕСІВ УТВОРЕННЯ І РОЗДІЛЕННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ

*Ляпощенко О. О., д.т.н., професор; Гавриленко О. М., к.т.н., докторант;
Старинський О. Є., аспірант; Сейф Хуссейн, аспірант; Шматенко В. А.,
аспірант.; Бондар Д. І., аспірант; Хухрянський О. М., PhD, студент;
Кравець В. Г., студент; Луценко Р.М., студент; Мандрика О.О., студент,
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

Застосування режимно-технологічних і апаратурно-конструктивних методів з метою оптимізаційних статичних та динамічних математичних (числових) моделювань хіміко-технологічних процесів, проектування технологічних ліній та комплексів представляється актуальним науково-прикладним завданням в галузевому машинобудуванні для хімічної, нафтогазової та інших суміжних галузей промисловості.

У відповідності до поставлених завдань розроблено теоретичні основи процесів утворення та сепарації стійких прямих і зворотних водонафтових емульсій, здійснено моделювання процесів сепарації у багатофункціональних модульних трифазних нафтогазоводорозділювачах та процесів розділення багатокомпонентних систем у біопаливних технологіях з визначенням гідродинамічних показників сепарації багатокомпонентних систем у фазних розділювачах і тепломасообмінних характеристик модульних комбінованих тарілчасто-насадкових контактних секцій, оптимізаційного проектування колони деетанізації і колони отримання пропан-бутану установки стабілізації конденсату, абсорбційної колони установки очищення природного газу від домішок кислих газів, трубчатого газорідного реактора установки отримання рідких азотних добрив, моделювання та оптимізації систем сепарації з осушенням стисненого повітря в компресорних установках. Здійснено стратегічне та тактичне планування багатофакторних експериментів з розробкою методики оптимізаційних моделювань.

При цьому визначення критерію ефективності (цільова функція) в задачі багатокритеріальної оптимізації таких складних систем представляється завданням високого ступеня складності внаслідок невизначеності у вихідній інформації і математичній моделі на початкових етапах, а тому загальну методологію оптимізаційного проектування можна інтерпретувати як ітераційний процес зняття цих невизначеностей або звуження їх інтервалу на кожному послідовних етапів проектування. Мета виконуваних на різних етапах проектування математичних (числових) моделювань та експериментальних досліджень - уточнити параметри і характеристики об'єкту, прийняти найбільш раціональні проектно-конструкторські рішення. Звідси впливає ітераційно-циклічний характер процесу проектування, що виражається в чергуванні процедур синтезу та аналізу рішень.

ВПЛИВ РАДІАЛЬНОЇ СКЛАДОВОЇ ШВИДКОСТІ РІДИНИ НА УТВОРЕННЯ КРАПЛІ НА ВИХОДІ З КОРЗИНИ ГРАНУЛЯТОРА

*Юрченко О. Ю., аспірант
Сумський державний університет, м. Суми, Україна*

До якості отриманого продукту в результаті грануляції висувається ряд вимог. До таких вимог можна віднести неперехрещення потоків рідини при виході з гранулятора, отримання крапель, а згодом, - кристалів однакових розмірів. Останнє є указанного напрямку залежить від способу гранулювання. Цим пояснюється конструкція установки, не рідко форма днища корзини, яким забезпечується кут нахилу і діаметр отворів. У вібраційному грануляторі складність процесу диспергування через перфоровану оболонку зумовлена кількома факторами. Основними з них є геометричні характеристики отворів, за якими рідина проходить стадію розпилення при одержанні крапель азотних та комплексних мінеральних добрив. Цим усім, а також зміною частоти і тиску є можливість регулювання діаметру крапель на виході з гранулятора. В основі теоретичного опису руху рідини у струмені лежать рівняння так званої «теорії струменів». Відомо, наприклад, приблизне рішення цих рівнянь для фіксованого моменту часу.

Основний інтерес представляє аналіз поведінки радіальної складової швидкості рідини. Припускаємо, що саме збільшення величини цієї швидкості до критичного значення і є причиною подолання сил поверхневого натягу, що призводить до руйнування струменя та утворення крапель. Для радіальної складової швидкості рідини розглянемо її поведінку по радіусу струменя. Вибираємо три радіуси всередині струменя $r_1 = 0,55$ мм, $r_2 = 0,35$ мм, $r_3 = 0,15$ мм:

$$\begin{aligned} Vr_1 &:= 3.273194163 \times 10^{43} z(-2.32755800 \times 10^{-33} z^2 \\ &\quad - 7.7792400 \times 10^{-38} z + 1.8439630 \times 10^{-31} z^3 \\ &\quad + 1.436764 \times 10^{-27} z^4 + 9.6724 \times 10^{-25} z^5 \\ &\quad + 3.520432 \times 10^{-40}) \\ Vr_2 &:= 9.453956745 \times 10^{43} z(-5.1218200 \times 10^{-34} z^2 \\ &\quad - 1.71396000 \times 10^{-38} z + 6.644600 \times 10^{-33} z^3 \\ &\quad + 3.161618 \times 10^{-28} z^4 + 2.1253 \times 10^{-25} z^5 \\ &\quad + 3.13711 \times 10^{-41}) \\ Vr_3 &:= 5.400219324 \times 10^{42} z(-3.84017600 \times 10^{-33} z^2 \\ &\quad - 1.285956000 \times 10^{-37} z + 1.6796500 \times 10^{-33} z^3 \\ &\quad + 2.3704792 \times 10^{-27} z^4 + 1.59252 \times 10^{-24} z^5 \\ &\quad + 4.320198 \times 10^{-41}) \end{aligned} \tag{1}$$

Для більшої наочності та аналізу краще уявити отриманий результат у вигляді графічної залежності:

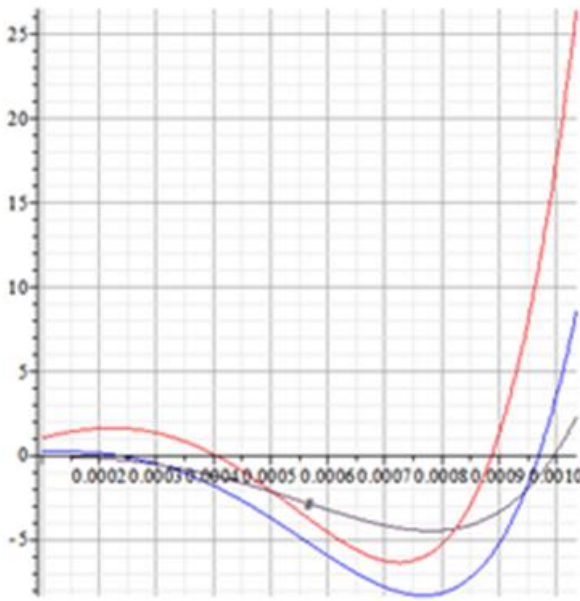


Рисунок 1 - Графік зміни радіальної швидкості рідини в струмені на радіусі r вздовж осі струменя: червона лінія - $r_1 = 0,55$ мм; блакитна лінія - $r_2 = 0,35$ мм; фіолетова лінія - $r_3 = 0,15$ мм

З отриманих графічних залежностей видно що в струмені, навіть при постійній величині тиску рідини в отворі, виникають власні поперечні коливання (зміна величини радіальної складової швидкості). Величина радіальної швидкості у перерізі, близькому до критичного, буде збільшуватися від центру струменя до периферії. Така зміна радіальної швидкості мала б призвести до руйнування струменя та утворення крапель.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості теоретично встановити вплив зміни радіальної швидкості у струмені вздовж його осі, а також прогнозувати розмір отримуваних крапель, що, у свою чергу, дозволить корегувати роботою вібраційного пристрою гранулятора і покращення грануляційного складу продукту.

*Робота виконана під керівництвом професора Складінського В. І.
та професора Гусака О. Г.*

ДО РОЗРАХУНКУ ОПТИМАЛЬНИХ РЕЖИМІВ РОБОТИ ТЕПЛООБМІННОГО ОБЛАДНАННЯ РЕКТИФІКАЦІЙНИХ УСТАНОВОК

*Довгаль О. В., студент, ХМ-91; Карпенко А. С., студент, ХМ-91;
Михайловський Я. Е., доцент, кафедра хімічної інженерії, СумДУ, м. Суми*

Проведено аналіз теплообмінного обладнання та режимів його роботи у складі ректифікаційної установки для розділення суміші бензол – толуол. Було виявлено, що теплообмінне обладнання ректифікаційної установки морально застаріло та сьогодні вже не відповідає всім нормам з економії ресурсів. Тому було запропоновано альтернативний варіант теплообмінного обладнання, в якому суттєво інтенсифіковано теплопередачу. За основу більш досконалих апаратів прийнято типові моделі, що випускаються вітчизняним машинобудуванням: горизонтальний кожухотрубний апарат з конденсацією бензолу в міжтрубному просторі та вертикальний кожухотрубний апарат з підігрівом толуолу в трубах.

Аналіз показав, що втрати тепла можна зменшити, збільшуючи поверхні теплообмінних апаратів, проте при цьому зростають капітальні витрати на устаткування. Таким чином, виникає завдання характерне для багатьох галузей техніки – вибір між дешевим, але неекономічним в експлуатації, та дорогим, але економічним обладнанням. Очевидно, що за цілорічної роботи ректифікаційної установки вигідніше вибирати другий варіант.

Оптимізаційний розрахунок теплообмінного обладнання проводився з використанням загальновідомих математичних залежностей. Варіюваними параметрами були: швидкість теплоносіїв всередині теплообмінних труб, кількість одночасно використовуваних апаратів, а також вхідні та вихідні температури охолоджувальної води й тиск водяної гріючої пари. Оптимальний варіант відповідає найменшим сумарним витратам на проведення процесу.

Алгоритм оптимізаційного розрахунку реалізований у вигляді програмного пакета у середовищі QBASIC. Розрахунок включає такі основні етапи: складання і розв'язання рівнянь матеріального та теплового балансів; визначення рушійної сили; розрахунок гідродинамічного режиму руху потоків за різних швидкостей; визначення коефіцієнтів тепловіддачі шляхом послідовних наближень; розрахунок коефіцієнта теплопередачі та площі теплообміну; визначення основних геометричних розмірів апарата за заданих умов; гідравлічний розрахунок апарата; визначення амортизаційних та експлуатаційних витрат на проведення процесу; вибір оптимального варіанта.

Проведений розрахунок показує, що перехід на оптимальні режими, не передбачаючи змін технологічної схеми в рамках існуючого виробництва, дозволяє інтенсифікувати процес та зменшити витрати на експлуатацію обладнання.

ОПТИМІЗАЦІЯ ВИПАРНОГО ВІДДІЛЕННЯ В ЦУКРОБУРЯКОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

*Бондар О. В., студент, ХМ-91; Заїкін О. І., студент, ХМ-91;
Михайловський Я. Е., доцент, кафедра хімічної інженерії; СумДУ, м. Суми*

Випарні відділення цукробурякових заводів призначені для видалення великої кількості води з очищеного соку II сатурації та отримання пересиченого цукрового сиропу, який після додаткового очищення прямує у вакуум-апарати, де виділяються кристали цукру.

Оскільки випарювання пов'язане з великою витратою енергії, то одним із головних завдань під час проектування випарних станцій є така організація процесу, що забезпечить оптимізацію експлуатаційних і капітальних витрат. У цьому на перший план виходять раціональний вибір числа корпусів, а також модернізація випарного устаткування.

У цукровій промисловості широко поширені вертикальні випарні апарати з трубчастою поверхнею нагріву і паровим обігрівом, в яких здійснюється природна чи примусова циркуляція продукту, що випаровується.

У розглянутому апараті також здійснюється примусова циркуляція соку, але за допомогою вбудованого пристрою, що перемішує, створюється насосний ефект. Це дозволяє перейти до компактнішої конструкції випарного апарата, а також знизити витрати на циркуляцію. Крім того, винесений бризковловлювач, тангенціально з'єднаний з камерою, що гріє, забезпечує надійну сепарацію вторинної пари від крапель розчину для запобігання зацукрованню кип'ятильних труб.

Врахування великої кількості взаємозалежних факторів під час проектування багатокорпусних випарних станцій неможливе без застосування ЕОМ. На основі проведеного аналізу було розроблено алгоритм оптимізаційного розрахунку випарних апаратів з пристроєм, що перемішує, який включає такі основні етапи: 1) матеріальний баланс випарної установки та розрахунок концентрацій розчину по корпусах; 2) визначення температур кипіння розчину та розрахунок рушійних сил процесу; 3) тепловий баланс випарної установки та уточнення кількостей гріючої пари та води, що випаровується, по корпусах; 4) розрахунок коефіцієнтів тепловіддачі та теплопередачі з урахуванням типу та розмірів пристрою, що перемішує; 5) визначення поверхні теплопередачі та конструктивних розмірів апарата; 6) розрахунок сумарних витрат на проведення процесу; 7) зміна типу або розмірів пристрою, що перемішує, та повторення розрахунку, починаючи з пункту 4; 8) зміна параметрів пари, що гріє, та повторення розрахунку, починаючи з пункту 2; 9) зміна числа корпусів випарної установки та повторення розрахунку, починаючи з пункту 1; 10) вибір оптимального варіанта за мінімумом сумарних витрат.

Ця методика дозволяє за кількома параметрами оптимізувати процес випарювання у виробництві цукру, мінімізуючи сумарні витрати.

СПОРТИВНИЙ БРИДЖ ТА ІНЖЕНЕРНЕ МИСЛЕННЯ

Гребенік А. Є., студент, ХМм-21; Михайловський Я. Е., доцент, кафедра хімічної інженерії; Сумський державний університет, м. Суми

Серед дисциплін вільного вибору зараз великий попит має дисципліна «Основи спортивного бриджу» і це не дивно, бо вона формує такі загальні компетентності як здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу; прийняття рішень в умовах не повної інформації та обмеженого часу; вміння працювати в команді та ін. Ці компетентності, на нашу думку, є особливо важливими для молодих людей, які пов'язують своє життя з інженерною діяльністю, зокрема, в галузі хімічної інженерії.

Бридж – парна гра, тому тут дуже важливо вміти знаходити порозуміння. Як у парному фігурному катанні чи спортивних бальних танцях, тут не виграють поодиночки, та результат залежить від злагоджених дій обох партнерів. І бридж навчав цій взаємодії: навички комунікації, набуті за бриджевим столом, можуть виявитися безцінними за столом ділових переговорів під час укладання важливої угоди. Ще більш важливу роль відіграє вміння налагодити та підтримувати взаєморозуміння в колективі, який працює над вирішенням складної інженерної задачі, наприклад зі створення більш досконалої нафтопереробної технології або нової хімічної техніки. Ситуація, коли кілька розробників, кожен з яких розв'язує локальну проблему, об'єднані спільним бажанням досягти оптимального результату в розв'язанні хіміко-технологічного проєктувального чи виробничого завдання максимально аналогічна ситуації, коли кілька членів бриджової команди об'єднані спільним бажанням досягти найкращого результату в командному або парному змаганні зі спортивного бриджу.

Те, що бридж, як і решта інтелектуальних ігор, покращує розумові здібності – давно доведений факт. Але цим плюси бриджу не обмежуються – це дивовижний тренажер не лише для розуму, а й для характеру. Ось лише деякі якості, які розвиває бридж: швидкість прийняття рішень, логіка, комунікабельність, вміння знаходити спільну мову, холоднокрівність та самодисципліна, пам'ять, концентрація. А хіба ці ж якості не є важливими, коли необхідно швидко й точно вжити заходів щодо запобігання аварійній ситуації на нафтогазопереробному підприємстві, або за необхідності швидкого переналагодження хіміко-технологічної лінії з випуску одного виду продукції на інший. Аналогічні за структурою мислення проблеми змушені вирішувати гравці за бриджевим столом, наприклад, під час торгівлі, коли в умовах не повної інформації треба вийти на правильний контракт, або на стадії гри картами, коли необхідно спланувати розіграш контракту та бути готовим до корегування складеного плану в умовах обмеженого часу.

Всі ці якості необхідні не тільки за бриджевим столом, вони допоможуть у спілкуванні з діловими партнерами, при складанні бізнес-стратегій, розв'язанні інженерних завдань за різними спрямуваннями, навчанні та прийнятті повсякденних рішень.

ВИБІР ТИПУ НАСАДКИ ДЛЯ МОНОГІДРАТНОГО АБСОРБЕРА

*Москальчук О. М., Кліндухов С. В., студенти;
Скиданенко М. С., ст. викладач; Івченко О. В. доцент,
Сумський державний університет, м. Суми*

Серед мінеральних кислот сірчана кислота за обсягом виробництва і споживання займає перше місце. Світове виробництво її за останні 25 років зросла більш ніж в 3 рази. Одночасно із загальним збільшенням обсягу виробництва сірчаної кислоти розширюється асортимент продукції сірчано-кислотних заводів, організується випуск особливо чистої кислоти, 100% сірчаного ангідриду, висококонцентрованих олеуму та кислоти, а також збільшується виробництво нових продуктів на основі сірчаного ангідриду.

Останньою стадією процесу виробництва сірчаної кислоти контактним методом є вилучення триоксиду сірки з газової суміші та перетворення його на сірчану кислоту, яке проводиться в абсорбційних колонах. Конструкція абсорбційної вежі поєднує абсорбційний процес та очищення технологічного газу від бризок та туману сірчаної кислоти в одному корпусі. Тому до вибору насадки для абсорбції відносяться дуже прискіпливо, оскільки від типу насадки залежить те, як пройде процес. Насадка повинна рівномірно розподіляти рідину, що зрошується та добре, мати малий гідравлічний опір, бути хімічно стійкою до середовища в колоні, мати високу механічну міцність, бути недорогою. Кожна має свої властивості, переваги та недоліки.

Метою даної роботи є порівняння різних типів насадок та вибір оптимальної для моногідратного абсорбера на основі отриманих результатів за допомогою програмного комплексу Aspen HYSYS. Для розрахунків використовували наступні типи насадок: кільця Рашига, кільця Паля, сідла Берля, сітчата насадка Гудлоє, сідла Інталокс. Матеріал насадки обирали кераміка. Основними характеристиками насадок є геометрична поверхня і вільний об'єм. Найвищий показник має сітчата насадка Гудлоє – $897 \text{ м}^2/\text{м}^3$, наступні - кільця Рашига – $710 \text{ м}^2/\text{м}^3$, сідла Інталокс - $135 \text{ м}^2/\text{м}^3$, кільця Паля - $120 \text{ м}^2/\text{м}^3$, сідла Берля – $105 \text{ м}^2/\text{м}^3$. Згідно розрахунків зміна типу насадки не впливає на зміну швидкості рідини, але змінюється величина затримки рідини. Найвищий показник має кільця Рашига - $109,28 \text{ м}^3$, наступні - насадка Гудлоє - $41,85 \text{ м}^3$, сідла Берля – $28,24 \text{ м}^3$, сідла Інталокс – $19,28 \text{ м}^3$. Згідно розрахунків найбільше падіння тиску в секціях абсорбційної колони відбувається при використанні кільця Рашига – $194,32 \text{ мбар}$, для насадки Гудлоє – $119,6 \text{ мбар}$, кільця Паля – $19,26 \text{ мбар}$, сідла Берля – $6,3 \text{ мбар}$, сідла Інталокс – $5,98 \text{ мбар}$. Проаналізувавши і узагальнюючі отримані результати чисельного моделювання різних типів насадок колонного апарату, можна сказати, що найефективнішою насадкою для моногідратного абсорбера являється кільця Рашига, показник ефективності складає 5250 л/м , тоді як для сідла Інталокс показник ефективності складає 2893 л/м , для насадки Гудлоє - 988 л/м , сідла Берля 150 л/м , для кільця Паля $73,75 \text{ л/м}$.

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ НА ПРОЦЕС УТВОРЕННЯ ГРАНУЛ КАРБАМІДА В ТАРІЛЬЧАТОМУ ГРАНУЛЯТОРІ

*Кононенко М. П. старший науковий співробітник;
Скиданенко М.С., ст. викладач, Сумський державний університет, м. Суми*

Актуальним завданням підприємств з виробництва мінеральних добрив є постійне підвищення їх якості. Одним із напрямів щодо поліпшення властивостей є виробництво туків, з основним гранулометричним складом 3-5 мм, що дозволяє раціонально використовувати наявні виробничі потужності, підвищити конкурентоспроможність продукції на світовому ринку та отримати додаткові прибутки за рахунок вищої її вартості, використовувати в туко-сумішах, отримати екологічні та споживчі переваги. Виходячи зі структурно-варіантної оптимізації, найбільш раціональним типом грануляторів, які можуть бути застосовані для виробництва азотних добрив збільшеного гранулометричного складу, є апарати окатування (барабанні, тарілчасті, тощо). Однак впровадженню цього обладнання значною мірою перешкоджає відсутність даних щодо впливу технологічних параметрів та режимів гранулювання на кінетику процесу гранулоутворення. У ході проведених лабораторних та дослідно-промислових випробувань тарілчастих грануляторів був апробований спосіб пошарового нанесення розплаву азотного добрива на частки ретура. В якості ретура використовувались гранули стандартних туків діаметром 2,0-2,5 мм, або нетоварні фракції, які були отримані при розсіюванні гранулята.

При проведенні досліджень спостерігався значний вплив вмісту пилу в апараті на процес гранулоутворення частинок азотних добрив у високотемпературному режимі. Частинки фракції менше 1 мм у грануляторі утворювались внаслідок: кристалізації у факелі форсунки розплаву речовини, що гранулюється; стирання гранул при їх русі в апараті; утворення пилу на стадіях транспортування продукту, його класифікації та дроблення. Вміст пилу понад 15 % маси грануляту в апараті приводив до порушення динаміки руху часток в тарілці та зриву процесу гранулоутворення. Крім впливу технологічних параметрів процесу гранулювання (температури грануляту та розплава, його концентрації, наявності добавок) була відзначена залежність вмісту пилу в робочому обсязі апарату від місця подачі розплава. Вивантаження розплава в зону руху дрібних частинок приводило до значного утворення некондиційних гранул та пилу, що погіршувало процес гранулоутворення. Подача розплава в зону руху великих частинок приводила до зниження вмісту пилу в грануляторі. На вміст пилу в апараті впливав також відсотковий вміст біурету в розплаві. Збільшення вмісту біурету в гранулах приводило до підвищення їх міцності і зменшення стирання і руйнування частинок в грануляторі. Утворення пилу на стадіях транспортування, класифікації та подріблення грануляту приводило до подачі в гранулятор ретуру з частинками менше 1 мм, що при тривалій роботі обладнання істотно

впливало на кінетику процесу гранулоутворення. При подачі в апарат ретурю з вмістом пилу більше 7% відбувалось підвищення його питомого вмісту і зриву процесу гранулоутворення.

Було відмічено вплив вмісту карбамідо-формальдегідної смоли (КФС) в розплаві карбаміду на процес гранулоутворення. Його підвищення приводило до стабілізації процесу гранулоутворення та поліпшення якості гранул (сферичності та міцності), структури часток. Оптимальною температурою грануляту при веденні процесу пошарового нанесення розплаву азотного добрива на частки ретур є 0,7-0,75 температури кристалізації його розплаву. Отримані гранули азотних мінеральних добрив в процесі пошарового нанесення розплаву цього добрива на частки ретур мали однорідну структуру та міцність не менше 3 кілограмів на гранулу для карбаміда та не менше 5 кілограмів на гранулу для амміачної селітри. Динамічна міцність гранул становила понад 95%. Вміст цільової фракції 2,0-4,0 мм не менше 95%. З метою визначення оптимальних робочих параметрів різних типів розпилювачів на процес гранулоутворення було проведено серію дослідів на лабораторній установці за відомою методикою. Дослідження проводилися на найбільш поширених форсунках наступних типів: пневматичній внутрішнього змішування рідкої та газоподібної фаз; пневматичній, з комбінованим підведенням газоподібної фази; гідравлічній, з обдуванням рідкої фази газоподібною. В якості параметрів, що визначають роботу форсунок, були взяті: розподіл рідини у смолоскипі, його радіус і довжина, дисперсність одержуваних крапель. Змінними параметрами в ході проведення дослідів були тиск рідкої та газоподібної фаз, їх температура. В якості модельної речовини рідкої фази були обрані вода, розплав карбаміду або аміачної селітри, в якості газоподібної фази - повітря. При розпилюванні розплавів азотних добрив параметри роботи форсунок мали аналогічний характер.

В ході проведення досліджень було відзначено:

- розплав добрива, що розпилюється, мав незначний вплив на дисперсність розпилу та гранулометричний склад грануляту;
- значний вплив на дисперсність розпилу в гідравлічній форсунці мали витрати повітря;
- температура повітря, що подається у форсунку, істотно впливала на процес гранулоутворення, дисперсність розпилу розплаву карбаміду і аміачної селітри;
- кінетика процесу гранулоутворення залежить від фізико-хімічних характеристик розплаву (концентрація, температура, наявність добавок).

Проведені дослідження дозволяють врахувати характеристики роботи розпилювальних пристроїв під час проектування грануляторів окатування у виробництвах азотних добрив, оптимізувати кінетику процесу гранулоутворення та параметри роботи устаткування загалом, виявити вплив фракційного складу грануляту на процес гранулювання та визначити оптимальні режими його ведення.

ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ВИКОРИСТАННЯ ПОЛИЧНОГО ПНЕВМОКЛАСИФІКАТОРА ДЛЯ РОЗДІЛЕННЯ ПОЛІДИСПЕРСНИХ СУМІШЕЙ У ВИРОБНИЦТВІ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

Острога Д. В., аспірант, гр. А-25/ХТ; Острога Р. О., доцент, каф. ХІ, СумДУ, м. Суми

Одним із важливих напрямів хімічної промисловості є виробництво гранульованих мінеральних добрив. Серед усієї різноманітності мінеральних добрив підвищений попит у споживача мають різного виду гранульовані суперфосфати, амофос та інші складні добрива.

Технологічні операції отримання гранульованих добрив призводять до утворення продукту гранулометричного полідисперсного складу. Водночас вимоги споживача до цього показника досить жорсткі: товарна фракція з розміром гранул 1–4 мм має бути не меншою 85–90 %, а фракція менша ніж 1 мм – не більшою за 5 %.

