

УДК 621.1:502.174.3
КП
№ держреєстрації 0109U001381
Інв. №

Міністерство освіти і науки України
Сумський державний університет
(СумДУ)
40007, м.Суми, вул.Римського-Корсакова, 2
тел. (0542) 33-44-94 факс (0542) 33-40-49

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректор СумДУ
з наукової роботи
д.ф.-м. н., професор
_____ А.Чорноус
2009.12.29.

ЗВІТ
ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ
"ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ
АГРЕГАТИВ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ ТА РОЗРОБКА НА
ЇХ ОСНОВІ ЕНЕРГО- ТА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯЧ "
(проміжний звіт)

Начальник НДЧ
канд. техн. наук, доцент

В.Осіпов

Керівник НДР
канд. техн. наук, професор

А.Євтушенко

2009

Рукопис закінчено 25 грудня 2009 р.

Результати даної роботи розглянуті науковою радою СумДУ,
протокол № 6 від 2009.12.24

СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР Професор, канд. техн. наук	А. Євтушенко (реферат, вступ, висновки, підрозділ 2.1)
Наук. співробітник, канд. техн. наук	А. Папченко (підрозділ 4.2)
Провідний фахівець	В. Панченко (підрозділ 1.1)
Мол. наук. співробітник	О. Шепеленко (підрозділи 1.2)
Мол. наук. співробітник	С.Ковальов (підрозділ 2.1, 2.2, 2.3)
Аспірант	М. Овчаренко (підрозділ 3.1, 3.4, 3.5)
Аспірант	Д. Казнієнко (підрозділ 4.1)
Мол. наук. співробітник	С. Хованский (розділ 3.2, 3.3)
Інженер I кат.	Т. Копитіна (компоновка та редагування звіту)

РЕФЕРАТ

Звіт: 85 с., 44 рисунка, 4 таблиці, 41 посилання.

Мета роботи – розвиток теорії та методів проектування теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення та створення на їх основі ресурсо- та енергозберігаючого обладнання.

Об'єкт дослідження – робочий процес теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення. Технічним об'єктом дослідження є гідросистеми з теплогенеруючими агрегатами в їхньому складі.

Спосіб проведення дослідження – розрахунковий та фізичний експерименти.

В даному звіті, який є проміжним по темі, основна частина складається з чотирьох розділів. В них відображені результати роботи над виконанням теми на протязі одного календарного року.

Звіт починається зі вступу, де наводиться загальна характеристика робіт по темі. В першому розділі наведені результати інформаційного огляду, спрямованого на виявлення конструктивних схем машин-аналогів, їх переваг та недоліків. В другому розділі викладені відомості стосовно основній складовій по темі дослідження – розвитку теорії та практики застосування багатофункціональних теплогенеруючих агрегатів для технологічного процесу підготовки зернового замісу у спиртовій промисловості. Третій розділ містить в собі результати, в частині робіт спрямованих на дослідження та створення типорозмірного ряду теплогенераторів для систем опалення та гарячого водопостачання.

Четвертий розділ містить результати роботи щодо розробки та планування методики випробування високоефективних теплогенераторів-гомогенізаторів для однофазних робочих середовищ.

ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИЙ АГРЕГАТ, РОБОЧИЙ ПРОЦЕС, ЕМУЛЬГАТОР, БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНЕ ПРИЗНАЧЕННЯ, ГОМОГЕНІЗАТОР, ГІДРОМЛІН.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Аналіз конструктивних схем аналогів.....	11
1.2 Порівняльний аналіз гідродинамічних установок для диспергування, гомогенізації і нагріву рідини.....	25
2 СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО, РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СПИРТУ.....	35
2.1 Існуюче технологічне обладнання, передумови впровадження багатофункціонального теплогенеруючого агрегату.....	35
2.2 Взаємозв'язок конструктивних та режимних параметрів теплогенеруючого агрегату багатофункціонального призначення.....	40
2.3 Дослідження насосної характеристики теплогенеруючого агрегату та гранулометричного складу готового продукту.....	44
3 СТВОРЕННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ.....	51
3.1 Передумови використання теплогенеруючих агрегатів (далі ТГА) гідродинамічного принципу дії.....	51
3.2 Розробка нового обладнання на основі теплогенеруючих агрегатів....	56
3.3 Модель течії рідини в проточній частині ТГА.....	57
3.4 Випробування дослідного зразку.....	60
3.5 Створення типорозмірного ряду агрегатів.....	62
4 ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТІВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ.....	65
4.1 Вибір конструктивної схеми гомогенізатора та розрахунок енергетичних характеристик агрегату.....	66
4.2 Експериментальне дослідження агрегату.....	74

ВИСНОВКИ.....	81
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	82

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ ТА СКОРОЧЕНЬ

Умовні позначення

- μ - коефіцієнт динамічної в'язкості, Па·с;
 ν - коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с;
 ρ - густина рідини, кг/м³;
 D, R - діаметр, радіус робочого колеса, м;
 g - прискорення вільного падіння, м/с²;
 μ_s - коефіцієнт швидкохідності;
 n - частота обертання, об/хв.;
 Q - подача (витрата) рідини, м³/с;
 H - напір, м;
 z - кількість лопатей в робочому колесі;
 ω - кутова швидкість обертання, с⁻¹;
 η - коефіцієнт корисної дії;
 h - втрати енергії, м;

Скорочення

- ТГА – теплогенеруючий агрегат;
ТГА-ГМ – теплогенеруючий агрегат - гідромлин;
ПЧ – проточна частина;
ККД – коефіцієнт корисної дії;
РК – робоче колесо.

ВСТУП

Існуюче сьогодні будуватиметься на умовах ринкової економіки, яка вимагає від будь-якого виробництва максимального здешевлення продукції без зниження її якості. У вказаному контексті найбільш пріоритетним напрямком є пошук шляхів по ресурсо- та енергозбереженню. Одним із шляхів цього напрямку є заміна існуючого обладнання на нове, що є менш енергоємним, а також пошук нових більш раціональних технологій виробництва.

Все це стало для існуючих підприємств поштовхом до вдосконалення своїх технологічних процесів та обладнання для їх реалізації. Одним із прикладів цього напрямку є вдосконалення ряду технологічних процесів і використання роторних апаратів, які успішно використовуються в хіміко-технологічних процесах (ХТП) в системах «рідина – рідина», «тверде тіло – рідина» і «газ - рідина», наприклад, диспергуванні, розчиненні, вилуговуванні, в фармацевтичній промисловості – при отриманні настоїв, кремів, мазей, в харчовій промисловості – виробництво майонезу, молока, соків з м'якоттю та сумішей на їх основі тощо. Суть процесу полягає в поетапному змішуванні ряду компонентів (як рідин, так і порошкоподібних), при цьому характеристики готового продукту контролюються за показниками однорідності та гранулометричним складом.

Реалізація вказаних технологічних процесів досить часто реалізується машинами вузько функціонального призначення, що виконують окрему технологічну операцію або навіть її частину. Такі агрегати мають складну конструкцію, що негативно позначається на експлуатаційних характеристиках і вартості устаткування.

За таких умов більш виправданим є підхід, при якому з метою підвищення ефективності технологічних процесів одержання сировини, продуктів, кормів тощо економічно доцільною виявляється реалізація декількох операцій у рамках однієї машини (комбінування процесів нагрівання робочого середовища, подрібнення твердих включень, що знаходяться в робочому середовищі, перемішування та перекачування продукту).

Створення багатфункціональних теплогенеруючих агрегатів для кормоприготуванні у тваринництві [1] та приготування біологічних добавок [2] підтвердили можливість об'єднання в межах одного агрегату декількох технологічних процесів та його ефективність з позиції ресурсо- та енергозбереження.

Впровадження вказаних агрегатів в інших галузях промисловості потребує більш повного вивчення особливостей певних технологій та визначення ефективності ТГА. За таких умов були проведені дослідно-промислові випробування теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора (рис.1) для наступних технологій:



Рисунок 1.1 – Багатфункціональний теплогенеруючий агрегат-гомогенізатор

- виробництво майонезу. Випробування проводилися на Заводі продтоварів смт. Бездрик Сумська обл. та ТОВ «Авіс» Вінницька обл. Особливість технології полягає у змішуванні ряду компонентів (олія, яєчний порошок, гірчиця, оцет, сіль тощо) при певних температурних режимах. Отриманий продукт підлягає

обов'язковій гомогенізації з метою підвищення його стійкості. Випробування проводилися у два етапи:

- робота в циклічному режимі. Виконується завантаження 40 кг продукту у ємність агрегату. Аналіз готового продукту проводиться після 2 хв. роботи у лабораторії підприємств. Результати свідчать про відповідність готового продукту нормативним документам. При таких випробуваннях відбувається багаторазове прокачування майонезу через проточну частину.