Застосовувані методи гранулювання не гарантують отримання продукту із зазначеним діапазоном розмірності гранул. Тому будь-яка технологічна лінія має бути забезпечена обладнанням, яке обмежувало б гранулометричний склад. До такого обладнання відносяться класифікатори та дробарки. Вони повинні забезпечувати повернення крупних фракцій (більше 4 мм) на дроблення та вилучення дрібних фракцій (менше 1 мм).

Для розділення гранул за розмірами у сучасних технологіях застосовують механічну класифікацію на гуркотах. Найбільшого поширення набуло механічне розділення сумішей, коли полідисперсну суміш розділяють на вібраційних гуркотах, відокремлюючи на верхньому ситі фракцію більше 4 мм, а на нижньому – менше 1 мм. Однак мінеральні гранули мають на виході з гранулятора досить високу температуру, до того ж вони схильні до агломерації та адгезії. Тому дрібна фракція забиває отвори нижнього сита, зменшуючи при цьому прохідний переріз цих отворів. Це призводить до погіршення просіюваної здатності нижнього сита. Також погіршується експлуатаційна надійність гуркоти, оскільки його потрібно зупиняти для очищення поверхні нижнього сита. Для часткового вирішення зазначеної проблеми після охолоджувачів киплячого шару встановлюють додаткові механічні гуркоти. Однак цей підхід ускладнює технологічну схему та призводить до збільшення енергетичних витрат на виробництво продукції.

Рациональним шляхом вирішення цієї проблеми є застосування пневматичної класифікації з метою видалення з гранульованого матеріалу дрібних фракцій за допомогою пневмокласифікатора поличного типу. Пневмокласифікатор встановлюється після гранулятора, що дає можливість виключити необхідність у нижньому ситі механічного гуркоти та одночасно провести охолодження гранульованого продукту. При цьому виключається необхідність використання в технологічній лінії окремого охолоджувача киплячого шару, що дозволяє уникнути вищезазначених недоліків.

ЗАКОНОМІРНОСТІ ОХОЛОДЖЕННЯ ЗЕРНИСТИХ МАТЕРІАЛІВ У ПОЛИЧНИХ АПАРАТАХ

*Сергієнко А. Р., студент, гр. ХМ-91;
Острога Р. О., доцент, каф. ХІ, СумДУ, м. Суми*

У якості критерію для оцінювання ступеню охолодження матеріалу в охолоджувачі використовується коефіцієнт охолодження, який представляє собою відношення фактично відведеного тепла до той кількості тепла, яке відводиться при повному охолодженні матеріалу до початкової температури охолоджуючого повітря.

Коефіцієнт охолодження матеріалу в поличному апараті в порівнянні з апаратами типу «пневмотруб» (вільний переріз) збільшується в 2,0–2,2 рази. При цьому матеріал, рухаючись у режимі «гравітаційно падаючого шару», інтенсивно контактує з потоком повітря, яке надходить через отвори полиці, а також через розвантажувальний простір. Частинки матеріалу, володіючи достатньою силою інерції на виході із завантажувального патрубку, «проскакують» над поверхнею похилої полиці, не затримуючись на ній. Тому процес охолодження частинок матеріалу на поверхні полиці не лімітується гідродинамікою руху шару по її поверхні, а визначається лише довжиною полиці. За рахунок утворення невеликого накопичення шару матеріалу на поверхні стінки апарата навпроти кромки полиці час перебування частинок дещо збільшується. У цій зоні частинки матеріалу інтенсивно взаємодіють із повітряним потоком, що і зумовлює ефективніший контакт фаз саме в розвантажувальному просторі. Незначне збільшення швидкості повітряного потоку в розвантажувальному просторі при зменшенні величини відношення l/B від 0,5 до 0,3 і живого перерізу полиці від 30 до 5 % впливає на деяке підвищення коефіцієнта охолодження матеріалу при зазначених конструктивних параметрах поличного контакту. При подальшому зменшенні величини відношення l/B (менше 0,3) коефіцієнт охолодження матеріалу значно зростає у результаті інтенсифікації контакту фаз за рахунок утворення зваженого шару матеріалу, частинки якого активно взаємодіють з повітряним потоком як на поверхні полиці, так і у зоні розвантажувального простору.

Оптимальна величина кута нахилу полиці, за якої досягається найбільша ефективність процесу охолодження матеріалу, визначена в межах 20–25° до лінії горизонту. При встановленні полиці в робочому об'ємі апарата з кутом нахилу більше зазначеного діапазону, частинки матеріалу рухаються по поверхні похилої полиці з великою швидкістю, маючи незначний час контакту з повітрям, яке проходить через отвори полиці.

Таким чином, для ефективного проведення процесу охолодження гранульованих і зернистих матеріалів у поличному апараті необхідно в його робочому об'ємі встановлювати похилі полиці з величиною відношення $l/B = 0,15$ і живим перерізом 15 % при кутах нахилу полиці 20–25° до лінії горизонту.

ОСОБЛИВОСТІ ВИКОРИСТАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ ТЕХНІКИ У ХІМІЧНІЙ І НАФТОГАЗОВІЙ ПРОМИСЛОВОСТІ

Пейчева Д. І., студентка, гр. ХМ-01/Ікі, СумДУ, м. Суми

У хімічних та нафтогазових технологіях використовуються складні процеси, параметри яких у даний час практично неможливо розраховувати теоретично. Тому майже на всіх підприємствах хімічної промисловості та нафтогазового сектору економіки швидкими темпами накопичується велика кількість інформації, отриманої при дослідженнях, яку можливо використовувати для створення напівемпіричних методів розрахунку або для математичного моделювання таких процесів. Вихідна інформація найчастіше накопичується в паперовому виді. Її необхідно перенести на машинні носії, перетворюючи в цифрову або символну форму за допомогою різних технічних засобів. Одним з найважливіших напрямків науково-технічного прогресу є впровадження автоматизованих методів нагромадження, зберігання, обробки й передачі інформації з метою підвищення ефективності за допомогою комп'ютерної техніки.

У цей час сучасні комп'ютери в хімічній та нафтогазовій промисловості використовуються: для нагромадження інформації й зберігання її на носіях. При необхідності проводиться систематизація інформації (сортування, одержання вибірок та ін.) за певним критерієм; обробка інформації переважно на базі різних доступних підприємству методів для опису або порівняння властивостей, класифікації об'єктів і прогнозування їх подальшої поведінки; для моделювання наукових і прикладних завдань, розв'язок яких проводять методами математичного моделювання заданих об'єктів і явищ; автоматизації технологічних операцій, розповсюджених в нафтогазовій справі, таких як побудова геологічних карт і розрізів, підрахунок запасів і ресурсів, проектування розвідницьких і експлуатаційних робіт і ін.

Побудова комп'ютерної моделі хімічних та фізичних процесів промислових виробництв базується на відволіканні від конкретної природи досліджуваного об'єкта або явища. Чим більше істотних, важливих властивостей виявлено й враховано в комп'ютерній моделі, тим більше наближеної вона виявиться до реальної моделі. У подальшому комп'ютерне моделювання полягає в проведенні серії обчислювальних експериментів на комп'ютері, метою яких є аналіз, інтерпретація і зіставлення результатів моделювання з реальною поведінкою досліджуваного об'єкта й, при необхідності, наступне уточнення моделі з використанням математичних методів. Математичні методи дослідження використовуються для розв'язку завдань із певною точністю й вірогідністю шляхом математичного моделювання, і при цьому на виході виходить оптимальне рішення.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ВИБІР СИРОВИНИ ДЛЯ ПЕРЕОБКИ НА УСТАНОВКАХ КОКСУВАННЯ

Кисляк В. В., магістрант, гр. ХМ.м-21/2

Коксування є одним з різновидів деструктивного процесу, що протікає при нагріванні нафтопродуктів. При цьому твердий вуглецевий залишок (кокс) є цільовим продуктом розкладання та утворюється у значних кількостях. Поряд із ним утворюється також бензин, газойльові фракції та вуглеводневий газ. Нафтовий кокс широко застосовується у різних галузях промисловості. Він використовується для виробництва вугільних електродів, абразивних матеріалів, карбідів, вуглеграфітових матеріалів, феросплавів.

Залежно від призначення нафтового коксу пред'являють різні вимоги. Основними показниками якості є: вміст сірки, золи, вологи, летких домішок, гранулометричний склад, реакційна здатність, пористість, питомий електричний опір та ін. За вмістом сірки кокс ділять на мало сірчистий (до 1,0%), середньо сірчистий (до 1,5%), сірчистий (до 4,0%), та високо сірчисті (більше 4,0%). За гранулометричним складом – шматкові (більше 25 мм), «горішок» (6 – 25 мм), дрібниця (менше 6 мм). За вмістом золи – малозольний (менше 0,5 % золи), середньо зольний (0,5 – 0,8 %) та високо зольний (більше 0,8 %).

Якість коксу залежить як від властивостей сировини, так і від способу її отримання. Для підвищення якості коксу, що використовується у виробництві електродів (для зменшення летючих домішок, усунення усадкових явищ і підвищення електропровідності), його піддають додатковому пропалюванню.

На процес коксування та якість коксу впливають такі фактори, як термічна стабільність сировини, яка знижується з обважненням фракційного складу. Високо ароматизована сировина надзвичайно стабільна. Сировина парафінової поставки найменш стабільна.

При коксуванні важливе місце здобувають питання отримання коксу із заданими показниками, які вирішуються шляхом підготовки сировини та добору умов коксування з урахуванням принципів фізико-хімічної механіки нафтових дисперсних систем.

У нафто та газопереробній промисловості, на нафтопереробних заводах основною сировиною для установок коксування є: залишки перегонки нафти (мазути, гудрони), залишки виробництва олій (асфальти, екстракти), залишки термокatalітичних процесів (крекінг-залишки), важка смола піролізу, важкий газойль кatalітичного крекінгу. У деяких країнах, крім того, використовують кам'яновугільні й нафтові пеки, гільсоніт, важку нафту і інше.

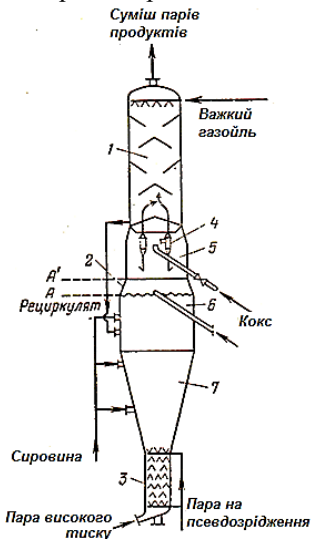
Основні вимоги до якості сировини впливають та визначаються призначенням процесу й типом установки. Значення показників якості сировини встановлюють експериментально, виходячи із сировинних ресурсів конкретного заводу

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

РЕАКТОР ПРОЦЕСУ БЕЗПЕРЕРВНОГО КОКСУВАННЯ НАФТОВИХ ЗАЛИШКІВ

Кліндухов К. В., магістрант, гр. ХМ.м-21/1

Безперервні процеси коксування використовуються для одержання максимальної кількості дистилатів. Для їхнього здійснення необхідно апаратне оформлення, яке дозволяє безупинно виводити кокс, що утворюється, із реактора. Ідея безперервного отримання коксу привела до розробки реакторів із псевдо зрідженим шаром коксу у вигляді порошку. Процес коксування у такому шарі коксу іде більш інтенсивно, тому що велика поверхня порошокподібного теплоносія сприяє поліпшенню контакту фаз.



Реактор коксування установки безперервного коксування являє собою апарат складної конструкції зі змінним перетином (рис.).

У реакторному блоці в якості теплоносія циркулюють коксові частки, які в результаті контакту із сировиною знову покриваються тонким шаром коксу, що утворюється. Деяка кількість часток, найбільш укрупнених за рахунок багаторазового зростання, безупинно виводять із системи.

Псевдо зріджений шар коксу розміщується в конічній і циліндричній частинах апарата. Нижня конічна частина апарата слугує для зменшення витрати пари на псевдо зрідження шару.

Унизу апарата є відпарна секція, куди подається водяна пара для відпарювання від коксу вуглеводнів. У відпарній секції для збільшення шляху руху коксу розташовуються похилі полиці.

Звуження верхньої частини реактора забезпечує збільшення швидкості пари над шаром коксу, що дозволяє знизити реакції вторинного розкладання пари, підвищити концентрацію коксу в парах, який механічно впливає на устя циклонів і запобігає їхньому закоксуванню.

Реактор зсередини футерований ізоляційним матеріалом. Труби для пневматичного транспортування коксу у такій установці мають великий діаметр. З нижньої частини реактора відводиться кокс який по пневмопроводу за допомогою пари транспортується у коксонагрівач де нагрівається до температури 600 – 650 градусів. Для вловлювання коксового пилу на верху реактора встановлюються двоступінчасті циклонні сепаратори, звідки пари реакції надходять у скрубєр.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ТЕМПЕРАТУРА ГРАНУЛИ В ПРОЦЕСІ ОХОЛОДЖЕННЯ У ГРАНУЛЯЦІЙНІЙ БАШТІ

Нічволодін К.В, аспірант, гр. А-25/ХТ, СумДУ, м. Суми

На кафедрі Хімічної інженерії було створено обертовий вібраційний гранулятор ОВГ [1], конструкцію якого показано на рис.1.

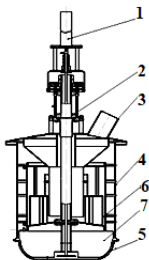


Рис.1 . Обертовий вібраційний гранулятор (ОВГ): 1- вібраційний пристрій; 2 – вузол кріплення підшипників; 3- вход плаву; 4 - корпус; 5 - перфороване днище (корзина); 6 – розподільник плаву у корзині; 7 - лопатки.

У основу таких розрахунків покладено рівняння теплового балансу

$$G_{plava} (C_p(T_{pn} - T_{pk}) + Z_f + C_g(T_{pk} - T_{gk})) = G_v C_v(T_{vk} - T_{vn}) \quad (1)$$

де C_p - питома теплоємність плаву; Z_f - питома теплота фазового переходу у результаті кристалізації плаву; C_g - питома теплоємність гранули; C_v – питома теплоємність повітря; T_{pn} та T_{pk} - початкова та кінцева температура плаву; T_{gk} - кінцева температура гранули; T_{vn} та T_{vk} - початкова та кінцева температура повітря; температури у рівняннях у °К.

З огляду на структуру та враховуючи гідродинамічні розрахунки щодо часу руху гранули та зміни її швидкості можна припустити, що залежність зміни температури повітря, що контактує з поверхнею гранули, змінюється по лінійній залежності від початкової температури T_{vn} до кінцевої температури T_{vk} з часом τ , яка є змінною величиною. Враховуємо також, що за початковий вимір часу контакту повітря з гранулами приймається час коли повітря вже нагріється до температури T_{vk} , а для гранули це буде початкова температура контакту з повітрям.

$$T_v = \frac{\tau T_{vk} - \tau T_{vn} + \tau_n T_{vn} - \tau_k T_{vk}}{\tau_n - \tau_k} \quad (2)$$

Визначення температури повітря на поверхні гранули та зміни цього показника у часі дозволяє підійти до наступного етапу розрахунків. За основу таких розрахунків було прийнято відоме диференційне рівняння теплопровідності, яке за умови симетричної задачі має вигляд [2, 3]

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right) \quad (3)$$

де $\tau > 0$; $0 < r < R$; a – коефіцієнт температуропровідності; R - радіус зовнішньої поверхні краплі; r – змінна величина радіусу гранули.

Рішенням рівняння (3) щодо зміни температури по радіусу гранули у залежності від часу у загальному вигляді буде [5]

$$T(r, \tau) = T_v + (T_g - T_v) \left(\sum_{n=1}^{\infty} \frac{2(-1)^{n+1} R \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right) e^{-\frac{n^2 \pi^2 a \tau}{R^2}}}{r n \pi} \right) \quad (4)$$

де T_g – температура поверхні гранули у даний час, що визначається при чисельному розрахунку як значення температури поверхні гранули, що розраховано під час попередньої ітерації.

Висновки. Розробка теоретичного аналізу процесу охолодження зерен мінеральних добрив не тільки в поверхневому шарі гранул, але і по радіусу гранул до центру, дозволила простежити цей процес з точки зору динаміки..

Прикладом такого розрахунку процесу охолодження гранули у виробництві карбаміду є наступні дані, що отримані за умови початкової температури гранул $t_{gn} = 141$ °С, початкової температури повітря $t_{vn} = 40$ °С на виробництві карбаміду Indian Farmers Fertilizer Cooperative (Iffco), Індія. Отримані розрахункові результати наведено на рис.2.

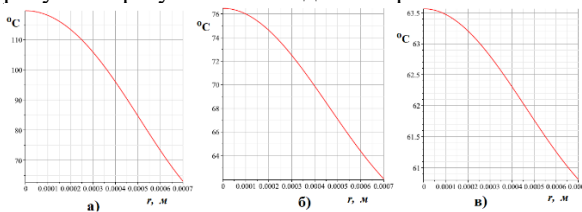


Рис.2. Розподіл температури по радіусу гранули карбаміду діаметром 1.4 мм.

а) – через 0,8сек.; б) – через 3,5 сек.; в) – через 6,85 сек. (кінець руху)

Ці аналізи показали температуру гранул у нижній частині грануляційної башти рівною 60°С. Отримані розрахункові залежності хоча і не є точним розрахунком цього процесу але досить якісно описують зміну температури усередині гранули під час її падіння у башті, що практично підтверджується відповідності кінцевій температурі гранули, що вимірялась на практиці (Рис.2в).

Список літератури

1. Скиданенко М.С. Перспективи отримання мікрогранул у вібраційних грануляторах [Текст] / М.С. Скиданенко, А.Є. Артюхов, В. І. Склабінський //
2. Холін Б. Г. Відцентрові та вібраційні гранулятори плавів та розпилювачі рідини [Текст]/Б. Г. Холін. - М.: Машинобудування, 1977. - 182 с.
3. Ликов А. В. Теплообмін. [Текст] / А. В. Ликов. - М.: Енергія, 1978. - 480 с.

Робота виконана під керівництвом професора Склабінського В. І.

ОСОБЛИВОСТІ ТА ПЕРЕВАГИ ГАЛЬВАНІЧНОГО НАНЕСЕННЯ ТРИШАРОВОГО НІКЕЛЕВОГО БЛИСКУЧОГО ПОКРИТТЯ

Дребот Р. М., студ. гр. МгТЕ-22; Кислова О.В., доцент кафедри хімічних технологій та ресурсозбереження, Київський національний університет технологій та дизайну, м. Київ

Електрохімічні нікелеві покриття виконують захисну та декоративну функції, а також використовуються для підвищення зносостійкості деталей, що труться, та як проміжний підшар для забезпечення міцного зчеплення покриттів з інших металів з основою. Класичний спосіб нанесення нікелевого покриття з застосуванням сульфатних електролітів супроводжується утворенням значної кількості неякісних виробів [1, 2].

Сучасні електроліти нікелювання містять неорганічні та органічні добавки, які запобігають утворенню шламу, підвищують розчинність анодів, сприяють утворенню блискучих осадів з вирівнюванням поверхні основного металу, зменшують пористість та підвищують твердість покриття [3].

Для покращення захисних та декоративних функцій покриття розроблено метод тришарового нікелювання з застосуванням кислих електролітів, до складу яких введено сульфатат нікелю та натрій лаурилсульфат. Для нанесення першого напівблискучого шару нікелю використовують електроліт без сульфурвмісних блискоутворюючих добавок. Електроліт для нанесення проміжного шару покриття містить до 0,2% сірки. Третій шар нікелю осаджується з розчинів електролітів з блискоутворюючими добавками. Гальванічні ванни оснащуються автоматичними пристроями безперервного перемішування для прискорення процесу та отримання якісного рівномірного покриття [3].

В агресивному середовищі корозійні процеси відбуваються в проміжному шарі нікелевого покриття, оскільки він набуває негативнішого значення електродного потенціалу порівняно з іншими шарами. Нижній напівблискучий та верхній блискучий шари не кородують. Тришарове покриття в 5 разів міцніше за одношарове при однаковій загальній товщині. Отже, перевагою утвореного тришарового покриття з застосуванням електролітів на основі нікель сульфамату, є значне зростання його антикорозійних та декоративних властивостей.

Список літератури

1. Moon Y.-S., Lee J.-H., Oh T.-S., Byun J.-Y. Fabrication of diamond dispersed nickel composite coating by electroplating method to enhance the mechanical property of coating. Key Eng. Mater. 2007, N 345-346, P. 1597-1600.
2. Poroch-Seritan M., Cretescu I., Cojocaru C. et al. Experimental design for modelling and multi-response optimization of Fe-Ni electroplating process. Chem. Eng. Res. Des. 2015, V.96, P.138-149.
3. D. Khedekar, V. Gosavi, C. Gogte et al. Optimization of Process Parameters of Nickel – Chromium Electroplating for Thickness Variation using Genetic Algorithm Advances in Intelligent Systems Research. 2017, V.137, P.41-47.

СЕКЦІЯ «ХІМІЧНІ НАУКИ»

ХІМІЧНЕ МІДНЕННЯ ДІЕЛЕКТРИКІВ

*Муквич В. Ю., студентка СумДУ, гр. ПХ-01;
Пшеничний Р. М., доцент, кафедра ТПХ, СумДУ, м. Суми*

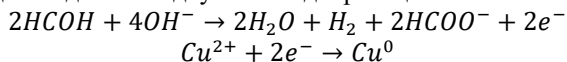
Покращення властивостей поверхонь матеріалів є ключовим завданням промислового виробництва. Висока якість поверхні та можливість зміни її властивостей дозволяють розширити спектр використання матеріалу у різних галузях виробництва та збільшити його функціональність. Сьогодні існує багато методів зміни властивостей поверхонь, серед яких ефективним є хімічна металізація діелектриків, а особливо хімічне міднення. Цей метод покриття дозволяє покращувати властивості поверхні матеріалу, забезпечуючи його міцність, зносостійкість, електропровідність, стійкість до корозії та інших шкідливих факторів, шляхом нанесення шару міді.

Хімічне міднення – це негалванічний процес відновлення йонів міді з сольового розчину, що містить відновник. Міднення представляє великий інтерес і вважається альтернативою електродним рішенням. Хімічне міднення є невід’ємною частиною виробництва друкованих плат [1].

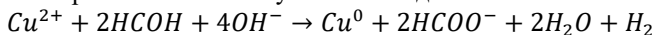
Безелектричне міднення непровідних матеріалів вимагає використання каталізатора, який наноситься на поверхню підкладки. Цей каталізатор ініціює окисно-відновну реакцію, яка дозволяє відновлювати мідь з йонів в електроліті. Найпоширенішим є паладієвий каталізатор. Він має найвищу каталітичну активність серед інших можливих каталізаторів і показує найвищу стабільність, що дозволяє йому залишатися в своєму металевому стані на поверхні підкладки довше. Подальше міднення каталізується нанесеним мідним покриттям, і тому цей процес часто описують як автокатолітичний. Отримання однорідного мідного шару значною мірою залежить від ефективності каталізатора [2].

Русійною силою для відновлення йонів металу є хімічний відновник у розчині. У більшості промислових розчинів для хімічного міднення використовують формальдегід. Це пов’язано із вигідним співвідношенням вартості та ефективності такої ванни, крім того, контролювати формальдегідну систему значно легше ніж гіпофосфітні або гідразинові системи для міднення.

У процесі міднення відбувається дві реакції:



Загальне рівняння має наступний вигляд:



Відновлювальна система осадження міді вимагає наявності лігандів, які разом з сіллю купрум у формальдегідом становлять важливі компоненти автокаталітичних систем. Оскільки ці системи діють у лужному середовищі, ліганди повинні відповідати певним вимогам: утворювати стійкі комплекси з Cu^{2+} для запобігання випаданню купрум (II) гідроксиду та не реагувати з формальдегідом. Крім того, ліганди не повинні сповільнювати каталітичну

реакцію відновлення міді, оскільки це може погіршити якість нанесеного покриття [3].

Для нанесення мідного покриття було використано скло з модифікованою поверхнею, оскільки воно має ряд корисних властивостей для застосування в електроніці. Скло є діелектриком, тобто матеріалом з низькою електропровідністю, що дозволяє йому використовуватись як ізоляційна підкладка між провідниками. Крім того, модифікована поверхня скла забезпечує кращу адгезію між склом та міддю, що дозволяє отримати більш стійке покриття. Скло з модифікованою поверхнею широко використовується в галузі електроніки як базовий матеріал для виготовлення мікросхем, транзисторів та інших компонентів.

Перед процесом нанесення мідного покриття скло пройшло кілька етапів обробки. Спочатку скло занурювали в 15 % розчин гідроксиду натрію, де воно травилося протягом п'яти хвилин. Цей процес необхідний для очистки поверхні від залишкових забруднень. Потім скло промивали та занурювали в розчин SnCl_2 для подальшого нанесення каталітичних центрів на поверхню підкладки. Останній етап підготовки – активація скла в розчині PdCl_2 . Після нанесення на скло паладієвого каталізатора його поверхня готова до міднення.

Безпосередньо перед зануренням скла у розігрітий робочий розчин додавали формальдегід та ретельно перемішували розчин. Занурення скла в розчин проводилося на різний час з метою встановлення швидкості осадження мідної плівки на скляну поверхню. Усі отриманні зразки мідного покриття мали високий рівень зчеплення з поверхнею скла, гладку поверхню та характерний металевий блиск.

Отримані результати дослідження демонструють, що використання скла як підкладки для нанесення мідного покриття є ефективним методом. Використання модифікованого скла, попередньо підготовленого за допомогою травлення, сенсифілізації та активації, сприяє отриманню мідних покриттів з високою адгезією та гладкістю. Цей метод може бути застосований в різних галузях, зокрема в електроніці, для отримання мідних контактів на склі.