- робота в проточному режимі. Агрегат без ємності монтується в технологічну лінію. Гомогенізація готового продукту при цьому відбувається в «один прохід».

Результати аналізу свідчать про більш низькі якості готового продукту та необхідність підвищення ефективності ТГА для роботи в проточному режимі.

➤ виробництво мастил, СОЖ (ТОВ «Фірма Альфа» м.Кривий Ріг). Технологія полягає у змішуванні таких компонентів як оливи, тваринні жири, каталізatori, вода тощо, їх підігріву до температури 190°C для протікання хімічної реакції. Після охолодження продукту утворюються згустки, що знижують властивості готового продукту. Виконана спроба покращення кінцевого продукту за рахунок використання ТГА-гомогенізатора при процесі охолодження. Аналіз випробувань в циклічному режимі свідчить про покращення якостей (зменшення крупинок з 0,8 мм до 70 мкм) при регламентуємих розмірах 30 мкм. Впровадження ТГА у вказану галузь вимагає підвищення ефективності обладнання для роботи у проточному режимі.

➤ виробництво маргаринів, масел та твердих сирів (ТОВ «Моліс», Запорізька обл., ТОВ «Авіс» Вінницька обл.). Одним із етапів виробництва є отримання сировини, що полягає в емульгації молока або водного середовища з рослинними жирами. Якість емульгації визначає якісні та кількісні характеристики всього виробництва. Випробування агрегату в проточному режимі дозволило отримати необхідні характеристики робочого середовища, що дозволило укласти господарський договір та впровадити агрегат у виробництво ТОВ «Моліс».

➤ виробництво соків з м'якістю (ТОВ «Феміда-Інтер», м Луцьк). Виробництво натуральних соків високої якості потребує обладнання, що дозволяє виконати тонке подрібнення м'якоті та виконати гомогенізацію продукту для зменшення вірогідності розшарування. Випробування для вказаного напрямку свідчать про покращення якостей готового продукту при використанні ТГА в циклічному режимі.

Проведені випробування ТГА-гомогенізатору та аналіз ряду технологічних процесів є основою для проведення наукового дослідження та вирішення наступних науково-практичних задач:

- підвищення ефективності теплогенеруючих агрегатів-гомогенізаторів з метою покращення процесу емульгації, розчинення, змішування рідин;

- створення ефективних багатофункціональних агрегатів для спиртової промисловості для реалізації процесів подрібнення, змішування, перекачування та подрібнення двофазних робочих середовищ;
- дослідження та узгодження окремих процесів між собою, визначення балансу енергії;
- використання ТГА для систем опалення та гарячого водопостачання.

1 ІНФОРМАЦІЙНИЙ ОГЛЯД ЗА ТЕМОЮ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз конструктивних схем аналогів

Підвищення ефективності роботи обладнання для проведення хіміко-технологічних процесів (ХТП), процесів фармацевтичної, харчової промисловості тощо є однією з пріоритетних завдань для народного господарства країни. В даний час через скорочення розвіданих запасів енергоносіїв і, як наслідок, підвищення цін на них, особливо гостро постало завдання створення технологічного обладнання з низькими питомими енерговитратами на проведення різних технологічних процесів і одночасним підвищенням якості виробленої продукції. До такого устаткування в повній мірі можна віднести роторні апарати.

Роторні апарати відомі під різними назвами - гідродинамічні сирени (ГДС), роторні апарати з модуляцією потоку (РАМП), роторно-пульсаційні апарати (РПА), гідродинамічні апарати роторного типу (ГАРТ), роторно-статорні апарати, пульсаційні апарати роторного типу (ПАРТ), гідромеханічні диспергатори (ГМД) та ін. Конструктивна схема цих апаратів однакова. Апарати містять основні деталі – ротор і статор з каналами в їх бічних стінках. Оброблюване середовище проходить через канали, які періодично перекриваються, і виводиться з апарату. В результаті, в апараті на середовище впливають різні чинники: турбулентні пульсації, механічний вплив елементів конструкції, зсувні напруги, що виникають у зазорах між ротором і статором, інтенсивна акустична імпульсна і гідродинамічна кавітація, гідравлічні удари і т.д. Перераховані фактори фізичного впливу на оброблюване середовище інтенсифікують ХТП особливо у системах "рідина-рідина" (Р-Р) і "тверде-рідина" (Т-Р).

Основна відмінність між роторними апаратами, при всьому різноманітті конструктивних рішень, є величина зазору між ротором і статором. Ця незначна відмінність дуже сильно змінює характер і величину фізичних факторів, що впливають на оброблюване середовище. В апаратах з маленькими зазорами порядку 0,03 ... 0,1 мм основний вплив здійснюють різні типи кавітації. У пристроях, де

зазори мають великі величини, аж до декількох міліметрів, інтенсифікація процесів відбувається в зазорі за рахунок зсувних зусиль. Однак, в даний час визнано, що кавітаційний вплив найбільш ефективний з точки зору високої концентрації енергії в мікрооб'ємах рідини.

Для створення конструкції машини, яка відповідала б пред'явленим до неї вимогам, проведемо аналіз деяких існуючих машин, конструкцій, а також ідей тим або іншим чином пересічних із завданнями, поставленими перед гомогенізатором, що розробляється.

Аналіз конструкцій проведемо у вигляді патентного і літературного огляду, в основу якого закладені принципи пошуку в пропонованих конструкціях позитивів, які можна було б використати в подальших розробках даного агрегату, і негативів, які необхідно по можливості уникати або ж зменшувати їхній прояв до мінімуму.

Проаналізуємо в послідовному порядку ряд роторних апаратів найбільш близьких по призначенню до гомогенізатора.

Розглянемо пристрої для гомогенізації молока і молочних продуктів. Остання призначена для одержання однорідної структури кінцевого продукту з мінімальними розмірами дисперсної фази (жирових кульок і білкових тіл). Найчастіше цей процес здійснюється в клапанних гомогенізаторах.

Недоліком існуючих клапанних пристроїв для гомогенізації є висока енергоємність і металоємність. Ці недоліки обумовлені недосконалою організацією потоку оброблюваного середовища в клапанній щілині [1].

Розглянемо роторні імпульсні апарати (РІА) які є ефективним обладнанням для багатofакторного імпульсного впливу на гетерогенну рідину з метою отримання стабільних, високодисперсних емульсій і суспензій, інтенсифікації процесів розчинення і екстрагування речовин, зміни фізико-хімічних параметрів рідини, деструкції молекулярних сполук [2]. РІА використовуються для обробки таких систем як «рідина - рідина», «рідина - тверде тіло» і «газ - рідина» за рахунок широкого спектру факторів впливу:

- механічна дія на частки гетерогенного середовища, що полягає в ударних та зрізаючих навантаженнях і контактах з робочими частинами РІА;

- гідродинамічний вплив, що виражається у великих зсувних напругах в рідині, розвинутої турбулентності, пульсаціях тиску і швидкості потоку рідини;

- гідроакустичний вплив на рідину здійснюється за рахунок дрібномасштабних пульсацій тиску, інтенсивної кавітації, ударних хвиль і нелінійних акустичних ефектів.

Стандартна схема РІА радіального типу показана на рис. 1.2. Принцип роботи апарату полягає в наступному. Оброблювана рідина подається під тиском або самопливом через вхідний патрубок 7 в порожнину ротора 1, проходить через канали ротора 2, канали статора 4, робочу камеру, утворену корпусом 5 і кришкою 6 і виходить з апарату через вихідний патрубок 8.