Список літератури

1. Copper metallization of electrodes for silicon heterojunction solar cells: process, reliability and challenges / J. Yu et al. *Solar energy materials and solar cells*. 2021. Vol. 224. P. 110993. URL: <https://doi.org/10.1016/j.solmat.2021.110993> (date of access: 15.03.2023).
2. Direct metallisation of polyetherimide substrates by activation with different metals / T. D. A. Jones et al. *Surface and coatings technology*. 2019. Vol. 360. P. 285–296. URL: <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2019.01.023> (date of access: 15.03.2023).
3. Application of saccharose as copper (II) ligand for electroless copper plating solutions / E. Norkus et al. *Carbohydrate research*. 2007. Vol. 342, no. 1. P. 71–78. URL: <https://doi.org/10.1016/j.carres.2006.10.020> (date of access: 15.03.2023).

ВИЗНАЧЕННЯ ЧИСЕЛ ПЕРЕНЕСЕННЯ ІОНІВ ПРИ МЕМБРАННОМУ ЕЛЕКТРОЛІЗІ

*Большаніна С.Б. к.т.н., завідувач кафедри ТПХ;
Радченко А.Е. студент, ПХ-01, СумДУ, м. Суми*

Одним із найважливіших понять в електрохімії є число перенесення іонів. В електролітах електрика переноситься одночасно позитивними та негативними іонами, тому виникає питання, якою є участь у цьому процесі іонів кожного знаку. Кількість електрики, що переноситься, визначається концентрацією іонів і швидкістю їх руху. Якщо концентрації катіонів та аніонів однакові, їх внесок у перенесення електрики залежить лише від швидкості їх руху. При цьому швидкості руху катіонів та аніонів можуть бути суттєво різними, тому й числа перенесення мають бути різними.

Особливе значення набуває вивчення вказаних закономірностей в технологічних процесах, в процесах мембранного електролізу, діалізу [1]. В даній роботі визначали числа перенесення іонів в розчинах електролітів через катіонообмінну мембрану RALEX®CM-PES 11-66.

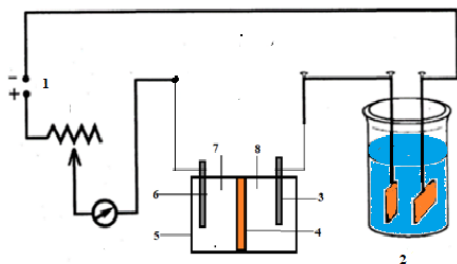
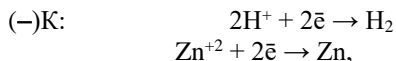


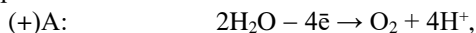
Рисунок 1. Схема дослідного стенду для вивчення чисел перенесення іонів при проведенні мембранного електролізу. 1 – джерело постійного електричного струму; 2 – кулонометр; 3 – катод електролізера; 4 – катіонообмінна мембрана; 5 – електролізер; 6 – анод; 7 – анодна камера (аноліт – розчин Цинк сульфату); 8 – катодна камера (католіт – розчин сульфатної кислоти, 1%)

Електрохімічні реакції, що відбуваються при мембранному електролізі слід розділити на анодний і катодний процес. В двохкамерному електролізері іони Zn^{2+} з аноліту, що містить розчин Цинк сульфату, рухаються крізь мембрану в катодну камеру до катоду. При цьому на катоді відбуваються одночасно два процеси: розряд іонів Гідрогену, що присутні в католіті у складі сульфатної кислоти, і відновлення іонів цинку до металу.



У зв'язку з цим в катодному просторі кількість іонів Гідрогену зменшується, і одночасно в католіті з'являється певна кількість іонів цинку за рахунок їх міграції з аноліту крізь катіонообмінну мембрану.

В анодному блоці на аноді відбуваються процеси, що пов'язані із розрядом молекул води, тому що наявні в водному розчині аноліту іони SO_4^{2-} не здатні розряджатися на аноді, тому на аноді розряджаються молекули води з утворенням кисню:



У зв'язку з цим в анодному просторі кількість іонів цинку зменшується а іонів H^+ збільшується.

Зміна концентрації іонів цинку в католіті визначали комплексометричним титруванням. Дані по результатам експерименту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1. Дані для розрахунку чисел перенесення іонів в досліджуваній системі.

Маса катоду (Cu) кулонометру, г		Маса катоду в католіті $\Delta m_{\text{катод}}$		Маса іонів цинку в католіті Δm_{Zn} г
До електролізу	Після електролізу	До електролізу	Після електролізу	Після електролізу
20,961	21,642	8,396	8,420	0,231

Кількість електрики, що пройшла крізь систему (q) і була перенесена іонами цинку (q_k) обчислюють за формулами:

$$q = \frac{F \cdot \Delta m_{\text{кул}}}{m_{\text{екв Cu}}} = 2068 \text{ Кл}; \quad q_k = \frac{F \cdot \Delta m_{\text{Zn}}}{m_{\text{екв Zn}}} = 749 \text{ Кл}$$

де F – стала Фарадея 96485 Кл, $\Delta m_{\text{кул}}$ – зміна маси катода кулонометра, $m_{\text{екв Cu}}$ – еквівалентна маса міді; Δm_{Zn} – сумарна маса цинку в католіті і на катоді; $m_{\text{екв Zn}}$ – еквівалентна маса цинку.

Числа перенесення електрики катіонами цинку і аніонами визначають за формулами:

$$t_k = q_k / q = 0,749 / 2068 = 0,36 \quad t_A = 1 - t_k = 1 - 0,36 = 0,64$$

Список літератури

1. Serdiuk V., Sklabinskyi V., Bolshanina S., Ochowiak M., Radchenko A., Babenko O., Kharchenko Y. (2022). Regeneration of chromate galvanic solutions in membrane electrochemical devices. Journal of Engineering Sciences, Vol. 9(2), pp. F37-F42, doi: 10.21272/jes.2022.9(2).f3 DOI: 10.21272/jes.2022.9(2).f3

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ МОЛОЧНОЇ ПРОДУКЦІЇ

Гоменюк В. В, Ярова Т. Ю., студ., гр.ПХ-91/1;
Пономарьова Л. М., доц. каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми

Молочні продукти відносяться до першої категорії необхідності, а тому необхідно постійно моніторити стан споживчого ринку України та виявляти всі позитивні та негативні тенденції розвитку; експериментально перевіряти споживчі цінності харчових продуктів, різних торгових марок та виробників [1]. Молоко та його продукти є необхідним продуктом харчування людини у будь-якому віці. Оскільки містять у своєму складі багато важливих компонентів (амінокислоти, вітаміни, жирні кислоти, макро- та мікроелементи і т.д). Молочна продукція має особливості у зберіганні та способах виготовленні. Тому важливо контролювати її якість.

Для перевірки виробників було проведено власне дослідження різних молочних продуктів наступних торгових марок, зазначених в таблиці 1.

Таблиця 1 – Найменування зразків досліджуваних молочних та кисломолочних продуктів

№	Продукт	Жирність, %	Торгова марка	Виробник	Адреса потужностей	Термін придатності
1	Молоко	3,2	Злагода	ПрАТ комбінат «Придніпровський»	м. Дніпро	29.03.23
2	Молоко	2,5	Молокія	ПрАТ «Тернопільський молокозавод»	м. Тернопіль	22.03.23
3	Молоко	2,5	Зарог	ТОВ «Оржицький молокозавод»	с. Заріг, Полтавська обл.	27.03.23
4	Пломбір	18	Ласунка	ТОВ «Ласунка»	м. Дніпро	12.07.24
5	Кефір	-	Агуня	ТОВ «Сандора»	с. Миколаївське, Миколаївська обл.	04.04.23
6	Сир кисломолочний	55	Білоцерківський	ПП «Білоцерківська агропромислова група»	с. Білоцерківка, Полтавська обл.	28.03.23
7	Сметана	15	Яготинська	ТДВ «Яготинський маслозавод»	м. Яготин, Київська обл.	04.04.23

Найважливішим показником якості є кислотність. При зберіганні кислотність підвищується внаслідок утворення молочної кислоти з молочного

цукру під впливом ферменту бактерій, що потрапляють з повітря. Це наглядно показує свіжість молока. Кислотність виражається в умовних градусах Тернера, що показують кількість 0,1 н лугу потрібного для нейтралізації 100 г продукту.

В табл. 2 представлена кислотність для всіх продуктів. Значення кислотності для молока в основному відповідає нормам (16-19 ° Т). Морозиво має понижену кислотність – 19 ° Т, адже норма для пломбіра складає 21 ° Т. Кефір, сир та сметана відносяться до молочнокислих продуктів, і тому мають набагато вищу кислотність. Для кефіру оптимальна кислотність становить 80-120 ° Т, що співпадає з досліджуваним. Кислотність для сиру – це показник того, на скільки добре він сквашений. Повинен бути мінімум 200 ° Т. У нашому випадку сир має недостатню кислотність. Досліджувана сметана відповідає нормам сметани вищого гатунку (65-90 ° Т).

Таблиця 2 – Кислотність молочних продуктів

№	Продукт, торгова марка	V _{NaOH} , мл	Розрахована кислотність, ° Т
1	Молоко «Злагода»	1,6	16
2	Молоко «Молокія»	1,5	15
3	Молоко «Зарог»	1,7	17
4	Пломбір «Ласунка»	1,0	19
5	Кефір «Агуня»	10,9	109
6	Сир «Білоцерківський»	9,0	175
7	Сметана «Яготинська»	4,3	85

Дата проведення аналізу: 24.03.23.

Окрім визначення кислотності, для молока було проведено ще декілька дослідів. Одним з них виступає якісна реакція на лактозу розчином Бенедикта. Проведена реакція говорить про наявність лактози у складі молока, але у невеликих кількостях.

Інший дослід – визначення вмісту кальцію у молоці комплексонометричним методом аналізу. Як відомо, молоко відрізняється досить великим вмістом кальцію, який є необхідним для життя людини. Вміст кальцію у досліджуваних марках молока (табл. 3) майже не відрізняється між собою та знаходиться у межах норми.

Таблиця 3 – Вміст кальцію в молоці

Торгова марка	ω, мг / 100 мл молока
«Злагода»	144,29
«Молокія»	144,29
«Зарог»	142,28

Список літератури

1. Шевченко А. В., Табачук Н.О. Сучасний стан ринку молочної продукції та забезпечення її якості в умовах Євроінтеграції України. Міжнародні економічні відносини та світове господарство. Випуск 27, част. 2. 2019.

ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ВОДИ ВОДОЙМ МІСТА СУМИ

*Гоменюк В. В, Ярова Т. Ю., студенти гр.ПХ-91/1;
Пономарьова Л. М., доц. каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми*

Нормування якості води полягає у встановленні поєднання допусків за складом води та показників властивостей для кожної водойми. У межах яких проводиться забезпечення здоров'я населення, сприятливі умови водокористування та екологічна гігієна. Санітарними вимогами щодо охорони поверхневих вод передбачені загальні вимоги до складу та властивостей води водойм для задоволення потреб господарсько-питного, громадсько-побутового та рибного господарства.

Національні та міжнародні стандарти визначають вимоги до якості водопровідної та питної води, і ці стандарти передбачають комплексний підхід до оцінки якості води. Органолептичні показники не обмежуються інтенсивністю впливу на органи чуття. Для багатьох сполук встановлені допустимі концентрації у воді (ГДК), при перевищенні яких погіршуються органолептичні властивості води. Отже, завдяки сенсорним, фізико-хімічним показникам якості води можна зробити висновок про її придатність для конкретних потреб [1].

Для перевірки якості водойм міста Суми нами було проведено якісне та кількісне дослідження води з різних водойм та водогону:

№1 - річкова вода, місце забору проби – річка Псел біля моста на вул.Прокофєва.

№2 - озерна вода, місце забору – озеро Чеха.

№3 - водогінна вода, місце забору – СумДУ.

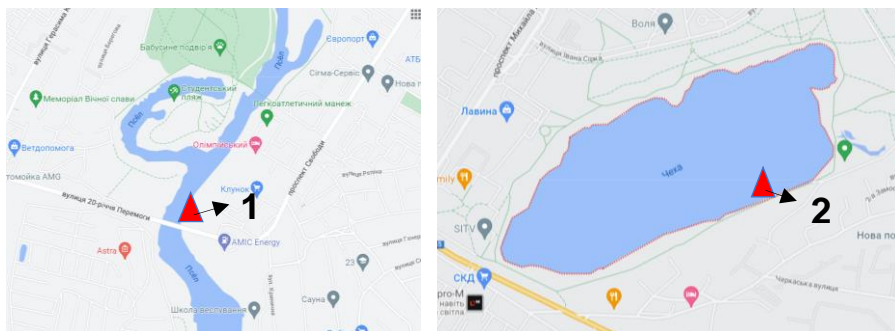


Рисунок 1 – Місця забору проб води в м.Суми.

Результати якісного аналізу наведені в табл. 1. В таблиці представлені органолептичні та хімічні показники, які показують тільки наближений вміст речовин. За більшістю параметрів вода з озера являється більш чистою в порівнянні з річковою. Вона є більш прозорою та безбарвною і має менший

вміст амоніаку, хлоридів та заліза. Але відрізняється більш інтенсивним запахом. Вміст нітритів та сульфатів є дуже низьким в усіх пробах.

Таблиця 1 – Якісний аналіз проб води

№	Прозорість	Колірність	Запах	Вміст амоніаку	Вміст нітритів	Вміст хлоридів	Вміст сульфатів	Вміст Феруму
1	Дуже каламутна	800 град	2	$1,2 \frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$	<0,002 $\frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}$	1-10 $\frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}$	-	$3 \frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$
2	Трохи каламутна	10 град	3	$0,2 \frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$		1-5 $\frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}$		$0,35 \frac{\text{г}}{\text{дм}^3}$

Крім цього визначили загальну та тимчасову жорсткість і значення рН проб, включаючи водопровідну. Жорсткість води була визначена титриметричним методом, а водневий показник потенціометричним методом за допомогою рН-метра. Дані отримані внаслідок аналізу представлено в таблиці 2.

Таблиця 2 – Жорсткість досліджуваних проб води (мекв/л.) та рН

№ проби	Т _ж	З _ж	Ж _{Са}	Ж _{Mg}	рН
1	5,4	2,15	4,2	2,05	8,4
2	0,6	0,7	0,6	0,1	8,2
3	6,0	1,8	1,7	0,1	8,1

Як бачимо, найменшу жорсткість має озерна вода. Так її тимчасова жорсткість приблизно у 10 раз менше інших проб, а загальна жорсткість у 3 рази у порівнянні з річковою та 2,5 – водопровідною. Водневий показник зразків не сильно відрізняється між собою. В загальному по жорсткості вода з озера є набагато кращою за річкову воду і за водопровідну.

Отже, порівнюючи отриманні результати з державним стандартом України можна дійти висновку що вода з річки Псла та озера Чеха є не придатними для споживання, через високий вміст амонійних солей та Феруму, а також мають погану оцінку органолептичних показників.

Список літератури

1. Перлова О.В., Перлова Н.О. Органолептичні показники якості води. Методичні вказівки до лабораторних занять та самостійної роботи з дисципліни «Хімія природних і стічних вод». Одеса. 2019.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КИСЛОТНОСТІ ҐРУНТІВ НА ШВИДКІСТЬ ВИВІЛЬНЕННЯ КОМПОНЕНТІВ ЖИВЛЕННЯ У СКЛАДНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВАХ

*Ярова Т. Ю., студентка гр. МБ-91/4-пх; Коваленко Т. І., лаборант;
Яновська Г. О., доцент, каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми*

З кожним роком забруднення навколишнього середовища залишками мінеральних добрив зростає, що призводить до погіршення стану ґрунтового, водного та повітряного середовища. Це пов'язано з тим, що азотні добрива добре розчинні та швидко проникають глибоко у шари ґрунту, куди не може дістатися коріння рослин. В роботі було проаналізовано проблему забруднення навколишнього середовища компонентами мінеральних азотних добрив та запропоновано використовувати капсульоване мінеральне добриво пролонгованої дії, за допомогою якого можна регулювати швидкість вивільнення активних компонентів і кількість добрив, що вносяться в ґрунт з капсули, залежно від ґрунтово-кліматичних умов ґрунту.

Крім того суттєвою проблемою є вивільнення активних компонентів органо-мінеральних добрив при різних рН ґрунту. Дослідження розчинності добрив і здатності їх вивільняти компоненти при різному рН є надзвичайно актуальним.

В роботі проведені дослідження з пролонгованого вивільнення активних компонентів NP добрив при різному рН показали, що процес розчинення ядра гранул відбувається повільніше в лужному ніж в кислому середовищі. Це пояснюється складом ядра гранули, основним компонентом якого є сечовина, яка має полярну молекулу і повільніше взаємодіє неполярними компонентами середовищем, молекули якого менш полярні.

За допомогою аналізу мікроструктури фосфатовмісного покриття методом скануючої електронної мікроскопії (SEO-SEM Inspect S50-B) було досліджено що перевагами отриманих добрив з точки зору розчинення гранул є однорідність нанопористої структури покриття по всій поверхні оболонки; добре розвинена структура пор по всій товщині оболонки. Однак, серед недоліків даних NP добрив є неоднорідна товщина оболонки на різних ділянках гранули, що вимагає додаткових досліджень і корекції параметрів процесу та потребує дослідження термодинамічних властивостей процесу сушіння [1].

Аналіз елементного складу за допомогою енергодисперсійного спектрометра EDS (AZtecOne з детектором X-MaxN20, Oxford Instruments plc) показав, що окрім азоту та фосфору ядро гранули містить наступні мікро та макроелементи, необхідні для росту та живлення рослин: O, Al, Si, P, K, Ca, Fe, Mg, S, Na [2].

Дослідження кінетики вивільнення фосфору та азоту дозволило отримати залежність швидкості вивільнення елементів живлення з гранул досліджуваних добрив від кислотності ґрунту. Таким чином, найбільша частка

P_2O_5 в розчині виявилася в кислому середовищі, а найбільша кількість розчиненого азоту – в лужному розчині.

Отримані результати дослідження свідчать про можливість використання досліджуваних комплексних органо-мінеральних NP добрив в ґрунтах Сумської області, оскільки умови застосування даних добрив збігаються з агротехнічними властивостями ґрунтів цього регіону: зокрема кислотність ґрунтів, яка коливається від 5 до 7,5. Таким чином, процес розчинення досліджуваних добрив є контрольованим при цих значеннях рН ґрунту.

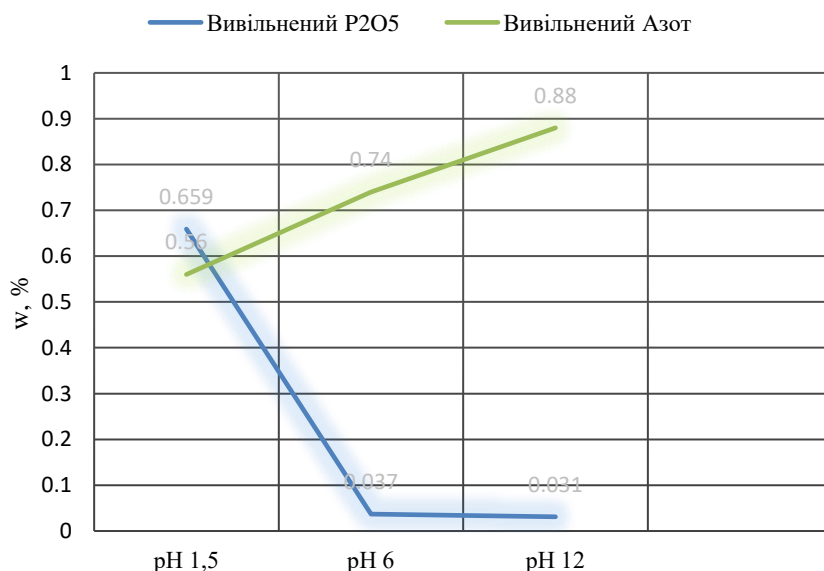


Рисунок 1 – Залежність вивільненого компонента добрива від рН середовища

Список літератури

1. Яновська Г. О., Вакал С.В., Артюхов А.Є., Вакал В.С., Школа В.Ю., Максименко Б.О., Зеленський А.М., Скляр В.І., Рудавіна Н.М. Процес формування нових екологічно безпечних добрив пролонгованої дії на основі сировини фосфоритових родовищ: звіт з досліджень виконання держбюджетної науково-дослідної розробки: Суми, 2020.
2. Ярова Т. Дослідження капсульованих органо-мінеральних NPK-добрив фізико-хімічними методами аналізу. Курсова робота з дисципліни: «Фізико-хімічні методи аналізу». Суми, 2022.

Ця робота проведена за підтримки гранту МОН України 0120U102003

ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ НА КІНЕТИЧНІ ПОКАЗНИКИ РОЗЧИНЕННЯ СКЛАДНИХ МІНЕРАЛЬНИХ ДОБРИВ

*Большаніна С. Б., к.т.н., завідувач кафедри ТПХ; Гоменюк В.В студент
гр. ПХ-91/1, СумДУ, м. Суми*

Нині для існування людства потрібна велика кількість продовольства. Більшу частину якого ми можемо отримати, використовуючи посіви та вирощування сільськогосподарських культур. Але враховуючи обмеженість території, що можуть бути використані під сільськогосподарські угіддя, постає потреба у підвищенні врожайності та якості вирощуваних культур.

Для оптимального росту рослин потрібна достатня кількість поживних речовин, що знаходяться в ґрунтах. Загалом ґрунт повинен володіти певними властивостями. Для оцінки ґрунту існують певні показники, серед них основними являються агрохімічні. До них належать вміст гумусу, що показує вміст органічної частини в ґрунті. Він виступає запасом необхідних елементів для живлення рослин. До важливих показників також відноситься вміст азоту, калію та фосфору, що є найважливішими елементами та безпосередньо впливають на розвиток та ріст рослин. Варто відмітити температуру та кислотність ґрунту, що впливають на швидкість засвоєння цих елементів. Власне сумська область характеризується середнім вмістом гумусу, недостатнім вмістом азоту, фосфору та калію, що не може задовольнити сільськогосподарських культур[1].

Вирішити цю проблему можуть добрива, які являють собою незамінні джерела основних елементів для рослин. Існує велика різноманітність добрив. Одні характеризуються швидким вивільненням компонентів, тобто основні елементи таких добрив знаходяться в легкодоступній формі, другі характеризуються більш тривалою дією. Існують добрива, що характеризуються мінеральною формою основних елементів, та органічні добрива, в яких основні елементи знаходяться у органічній формі. Кожне добриво має свої переваги та недоліки. Використовують в залежності від агрохімічних властивостей ґрунту, типу ґрунту, вирощуваної культури. Серед добрив особливо виділяються своєю ефективністю гранульовані органічно-мінеральні добрива, які відразу містять органічні та мінеральні речовини. Таке поєднання покращує агрофізичні показники ґрунту та запобігає вимиванню поживних речовин з ґрунту. Такі добрива характеризуються повільною, пролонгованою дією, поступовим надходженням основних поживних елементів, що забезпечує рослин поживними речовинами протягом тривалого періоду.

В даній роботі досліджувалось саме таке добриво, що було розроблене на базі НДІ МІНДПІ СумДУ. Ядром добрива являється карбамід, покритий фосфоритвмісною оболонкою. Основними елементами виступають азот та фосфор, але крім них містяться інші (калій, кальцій) в менших концентраціях. Також у складі міститься органічна складова – біовугілля, що володіє

розвинутою пористою структурою і виступає адсорбційною добавкою [2-4]. Добриво характеризується гарними агрохімічними показниками та за рахунок пролонгованої дії рівномірно підживлює ґрунт протягом всього вегетаційного періоду.

Були проведені дослідження щодо визначення впливу температури на кінетику розчинення та вивільнення поживних елементів добрива. За результатами експериментів було визначено, що при підвищених температурах (більше 30 °C) розчинність добрива зменшується. Це ймовірно відбувається за рахунок утворення при підвищених температурах міцелярних структур, що зменшують розчинність. Наявність таких структур було підтверджено при дослідженнях зразків фільтратів добрива на ПЕМ. Повільна розчинність добрива сприяє більш тривалій його дії та попереджає швидке вимивання – що має позитивне значення для живлення рослин. Щодо виходу основних елементів (табл. 1), то за підвищених температур зростає вміст легкодоступного фосфору, а вміст азоту знижується. Зниження вмісту азоту пов'язано із випаровуванням азотовмісних компонентів добрива при збільшенні температури.

Таблиця 1 – Вміст NP при різних температурах

№	t, °C	P ₂ O ₅ , %	N, %
1	10	0,033	1,71
2	30	0,044	1,45
3	50	0,054	1,24

Висновок. Проведені дослідження встановлюють вплив температури на кінетичні показники розчинення складних органо-мінеральних добрив. Доведено, що температура впливає як на кінетику розчинення, так і на доступність і вихід поживних елементів.

Список літератури

1. Екологічний паспорт Сумської області станом на 01.01.2022 р. URL: <http://surl.li/fozgv> (дата звернення: 23.02.2023)
2. Vakal, S., Vakal, V., Artyukhov A., Shkola V., Yanovska A. New method for obtaining “green” encapsulated fertilizers with nanoporous structure within the concept of sustainable development. *Clean Techn Environ Policy*. 2022. URL: <https://doi.org/10.1007/s10098-022-02419-6>
3. Yanovska, A., Artyukhov, A., Vakal, S., Vacal V., Shkola V. Encapsulated organic–mineral fertilizers with nanoporous structure. *Applied Nanoscience*. 2022. Vol. 12. p. 1275-1283. URL: <https://doi.org/1007/s13204-021-01893-6>
4. Marrero, T. The impact of particle size on biochar porosity. *Wakefieldbiochar*. URL: <https://www.wakefieldbiochar.com/impact-of-particle-size-on-biochar-porosity/> (дата звернення: 09.03.2023)

МЕТОДИ ВИЗНАЧЕННЯ ВМІСТУ НІТРАТІВ У ПРОДУКТАХ ХАРЧУВАННЯ

*Вініченко А. І., студ. гр. ПХ-01; Пономарьова Л. М., доцент кафедри ТПХ,
СумДУ, м. Суми*

Іони нітратів і нітритів є найрозповсюдженішими у навколишньому світі. Також вони містяться і в продуктах харчування як частину природного циклу, яку ми споживаємо кожного дня. Науковці також виявили неабиякий інтерес до кількості нітратів в продуктах та в питній воді.

У лабораторій практиці є багато різноманітних методів визначення нітратів в продуктах. Але узагальнено методи визначення нітрит- та нітрат-іонів поділяють на декілька типів – це прямі та непрямі методи.

Розглядаючи непрямі методи визначення нітратів можна помітити те, що вони дороговартісні та потребують доволі великої кількості дорогих компонентів, а сама процедура складна та вимагає дуже багато часу для етапів вимірювання, також ці методи страждають від інтерференції інших іонів і ними не можна користуватись при визначенні маленької кількості нітрат-, нітрит-іонів. Прикладами непрямих методів є УФ-резонансна спектроскопія комбінаційного розсіювання, визначення за допомогою ванадій (III) хлориду та інші[1].

Щодо прямих методів, то ці методи більш бюджетні для виявлення нітрат-іонів в продуктах. Розберемо лише деякі з цих методів [2]:

- Потенціометричні із застосуванням іоноселективних електродів, які чутливі для визначення нітратів. Сам метод ґрунтується на вимірюванні електродних потенціалів. Схема самого вимірювання складається з індикаторного електрода, електрода порівняння та приладу, яким вимірюється значення потенціалу;
- Електрохімічні методи ґрунтуються на процесах, що протікають на електродах чи між електродом простору. А для визначення нітратів використовують вольтамперометрію. Сам метод заснований на вивченні поляризованих кривих, які отримуються під час електролізу аналізованого розчину при поступовому підвищенні напруги з фіксацією сили струму;
- Хроматографічні методи, а саме метод газової хроматографії, газорідинної та іонної хроматографії. Ґрунтуються на розділенні рідких або газоподібних сумішей і базується на різних сорбціях компонентів цих сумішей з рухомих фаз, що рухаються відносно сорбента;
- Фотометричні методи базуються на перетворенні нітратів у нітрити з наступним утворенням забарвлених розчинів. проводять на спеціальних приладах – спектрофотометрах. Для переведення розчину, який перевіряється на вміст нітратів у забарвлену сполуку. Найпоширенішим забавником є реактив Гріса;

Переваги і недоліки зазначених методів розглянуті в таблиці 1.

Таблиця 1 – Переваги та недоліки прямих методів виявлення нітратів[3]:

Метод виявлення	Переваги	Недоліки
Потенціометрія	- Бюджетний - Простий моніторинг	Помилка вимірів через перешкоди від інших забруднювачів
Електрохімічний	- Бюджетний - Простий - Висока чутливість та вибірковість	Передача кінетичного заряду на поверхні електроду низька, таким чином пряме скорочення нітратів характеризується погана чутливість
Хроматографія	- Короткий час відгуку - Чудова відтворюваність - Висока чутливість	Низка пропускна здатність зразків
Фотометричний	- Простота - Екстремність	Невисока селективність багатьох реакцій, потрібно попередньо відокремити компоненти, що зменшує точність.

Однак всі вище зазначені методи виконуються лише в лабораторних умовах, але не у кожної людини є можливість звернутись до спеціалізованої лабораторії для виявлення нітратів в продуктах харчування. Тому для цього були створені спеціальні прилади, для прикладу нітрат-тестери або індикаторний папір «Індам», які швидко визначають кількісний вміст нітрат-іонів у продуктах.

Перевагами таких тестерів є їх простота використання, невибагливість у використанні, автоматизованість та майже точний результат. Також ці тестери можна використовувати не лише на продуктах, а і для питної води.

Список літератури

1. Yunus M. A. M., Mukhopadhyay S. C. Novel planar electromagnetic sensors for detection of nitrates and contamination in natural water sources. IEEE sensors journal. 2011. Vol. 11, no. 6. P. 1440–1447. DOI: <https://doi.org/10.1109/jsen.2010.2091953>.

2. Стрижак С., Куленко О. Аналітичні методи визначення нітратів. Методика навчання природничих дисциплін у середній та вищій школі (XXVIII Каришинські читання) : матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., м. Полтава, 27–28 трав. 2021 р. / ред. М. В. Гриньової. Полтава : Астроя, 2021. С. 285–289. URL: <http://dspace.pnpu.edu.ua/handle/123456789/17770>

3. Techniques in advancing the capabilities of various nitrate detection methods: a review / A. Azmi et al. International journal on smart sensing and intelligent systems. 2017. Vol. 10, no. 2. P. 223–261. URL: <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-210>

СИНТЕЗ БІФАЗНИХ МАТЕРІАЛІВ НА ОСНОВІ ГІДРОКСИПАТИТУ ТА β -ТРИКАЛЬЦІЙФОСФАТУ

*Радченко О. І., студентка, гр. ПХ-01; Яновська Г. О., доц. каф. ТПХ,
СумДУ, м. Суми*

Кілька мільйонів пацієнтів щороку потребують пересадки та відновлення кісток, тому вкрай актуальною темою досліджень є розробка матеріалів для заміщення кісткових дефектів. Ортофосфати кальцію широко розповсюджені в природі та організмі людини, через це вони мають велику популярність у галузі тканинної інженерії [1]. Наразі найбільш широко вживаним матеріалом є гідроксиapatит (ГА) ($Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$), оскільки він є мінеральним компонентом кісткової тканини. Надзвичайно перспективним є його поєднання з β -трикальційфосфатом (β -ТКФ) ($\beta - Ca_3(PO_4)_2$), та створення сумішей різного складу, що називаються біфазними фосфатами кальцію [1].

β -ТКФ є остеокондуктивним матеріалом, що здатний до біорезорбції, розчинність якого близька до такої в мінералі кісткової тканини. Отже він є нерозчинним. Оскільки ГА та β -ТКФ мають різну розчинність, доцільним є їх поєднання при створенні біоматеріалів з різним ступенем біорезорбції та біосумісності [1]. Такі матеріали можуть бути використані як для контрольованого вивільнення лікарських засобів внаслідок різних хімічних властивостей та кристалічної структури, так і для заміщення кісткових дефектів. Показано, що біфазні фосфати кальцію, що складаються з ГА та β -ТКФ мають кращі адсорбційні та остеоіндуктивні властивості ніж однофазні матеріали [2].

Метою даної роботи був синтез окремих компонентів – ГА (у водному розчині зі співвідношенням компонентів $Ca/P=1,67$) та отримання аморфного трикальційфосфату з водних розчинів ($Ca/P=1,5$) з подальшим відпалюванням в муфельній печі при температурі $900^\circ C$ для перетворення в β -ТКФ. Одержані компоненти були досліджені методом рентгенівської дифракції. Сухі матеріали були змішані в різних співвідношеннях. Подальше дослідження фізико-хімічних особливостей та механічних властивостей одержаних композитних сумішей дозволить отримати матеріал, що буде мати оптимальні характеристики для успішного застосування в ортопедії та стоматології.

Список літератури

1. Bohner M., Santoni B. L. G., Döbelin N. β -tricalcium phosphate for bone substitution: Synthesis and properties. *Acta biomaterialia*. 2020. Т. 113. С. 23–41.
2. Zhao J., Zhao J., Qiana Yu et al. Solution combustion synthesis of calcium phosphate particles for controlled release of bovine serum albumin *Materials Science and Engineering C* 50 (2015) 194–200.

ПРЕСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ГІДРОКСИПАТИТУ ДЛЯ ВІДНОВЛЕННЯ ТА ВІДБІЛЮВАННЯ ЗУБНОЇ ЕМАЛІ

Зінчук А. Д., студент гр. І-22/ІПХ; Якименко Д. Р., студент гр. І-11/2ПХ;
Яновська Г. О., доц. каф. ТПХ, СумДУ, м. Суми

У наш час здорові білі зуби є показником здоров'я та доглянутості, але за наявності шкідливих звичок та несприятливих умов докільля досягти абсолютного здоров'я і білосніжності зубів доволі складно. Тому найкращий метод це профілактика захворювань.

Відомо, що індивідуальний природний колір зубів головним чином визначається дентином, проте на колір дентину впливають колір, прозорість, товщина і ступінь мінералізації емалі [1]. Зміна кольору зубів, викликана внутрішніми факторами, пов'язана з вадами розвитку або захворюваннями зубів, що вражають пульпу, і є відносно рідкісним явищем, тоді як зміна кольору, викликана зовнішніми факторами, часто спричинена барвниками, джерелами яких є продукти харчування та вплив навколишнього середовища, зокрема тютюн і його продукти [2].

Зубна емаль складається з неорганічних солей, з яких найпоширенішими є апатити $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH}/\text{Cl}/\text{F})_2$ які формують емалеві призми. Під дією кислого середовища та розвитку мікроорганізмів у зубному нальоті відбувається демінералізація емалі та виникнення карієсу, що полегшує пігментацію зубів та підвищення чутливості.

Синтезовані наночастинки гідроксиapatиту (ГА) $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6(\text{OH})_2$ мають властивості ремінералізації емалі, що покращує її якість та має позитивно впливати на колір зубів. Через свою достатню твердість гідроксиapatит може бути використаний як абразив при додаванні до зубних паст. Таким чином є перспектива в розробці лікувально-профілактичної зубної пасти з додаванням гідроксиapatиту як основної речовини.

В нашій роботі синтезовано наночастинки ГА та одержано експериментальну гелеву пасту на його основі, що має наступний склад: сода, хлорексидин, нанодисперсний ГА, природний формуючий гелевий компонент – натрію альгінат, ефірні олії лимона, м'яти або чайного дерева. Отримана зубна паста може бути використана для відбілювання та ремінералізації зубів.

Список літератури

1. Кирманов, О. С., А. В. Лемешко. Сучасні погляди на вибілювання зубів. *Український стоматологічний альманах. № 4 (2020) – С. 16-20.*
2. Zanetti F, Zhao X, Pan J, Peitsch MC, Hoeng J, Ren Y. Effects of cigarette smoke and tobacco heating aerosol on color stability of dental enamel, dentin, and composite resin restorations. *Quintessence Int. 50(2)(2019)156-166. doi: 10.3290/j.qi.a41601.*

**СЕКЦІЇ «ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ І ГІДРОПНЕВМОАГРЕГАТИ.
ПРИКЛАДНА ГІДРОАЕРОМЕХАНІКА»**

МЕТОД СУПЕРПОЗИЦІЇ СИЛ У ДОСЛІДЖЕННІ БЕЗПЕЧНИХ УМОВ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ЛІСОЗАГОТІВЕЛЬНИХ МАШИН ПІД ДІЄЮ АСИМЕТРИЧНИХ НАВАНТАЖЕНЬ

Луста Ю. Р. аспірант, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів

Під час роботи лісозаготівельні машин зазнають різні за природою зовнішні навантаження, які можна класифікувати за наступними видами:

- Сили від ваги елементів машини, їх дія є постійною.
- Асиметричні навантаження від робочих органів.
- Нестаціонарні навантаження від короткотривалого, як правило, імпульсного навантаження (наїзд на перешкоду, зіткнення робочого органу з стовбуром дерева та інші).

Дія наведених навантажень може призвести до сковзування на ухилі чи перекидання машини.

Навантаження виникають незалежно один від одного, тому доцільно використовувати метод суперпозиції для визначення меж безпечних умов експлуатації. Для розглянутого випадку зовнішні сили можна подати за допомогою суми сил від кожного виду окремо:

$$\sum F = \sum F_i^G + \sum F_i^A + \sum F_i^N, \quad (1)$$

де $\sum F_i^G$ – сума сил від ваги елементів машини (транспортне положення), $\sum F_i^A$ – сума сил від асиметричного навантаження, $\sum F_i^N$ – сума сил від нестаціонарної взаємодії.

Важливим завданням під час дослідження умов експлуатації є знаходження кута ухилу місцевості за якого відбувається перекидання. Перекидання виникає коли нормальна реакція одного з коліс є рівною нулю.

Для знаходження нормальної реакції необхідно знайти суму від дії усіх навантажень. Тому умова втрати стійкості для найменш навантаженого колеса має вигляд:

$$R_n = R_n^G + R_n^A + R_n^N = 0, \quad (2)$$

де R_n – сумарна реакція на колесі n , R_n^G – реакція від ваги елементів машини, R_n^A – реакція від асиметричного навантаження, R_n^N – реакція від нестаціонарної взаємодії.

Наведену методику застосовано для харвестера – тривісної машини зі стрілою маніпулятором (рисунок 1), що виконує роботу на ухилі під кутом α та повернутий відносно висхідної лінії y_1Oy_2 на кут β .

Припустимо що, у транспортному положенні центр ваги машини, знаходиться у такій точці, що всі нормальні реакції опорної поверхні – ґрунту є рівними між собою.

$$R_i^G = \frac{1}{6}(G_T + G_{M1} + G_{M2} + G_G), \quad (3)$$

де G_T – сила від ваги машини, $G_{M1, M2}$ – сила від ваги першої та другої ланки стріли маніпулятора G_G – сила від ваги головки маніпулятора.

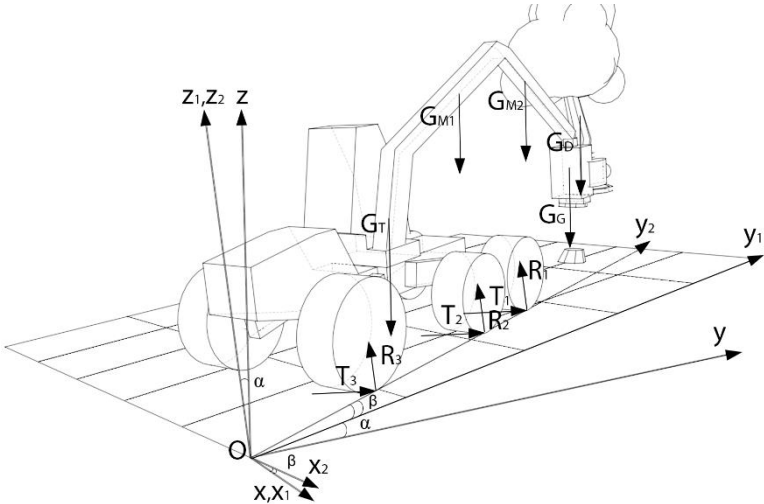


Рисунок 1 – Модель тривісного харвестера, що виконує заготівлю деревини на опорній поверхні під ухилом.

Для визначення впливу асиметричного навантаження на нормальні реакції використовується наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} R_1^A + R_2^A = \frac{2}{b} \cdot (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} + L_{M2}) \cdot \sin \gamma \cos \alpha, \\ -(R_3^A + R_4^A) \cdot a - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} + L_{M2}) \cdot \cos \gamma \cos \alpha = 0, \\ (R_1^A + R_2^A + R_3^A - R_4^A - R_6^A - R_5^A) \cdot \frac{2}{b} - (G_G + G_D) \cdot (L_{M1} + L_{M2}) \cdot \sin \gamma \cos \alpha = 0, \end{cases} \quad (4)$$

де γ – кут повороту стріли маніпулятора, b – ширина машини, a – база машини, $L_{M1,2}$ – довжина першої та другої ланки маніпулятора.

Для нестационарних навантажень будується система рівнянь по аналогії (4) для кожного конкретного випадку навантаження.

Список літератури

1. Мачуга О. Особливості проектування лісозаготівельної техніки для роботи на території з ухилом. Частина 2. Розв'язування практичних задач / Вісник «ХП» збірник наукових праць. Серія: математичне моделювання в техніці та технологіях. – Харків: НТУ «ХП» – 2014 р. – №18 (1061). С. 94-110.

ПРОГРАМНО-АПАРАТНИЙ ЛАБОРАТОРНИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТЕМПЕРАТУРИ І ВИТРАТИ РОБОЧОЇ РІДИНИ

*Литвин Ю. О., аспірант; Тарасенко Т. В., канд. техн. наук,
Національний авіаційний університет, м. Київ*

Дослідження характеру коливань тонкостінної оболонки під дією кавітаційного потоку рідини [1] на експериментальному стенді потребує реєстрації зміни параметрів процесу в реальному часі та пов'язано з використанням вимірювального обладнання. До вимірюваних параметрів належать: деформація стінки досліджуваного трубопроводу, перепад тиску на кавітаційній камері, коливання тиску всередині кавітаційної камери, витрата робочої рідини через кавітаційну камеру, перепад температури на кавітаційній камері, та ін., для чого використовуються, відповідно, такі вимірювальні прилади як тензометричний міст з зовнішнім диференціальним підсилювачем, манометри, датчик тиску, витратомір, термомпари з підсилювачами і компенсаторами.

Для реєстрації перепаду температури і витрати робочої рідини було розроблено спеціальний програмно-апаратний комплекс. Структурну схему даного комплексу наведено на Рисунку 1.

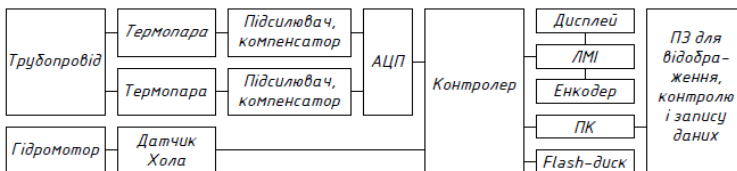


Рисунок 1 – Структура програмно-апаратного комплексу

Комплекс складається із механічного інтерфейсу (трубопровід, гідромотор), чутливих елементів (термомпари, датчик Хола), вимірювальних пристроїв (підсилювачі, компенсатори холодного спаю, аналого-цифровий перетворювач, контролер), людино-машинного інтерфейсу (дисплей, енкодер, інтерфейс програми для ПК) та засобів збереження даних.

Безпосереднє вимірювання температури виконується за допомогою термомпар типу К (ТХА, хромель-алюмель). Термо-ЕРС термомпар підсилюється і далі перетворюється в дискретне значення за допомогою АЦП. Двоканальний підсилювач сигналу термомпар виконано на поширеній мікросхемі LM324 за схемою інструментального підсилювача на двох операційних підсилювачах з однополюсним живленням. Компенсація – на програмованому стабілітроні TL431 і термісторі, з окремим лінійним регулюванням зміщення для кожного з двох каналів. Вимірювання витрати засновано на вимірюванні швидкості обертання вихідного валу об'ємного гідромотора з постійним робочим об'ємом. На валу встановлено магніти, проходження яких повз датчик Хола дає електричний імпульс, що реєструється лічильником імпульсів контролера.

Дані з АЦП і лічильника імпульсів обробляються контролером STM32F103C8T6 і відображаються у вигляді значень температур і витрати на дисплеї, записуються на флеш-диск, а також передаються на ПК через USB VCP для відображення у вигляді графіків і запису на жорсткий диск з допомогою ПЗ, розробленого в системі LabVIEW.

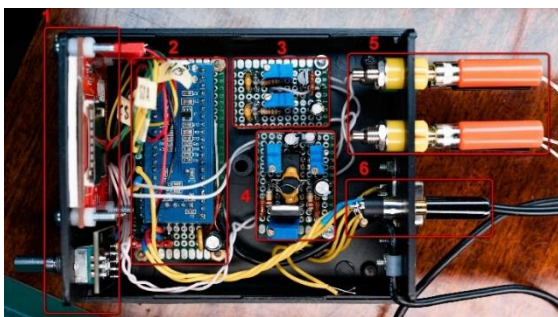


Рисунок 2 – Загальний вигляд апаратного комплексу: 1 – ЛМІ і слот флеш-пам'яті; 2 – мікроконтролер з вбудованим АЦП; 3 – блок компенсації холодного спаю; 4 – блок підсилювачів; 5 – роз'єми підключення термопар; 6 – роз'єм витратоміра

Використання ПК і його програмного забезпечення є не обов'язковим, апаратна частина зі своїм вбудованим ЛМІ може використовуватись як окремий самодостатній прилад.

ЛМІ зібрано на базі графічного дисплею ST7735, який використовується для відображення інформації і квадратурного енкодера з кнопкою для навігації по меню. Залежно від вибраної сторінки меню, на екрані можуть відображатись такі набори даних:

Сторінка 1:

- Опорна температура, градуси Цельсія;
- Температура першої термопари, градуси Цельсія;
- Температура першої термопари, градуси Цельсія;
- Витрата робочої рідини, літри за хвилину.

Сторінка 2:

- Опорна температура, градуси Цельсія;
- Температура першої термопари, відліки АЦП;
- Температура другої термопари, відліки АЦП;
- Витрата робочої рідини, імпульси за секунду.

Сторінка 3 дозволяє виконувати налаштування калібрувальних коефіцієнтів для першої термопари, другої термопари та витратоміра. Налаштування зберігаються у пам'яті контролера.

Розроблений програмно-апаратний комплекс буде застосовуватись у складі експериментального стенду для дослідження характеру коливань тонкостінної оболонки під дією кавітаційного потоку рідини. Його використання дозволяє частково автоматизувати виконання експериментів та виключити людський фактор при зчитуванні показань приладів і синхронізації вимірювання різних параметрів процесу. В подальшому комплекс може бути модифікований та доповнений іншими датчиками чи функціями для проведення інших експериментів.

Список літератури

1. Литвин Ю.О., Тарасенко Т.В. Дослідження коливань тонкостінних оболонок за допомогою чисельних методів. Промислова гідравліка і пневматика: матеріали XXII Міжнар. наук.-техн. конф., м. Київ, 17-18 листоп. 2021 р. АС ПГП. Вінниця: «Глобус-Прес», 2021. С. 75—78.

ОБЕРТОВА ХАРАКТЕРИСТИКА НИЗЬКООБЕРТОВИХ ВИСОКОМОМЕНТНИХ ГІДРОМОТОРІВ НА БАЗІ ЦИЛІНДРІВ

*Чмуж Я. В., к.т.н., докторант; Галицький О. О., аспірант;
Кебко О. В., зав. навч. лаб., кафедра МТСМ, УкрДУЗТ, м. Харків*

Низькообертові високомоментні гідромотори (НВГ) на базі циліндрів характеризуються високим крутним моментом при незначних обертах вихідного валу. Актуальність застосування НВГ на базі циліндрів полягає у підвищенні загального ККД механізму з незначним обертовим рухом робочого обладнання [1]. Визначення типів механізмів для їх удосконалення при застосуванні НВГ потребує визначення його обертової характеристики.

Основні елементи НВГ, гідроциліндри, рухом штоків яких, управляє система управління гідророзподільниками з електроуправлінням, що в цілому забезпечує обертовий рух вихідного вала та його реверсування. Детально розглянувши один оберт вихідного вала НВГ, слід зазначити, шток гідроциліндра виконує прямий та зворотний хід, для забезпечення яких, відповідний гідророзподільник виконує подвійну зміну режиму роботи.

Конструктивні особливості НВГ на базі циліндрів полягають у можливості застосування, при його створенні, стандартних елементів.

При застосуванні стандартних елементів у складі системи управління НВГ функціональні характеристики, а саме обертова, має наступні обмеження, швидкість переміщення штока гідроциліндра, перепускна здатність трубопроводів та швидкістю перемикання режимів роботи гідроциліндрів. Наведені особливості функціонування основних елементів гідромотора, дозволяють прийняти припущення що основний вплив на обертову характеристику мають гідророзподільники управління режимом роботи гідроциліндрів.

Обертову характеристику НВГ на базі циліндрів при застосуванні в його складі стандартних елементів можна визначити за параметром переуправління гідророзподільника. Цей параметр визначається виробником та вказується в паспортних даних.

Запропонований підхід по визначенню обертової характеристики НВГ на базі циліндрів базується на паспортних даних гідророзподільників та на основі її знання визначати коло механізмів для можливого їх удосконалення.

Список літератури

1. Ремарчук М. П. Створення гідромоторів на основі використання стандартних силових гідроциліндрів./М.П. Ремарчук, А.П. Холодов, Я.В. Чмуж, Т.Т. Байрамашвілі, // Науковий вісник будівництва. – Харків: ХДТУБА, 2010. – Вип. 57. – С. 430-434
2. Розподільник золотниковий з електричним управлінням тип WE6 серія 32 -
Режим доступу: <https://motorimpex.ua/ua/products/gidroraspredeliteli-we6>

АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ГІДРОАКУМУЛЯТОРУ ЗА ДОПОМОГОЮ МЕТОДУ ЕЛЕКТРОГІДРАВЛІЧНИХ АНАЛОГІЙ

Сисенко В. В., аспірант, каф. ПГМ; Панченко В. О., канд. техн. наук., доцент каф. ПГМ, Сумський державний університет, м. Суми

Для проведення аналізу роботи гідравлічних схем різного призначення, гідромашин та гідравлічного обладнання можуть бути застосовані різні методи, кожен з яких має свої переваги та недоліки.

Одним із таких методів є метод електрогідравлічних аналогій, принцип якого полягає у систематичному перенесенні теорії електричних схем у гідродинаміку. Це дозволяє прогнозувати результати дослідження гідравлічних систем, спираючись на відомі закони електротехніки. Крім того з'являється можливість замість складної та кошовної експериментальної гідравлічної системи створити її більш дешевий електротехнічний аналог та провести, прийнявши до уваги усі припущення та спрощення, дослідження робочого процесу із подальшим перенесенням отриманих електротехнічних параметрів у їхні гідравлічні аналоги.

Таким чином досліджувану гідравлічну схему можна подати у вигляді електричного ланцюга, замінивши гідродинамічні компоненти (насоси, засувки, резервуари тощо) на відповідні їм електричні аналоги (джерела струму, резистори тощо). Відповідним чином відбувається заміна гідродинамічних параметрів (витрата, тиск тощо) на електричні (напруга, струм і тощо). Даний метод є прийнятним як для розрахунку стаціонарних, так і для розрахунку перехідних процесів.

При цьому слід зазначити, що все вищесказане абсолютно коректне тільки для рідин, що є нестисливими. У випадку застосування стисливої рідини з'являється похибка, обумовлена даною стисливістю. Одним з елементів гідравлічної системи, який забезпечує її надійну і безперебійну роботу та постійність (або ж плавну зміну) гідродинамічних параметрів, є гідроакумулятор. Широко поширеними є гідроакумулятори об'ємного типу (мембранний, поршневий, газовий тощо), які відповідно до методу електрогідравлічних аналогій можна порівняти із конденсатором, головною характеристикою якого є ємність C . Існує значна кількість відомих та добре досліджених конструктивних рішень гідроакумуляторів цього типу.