При обертанні ротора, його канали періодично співпадають з каналами статора. Виходячи з каналів статора, рідина збирається в робочій камері й виходить через вихідний патрубок. В період часу, коли канали ротора перекриті стінкою статора, на поверхні ротора тиск збільшується, а при співпаданні каналу ротора з каналом статора тиск за короткий проміжок часу спадає і в результаті цього в канал статора розповсюджується імпульс тиску. Швидкість потоку рідини в каналі статора являє собою змінну величину. При розповсюдженні в каналі статора імпульсу надлишкового тиску, слідом за ним виникає короткочасний імпульс «від'ємного» тиску, так як поєднання каналів ротора і статора закінчилось, і подача рідини в канал статора відбувається тільки за рахунок «транзитної» течії з радіального зазору між ротором і статором. Об'єм рідини, яка входить в канал статора, прагне вийти з каналу, і інерційні сили створюють розтягуючі напруги в рідині, що спричинює кавітацію. Кавітаційні бульбашки зростають при пониженні тиску до тиску насичених парів оброблюваної рідини при даній температурі, і захоплюються або пульсують при збільшенні тиску в каналі статора. Частина кавітаційних бульбашок виходить в робочу камеру.

Акустична кавітація являє собою ефективний засіб концентрації енергії звукової хвилі малої густини в високу густину енергії, пов'язану з пульсаціями захопленням кавітаційних бульбашок. В фазі розрідження акустичної хвилі в рідині виникає розрив у вигляді порожнини, яка заповнюється насиченим паром