Динамічні (роторні) гідроакумулятори, які мають у своєму складі рухому гідродинамічну решітку, з'єднану із маховиком, є малодослідженими. Наразі можемо говорити про те, що відповідний їм елемент у електротехнічній схемі – це котушка, головною характеристикою якої є індуктивність L . Отже можна стверджувати, що дослідження гідравлічної схеми, яка містить зокрема об'ємні та динамічні (роторні) гідроакумулятори, можна провести за аналогічною їй електротехнічною схемою, що містить відповідно конденсатори та котушки.

ОЦІНКА ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПАРАМЕТРИЧНОГО РЯДУ НАСОСІВ СВН

*Панченко В. О., к.т.н. доцент; Петренко С. С., аспірант;
Кондусь В. Ю., к.т.н., ст. викл. кафедри прикладної гідроаеромеханіки;
Івченко О. В., к.т.н., доцент кафедри технології машинобудування,
верстатів та інструментів, СумДУ, м. Суми*

Вільновихрові насоси (СВН) набули широкого вжитку завдяки надійності та довговічності в роботі. Вони прості і зручні в експлуатації. Також показали свою економічну ефективність порівняно з іншими насосами вихрового принципу дії. СВН доволі успішно використовують у багатьох сферах, зокрема в комунальному господарстві для перекачування фекальних рідин, ґрунтової та стічної води, каналізаційного мулу. Можна також використовувати їх для транспортування піску, ґрунту, гравію та інших абразивних речовин [1].

У практиці вітчизняного насособудування під час проектування насосів набув поширення коефіцієнт швидкохідності n_s , що характеризує коефіцієнт корисної дії (ККД) насоса, форму його проточної частини, а також співвідношення її геометричних розмірів [1]. Відомо, що оптимальна робота СВН типу «Туго» обмежена вузьким інтервалом коефіцієнтів швидкохідності (таблиця 1) [2]. Найбільш висока економічність досягається в межах $n_s = 80$ – 120 , в якій значення ККД вітчизняних насосів становить 50 – 52% . Практично такі насоси працюють в межах $n_s = 50$ – 80 , для яких фактично ККД можна досягти в межах 28 – 38% [3].

Таблиця 1 – Параметричний ряд показників насосів типу СВН

№	Модель насоса	Q, м ³ /год	H, м	Потужність двигуна, кВт	n, об/хв	n_s	ККД, %
1	СВН 20/10	20	10	2,2	1500	73	46
2	СВН 25/20	25	20	4	1500	48	39
4	СВН 40/40	40	40	15	1500	36	33
5	СВН 50/20	50	20	7,5	1500	68	45
6	СВН 50/32	50	32	18,5	1500	48	39
7	СВН 80/32	80	32	22	1500	61	44
3	СВН125/50	125	50	45	1500	54	42
8	СВН 200/50	200	50	75	1500	67	45

Незважаючи на багаторазові дослідження, досі не вирішено питання підвищення енергоефективності низьконапірних і низьковитратних ступенів вільновихрових насосів ($n_s = 40$). Поки це питання не вирішено, все ще зростає попит на такі ступені з коефіцієнтами швидкохідності 30–40 і навіть 20. Наразі вже відомі кілька новаторських підходів вирішення цієї проблеми. До них відносяться ідеї створення ступеня з комбінованим робочим процесом (насамперед відцентрово-вихровим), використання нетрадиційних лопатевих грат (багатоярусних, зі змінною товщиною, зі збільшеними кутами виходу тощо) [4, 5]. Проте перелічені методи не повною мірою вирішують завдання підвищення енергоефективності ступеня низької швидкохідності через недостатність досліджень та експериментальних даних. Це все ще змушує продовжувати дослідження у цій галузі. Тому було запропоновано дослідити вплив частоти обертання ротора двигуна з 1450 об/хв до 2950 об/хв (враховуючи проковзування ротора відносно статора двигуна) на показники енергоефективності СВН.

При цьому підвищення частоти обертання валу насоса з 1450 об/хв до 2950 об/хв дасть змогу збільшити коефіцієнт швидкохідності $n_s = 70$ –90, що характеризується ККД близько 45–52%. Це потрібно зробити для того, щоб вирішити питання енергоефективності насосів СВН, зменшити їх габаритні розміри та розширити типорозмірний ряд цих насосів.

Список літератури

- 1 Герман В. Ф. Свободновихревые насосы: учеб. пособие / В. Ф. Герман, И. А. Ковалев, А. И. Котенко; под общ. ред. А. Г. Гусака; 2-е изд., перераб. и доп. – Сумы: Сумской государственной университет, 2013. – 159 с.
2. SVN series torque flow [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://nempump.com/en/centrifugal-pumps/horizontal/svn-series-torque-flow/>
3. Kondus V. Y. Improving the torque flow pumps product line / V. Y. Kondus, A. I. Kotenko, S. M. Yakhnenko // *Nauka i Studia*. – 2017. – № 11 (172). – P. 57-70.
4. Improving the efficiency of the operating process of high specific speed torque-flow pumps by upgrading the flowing part design / [V. Kondus, R. Puzik, V. German et al]. // *J. Physics: Conference Series*. – 2021. – №1741. – С. 012023. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1741/1/012023>
5. Kondus V. Y. A method of designing of torque-flow pump impeller with curvilinear blade profile / V. Y. Kondus, P. M. Kalinichenko, O. G. Gusak // *Eastern European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – № 3/8 (93). – P. 29-35. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131159>

НЕДОЛІКИ ЗБІЛЬШЕННЯ ЛОПАТЕВОГО ДИСКУ В КОНТРРОТОРНИХ СТУПЕНЯХ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ НАПІРНОСТІ

*Куліков О. А., аспірант, гр. А-05/МБ; Ратушній О. В., к.т.н., доц.,
ст. викладач каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми*

На створення напору робочого колеса впливають багато параметрів. Одні з яких це кількість лопатів, їх профіль, кути атаки лопаті β_1 та кут виходу лопаті β_2 . Але основними параметрами є зовнішній діаметр та частота обертання. Цими параметрами можна оперувати між собою. Потрібний нам напір можна отримати кількома різними робочими колесами. Наприклад: одне робоче колесо може мати малий зовнішній діаметр робочого колеса D_2 , але велику частоту обертання n . Друге робоче колесо може мати малу частоту обертання n , але великий зовнішній діаметр робочого колеса D_2 .

Чим більше зовнішній діаметр робочого колеса D_2 та частота обертання n одночасно, тим більше створюваний напір, і навпаки.

Щодо контрроторної ступені, то її напір також можна збільшувати збільшуючи діаметр лопатевого диску D_4 . Збільшуючи цей діаметр ми збільшуємо час взаємодії лопатевого диску з рідиною, тим самим рідина отримує більше енергії. Але збільшення D_4 в лопатевому диску має свої недоліки.

Проточна частина робочого колеса та лопатевого диску будуються за допомогою меридіонального перерізу для отримання рівношвидкісного потоку, що безпосередньо впливає із його визначення. Потік будується послідовним наближенням у заданому меридіанному перерізі. Поверхні дисків робочого колеса приймаються крайні лінії струму. Проміжні лінії струму проводять таким чином, щоб вони ділили меридіанний переріз робочого колеса на ділянки, якими протікали б однакову витрату рідини. Щоб отримати плавну зміну меридіанної складової швидкості від входу робоче колесо до виходу. Для цього зазвичай задаються графіком зміни меридіанної складової швидкості або графіком зміни площ вздовж середньої лінії перетину меридіанного [1-3].

Обриси меридіанного перерізу знаходять методом послідовних наближень, орієнтуючись на існуючі робочі колеса подібних n_s , що показали високі гідравлічні якості. Якісно побудований меридіональний переріз не перешкоджає проходженню рідини через РК за рахунок чого не створюється стиснення потоку або його розриву, забезпечується відсутність вихорів в РК, що в свою чергу може вплинути на зниження ККД під час роботи.

Тобто, в проточній частині площа прохідного перерізу (меридіонального перерізу) повинна бути однаковою на всіх його ділянках. Тобто добуток діаметра вписаного кола на його радіус розташування повинен бути однаковим в будь якій точці прохідного перерізу. Невиконання цієї умови буде створювати стиснення потоку або його вихроутворення, що в свою чергу вплине на ККД.

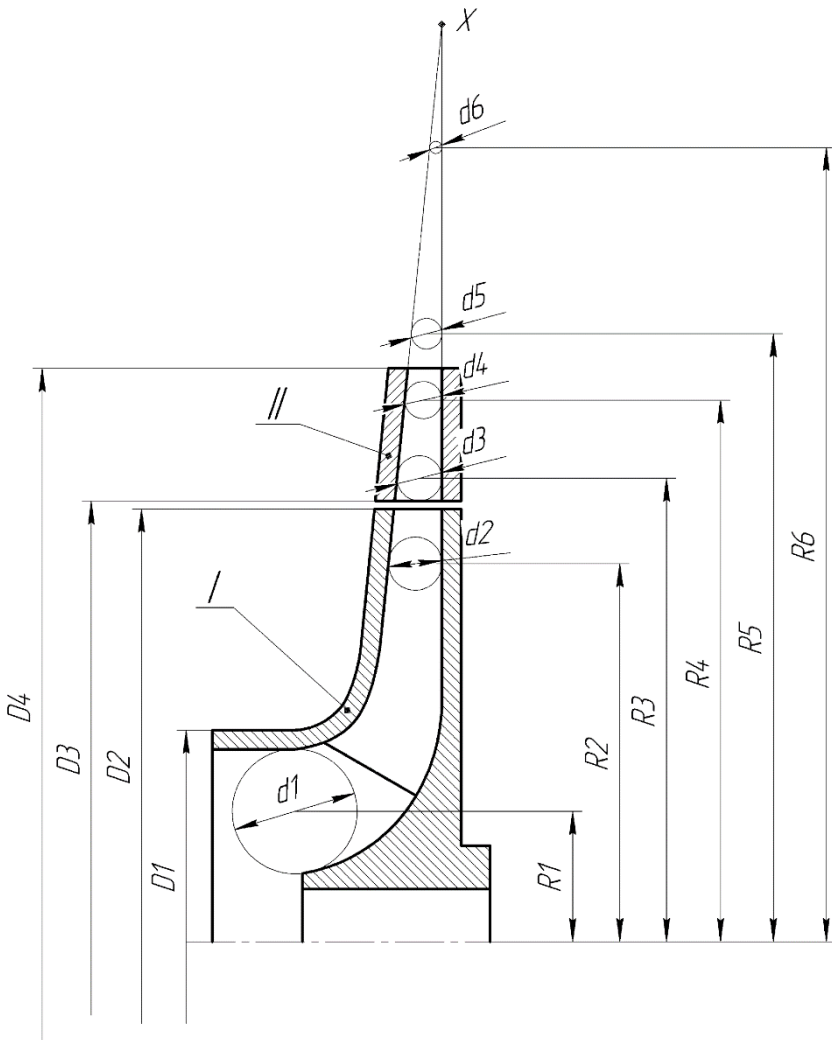


Рисунок 1 – Меридіональний переріз контротонного диску.

Виходячи з вищенаведеного, при проектуванні меридіонального перерізу ми повинні не відхилятися від наступної умови:

$$S = d_1 \cdot R_1 = d_2 \cdot R_2 = d_3 \cdot R_3 = d_4 \cdot R_4 = d_5 \cdot R_5 = d_6 \cdot R_6 = const \quad (1)$$

де d_n, R_n – діаметр вписаного кола та радіус його розташування відповідно.

Звідси випливає, що при збільшенні радіуса розташування кола в меридіональному перерізі – його діаметр зменшується. В результаті чого ми отримуємо точку X. При наближенні до цієї точки діаметр кола, яке обрисовує меридіональний переріз буде постійно зменшуватись поки не стане безкінечно малим. Точка X - це точка, де перехрещуються наші уявні подовжені лінії від основного та покривного диску. Вписане коло в меридіональний переріз, або відстань між цими лініями безпосередньо визначає ширину виходу b_2 лопатевого диску. В результаті чого вихід b_2 може бути дуже малим. При великому діаметрі лопатевого диску D_4 , b_2 може дорівнювати 0.5мм, чи навіть менше.

Мала ширина виходу з лопаткового диску впливає на складність або навіть неможливість його виготовлення та обробки. Також під час роботи лопатевого диску на периферії виникатимуть великі відцентрові сили, що можуть бути значно більшими ніж міцність матеріалу з якого виготовлене робоче колесо. Відцентрові сили в свою чергу залежать від маси та частоти обертання, і чим вони будуть більшими, тим більше будуть ці сили.

Відцентрові сили завжди прагнуть змістити тіла від осі обертання до периферії і зростають зі збільшенням кутової швидкості і відстані від зазначеної осі. З цієї причини масивні, швидко обертові частини машин (ротори турбін, лопаті гвинтів вертольотів, літаків, кораблів і т.д.) припадає робити дуже міцними. Якщо відцентрові сили перевищать межу міцності таких деталей, то можуть розірвати їх на частини.

Визначається відцентрова сила за наступною формулою:

$$F_{\text{від}} = m\omega^2 R \quad (2)$$

де m – маса тіла

ω – частота обертання

R – радіус розташування

Виходячи з формули (2) можемо сказати, що збільшення частоти обертання лопатевого диску геометрично впливає на збільшення відцентрової сили.

Список літератури

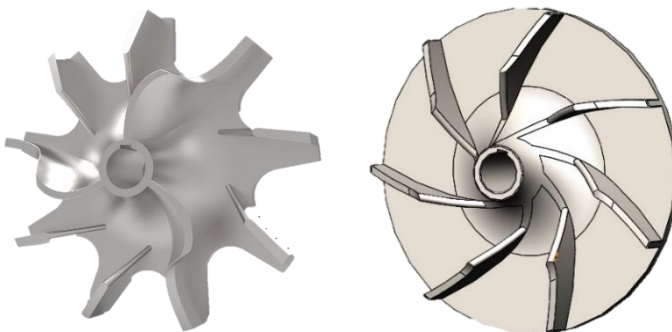
1. Расчет и конструирование центробежных насосов / Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е., 2009. – 220 с.
2. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. - Л.: Машиностроение, 1966.-364 с.
3. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Конструкции и расчет центробежных насосов высокого давления. - М.: Машиностроение, 1971.-303с.
4. Кондусь В.Ю. Лопатеві насоси: навчальний посібник / В. Ю. Кондусь, О. І. Котенко. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 294 с.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ФОРМИ ЛОПАТЕВОЇ СИСТЕМИ ВІДКРИТОГО РОБОЧОГО КОЛЕСА ВІДЦЕНТРОВОГО КОНСОЛЬНОГО НАСОСУ НА НАПІРНУ ТА ЕНЕРГЕТИЧНУ ХАРАКТЕРИСТИКУ

Ворожка А. С., аспірант; Тягло О. В., аспірант; Лобуренко М. В., м.н.с.; Овчаренко М. С., к.т.н., с.н.с.; Папченко А. А., к.т.н., п.н.с., каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

При підборі насосу для певних умов роботи одним із ключових питань є вибір найбільш оптимальної конструктивної схеми. Найбільшої актуальності зазначене питання набуває при перекачуванні складних робочих середовищ, які мають значну в'язкість, містять певну кількість газових або твердих домішок. Для реалізації технологічних процесів у цукровій промисловості найбільшого розповсюдження набули відцентрові консольні одноступеневі насоси з відкритими робочими колесами. Найбільш розповсюджені насоси таких брендів, як Sulzer, KSB, Andritz, Prime Pump. Використання відкритих робочих коліс обумовлено тим, що перекачуванні середовища мають підвищену в'язкість та температуру та схильність та кристалізації (сік, сироп, клеровка, патока, суспензія). Використання закритого робочого колеса призводить до періодичного відказу насосу. Але використання відкритого робочого колеса супроводжується зменшенням ККД насосу з 80-85% до 55-65%.

Методика розрахунку та профілювання відкритих робочих коліс недостатньо вивчена, а конструктивне виконання має декілька варіантів. Деякі насособудівні підприємства використовують відкриті відцентрові колеса з просторовою профільованою лопатевою системою, а в деяких насосах використовуються робочі колеса з лопатевою системою Іванова-Доброхотова (лопатець і вигляді плоскої пластини з кутом нахилу 75°) [1]. Конструктивні схеми зазначених робочих коліс наведені на рис.1.



а

б

Рисунок 1 – Досліджувані робочі колеса

Дослідження здійснювалося методами фізичного моделювання. Для цього було виготовлено дослідний стенд. Якості насосу для дослідження було обрано відцентровий консольний насос Prime Pump LFI 200-80-400, з наступними параметрами: напір 60 м, номінальна подача 150 м³/год, частота обертання 1470 об/хв. Випробування виконувалися на технічно чистій воді.

На рис. 2 наведено протоколи випробувань насосу з різними типами робочих коліс. Індексом 1 позначені характеристики для насосу з робочим колесом Іванова-Доброхотова, а індексом 2 – з робочим колесом з профільованою просторовою лопатевою системою.

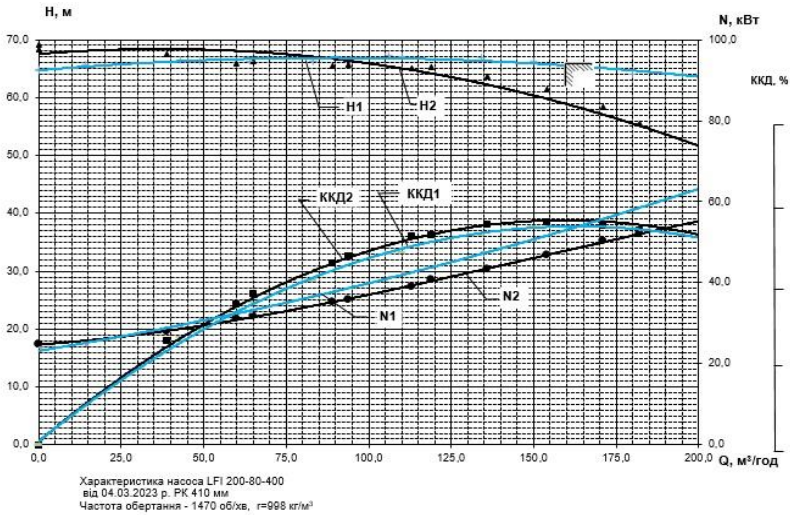


Рисунок 2 – Порівняння енергетичних характеристик насоса з різними РК

Слід відзначити, що насос з робочим колесом з лопатевою системою Іванова-Доброхотова має в робочому діапазоні майже пряму напірну характеристику (зміна напору в діапазоні витрат 0-200 м³/год. відбувається не більше ніж 3 м). Максимальне значення ККД насосу складає 58,4%.

В насосі з профільованою лопатевою системою напірна характеристика має спадаючий характер більш характерний для закритих робочих коліс. При цьому досягається дещо вищий рівень ККД насосу (59,5%)

Список літератури

1. Михайлов А. К. Лопастные насосы. Теория, расчет и конструирование: учеб. пос. / А. К. Михайлов, В. В. Малюшенко. - М. : Машиностроение, 1977. - 288 с.

ОСЬОВА СИЛА В КОНТРРОТОРНОМУ СТУПЕНІ

Куліков О. А., аспірант, гр. А-05/МБ; Ратушній О. В., к.т.н., доц.,
ст. викладач каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

При роботі відцентрового насоса на його ротор діє складна система сил, серед яких найбільшою є осьова сила, що виникає внаслідок порушення симетрії робочих коліс щодо площини перпендикулярної осі ротора насоса [1]. У практиці насособудування для обчислення осьової сили широко використовується спрощена методика, запропонована А.А.Ломакінім [2], де рідина обертається в обох пазухах як тверде тіло з кутовою швидкістю $\omega_{ж}$, що дорівнює половині кутової швидкості обертання робочого колеса ω , та розподіл тиску по радіусам дисків описується параболічним законом, а осьова сила спрямована у бік всмоктування, визначається за формулою (1).

$$T_1 = \pi \rho g (r_{y1}^2 - r_{y2}^2) \left[H_P - \frac{U_2^2}{8g} \left(1 - \frac{r_{y1}^2 + r_{y2}^2}{2r_2^2} \right) \right] \quad (1)$$

При цьому ми маємо тільки одне робоче колесо, та дві поверхні на які діє тиск. Зазвичай все осьове зусилля сприймається підшипниками, але якщо воно завелике, то є такі способи її врівноваження:

- 1) застосування симетричних ущільнень у робочому колесі;
- 2) застосування радіальних імпелерів на провідному диску робочого колеса;
- 3) застосування робочого колеса двостороннього входу [2,3].

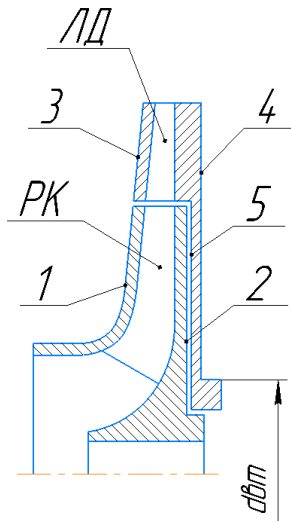


Рисунок 1 – Контрроторна ступінь

Нажаль формули для розрахунку осьової сили контрроторного ступеню не існує, так як це нова система передачі енергії рідині.

Контрроторна ступінь складається з двох робочих елементів (рис.1). Першим являється робоче колесо (РК), а другим – лопатевий диск (ЛД). Слід зазначити, що тиск, який створює лопатевий диск втричі більший за тиск робочого колеса. Якщо подивитися на рисунок 1 і уявити роботу ступені, то ми можемо однозначно сказати, що на поверхні 2 та 5 діє тиск від робочого колеса і вони врівноважують одну одну. На поверхню 4 діє тиск від лопатевого диску, який може частково врівноважитись поверхнями 3 та 1 на які діє той самий тиск.

Для остаточного врівноваження сил ми можемо оперувати діаметром втулки (dвт). Збільшуючи діаметр втулки ми зменшуємо площу поверхні 4, тим самим зменшуємо силу на цю поверхню. Зменшуючи діаметр втулки ми збільшуємо площу в результаті чого сила діюча на поверхню збільшується.

Але при запуску насоса є вірогідність того, що в перші секунди роботи на поверхню 1 буде діяти тиск від робочого колеса, яке призводить до того, що наша система знаходиться в дисбалансі. Для її врівноваження запропоновані вище методи нам не підходять через додаткову складність системи й зменшення ККД.

В одноступінчастих насосах різного призначення останнім часом все ширше застосовується економічне автоматичне врівноваження осьової сили за допомогою змінних дроселів, провідність (отже осьове зусилля) яких змінюється при осьових зміщеннях ротора. Конструкція у разі ускладнюється, але забезпечується ефективно і надійне врівноважування на всіх режимах роботи насоса.

При використанні дроселів тиск при всіх режимах роботи насоса буде врівноважено. Завдяки цьому буде відсутня осьова сила, і змінювати діаметр втулки чи оперувати іншими методами для врівноваження осьової сили не потрібно. Звичайно, що при використанні такої системи ми будемо збільшувати об'ємний ККД насоса. Серед всіх методів врівноваження осьової сили цей метод являється самим найменш енергозатратним та діючим.

Список літератури

1. Расчет и конструирование центробежных насосов / Ржебаева Н.К., Ржебаев Э.Е., 2009. – 220 с.
2. Ломакин А.А. Центробежные и осевые насосы. - Л.: Машиностроение, 1966.-364 с.
3. Кондусь В.Ю. Лопатеві насоси: навчальний посібник / В. Ю. Кондусь, О. І. Котенко. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 294 с.

ЗАСТОСУВАННЯ СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ КОЛІС ВІДЦЕТРОВОГО НАСОСА, СТВОРЕНИХ МЕТОДОМ 3D ДРУКУ

*Ратушний О. В., к.т.н. доцент; Безмертний О.С., аспірант,
кафедра прикладної гідроаеромеханіки, СумДУ, м. Суми*

Експериментальні дослідження являються одним із самих важливих етапів в проектуванні насосного обладнання. Для цього доцільно використовувати технологію 3D друку для створення прототипів робочих коліс.

Для перевірки робочих коліс створених такою технологією пропонується розробити стенд який буде перевіряти знос робочих коліс за рахунок застосування абразиву в робочу рідину. Стенд являє собою циліндричну ємність з робочою рідиною в яку занурене робоче колесо (рис. 1).

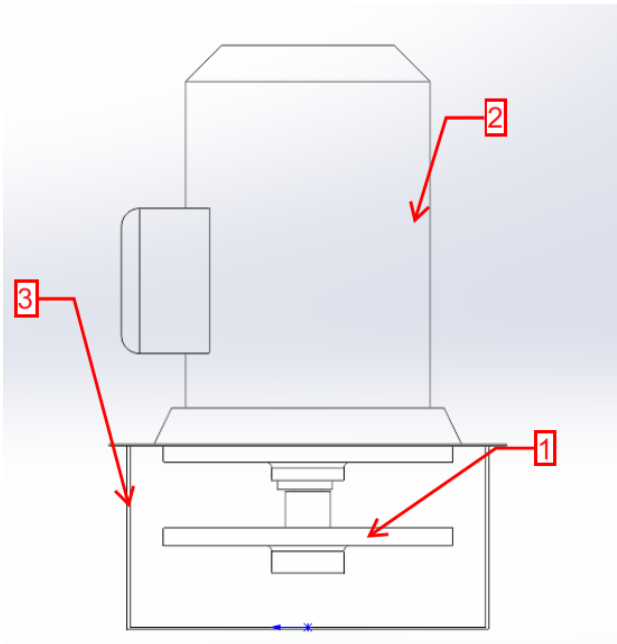


Рисунок 1 – Схема випробувального стенду для прототипів робочих коліс
1) робоче колесо; 2) електродвигун; 3) ємність з абразивною робочою рідиною.

За основу взято відцентровий насос фірми Pedrollo. А саме його робоче колесо (рис. 2).



Рисунок 2 – Робоче колесо відцентрового насоса Pedrollo

Прототипи робочих коліс будуть відрізнятися за наступними ознаками:

- Виготовлено суцільним чи с двох частин;
- Друк горизонтально чи вертикально;
- З хімічною обробкою пластику та без неї;

Робочі колеса будуть виготовлені як суцільними, так і з покривним диском який буде друкуватись окремо. Всі прототипи будуть виготовлені з CoPET [1].

Позиціонування робочого колеса відносно столу 3D принтера буде відбуватися як горизонтально, так і вертикально. Робоче поле принтера становить 300x300x 400 мм.

Друк прототипів відбуватиметься соплом 0.4 мм. Після друку прототип буде оброблюватися розчином дихлоретану, який дозволить зменшити шорсткість та заклеїти між собою шари пластику. Такий метод може підвищити міцність.

Тест робочих коліс буде проводитись протягом однієї години, або до того моменту поки колесо не буде зруйновано.

Результати цього дослідження дозволять підібрати самий оптимальний процес виготовлення прототипів робочих коліс.

Список літератури

1. «Наука і техніка сьогодні», випуск №8(8) / О. С. Безсмертний. – Київ, 2022. – 39 с.

ПЕРСПЕКТИВИ ОНОВЛЕННЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО РЯДУ ВІЛЬНОВИХРОВИХ НАСОСІВ

Андрусяк В. О., аспірант; Кондусь В. Ю., к.т.н., ст. викладач кафедри прикладної гідроаеромеханіки; Івченко О. В., к.т.н., доцент кафедри технології машинобудування, верстатів та інструментів, СумДУ, м. Суми

Вільновихрові насоси (СВН) використовують в різних галузях промисловості для перекачування рідин з твердими включеннями, та різних суспензій. Основні переваги цих насосів це надійність та довговічність, які досягаються конструктивними особливостями та специфікою робочого процесу. Основним недоліком є низька енергоефективність[1].

Основним показником енергоефективності для насосів СВН, як і для багатьох інших машин, є коефіцієнт корисної дії η , він залежить від багатьох факторів, і приблизно визначається ще на ранньому етапі проектування[1].

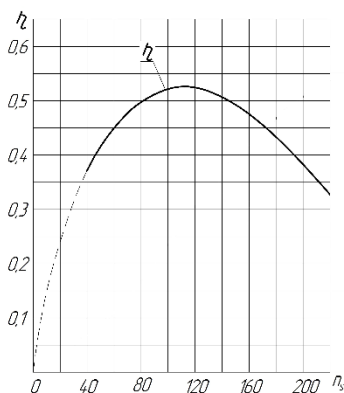


Рисунок 1 – Графік залежності К.К.Д. від n_s для насоса СВН

Найбільш енергоефективні насоси можуть бути спрєктовані в діапазоні з n_s від 80 до 140, коефіцієнт корисної дії цих насосі може буде 50-53% (рис.1) [1].

Найбільша проблема вітчизняних насосів СВН, в порівнянні з зарубіжними аналогами, є низький n_s і відповідно низька енергоефективність.

Для порівняння розглянемо вітчизняний насос СВН 25-32 та зарубіжний Sewates F 080-215 компанії KSB, результати порівняння занесені до таблиці 1. СВН 25-32 в робочій точці ($Q = 25 \text{ м}^3/\text{год}$; $H = 32 \text{ м}$) має жахливу енергоефективність, n_s та η низькі, а споживана потужність N є доволі значною. В свою чергу Sewates F 080-215 створює напір менший на 6 % за напір СВН 25-32, при подачі в 2,3 рази більше, і майже в два рази енергоефективніший, а різниця споживаної потужності становить лише 14%.

Якщо замінити СВН 25-32 на Sewatec F 080-215 то він, теоретично, забезпечить робочі параметри першого, при підрізці робочого колеса, але працюватиме на режимах недовантаження, і все одно буде енергоефективнішим за СВН 25-32.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця насосів

	СВН 25-32	Sewatec F 080-215	Sewatec F 080-215 (25/32)
Q, [м ³ /год]	25	58	25
H, [м]	32	30	32
n, [об/хв]	1500	2900	2900
η, [%]	28	50,1	39
N, [кВт]	8,2	9,5	5,5
n _s	34	105	105
Сп. енерг., [тис. грн]	177	205	119

В таблиці 1 також вказані затрати на споживання електроенергії за рік експлуатації. Розрахунок проводився приблизно, для вказаних значень споживаної потужності, вартість 1 кВт/год приймалась 6 грн, експлуатація приймалась 10 год за добу.

Порівняльна таблиця гарно ілюструють перспективи оновлення параметричного ряду вільновихрових насосів. Перші кроки на шляху оновлення, це на ранніх етапах проектування необхідно обирати таку сукупність робочих параметрів щоб $n_s > 50$, в такому випадку значною мірою підвищується енергоефективність. На прикладі того ж СВН 25-32, якщо підвищити частоту обертання вала насоса до 3000 об/хв, n_s буде 68, а коефіцієнт корисної дії η буде в межах 47%, спостерігається покращення енергоефективності в 1,7 рази.

Список літератури

1. Герман, В. Ф. Свободновихревые насосы [Текст]: учеб. пособие / В. Ф. Герман, И. А. Ковалев, А. И. Котенко; под общ. ред. А. Г. Гусака; 2-е изд., перераб. и доп. – Сумы: Сумской государственной университет, 2013. – 159 с.
2. Кондусь В.Ю. Лопатеві насоси: навчальний посібник / В. Ю. Кондусь, О. І. Котенко. – Суми: Сумський державний університет, 2021. – 294 с.
3. Kondus V.Y. Investigation of the impact of the geometric dimensions of the impeller on the torque flow pump characteristics / V.Y. Kondus, A.I. Kotenko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2017. – № 1/4 (88). – P. 25–31.. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.107112>

ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ З ВИКОРИСТАННЯМ ПРИСТРОЇВ ВІДСТЕЖЕННЯ РУХУ СОНЦЯ

*Лошкар'ов С. М., студент гр. ЕМ.м-22;
Сотник М. І., зав. каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми*

Ефективність функціонування сонячних електростанцій залежить у першу чергу від конструктивних особливостей сонячних панелей, матеріалів комірок, які генерують електроенергію та інших факторів (рис. 1). Підвищення ефективності сонячних панелей може досягатися: збільшенням їх номінального ККД за рахунок застосування більш технологічних матеріалів; відслідковуванням кута розташування площини панелей відносно руху Сонця або концентрацією сонячного світла на панелях.



Рисунок 1 – Сонячна електростанція

Залежність потужності сонячних електростанцій від номінального ККД сонячних панелей очевидна. У той же час достатній вплив на потужність, має і кут відхилення сонячних променів від нормалі сонячних панелей. Встановлення сонячних панелей під певним кутом (на дахах будівель або підтримуючих конструкціях) та залежним від широти і сезону підвищує

ефективність вироблення електроенергії, не потребує постійного обслуговування та додаткових витрат енергії для функціонування установки.

Наразі відомо про результати досліджень щодо шляхів підвищення енергоефективності сонячних панелей з застосуванням системи спрямовуючих дзеркал, плоских лінз Френеля, сферичних концентраторів та трекерів.

Один із відомих методів - це сонячний трекер, який дозволяє змінити кут падіння сонячних променів на установку за рахунок її повороту навколо однієї або кількох осей обертання. Трекер (від англ. track) означає «пристрій стеження». Цей метод забезпечує практично прямий кут падіння сонячних променів на установку, що значно підвищує енергоефективність сонячних панелей.

Встановлено, що найбільш оптимальним способом підвищення енергоефективності сонячних панелей та економічно виправданим є застосування недорогих трекерів простої конструкції.

Здійснено аналіз відомих типів сонячних панелей, які відрізняються за матеріалами, з яких виготовлено їх елементи, та коефіцієнтом корисної дії – відношенням обсягу енергії, виробленої фотоелементом, до інтенсивності сонячного випромінювання на одиницю площі його поверхні, та підібрано тип сонячних панелей за критерієм «ціна-якість».

За результатами аналізу літературних джерел запропоновано конструкцію трекера для відстежування кута нахилу сонячних панелей з метою підвищення їх енергоефективності; розраховано можливі обсяги генерації електричної енергії запропонованою сонячною електростанцією за допомогою онлайн-калькулятора. Спрогнозовано зменшення втрат при генеруванні електроенергії даною електростанцією при використанні трекера порівняно з фіксованою системою кріплень при однаковій кількості сонячних панелей.

З метою здешевлення трекера пропонується під час встановлення відразу орієнтувати його на південь, а кути нахилу змінювати двічі на рік (на початку квітня та наприкінці серпня).

Енергоефективність електричної станції розраховано в два етапи: на першому етапі – обсяг генерації електроенергії від сонячних панелей за рік при регулюванні лише кута нахилу панелей орієнтацією на південь; на другому етапі – із врахуванням підвищення енергоефективності сонячної електростанції при застосуванні трекерної системи. Розрахована генерація електроенергії запропонованої сонячної електростанції з трекером підтвердила ефективність та доцільність використання спроектованої трекерної системи. Застосування спроектованої трекерної системи дає змогу підвищити енергоефективність сонячних панелей у середньому на 25 %.

ГІБРИДНА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ ДЛЯ ПОТРЕБ НАВЧАЛЬНОГО ЗАКЛАДУ В УМОВАХ ВОЄННОГО СТАНУ

Єгоров Є. В., студ. гр. ІМ-21; Сотник М. І., зав. каф. ПГМ, СумДУ, м. Суми

В умовах російської агресії в Україні набуває важливого значення децентралізація джерел електропостачання. Численні ракетні атаки об'єктів енергетичної інфраструктури України з боку РФ призвели до суттєвого руйнування багатьох електричних потужностей генерації та розподільних мереж. Відновлення енергетичної інфраструктури країни, на нашу думку, має здійснюватися із застосуванням інноваційних та екологічно-чистих технологій. Враховуючи темпи передвоєнного розвитку вітчизняної сонячної та вітрової енергетики доцільно продовжувати відновлення пошкоджених і нарощування нових енергопотужностей цього сектору.



Рисунок 1 – Гібридна сонячна електростанція

Особливого значення набуває встановлення сонячних електростанцій (СЕС), які вирізняються простою в експлуатації, гнучким підбором потужності та низькими експлуатаційними витратами. СЕС можуть виступати

додатковим і достатньо надійним децентралізованим джерелом живлення при військових загрозах, забезпечуючи безперебійну роботу важливих господарських об'єктів.

Підвищення надійності електрозабезпечення обладнання інформаційних систем вищих навчальних закладів (ВНЗ) в цих умовах також можливе з застосуванням власних СЕС, сонячні панелі яких розташовуються на будівлях навчальних корпусів. Така електростанція має хоча б частково забезпечувати споживання струмоприймачами електроенергії при штатному функціонуванні системи електрозабезпечення та ставати джерелом резервного живлення блоку безперебійного електроживлення серверів за умови планованих та непередбачених перерв електропостачання.

Гібридна СЕС вбачається найбільш придатною для таких умов застосування.

З метою цілодобового резервування електрозабезпечення серверної комп'ютерної системи, декількох навчальних аудиторій пропонується побудувати гібридну сонячну електростанцію на одному з навчальних корпусів.

Виходячи з результатів дослідження профілю електроспоживання мінімальна електрична потужність резервування серверної має становити 7,5 кВт і забезпечуватися системою безперебійного живлення з акумуляторними батареями, що поєднується з СЕС. Потужність споживання навчальними аудиторіями близько 10 кВт.

Безперебійне їх електроживлення обов'язкове протягом 4-х годин у світлу пору дня літніми місяцями. Максимальне споживання електричної енергії струмоприймачами корпусу в ці місяці припадає на період з 12-ї до 14-ї години у робочий день. Згідно добового графіку генерації електричної енергії СЕС максимальна генерація також припадає на цей період доби. Тобто практично добовий профіль генерації електричної енергії та її споживання майже співпадають у часі.

Виходячи з цих обставин, для часткового заміщення обсягів електричної енергії, яка надходить з зовнішніх мереж електрозабезпечення університету, є доцільним встановити сонячну електростанцію, яка за своєю максимальною потужністю генерації не перевищує електроспоживання корпусу у період з 12-ї до 14-ї години дня.

З урахуванням потреб резервування (накопичення) електроенергії акумуляторними батареями та одночасного хоча б часткового забезпечення електричною енергією струмоприймачів корпусу рекомендується до впровадження гібридна СЕС потужністю 35 кВт.

Така потужність дозволяє забезпечити указані потреби та не перевищувати фактичне споживання електроенергії струмоприймачами корпусу у літні місяці, що значно спрощує оформлення документації щодо її застосування у відносинах між енергопостачальною організацією та університетом, тобто не допускає перетоків згенерованої електричної енергії СЕС у мережі постачальника.

Ця обставина також здешевлює і сам проєкт. Вибір обладнання електричної станції повинен задовольняти умову щодо періоду повного заряджання акумуляторних батарей. Виходячи з досвіду функціонування електричних мереж в умовах воєнного стану, з огляду на можливі графіки постачання електричної енергії (+2/-4 години) максимальний термін заряджання акумуляторних батарей має становити 2 години.

За географічних умов розташування корпусу рекомендується розмістити сонячні панелі на даху будівлі корпусу з їх орієнтацією на південь. Монтаж апаратної частини сонячної електростанції планується провести в приміщеннях, які знаходяться якомога ближче до сонячних панелей.

Таке місцезоположення зменшує електричні втрати при генерації та перетворенні електроенергії. Розташування акумуляторних батарей та пристроїв безперебійного живлення доцільно встановити у приміщеннях максимально наближених до місця розташування серверів обчислювального центру університету.

Доцільність впровадження такого заходу підтверджується також економічним розрахунком. Виходячи з досвіду експлуатації аналогічних сонячних електростанцій в умовах міста Суми, обсяг генерації електричної енергії протягом року, що припадає на 1 кВт установленої потужності електростанції становить близько 1000 кВт*год за рік. Прогнозний обсяг генерації за рік буде близько 35 000 кВт*год. Наразі тариф на електроенергію від постачальника 5,6 грн/кВт*год. Тоді обсяг генерації (заміщення) електроенергії в вартісному вираженні має бути 196 000 грн. Подальше зростання тарифу місцевого електропостачальника очікується на рівні 9-10 грн/кВт*год, тобто прогнозний обсяг економії від заміщення покупної електрики згенерованою університетською СЕС становитиме 332 500 грн/рік. Вартість впровадження СЕС має становити близько 850 000 гривень. Тоді простий термін окупності має бути: від 2,5 до 4,2 років.

Впровадження проєкту дозволить:

1) підвищити надійність та безперебійність електрозабезпечення обладнання серверної частини обчислювального центру університету в умовах переривчастого електрозабезпечення;

2) замінити частку споживання електричної енергії з централізованих мереж обсягом близько 35 000 кВт*год на рік, що дозволить зменшити фінансові витрати університету в межах від 196 тис. грн до 332, 5 тис. грн у залежності від тарифної політики держави;

3) простий термін окупності впровадження проєкту може становити в межах від 2,5 до 4,2 років, що є економічно прийнятним.

ПЕРСПЕКТИВИ ВПРОВАДЖЕННЯ ВИСОКООБЕРТОВИХ СЕКЦІЙНИХ НАСОСІВ ДЛЯ ОБ'ЄКТІВ ВОДОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

*Кондусь В. Ю., к.т.н., ст. викл.; Полковниченко В. В.,
Муштай М. В., студенти, кафедра ПГМ, СумДУ*

Одною з першочергових потреб людства на сьогодні є водозабезпечення, що задовільняється шляхом використання насосів динамічного типу (рис. 1).

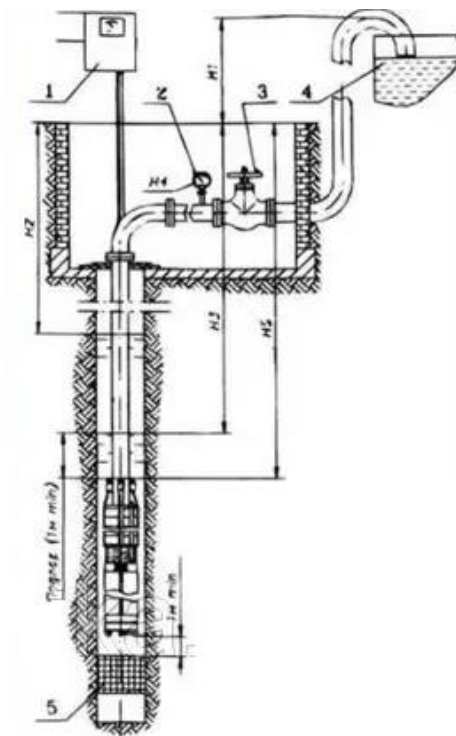


Рисунок 1 – Насосна установка для об'єктів водозабезпечення: 1 – станція керування та захисту, 2 – манометр, 3 – засувка, 4 – накопичувальна ємність, 5 - фільтр

З метою водозабезпечення комунальних об'єктів (зокрема, водоканалів) в багатьох випадках використовуються відцентрові насоси секційного типу (рис. 2).

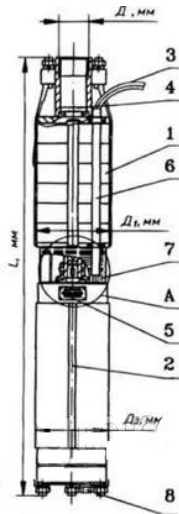


Рисунок 2 – Відцентровий секційний насос типу ЕЦВ: 1 – насосна частина, 2 – електродвигун, 3 – силовий кабель, 4 – клапан, 5 – табличка, 6 – захисний кожух, 7 – захисна сітка, 8 – сітка

Особливістю даних насосів є їх занурювальна конструкція, яка передбачає установку насосного агрегату безпосередньо в трубопроводну систему.

Існуючі відцентрові насоси передбачають використання декількох (в переважній більшості 6 – 8) ступенів. У такому випадку частота обертання валу насоса не перевищує 3 000 об/хв.

Перспективним виглядає заміна насосного обладнання на більш високооборотні аналоги з частотою обертання валу насоса 6 000 – 9 000 об/хв.

Зокрема авторами роботи наразі досліджується перспективність розробки високооборотного насоса на параметри: напір – 150 м вод. ст., подача – 60 – 80 м³/год, частота обертання валу – 3 000 об/хв. Така конструкція попередньо дозволить зменшити число ступенів з 8 шт. до 2 шт. у порівнянні з існуючим аналогом ЕЦВ 10-63-150, що в перспективі дозволить скоротити матеріалоемність, а отже і його собівартість на 50 – 60 %.

Окрім того, слід зазначити, що така компоновка насоса дозволяє отримати високий показник коефіцієнта швидкості $n_s = 126$, що доводить можливість досягнення високих показників енергоефективності даного перспективного насоса.

СЕКЦІЯ «ЕНЕРГЕТИЧНЕ МАШИНОБУДУВАННЯ»

CHARACTERIZATION OF BARRIERS TO INNOVATION IN THE ENERGY SECTOR OF UKRAINE

Tetiana Hilorme, Doctor of Economic Sciences, Associate Professor, Leading Research Associate, Scientific Research Institute of Energy Efficient Technologies and Materials Science, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro

Modernization and innovative development of the methodological platform to create the management system for energy networks is a relatively complex process within which it is required to cross the resistance barriers constantly. Provisionally, it is possible to break down these barriers into three groups: communicative, industrial, and technical.

Communicative barriers are primarily related to the problem of forming the motivation for the dynamic behavior of the end-consumer of the energy network. It is crucial to create a customer information services system helping to teach the consumer new emergent values of energy-saving and decrease the destructive behavior concerning positioning specific power equipment near residences. Stimulating the consumer enables an expansion of the possibility of using energy-saving technologies, contributes to the formation of positive image of innovative energy-efficient technologies, enhance capacities of optimizing energy management, and increase the accessibility of the network of power-generating equipment distribution. A significant role in innovative development within the energy network is played by previously formed human psychological patterns, mindset, and behavioral models, which either promote or inhibit the growth and spread of innovations.

The civil society's susceptibility or insusceptibility to innovations in energy-saving at the present stage of their development in Ukraine is defined predominantly by social factors (low level and quality of life for a significant part of the population do not favor the development of innovations).

Industrial barriers related to the implementation of innovations in the sphere of energy networks are stipulated by the following:

1. Low level of interaction within energy-supply companies: cooperation and coordination of actions are practically non-existent. Hence, this tendency ensues in a range of problems that have to be exposed to a more in-depth study both to the benefit of government regulation of these relations and in the best interests of companies seeking advantages from establishing solid partnerships. Consequently, partnership relations are an integral feature of any energy company's vital activities, considering the market's specific nature. It becomes necessary for virtually any company to cooperate even with their immediate competitors. As a result, a partnership constituent must be an indispensable constituent of the energy network management system – it directly influences the objectives, structure, and conditions of the system's functioning.

2. Problems of non-conformity of the existing equipment with the elements of the novel technological foundation, replacement, and disposal values of equipment – operational costs of outdated equipment minimize capital costs of consumers.

3. Standards of economic agents concerning planning and project development are generally focused upon the traditional energy network model: a centralized system of energy generation, older generation equipment, and technologies, low probability of shifting to the active participation of consumers in the functioning of the energy system.

4. Traditional evaluation methods for innovative projects connected to the energy-saving system – it is impossible to substantiate energy efficiency measures concerning real and virtual threats.

5. Business owners and top management are commonly not interested in introducing changes in processes and technologies of a well-adjusted existing energy system. The absence of a system of motivation to increase research and development costs within cumulative costs of energy companies leads to a lag of the energy sector in global markets.

Development and implementation of innovative technologies require considerable acceleration based on overcoming technical barriers:

1. Absence of unification of various technologies within the energy network results in the absence of the synergy effect.

2. Increase in the number of participants in the energy system, particularly electric energy systems, ensues in problems in the security sphere.

3. Limitation of energy-saving capacities: it is vital to accelerate the network modernization process.

4. Increase in the specific role of technical analysis conducted by computer equipment leads to the loss of fundamental knowledge and skills regarding principles of energy system functioning. Impossibility at the present stage of development of information society to create artificial intelligence, limitations of the existing process automation of activities, results in the loss of fundamental knowledge. Investments tend to have a more applied realization in the energy sector: focusing on short payback periods leads to decreased frequency of innovative ideas permeating into technological basis.

Reference

1. Hilorme T. V. Substantiation of management decisions on the introduction of energy saving technologies in industrial enterprises: theory, methodology, practice : monograph. Zaporizhzhia: KPU. 2020. 300 p.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ПРОЄКТУВАННЯ ПРОТОЧНОЇ ЧАСТИНИ ВИХРОВОЇ КАМЕРИ РІДИННО-ПАРОВОГО СТРУМИННОГО АПАРАТА

Мерзляков Ю. С., к.т.н., доцент; Ніколаєнко Д. Р., студент, група К.м.-21; Тимченко С. С., студентка, група І-12/2хк, кафедра ТТФ, СумДУ, м. Суми

Вибір конструкції проточної частини вихрової камери під час проєктування струминних апаратів вихрового типу залежить від робочого середовища, що застосовується в них, складністю процесів, що відбуваються при вихровому русі, та призначення струминного апарата [1].

Для математичного моделювання течії потоку в середині вихрової камери використовують різні моделі залежно від завдань, що необхідно вирішити. Серед таких моделей можна виділити дві основні, що характеризуються деякою спільністю: модель течії з тангенціальною швидкістю та інтегральну модель [2]. У інтегральних моделях розглядається лише центральна (приосьова) область течії, а структура потоку розглядається наближено, що призводить до відмінностей між теоретичними і експериментальними даними. Більш широке застосування знайшла модель течії з тангенціальною швидкістю, що розглядає спільне розв'язання рівнянь Нав'є-Стокса і нерозривності, заданих граничних умов та рівнянь обмежуючих поверхонь. Така модель дозволяє врахувати усі граничні умови, що виходять із фізичного змісту поставлених завдань.

В роботі [2] проведено математичне моделювання течії потоку у вхідному перерізі вихрової камери, отримані експериментальні підтвердження правильності вибору математичної моделі, проведений розрахунок та візуалізація потоку з використанням програмного комплексу Ansys CFX. Вибір конструкції вихрової камери відбувався з урахуванням усіх рекомендацій, тому за розрахункову була прийнята схема течії з циліндричною вихровою камерою, що поєднана з двома тангенціально підведеними робочими соплами активного потоку, для збереження симетричності потоку, що мають форму недорозширеного сопла Лавалю, та ежектуванням пасивного потоку вздовж осі вихрової камери.

Подальша робота буде спрямована на уточнення моделі течії потоку вздовж вихрової камери з урахуванням отриманих результатів.

Список літератури

1. Прокопов М. Г., Шарапов С. О., Мерзляков Ю. С., Гусев Д. М. Концепція енергоефективності й перспективи реалізації принципу струминної термокомпресії в малій теплоенергетиці // Енергетика і автоматика. – 2021. – № 2.
2. Merzliakov, I.; Pavlenko, I.; Ochowiak, M.; Ivanov, V.; Agarwal, P. Flow Modeling in a Vortex Chamber of a Liquid–Steam Jet Apparatus. Processes 2022, 10, 984.

ТУРБОГЕНЕРАТОРИ НА ОСНОВІ ВИХРОВИХ РОЗШИРЮВАЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ ЛІКАРНЯНИХ КИСНЕВИХ СЕПАРАТОРІВ

*Вансєв С. М., к.т.н., доцент; Смоленко Д. В., аспірант,
кафедра технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми*

Медичний кисень постійно застосовується для лікування пацієнтів у багатьох закладах охорони здоров'я. Із початком пандемії COVID-19 потреба у цьому газі значно зросла, через що існуюча система забезпечення киснем не виконувала поставлених завдань. Це спонукало до масового впровадження кисневих станцій короткоциклової безнагрівної адсорбції, які здатні забезпечити необхідні об'єми газу швидше та з меншими витратами через видобування кисню з навколишнього повітря на місці їх встановлення.