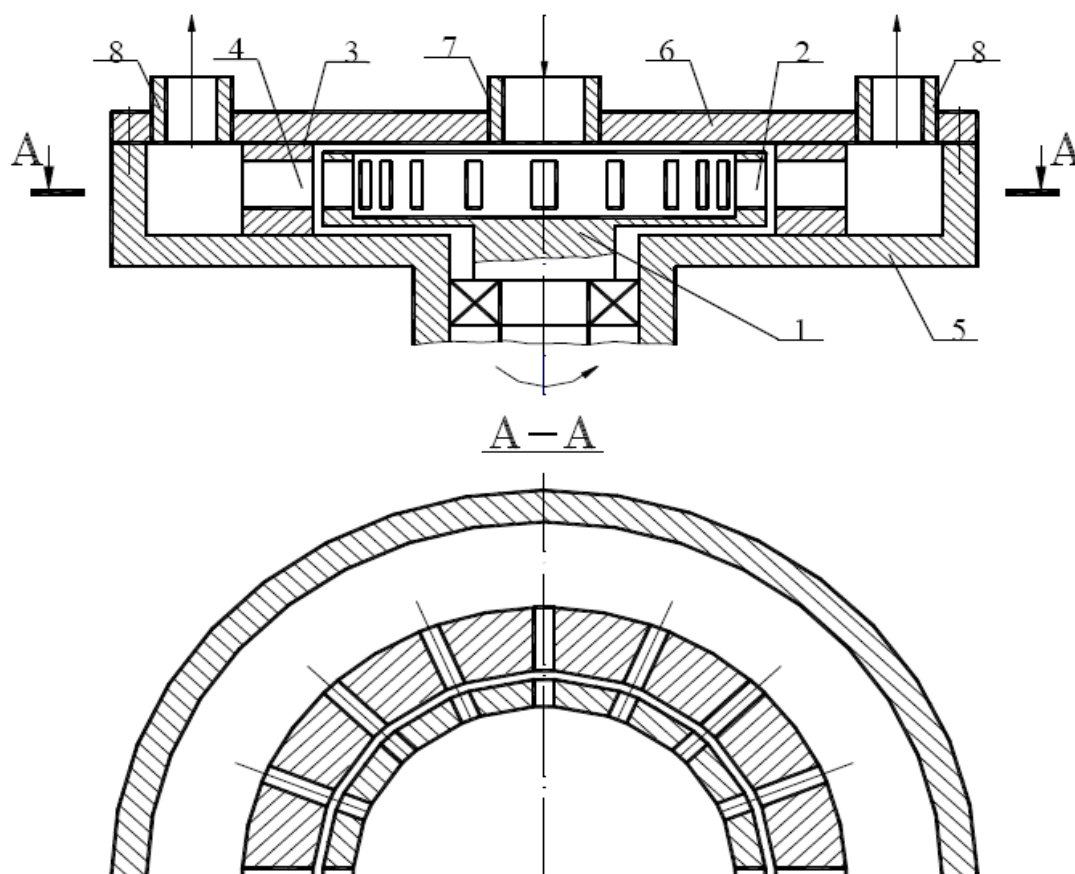


Рисунок 1.2 - Схема роторного імпульсного апарату

даної рідини. В фазі стиску під дією підвищеного тиску і сил поверхневого натягу порожнина захлопується, а пар конденсується на межі розділення фаз. Через стіни порожнини в неї дифундує розчинений в рідині газ, який потім піддається сильному адіабатичному стисканню. В момент захлопування тиск і температура газу досягають значної величини (за розрахунковими даними до 100 МПа і 1000 °С). Після захлопування порожнини в навколишній рідині розповсюджується сферична ударна хвиля, швидко затухаюча у просторі.

В зв'язку з тим, що швидкість потоку рідини в каналі статора велика і має флуктуації, потік має розвинену турбулентність. При обертанні ротора в зазорі між ротором і статором великі зсувні напруги. Робочі поверхні ротора і статора впливають на рідке гетерогенне середовище за рахунок механічного контакту, що приводить до великих зрізаючих і зсуваючи зусиль.

Широкого застосування набув пристрій для створення штучної кавітації в рідких середовищах з метою використання виникаючих кавітаційних ефектів для інтенсифікації різних фізико-хімічних процесів [3]. Апарат містить корпус, що утворює робочу камеру, в якій встановлені статор і на приводному валу ротор. Статор і ротор складаються з дисків. Перший від входу диск ротора забезпечений радіальними лопатками, що розташовані під кутом до його площини. Другий диск ротора, розміщений між дисками статора, забезпечений радіальними лопатками, передня частина яких виконана у вигляді клину, а задня – у вигляді паралелепіпеда з радіальними проточками на його бічних гранях. Диски статора мають прорізи. У прорізах другого диска статора встановлений kern трикутного перетину. Апарат дозволяє підвищити ефективність і продуктивність активації фізико-хімічних процесів, а також використовується для знезараження стічних і фекальних вод, дезактивації рідких радіоактивних відходів та отримання теплової енергії.

Даний роторний кавітаційний апарат складається з корпусу 1, що утворює робочу камеру 2 з входним 3 і вихідним 4 отворами, приводного валу 5, першого диска ротора 6 з радіальними лопатками 7, першого диска статора 8 з прорізами 9 і проточки 10, другого диска ротора 11 з радіальними ріжучими лопатками 12 і проточки 13, другого диска статора 14 з прорізами 15, Kern 16 і проточки 17.

Пристрій працює таким чином. При обертанні ротора 1 це перший диск 6 з лопатками 7, що представляє собою нагнітальне колесо осьового насоса, подає робочу рідину в обсяг робочої камери, обмежений статорних дисками 8, 14. Перший диск статора 8, що являє собою напрямний диск осьового насоса, запобігає закручуванню робочої рідини відносно осі симетрії пристрою, що виключає зменшення відносної швидкості ріжучих лопатей ротора і набігаючої на них рідини. Другий диск ротора 11, що обертається між статорних дисками 8, 14, своїми ріжучими лопатками 12 розсікає набігаючий потік рідини. За рахунок дії відомого в механіці ефекту клина, виникаючі у середовищі при обертанні ротора розривні напруги значно перевищують межу міцності рідини, тому на ріжучій кромці клину відбувається розрив суцільності рідини і на гранях клину утворюється велика кавітаційна каверна. Остання, взаємодіючи з радіальними проточками 10 і прорізами

15 в другому диску статора 14, дробиться на велику кількість дрібних кавітаційних бульбашок, які врешті-решт захоплюються в зазорі між плоскими гранями лопатей ротора 12 і статорних дисками 8, 14. Потужні кавітаційні ефекти, що виникають при захопленні, активують відповідні фізико-хімічні процеси в робочому середовищі.