Кисневі станції такого типу використовують процес, при якому попередньо підготоване та стиснене компресором атмосферне повітря пропускається через цеолітне молекулярне сито. Через різницю в розмірах молекул відбувається відділення кисню від інших газів, які знову повертають до атмосфери. Ці залишкові газів (здебільшого азот, рештки кисню, тощо) перебувають під надлишковим тиском (0,4-0,6 МПа), потенційна енергія яких втрачається при дроселюванні до атмосферного тиску. Тому раціональним рішенням є використання турбогенератора для отримання електричної енергії. Беручи до уваги наявне відношення тисків та невеликі об'єми залишкових газів, доцільно застосувати розширювальні машини вихрового типу, які мають також експлуатаційні та економічні переваги над конкурентами. Вихрові машини можуть дозволити розміщення робочого колеса на валу електрогенератора, що зменшує габарити турбогенератора. Це особливо корисно, бо кисневі станції, як правило, розміщуються у спеціальних контейнерах назовні чи в технічних приміщеннях з обмеженим простором. Можливе як проектування кисневих станцій одразу з турбогенератором, так і його додавання до великої кількості вже встановлених. Отримана електрична потужність залежить від індивідуальних характеристик станцій. Розрахунки показали, що на відносно невеликих лікарняних кисневих сепараторах можна генерувати від 1 кВт електроенергії, яку можна використовувати для роботи окремих систем кисневої станції чи для потреб лікувальних закладів. Таке вдосконалення системи може створити значний економічний ефект, зважаючи на поширеність даних станцій та воно цілком актуальне при постійному зрощанні електроенергії, можливих перебоїв з її постачанням та загальному прагненні до раціонального використання природних ресурсів.

Логічним кроком виглядає встановлення аналогічного турбогенератора для використання ще й надлишкової енергії стисненого кисню, але у даному випадку воно неможливе через малу масову витрату цього газу. Така конструкція може бути успішно застосована на більших промислових концентраторах.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ СИСТЕМ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ОПАЛЕННЯ

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент;
Євтушенко С. О., аспірант; Прийменко О. О., магістрант, гр. К.м-21,
кафедра ТТФ, Сумський державний університет, м. Суми*

Однією з основних проблем, що постала перед цивільними людьми під час російсько-Української війни це автономне та енергоефективне опалення житлових будинків в найбільш економічний спосіб. Дане питання потрібно вирішити, оминаючи газовий енергоресурс та технологію централізованого опалення багатоквартирних будівель, тому що виник ризик знищення об'єктів критичної інфраструктури (газоперекачувальних станцій, магістралей, теплотрас та котельень). Також необхідно враховувати екологічний аспект при проектуванні нових теплонасосних установок, що включає проблему збереження невідновлюваних джерел енергії, необхідність зменшення шкідливих викидів в атмосферу, що є, зокрема, основним фактором глобального потепління.

Основним напрямом вирішення зазначеної проблеми є використання енергозбережних технологій, що лежать в основі теплових насосів. Тому пропонується схема теплового насосу з використанням сонячних колекторів адсорбного або вакуумного типу, на базі рідинно-парового ежектора (РПЕ). Для порівняння схеми опалення була взята схема сонячного колектора (СК) з використанням традиційної парокompресорної теплонасосної установки (ПКТНУ), у контурі якої використовуються найросповсюджені в сучасних теплових насосах холодильні агенти R134a, R410a, R32.

Зважаючи на все вищенаведене, досить актуальним є питання доступної альтернативи сучасним дорогавартісним тепловим насосам з холодильними агентами у якості води, яка є дешевим робочим середовищем теплонасосного циклу з високими показниками ефективності.

Пропоноване рішення системи опалення приміщення передбачає включення до лінії системи централізованого опалення з можливістю реалізації повністю автономного режиму роботи. Принципові відмінності в циклах традиційної та пропонованої схем наведено авторами в роботі. РПЕ працює в області вологої пари, що є принципово новим способом перетворення енергії, дозволяючи зменшити роботу циклу та підвищити коефіцієнт перетворення теплонасосної установки. Для реалізації не потрібна зовнішня генерація робочої пари, яка подається у сопло активного потоку РПЕ. Генерація робочої пари відбувається безпосередньо в теплонасосному циклі, а саме у соплі активного потоку РПЕ, що підвищує його ефективність. Використання води як робочого середовища в тепловому насосі на базі рідинно-парового ежектора є перспективним, але питання щодо його ефективності залишається відкритим та потребує окремого дослідження.

Метою дослідження є оцінка ефективності застосування рідинно-парового ежектора на робочому середовищі R718 у складі теплового насоса на базі сонячного колектора для системи опалення «тепла підлога». Це дасть можливість підвищити ефективність теплонасосних систем індивідуального опалення.

Об'єктом дослідження є робочий процес рідинно-парового ежектора у складі теплонасосної установки індивідуальної системи опалення.

В результаті виконання термодинамічного розрахунку було визначено, що застосування рідинно-парового ежектора в системах індивідуального опалення житлових приміщень є перспективним. Воно дає змогу підвищити коефіцієнт перетворення циклу теплового насосу порівняно з традиційними аналогічними схемами в середньому на 40 %.

В результаті ексергетичного аналізу визначено ексергетичну ефективність рідинно-парового ежектора у складі теплового насосу та доцільність його застосування для системи індивідуального опалення. Вона становить 0,287, що в середньому у 1,5 рази вище, ніж у традиційних. Такі показники досягаються за рахунок переходу на вакуумний режим роботи пропонуваної теплонасосної установки, що призводить до менших масових витрат теплових потоків, значить і зниження ексергії потоку палива і підвищення загальної ефективності.

В результаті термоекономічного аналізу визначено оцінку вартість одиниці кількості теплоти на тону продукту та на одиницю опалюваної площі приміщення в новій та традиційних схемах теплонасосних установок. Впровадження нової схеми дає змогу зменшити загальну вартість палива в середньому на 706,56 у. о. на рік, і зменшити питому вартість одиниці теплоти в середньому на 26,3 %. Якщо врахувати витрати на холодильний агент у традиційних системах, то ця економія буде ще більш відчутнішою.

Оцінюючи результати, які були отримані після проведення термодинамічного, ексергетичного та термоекономічного аналізів, можна виділити кілька суттєвих переваг застосування рідинно-парових ежекторів для теплонасосних установок систем індивідуального опалення. По-перше, це здешевлення витрат на холодильний агент, т. як у разі розгерметизації системи воду можна взяти з централізованої системи водопостачання. По-друге, перехід на вакуумний режим роботи покращує показники циклу теплонасосної установки, оскільки не потрібно підвищувати температури випаровування та конденсації холодоагента, щоб уникнути вакууму на всмоктуванні при використанні спірального компресора. По-третє, реалізація принципу струминної термокомпресії в рідинно-паровому ежекторі дає змогу зменшити масові витрати холодоагента та розсолу, і навантажень на відповідні апарати. Все це дало змогу отримати такі показники ефективності.

Дане дослідження буде продовжено і в подальшому буде досліджено роботу сонячного колектора, порівняно різні існуючі типи та визначити найбільш ефективні діапазони його роботи.

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕЧІЇ ДВОФАЗНОГО ПОТОКУ В КАМЕРІ ЗМІШУВАННЯ РІДИННО-ПАРОВОГО СТРУМИННОГО АПАРАТА

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент; Євтушенко С. О., аспірант,
кафедра ТТФ, Сумський державний університет, м. Суми*

В наш час досить актуальним постає питання енергетичної ефективності та екологічної безпеки агрегатів, що проєктуються. Досить жорсткі вимоги висуваються до робочих середовищ компресорних та вакуумних агрегатів. Саме тому в багатьох технологічних схемах, де присутні струминні апарати, відбувається перехід на нешкідливі та екологічно безпечні робочі середовища.

Двофазні струминні апарати, до яких належить рідинно-паровий струминний апарат, є порівняно новим видом апаратів, в яких перетворення енергії пасивного потоку відбувається за рахунок енергії робочого струменя активного потоку. Їх ефективність напряму залежить від ступеня завершеності процесу змішування активного і пасивного потоків. Цей процес відбувається в камері змішування рідинно-парового струминного апарату.

Процес змішування потоків є досить складним, тому потребує детального теоретичного та експериментального вивчення та створення математичної моделі. Проаналізувавши існуючі математичні моделі розрахунку рідинно-парових струминних апаратів з камерами змішування різної геометричної форми, автори дійшли висновку, що вони не достатньо точно враховують процес пароутворення в соплі активного потоку. Тому послідовні розрахунки процесу змішування активного і пасивного потоків в камері змішування носять наближений характер.

Розроблена авторами математична модель розглядає рідинно-паровий струминний апарат в цілому, а не поелементно. Вона базується на розв'язанні рівняння імпульсів і збереження маси та виведення рівняння інжекції для камер змішування будь-якої геометричної форми. Для цього автори використовують поняття «геометричних параметрів», які відносять до площі камери змішування в певному перерізі.

Ефективність процесу змішування враховує швидкісний коефіцієнт камери змішування, який в числовому вигляді обчислюється через коефіцієнт гідравлічного тертя потоків у камері змішування та співвідноситься з діаметром еквівалентної циліндричної камери змішування.

В результаті числових розрахунків камер змішування циліндричної форми та конічної форми з подальшою циліндричною ділянкою за математичною моделлю, яку пропонують автори, можна зробити висновки, що геометрична форма камери змішування має значний вплив на ефективність робочого процесу рідинно-парового струминного апарату. Це видно з розрахунків коефіцієнту інжекції та ступеня перевиробництва пари.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК ШЛЯХОМ ЗАСТОСУВАННЯ РІДИННО-ПАРОВИХ ЕЖЕКТОРІВ

Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент; Ревенко Р. О., магістрант, гр. К.м-21; Олада Є. М., зав. навч. лабораторіями, кафедра ТТФ, Сумський державний університет, м. Суми

Сучасні теплонасосні установки застосовуються на об'єктах цивільної інфраструктури для систем гарячого водопостачання та опалення житлових приміщень. За своїм призначенням вони можуть бути моновалентними (застосовуються або для систем гарячого водопостачання, або для систем опалення) та бівалентними (призначені одночасно для системи гарячого водопостачання та системи опалення).

В наш час широко застосовуються термокомпресійні теплові насоси. Їх основним елементом є ежектор, який забезпечує циркуляцію холодильного агента в контурі теплового насоса. В сучасних теплових установках широкого застосування набули пароструминні ежектори, робочим середовищем яких є найпоширеніші в наш час холодильні агенти (R134a, R410a, R32). Ці холодильні агенти є більш доступними на ринку та екологічно безпечними. Однак разом з такими суттєвими перевагами, дані теплонасосні установки мають ряд недоліків, основним з яких є низька ефективність саме пароструминного ежектора. Тому в даній ситуації досить актуальним постає питання застосування іншого виду струминних апаратів з більш високим рівнем енергоефективності. Саме такими є рідинно-парові ежектори, що відносяться до двофазних струминних апаратів та працюють за принципом струминної термокомпресії. Основною їх перевагою є те, що генерація робочої пари відбувається всередині робочого циклу апарату, а саме в соплі активного потоку. Це значно підвищує ефективність всієї теплонасосної установки. Також іншим чинником для їх впровадження може слугувати можливість заміни названих вище холодильних агентів водою (R718), що значно зменшує витрати на холодильний агент.

Проаналізовано доцільність застосування рідинно-парових ежекторів на базі моновалентної схеми теплонасосної установки для системи опалення житлового приміщення. Для цього виконано термодинамічний, ексергетичний та термоекономічний розрахунки базової та запропонованої схем та проведено їх порівняльний аналіз.

В результаті порівняльного аналізу можна зробити висновок, що застосування рідинно-парових ежекторів є перспективним для моновалентних та бівалентних теплонасосних систем. В результаті ексергетичного аналізу виявлено, що ефективність запропонованих схем вище, в середньому, на 20-25 %, а в результаті термоекономічного аналізу визначено, що витрати на одиницю отриманої теплоти в запропонованих схемах менше, в середньому, на 18 % без врахування вартості холодильного агента.

ТЕПЛОФІЗИЧНА МОДЕЛЬ РІДИННО-ПАРОВОГО СТРУМИННОГО АПАРАТА З СОПЛОМ АКТИВНОГО ПОТОКУ ПРОФІЛЬОВАНОЇ ФОРМИ

Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент; Гусев Д. М., аспірант, кафедра ТТФ, Сумський державний університет, м. Суми

За останні десятиліття відбувається бурхливий розвиток всіх галузей промисловості та техніки. Технологічні процеси, які раніше здавалися неможливими в умовах атмосферного тиску, легко можна здійснити у вакуумних агрегатах. Апарати, в яких енергія пасивному потоку надається від робочого струменя пари активного потоку, називаються пароструминними ежекторами. Вони мають ряд недоліків, головним з яких є зовнішня генерація робочої перегрітої пари, що різко знижує їх ефективність.

Сучасною альтернативою пароструминним апаратам можуть бути рідинно-парові струминні апарати, робочий процес яких заснований на принципі струминної термокомпресії. Однак, вони потребують детального дослідження через складність робочого процесу. Авторами було проаналізовано існуючі моделі розрахунку, найбільш достовірною з них є теплофізична модель М. Г. Прокопова для компресорного режиму роботи, яка вдосконалена С. О. Шараповим для вакуумного режиму роботи.

Головним недоліком даної моделі є те, що вона не враховує геометричну форму дифузornoї частини сопла активного потоку, а розраховує його як сопло Лавала з прямими стінками. Автори вдосконалили цю модель, розв'язавши її для визначення величини відносної площі дифузornoї частини сопла в залежності від приросту поздовжньої координати. Це дало можливість чітко визначити довжину дифузornoї частини сопла, де відбувається відрив потоку від стінок каналу, що розширюється та спроектувати сопло, яке б за геометричною формою максимально достовірно відповідало процесу пароутворення, що відбувається в ньому.

Для перевірки достовірності одержаних результатів, автори виконали числове моделювання процесу пароутворення в соплі з параболічною формою дифузornoї частини в програмному комплексі Ansys CFX. Також було порівняно розрахункові дані, одержані за запропонованою теплофізичною моделлю, результати моделювання в програмному комплексі Ansys CFX та результати експериментального дослідження, які були проведені М. Г. Прокоповим та С. О. Шараповим.

Результати досліджень доводять, що профілювання сопла дає змогу підвищити ефективність процесу пароутворення в соплі активного потоку. Зокрема, якщо порівнювати профілюване сопло з соплом з прямими стінками, то можна визначити ряд суттєвих переваг. Завершення процесу пароутворення відбувається на оптимальній відстані від горловини сопла, а на виході утворюється потік пари з необхідним значенням тиску, а також збільшується коефіцієнт швидкості сопла (від 0,92–0,97 до 0,95–0,98).

МОЖЛИВІ ОБЛАСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ТУРБІН НЕТРАДИЦІЙНОГО ВИКОНАННЯ

*Мелейчук О. С., аспірант; Ванєєв С. М., к.т.н., доцент,
кафедра технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми*

В Україні як і в цілому у світовій економіці гостро постає питання енергозбереження, зменшення використання викопних природних ресурсів. Постійно зростаючі потреби в електропостачанні промислових та побутових споживачів спонукають до розробки енергоефективних рішень.

Науковий та технологічний прогрес останніх десятиліть дозволив розробити та удосконалити нові види та конструкції турбінного обладнання, які належать до конструкцій нетрадиційного виконання. До таких турбін, нетрадиційного виконання, можна віднести вихрову турбіну та струминно-реактивну турбіну, котрі мають потенціал знайти широкий спектр застосування в промисловості.

Одним з енергоефективних рішень є використання ексергії стиснутих газів і парів, яка втрачається на редукторах і регуляторах на газорозподільних станціях (ГРС), газорозподільних пунктах (ГРП), хімічних та інших енергетичних підприємствах, у комунально-побутовому секторі.

Вихрові турбіни можуть бути використанні в утилізації потенційної енергії стиснутого газу чи пари на ГРС, ГРП та хімічних підприємствах в енергогенеруючих установках для забезпечення власних потреб електричною та тепловою енергією.

Крім того, вихрові турбіни можуть знайти своє застосування в пневмосистемах, як пневматичний двигун; в промисловості, як турбоприводи компресорів, насосів; в котельнях, для участі в процесі дроселювання пари та перетворення цих котелень в міні-ТЕЦ та підвищення ефективності використання палива; в холодильних установках у вигляді турбодетандера.

Інша область можливого застосування, що найшвидше потребує розвитку в сучасних реаліях України, є створення енергетичних комплексів малої потужності для автономних та індивідуальних споживачів, тобто децентралізація енергопостачання для підвищення національної безпеки. На основі вихрових та струминно-реактивних турбін є можливість створити турбогенератори потужністю до 500 кВт для забезпечення промислових, комунальних або побутових споживачів енергією.

Струминно-реактивні турбіни знайшли застосування в конструкції пневмоприводу кульових кранів в магістральних газопроводах. Такі пневмоприводи мають простішу, надійнішу, ефективнішу конструкцію та зручніші в експлуатації ніж приводи кульових кранів з гідравлічним приводом. Подальші дослідження будуть спрямовані на реалізацію найбільш перспективних напрямків застосування даного виду газотурбінного обладнання.

КРИТЕРІЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОГО ПРИВОДУ КУЛЬОВИХ КРАНІВ

Ванєєв С. М., к.т.н., доцент; Мірошніченко О. І., асп.; Бага Т. С., пров. інженер, каф. технічної теплофізики, СумДУ; Мірошніченко Д. В., к.т.н., науковий співробітник, ТОВ «НВП «АРМА-Т», м. Суми

На компресорних станціях та лінійній частині газопроводів в якості запірної арматури використовуються в основному кульові крани з поршневими лінійними пневмогідроприводами. Рідше використовуються поршневі пневматичні (газові), електричні, а також механічні ручні приводи в основному гвинтокулісного типу.

Для поршневих пневматичних та пневмогідролічних приводів робочим тілом зазвичай є природний газ високого тиску, що подається безпосередньо з газопроводу (неочищений та неосушений). Тому приводи мають свою систему очищення та осушення газу, що потребує періодичного контролю та обслуговування.

Пневматичні приводи об'ємного типу (поршневі) потенційно аварійно небезпечні через можливість накопичення неприпустимо надмірного тиску в робочій порожнині циліндра. Це можливо при заклинюванні або примерзанні рухомих частин крана або приводу. При зриві відбувається ударне спрацьовування, що може призводити до аварійних зупинок в експлуатації.

Пневмогідролічні приводи за рахунок розсіювання надмірної енергії стиснутого газу гідравлічним опором рідини, що перетікає, працюють більш стабільно і потенційно менш аварійно-небезпечні в порівнянні з пневматичними приводами. Але вони більші по габаритам, складніші і вимагають більш високих експлуатаційних витрат через наявність гідравлічних систем. У разі витoku рідини вони також стають аварійно-небезпечними.

Пневматичні газові приводи проточного типу були б найбільш безпечними та простими в експлуатації. Принцип їх дії виключає можливість надмірного підвищення тиску в корпусі приводу і, отже, ударного спрацьовування. До таких приводів відносяться приводи на основі турбінних пневмодвигунів. Вони мають більший ресурс у порівнянні з об'ємними та широко використовуються в інших галузях. Спроби застосування у газовій галузі турбінних приводів на основі класичних лопатевих турбін не мали успіху. Причинами є забруднення, загідрачування та зледеніння лопатевих апаратів та ущільнень турбін. Крім того, лопатеві турбіни складно реверсувати, вони порівняно конструктивно складніші, а для роботи на високому тиску їх роблять багатоступінчастими і з товстостінним корпусом, що витримує високий тиск.

Перераховані недоліки відсутні у одноступінчастої реверсивної струминно-реактивної турбіни (СРТ). Вона ефективно працює у широкому діапазоні тисків від 0,5 МПа до 10,0 МПа та вище. Відсутність лопатевих

апаратів та контактних або малозазорних ущільнень дозволяє використовувати для неї забруднений та вологий газ з низькою температурою без забруднень та зледеніння її газового тракту. Крім того СРТ забезпечує приводу унікальну властивість - початковий статичний крутний момент в кілька разів вищий робочого моменту при русі.

Порівняно з класичними поршневыми пневмогідроприводами, турбоприводи на основі СРТ мають наступні переваги:

- не вимагають для нормальної роботи іншого робочого тіла – мастила або спеціальної гідравлічної рідини;
- мають вище ресурс через відсутність рухомих контактних ущільнень, що труться та знижують надійність і ресурс приводу;
- мають у більш ніж в 2 рази меншу масу та габарити так як це приводи проточного типу з дуже малим об'ємом проточної частини. Високим тиском навантажені тільки підвідні трубки та порожнина ротора, зовнішній корпус не навантажений великим тиском і тому значно легший.

Були проаналізовані конструкції існуючих приводів кульових кранів, визначені основні переваги та недоліки розглянутих конструкцій. Для визначення оптимального типу та конструкції приводу кульового крану визначені наступні критерії оптимізації:

- 1) масо-габаритні показники;
- 2) витрата робочого тіла за цикл спрацьовування крана;
- 3) ресурс роботи (кількість циклів роботи приводу);
- 4) собівартість виготовлення приводу;

В результаті аналізу на основі значень критеріїв оптимізації для приводів кульових кранів у всьому діапазоні прохідних перерізів і тисків надано рекомендації щодо вибору типу приводу. Для визначення оптимальних параметрів конструкції приводу певного типу необхідно проведення оптимізаційних досліджень для визначення та порівняння значень критеріїв оптимізації конструкцій, які досліджуються.

Список літератури

1. Бережний О. С. Удосконалення робочих характеристик струминно-реактивного пневмоагрегата на основі уточнення моделі робочого процесу: дисертація на здобуття уч. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати, навч. кер. к.т.н., доц. Ванєєв С.М. / Бережний Олександр Сергійович; Сумський державний університет. - Суми, 2014. - 157 с.
2. Ванєєв С. М. Аналіз конструктивних схем приводів шарових кранів DN=300-1400 мм для компресорних станцій магістральних газопроводів / С. М. Ванєєв, С. К. Королев, В. П. Ена // Збірник наукових праць Кіровоградського державного технічного університету. – 2000. – Вип. 7. – С. 52 –57.

ТУРБОГЕНЕРАТОРИ НА ОСНОВІ ВИХРОВИХ РОЗШИРЮВАЛЬНИХ МАШИН ДЛЯ ГАЗОРОЗПОДІЛЬНИХ СТАНЦІЙ У РАМКАХ «ВОДНЕВОЇ ЕНЕРГЕТИКИ»

*Вансєв С. М., к.т.н., доцент.; Николаєнко Д. Р., студент гр. К.м-21,
кафедра технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми*

Водень є важливою частиною Європейського Зеленого Курсу. Європейський Союз розраховує створення в Україні 10 ГВт потужностей з виробництва «зеленого» водню. 75% виробленого палива планується експортувати до ЄС, 25% залишається для внутрішнього використання.

Існуючі водневі трубопроводи працюють, залежно від конструкції, у широкому діапазоні тисків - від 0,5 до 10 МПа, при діаметрі від 0,1 до 0,8 м. Водень експортують також за допомогою перевезень автоцистернами або залізницею.

Одним із можливих способів експорту водню є транспортування його через переобладнану інфраструктуру газопроводів природного газу.

У той же час, розглядається також можливість використання газо-водневих сумішей в українській газотранспортній системі. До прикладу, в італійській газотранспортній системі допускається використання суміші із вмістом до 10% водню.

Як і при транспортуванні природного газу, велика кількість ексергії стисненої газо-водневої суміші втрачатиметься на редукторах і регуляторах газорозподільних станцій (ГРС), газорозподільних пунктах або при подачі паливного газу у металургійній чи хімічній промисловості. Цікавим є факт, що під час дроселювання при тисках і температурах, що є зараз на газорозподільних станціях, температура водню, на відмінну від природного газу, буде збільшуватися, тобто в цих умовах процес Джоуля-Томсона призводить до нагрівання газу. Знизити втрати ексергії можливо шляхом використання енергозберігаючої турбогенераторної установки замість звичного спрацьовування перепаду тиску на дроселюючому органі. Перспективним є використання турбогенераторних агрегатів на основі вихрових турбін. Вихрова турбіна, у порівнянні з осьовою і доцентровою, простіша за конструкцією і більш технологічна, що здешевшує її виготовлення. Використання вихрових турбін дозволяє виключити основний недолік класичних турбін - високооборотність. Це дозволяє відмовитися від застосування понижувальних редукторів, що значно знижує вартість, зменшує витрати на обслуговування та підвищує надійність машини. Діапазон застосовності турбін даного виду визначається потужністю від кількох кіловат до 600 кіловат. Встановлення на ГРС подібних турбогенераторів значно підвищить ефективність використання ресурсів.

Були виконані розрахунки турбогенератора для власних потреб ГРС потужністю 10 кВт при роботі його на природному газі і на водні. Отримані геометричні і термогазодинамічні параметри турбогенераторів, проведено їх порівняння і аналіз.

**СЕКЦІЯ «ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГОСМНИХ ВИРОБНИЦТВ.
ТЕХНІЧНА ТЕПЛОФІЗИКА»**

ВИКОРИСТАННЯ СУЧАСНИХ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ ПРИ ПРОЄКТУВАННІ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНИХ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ

Тараненко В. А., студ. група ХКдн-94др; Баран В. В., викл., Дрогобицький фаховий коледж нафти і газу, м. Дрогобич; Мелейчук С.С., к.т.н., доцент кафедра технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми

Теплонасосні установки типу «повітря-вода», «повітря-повітря» отримали широке розповсюдження при проєктуванні систем опалення будівель через використання доступного низькопотенційного джерела енергії у вигляді навколишнього повітря.

Ефективність теплонасосних установок, окрім іншого, виражається коефіцієнтом перетворення (COP), який в свою чергу напряму залежить від теплових втрат (надходжень) через огороження (стіни, дах, підлогу, вікна, двері) будівлі.

Проєктування енергоефективних систем опалення передбачає використання різних фасадних систем для утеплення огорожуючих конструкцій як нових, так і існуючих будівель. В нашій країні значна частина мешканців проживає у багатоквартирних панельних будинках, що зібрані з залізобетонних конструкцій. Коефіцієнт термічного опору залізобетонної конструкції найменш ефективний і складає $0,9 \dots 1,2 \text{ м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, що в 3-5 раз нижче нормативних вимог.

Передумовою побудови енергоефективної системи опалення є: використання потужної зовнішньої та внутрішньої теплової ізоляції, енергоефективних віконних конструкцій, усунення містків холоду; встановлення рекуператорів, які забезпечують відбирання теплоти повітря з системи вентиляції будинку; інсталяція сонячних панелей на фасадах чи даху будівлі, застосування теплонасосних систем опалення. Прогресивними способами підвищення коефіцієнту термічного опору огороження є застосування багат шарових фасадних систем зовнішнього утеплення, що умовно поділяються на мокрі, системи скріпленої теплоізоляції, навісні вентилязовані та невентильовані системи. Дані системи утеплення базуються на використанні штукатурних сумішей з підвищеними теплоізоляційними властивостями, піностірольних, портландцементних та мінераловатних плит та інших рулонних конструкцій.

Застосування внутрішньої теплової ізоляції дозволяє значно підвищити сумарний опір теплової ізоляції огороження при дотриманні повітронепроникненої конструкції та мінімізації дифузії водяної пари з повітря приміщення. Застосування сучасних підходів теплоізоляції огорожень при проєктуванні чи реконструкції енергоефективної системи опалення дозволяє зменшити теплове навантаження споживання до $50 \dots 150 \text{ кВт} \cdot \text{год}/\text{м}^2$ на рік, що в 2-4 рази менше аналогічних конструкцій без дотримання даних умов.

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОРШНЕВИХ КОМПРЕСОРІВ ДЛЯ АВТОМОБІЛЬНИХ ГАЗОНАПОВНЮВАЛЬНИХ КОМПРЕСОРНИХ СТАНЦІЙ

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент; Овчарик Є. М., магістрант,
гр. К.м-21, кафедра ТТФ, Сумський державний університет, м. Суми*

Використання природного газу як палива для автомобілів є досить актуальним та перспективним в наш час. Частка автомобільного транспорту, яка використовує природний газ, в світі постійно зростає. Низька відносна вартість газу, порівно з іншими видами палива, сприяє поширенню його використання.

Досить зручним засобом заправки автомобілів природним газом є автомобільні газонаповнювальні компресорні станції (АГНКС). Основним агрегатом цієї установки є поршневий компресор. Природний газ потрапляє до АГНКС по розгалуженій системі газопроводів, в яких він знаходиться під тиском 0,4-0,63 МПа, та за допомогою поршневого компресора безпосередньо в самій станції повинен бути стиснений до 25,0 МПа. Заправки автомобілей здійснюється до тиску 20,0 МПа. Сучасні поршневі компресори зарубіжних виробників дають змогу це зробити, але вони є досить дорогими при купівлі та обслуговуванні. Тому існує декілька виходів з даної ситуації. Це модернізація існуючих вітчизняних компресорів та проектування нових, які задовольняють всім вимогам та потребам цієї галузі застосування. Проектування нових компресорів є тривалим і затратним процесом, тому найчастіше відбувається модернізація існуючих поршневих компресорів. Виконано модернізацію поршневого компресора ЗГШ1,6-0,15/0,4-230 вітчизняного виробництва, в якому здійснено доопрацювання 5-го ступеню з метою збільшення кінцевого тиску з 23,0 МПа до 25,0 МПа. Модернізація здійснювалася числовими засобами аналізу та моделюванням робочого процесу в програмному комплексі Ansys CFX. Першим етапом було зменшення конструкції поршня та циліндра 5-го ступеня, а саме зменшення діаметру з 32 до 28 мм. Поршень було виконано розбірної конструкції, зі стрижнем та надітими на нього поршневими кільцями, які на кінці поршня фіксуються контргайкою. Другим етапом був вибір більш міцних матеріалів, які б задовольнили новим умовам роботи компресора. Заключним етапом роботи було моделювання робочого процесу ступеня в програмному комплексі Ansys CFX з визначенням основних міцнісних характеристик та довговічності роботи шатунно-поршневої групи ступеня.

В результаті проведених розрахунків, аналізу та моделювання роботи можна зробити висновок, що модернізація поршневого компресора ЗГШ1,6-0,15/0,4-230 може бути здійснена шляхом зміни конструкції 5-го ступеня, а саме зменшення діаметру поршня та циліндра. Також було виконано заміну матеріалів поршневих кілець у зв'язку зі збільшенням тиску нагнітання від 23,0 МПа до 25,0 МПа.

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК САМОДІЮЧИХ КЛАПАНІВ ПОРШНЕВОГО КОМПРЕСОРА

*Шарапов С. О., канд. техн. наук, доцент; Ткачук С. В., магістрант,
гр. К.м-21; Олада Є. М., зав. навч. лабораторіями, кафедра ТТФ,
Сумський державний університет, м. Суми*

Клапани поршневих компресорів є вузлами, за допомогою яких робоча порожнина циліндра сполучається або відокремлюється від порожнин всмоктування та нагнітання. У сучасних непрямотокових поршневих компресорах застосовують самодіючі клапани, для яких закон руху запірного органу (пластини) визначається змінною протягом циклу роботи різницею тисків, що діють на нього. Протікання робочої речовини через клапан визначається площею проходу в сідлі, площею проходу в щілині між пластиною та сідлом і площею проходу в обмежувачі.

Вимога надійності викликана тим, що клапани частіше, ніж інші елементи компресора, виходять із ладу, тобто, є слабкою його ланкою. Довговічність клапана залежить від якості матеріалу пластини, пружини та сідла, якості виготовлення, роду робочого середовища, що стискається. Крім того, вона зменшується зі збільшенням висоти підйому пластини і частоти обертання колінчастого валу. Великий вплив на довговічність роботи клапана надає відсутність твердих включень або інших компонентів в складі робочого середовища.

При проведенні теоретичних досліджень енергетичних характеристик самодіючого клапана поршневого компресора, розроблена методика розрахунку відносних втрат потужності в самодіючих клапанах одноступінчастого непрямотокового багаторядного поршневого компресора в залежності від створюваного ним ступеня відношення тисків і роду робочого середовища, яке стискається в ньому. Були виконані розрахунки теплопритоків у базовій та пропонованій камері.

В результаті теоретичного дослідження енергетичних характеристик самодіючого клапана, розроблена методика розрахунку відносних втрат потужності в автоматичних клапанах одноступеневого непрямотокового багаторядного поршневого компресора в залежності від створюваного ступенем відношення тисків і роду робочого середовища, яке стискається в ньому. Створено алгоритм та програму розрахунку. Методика розрахунку може бути застосовна для будь-якого газу або їх суміші, а також інших робочих середовищ, що стискаються поршневим компресором. Перевірка результатів розрахунку відносних втрат потужності в клапанах повітряного компресора з результатами експериментального визначення цих втрат шляхом продукук на спеціальному стенді дає хорошу збіжність – величина відносної похибки не перевищує 5%, що відповідає необхідній точності для інженерних розрахунків.

ВПЛИВ ВІДНОШЕННЯ ТИСКІВ І ТЕМПЕРАТУРИ ГАЗУ НА ВХОДІ ВИХРОВОГО КОМПРЕСОРА НА ЙОГО ПАРАМЕТРИ

*Ванєєв С. М., к.т.н., доцент; Дурманенко М. О., студент гр. К.м-21;
Карасенко В. В., студент гр. К.м-21, каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми*

Відомо, що вихрові компресори є високонапірними і маловитратними машинами. Вони використовуються в багатьох галузях промисловості, у сільському господарстві, у системах наддуву повітря в топки згоряння на ТЕЦ; для аерації стічної води; для наддуву повітря в торцеві газодинамічні ущільнення, для продувки магнітних підшипників відцентрових компресорів.

На основі регенеративної гіпотези робочого процесу і результатів експериментальних досліджень розроблена методика розрахунку вихрових компресорів, що дозволяє проектувати ступені з найбільш досконалою, периферійно-бічною, криволінійною формою меридіонального перерізу робочого каналу. Метою термогазодинамічного розрахунку є визначення геометричних, термодинамічних, газодинамічних та енергетичних параметрів і співвідношень ступені вихрового компресора для зони максимального ККД.

Досліджено вплив на параметри повітряного компресора відношення тисків на виході і вході компресора (ступеня підвищення тиску в компресорі): при тиску на вході 100 кПа досліджувались тиски на виході 115, 120, 130 і 140 кПа, тобто відношення тисків 1,15; 1,2; 1,3 і 1,4. Об'ємна витрата газу дорівнювала 25 м³/хв, температура повітря на всмоктуванні – 313 К; частота обертання ротора компресора - 2950 об/хв.

В результаті розрахунків отримано, що

- зовнішній діаметр робочого колеса збільшується з 0,59 до 0,867 м;
- висота робочого каналу зменшується з 0,125 м до 0,105 м;
- адіабатний ККД зменшується з 0,46 до 0,42;
- температура нагнітання збільшується з 338 К до 388 К;
- споживана компресором потужність збільшується з 12,8 кВт до 34,8 кВт;
- безрозмірний газодинамічний комплекс збільшується з 1,76 до 2,0;
- безрозмірний геометричний комплекс зменшується з 0,048 до 0,027.

Було також досліджено вплив на параметри повітряного компресора температури повітря на всмоктуванні: 313, 303, 293, 283 К. Об'ємна витрата газу дорівнювала 35 м³/хв, тиск повітря на всмоктуванні – 100 кПа; тиск нагнітання 115 кПа; частота обертання ротора компресора - 2950 об/хв.

В результаті розрахунків отримано, що

- зовнішній діаметр робочого колеса зменшується з 0,596 до 0,57 м;
- висота робочого каналу збільшується з 0,148 м до 0,152 м;
- адіабатний ККД практично не змінюється і дорівнює 0,46;
- температура нагнітання зменшується з 340,7 К до 308,1 К;
- споживана компресором потужність практично не змінюється - 18 кВт;
- безрозмірний газодинамічний комплекс зменшується з 1,727 до 1,712;
- безрозмірний геометричний комплекс збільшується з 0,0559 до 0,0599.

ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ПОДАЛЬША МОДЕРНІЗАЦІЯ ПНЕВМАТИЧНИХ ГАЛЬМІВНИХ СИСТЕМ МАНЕВРОВИХ ТЕПЛОВОЗІВ

*Бондаренко Г. А., к.т.н., професор; Яценко А. О., аспірант, кафедра
технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми*

Для потреб переміщення вантажу, широко використовуються електровози та тепловози. На відміну від електричних – дизельні тепловози не мають генераторів, або їх потужність недостатня для живлення пневматичної гальмівної системи. В таких випадках на всіх моделях тепловозів для роботи головного компресору використовують дизельний привід, що зумовлює специфічні конструкції компресорного агрегату. Також в конструкції використовується застарілий поршневий компресор, який вже довго не підлягав модернізації, через що має неприйнятну для європейських стандартів якість повітря, а саме високу вологість та великий вміст мастила. Більше цього, всі ці конструкції мають низьку ефективність, велику габаритність, часті поломки, що призводять до більшого часу простою, та шкодять навколишньому середовищу.

У роботі, на прикладі маневрового тепловозу ЧМЕЗ, який широко використовується як в Україні так і в балтійських країнах, для перетину колії 1520 і 1435 мм, були досліджені основні критичні вузли старої схеми [1] та розроблено принципово нову схему, з використанням гвинтового компресорного агрегату, на заміну старого поршневого, та використанням електромагнітного зчеплення. Такі зміни суттєво зменшують габарити компресорної системи, оптимізують роботу компресорного агрегату в режимах “Пуск – стоп” та перехід на холостий хід [2]. За рахунок використання системи осушки і очистки повітря – характеристики робочого повітря знаходяться в допустимих межах [3], тим самим забезпечуючи безпеку і надійність роботи пневматичної мережі гальмівної системи тепловоза.

Список літератури:

1. Vaclav Pantucek, Motorova lokomotiva T 669.0. – Praha: Ustrdni dum dopravní techniky.
2. Бондаренко Г. А., Жарков П.Є, Гвинтові компресори у системах забезпечення стиснутим повітрям. – Суми: Видавництво СумДУ, 2003. -134с.
3. Бондаренко Г. А., Гвинтові повітряні компресорні станції. – Суми: Видавництво СумДУ, 2005. -255с.

ПЕРЕВІРКА СТЕНДУ ДЛЯ ДОСЛІДЖЕНЬ СТРУМИННО-РЕАКТИВНОЇ ТУРБІНИ З МЕТОЮ ОТРИМАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК

*Бага Т. С., пров. інженер; Ванєєв С. М., к.т.н., доцент;
Мірошниченко О. І., аспірантка; Пилипенко Д. А., студент гр. К.м.-21,
кафедра технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми*

Для отримання характеристик струминно-реактивної турбіни (СРТ) необхідно провести ряд експериментів на модельному стенді СРТ. Даний стенд знаходиться на кафедрі технічної теплофізики СумДУ, попередні експерименти на стенді проводились близько 8 років тому. Відповідно тематиці даної роботи в експериментальній частині ставилась така мета: підтвердити практичну придатність струминно-реактивної машини, отримати характеристику залежності частоти обертання ротора на холостому ходу від тиску на вході турбіни.

Струминно-реактивні машини високообертові, і мають працювати в області максимальних значень ККД, тому важливим етапом для проведення експерименту є подача максимально можливого тиску на вхід в СРТ і отримання максимально можливої частоти обертання ротора.

Принцип дії СРТ полягає в перетворенні потенційної енергії стисненого газу в кінетичну енергію надзвукового струменя, що витікає з тягового сопла. В результаті утворюється реактивна сила тяги на тяговому соплі (ТС) і відповідно крутний момент на валу турбіни, а при обертанні валу здійснюється механічна робота. Процес перетворення потенційної енергії робочого тіла в кінетичну енергію протікаючого струменя є основним і відбувається в тяговому соплі. При цьому ефективність процесу перетворення і, отже, ефективність турбіни в цілому зростає з ростом тиску і температури газу перед ТС.

При проведенні проміжного експерименту на вхід в СРТ підводився газ під тиском до 0,5 МПа, відповідно при такому тиску отримали більше 17000 об/хв на валу турбіни.

Тиск на вході в струминно-реактивній машині вимірювався манометром типу МО з верхньою межею шкали вимірювань 6 кгс/см². Частота обертів валу турбіни вимірювалась приладом VIBROPORT-41 фірми «SCHENCK».

На основі отриманих експериментальних даних зроблені висновки, що всі складові стенду працюють в належному стані незважаючи на те, що стенд давно не запускався: отримані залежності частоти обертання ротора на холостому ходу від тиску на вході повністю відповідають аналогічним залежностям минулих досліджень струминно-реактивної машини.

Подальшим етапом роботи буде модернізація експериментального стенду з встановленням муфти крутного моменту і навантажувального високообертового електрогенератора для отримання характеристик турбіни та турбогенератора під навантаженням.

ЕКСЕРГЕТИЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ СИСТЕМ ТЕПЛОПОСТАЧАННЯ ТРАДИЦІЙНОГО ТИПУ І СИСТЕМ НА БАЗІ ТЕПЛОНАСОСНИХ УСТАНОВОК

*Ярина В. Р., студ. гр. К.м-21; Арсеньєв В. М., к.т.н., професор;
Меліщук С. С., к.т.н., доцент, каф. технічної теплофізики, СумДУ, м. Суми*

Одним із найбільш ефективних шляхів економії паливно-енергетичних ресурсів є використання екологічно чистих відновлюваних джерел енергії. Як перетворювач теплової енергії, від теплоносія з низькою температурою до теплоносія з більш високою температурою, використовуються теплонасосні установки (ТНУ). Зважаючи на це, реалізація проектів теплопостачання із застосуванням теплонасосних систем потребує їх техніко-економічного зіставлення із системами традиційного типу: теплогенераторами та системами центрального теплопостачання.

Ефективність кожної із систем, що зіставляється, залежить від багатьох факторів і при співставленні необхідно враховувати як показники енергоефективності, так і показники реального економічного ефекту. Подібний комплексний підхід закладено в методології термoeкономічного аналізу, на основі якого можна здійснити порівняння показників різних систем теплогенерації з подальшим проведенням оптимізаційних розрахунків.

Термoeкономічний аналіз є найбільш досконалим у порівнянні з іншими методами визначення ефективності ТНУ або будь-яких інших термомеханічних систем. Методи термoeкономіки дозволяють визначити шляхи скорочення вартості систем як на етапі її проектування, так і на етапі її подальшої експлуатації.

В роботі розглянуто ексергетичну ефективність моновалентної ТНУ, теплогенераторів та бойлерів з мережевим теплоносієм. Методологія розрахунку полягає в тому, що енергетична ефективність термoeкономічної системи представляє собою відношення потоку ексергії «продукту» системи до потоку ексергії «палива» або енергоносія системи. Для моновалентної ТНУ ексергетична ефективність визначається коефіцієнтом перетворення та ексергетичними функціями середовища, яке нагрівається та утилізується. Ексергетична ефективність теплогенератора містить показники питомої теплоти згорання палива з відповідними коефіцієнтами кореляції питомої ексергії. Схема побудови ексергетичних перетворень для бойлера відповідає умовам, що застосовуються для поверхневих теплообмінників, з врахуванням різниці потоків ексергії мережевого теплоносія на вході та виході з бойлера.

Порівняльний аналіз ексергетичної ефективності системи теплопостачання на базі ТНУ показує її перевагу над традиційними системами при значенні коефіцієнта перетворення більше 0,9. Таким чином, підвищуюча термотрансформація теплоти в теплонасосній установці більш ефективна ніж понижуюча в теплогенераторі та бойлері.

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОЧОГО СОПЛА ЕЖЕКТОРНО-ОЧИСНОЇ УСТАНОВКИ

*Бондаренко Г. А., к.т.н., професор; Гаджієв М. В., студент гр. К.м-21;
Бага В. М., к.т.н., доцент, каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми*

В данній роботі проводилося чисельне та експериментальне дослідження робочого сопла ежекторно-очисної установки, оскільки воно є суттєвим резервом по підвищенню її ефективності. Данне сопло представляємо в якості ежектора, в якому змішується абразивний матеріал (кварцевий пісок) з повітрям в широкому діапазоні значень тиску p та витрати V . Втрата ефективності роботи робочого сопла заключається у зниженні значень робочих параметрів потоку на виході з сопла, що в основному пов'язано з його зношенням. В процесі зносу робочого сопла ежекторно-очисна установка потребує значно більшої витрати повітря та абразиву, при чому суттєво збільшується час обробки деталей що є неприйнятним.

Підвищення ефективності робочого сопла досягається шляхом вживання ряду заходів щодо зміни геометрії його проточної частини з метою мінімізації втрат на тертя, підвищення швидкості потоку на виході та застосування зносостійких поверхонь.

Виконано чисельне та експериментальне дослідження проточної частини циліндричного, конічного, сопла Вентурі та сопла Лаваля з діаметром d , та довжиною l з використанням програмного комплексу ANSYS та експериментального стенду. Модель течії – повністю стискаема рідина з активацією двухфазного середовища (опцією частинки). Абразивні частинки мають діаметри, що коливаються в діапазоні 0,0001–0,001 м. Число розрахункових ячілок порядку $N = 20000-25000$, використовувалась неявна схема розрахунку. Перепад тиску $p_2/p_1 = 1,98$, що відповідає виходу очисної установки на робочий режим..

З отриманих залежностей видно тенденція до збільшення значення коефіцієнта витрати повітряно-абразивної суміші сопла та його витратної швидкості зі збільшенням його внутрішнього діаметру при сталих значеннях вхідних та вихідних параметрів p_1 , p_2 . Звертає на себе увагу відмінність в структурі течії робочого потоку в соплах з різними значеннями внутрішнього діаметру $d = 7$ мм та $d = 20$ мм. При $d = 7$ мм маємо чітко виражену нерівномірність параметрів робочого потоку на виході з сопла. Візуалізації течії показують різке підвищення параметрів течії в вихідному перетині сопла.

Експериментально підтверджена ефективність конічного сопла, час обробки деталей з його використанням скорочується вдвічі.

МАЛОВИТРАТНІ ВІДЦЕНТРОВІ КОМПРЕСОРИ В ХОЛОДИЛЬНОМУ УСТАТКУВАННІ

*Бондаренко Г. А., к.т.н., професор;
Червяченко М. К., студентка гр. К.м-21;
Сітало В. С., студент гр. К.м-21;*

Бага В. М., к.т.н., доцент, каф. ТТФ, СумДУ, м. Суми

Поряд з холодильними турбокомпресорами великої продуктивності, що використовуються в хімічній, нафтопереробній та інших галузях промисловості, у багатьох областях техніки необхідні турбоагрегати холодопродуктивністю від кількох десятків до кількох сотень кВт. Ці машини застосовують для кондиціонування повітря в громадських та адміністративних будівлях, на транспорті та для охолодження електронної апаратури.

Найбільшого поширення маловитратні холодильні турбокомпресори (МХТ) набули в літаках та аеродромних кондиціонерах. При створенні МХТ виникають складнощі, пов'язані з розробкою економічних компресорних щаблів малих розмірів, проектуванням високооборотного приводу, забезпеченням працездатності опор та ущільнень, вибором ізоляційних та конструкційних матеріалів вбудованих двигунів та ін.

В ході даної роботи встановлюємо загальні відомості про маловитратні відцентрові компресори, їх переваги та застосування. Виконано аналітичний аналіз конструкції фреонових турбокомпресорів. Розглянуто методи проектування компресорів малої холодопродуктивності. Застосовано компресори з електродвигунами промислової частоти струму.

Розглянуто холодильні установки з маловитратними фреоновими турбокомпресорами, теплообмінні апарати.

У фреонових установках з поршневими компресорами холодопродуктивністю від 10 до 300 кВт теплообмінні апарати займають 70-85% всього обсягу установок; приблизно таке співвідношення зберігається і для металоємності. Тому застосування відцентрових компресорів замість поршневих ще не вирішує проблеми створення малогабаритних та полегшених холодильних машин. Велике значення має зменшення розмірів і маси основних теплообмінних апаратів - випарника та конденсатора. Це завдання вирішують шляхом підвищення інтенсивності теплообміну та заміни сталевих та мідних матеріалів алюмінієвими.

Випарники та конденсатори стаціонарних турбохолодильних установок малої продуктивності зазвичай виконують кожухотрубними. Мідні труби цих апаратів виготовляють з накатними ребрами, що збільшують зовнішню поверхню теплообміну в 3,5-4,0 рази. Для зменшення розмірів та маси апаратів застосовують тонкостінні труби малого діаметра з умовним проходом до 20 мм.

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НА ПАРАМЕТРИ ВИХРОВОГО КОМПРЕСОРА ЗМІНИ ВИТРАТИ РОБОЧОГО ТІЛА І ЧАСТОТИ ОБЕРТАННЯ РОТОРА

*Ванєєв С. М., к.т.н., доцент; Ракоїд Р. О., Логвін П. Ю., студенти гр. К.м-21,
кафедра технічної теплофізики, Сумський державний університет, м. Суми*

Вихрові компресори рекомендується застосовувати при продуктивностях за умовами всмоктування до $100 \text{ м}^3/\text{хв}$; відношенні тисків в одному ступені до 1,8; різниці тисків на виході і вході ступеня до 150 кПа.

Було досліджено вплив на параметри повітряного вихрового компресора об'ємної витрати газу на всмоктуванні вихрового компресора (40, 50, 70, $90 \text{ м}^3/\text{хв}$). Сталими залишалися тиск повітря на всмоктуванні – 100 кПа; температура повітря на всмоктуванні - 313 К; тиск нагнітання – 130 кПа; частота обертання ротора компресора - 2950 об/хв.

Основними геометричними параметрами вихрового компресора є зовнішній діаметр робочого колеса і висота робочого каналу у меридіональному перерізі проточної частини. Аналіз результатів досліджень показав, що зовнішній діаметр робочого колеса зменшується з 0,798 м до 0,823 м, висота робочого каналу зменшується з 0,137 м до 0,202 м.

Практично не змінюються температура газу на виході з компресора (368 К) і адіабатний ККД (0,44).

Основні безрозмірні параметри і комплекси змінюються наступним чином: адіабатний коефіцієнт напору зменшується з 1,61 до 1,51; коефіцієнт витрати незначно збільшується (з 0,61 до 0,62); умовний коефіцієнт витрати збільшується з 0,0128 до 0,0262; коефіцієнт швидкохідності збільшується з 0,0205 до 0,0309; газодинамічний комплекс зменшується з 1,833 до 1,730; геометричний комплекс збільшується з 0,0386 до 0,0552.

Потужність, споживана компресором, збільшується з 41,3 кВт до 93,1 кВт.

Було досліджено також вплив на параметри повітряного вихрового компресора частоти обертання ротора компресора (2950; 3500; 4000; 4500 об/хв). Сталими залишалися тиск повітря на всмоктуванні – 100 кПа; температура повітря на всмоктуванні – 313 К; тиск нагнітання – 115 кПа; Об'ємна витрата газу на всмоктуванні – $25 \text{ м}^3/\text{хв}$.

Аналіз результатів розрахунків показав, що зовнішній діаметр робочого колеса суттєво зменшується (з 0,664 м до 0,449 м), висота робочого каналу зменшується несуттєво з 0,118 м до 0,117 м. Практично не змінюються температура газу на виході з компресора (350 К), адіабатний ККД (0,455) і споживана компресором потужність (17,1 кВт).

Адіабатний коефіцієнт напору зменшується з 1,6 до 1,5; коефіцієнт витрати незначно збільшується (з 0,61 до 0,62); умовний коефіцієнт витрати суттєво збільшується з 0,0128 до 0,0271; коефіцієнт швидкохідності збільшується з 0,0215 до 0,0328; газодинамічний комплекс зменшується з 1,819 до 1,717; геометричний комплекс збільшується з 0,0401 до 0,0585.

Наукове видання

СУЧАСНІ ТЕХНОЛОГІЇ У ПРОМИСЛОВОМУ ВИРОБНИЦТВІ

МАТЕРІАЛИ
та програма

**X Всеукраїнської
науково-технічної конференції
(м. Суми, 18–21 квітня 2023 р.)**

Відповідальний за випуск **О. Г. Гусак**
Комп'ютерне верстання: **В. С. Чубур, І. В. Павленко**
Обкладинка: **Х. В. Берладір**

Стиль та орфографія авторів збережені.

Формат 60×84/16. Ум. друк. арк. 16,21. Обл. вид. арк. 19,90. 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.