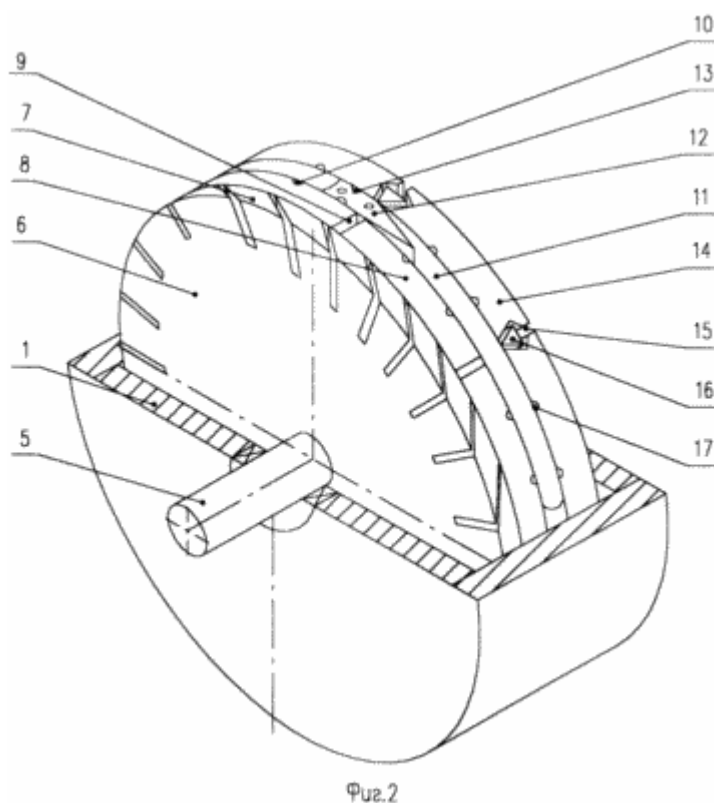


Рисунок 1.3 – Загальний вигляд роторного кавітаційного апарату

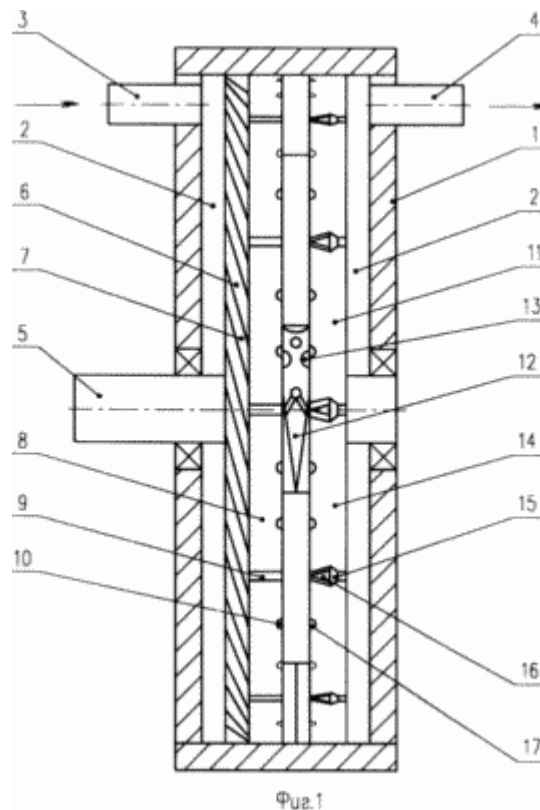


Рисунок 1.4 – Осьовий перетин роторного кавітаційного апарату

Відома конструкція статичного пристрою для гомогенізації, що представляє собою ряд перфорованих перегородок вставлених у корпус [4], при цьому розмір отворів у кожній наступній перегородці міняється від 3мм до 1мм. Недоліком зазначеної конструкції є неможливість одержання заданої якості гомогенізації молока, на виході одержують великі 4...10 мкм частки дисперсної фази.

Відомий пристрій [5] для гомогенізації, що містить корпус, з парами дисків, котрі чергуються, причому кожна пара містить один диск із великим числом (30...240 штук) отворів малого діаметра (0,1...0,3мм) і іншої – із двома отворами

1,5мм у діаметрі. Розмір дисперсної фази на виході складає 0,88...2,58мкм, він залежить від числа пар дисків і від розміру отворів малого діаметра.

Недоліком прототипу є складність і дорожнеча, зв'язані з необхідністю виготовлення 10...20 пар дисків з тонкими отворами діаметром (0,1...0,3мм), а також недостатньо висока для молока ступінь дисперсності продукту.

Розглянемо пристрій для гомогенізації, що включає корпус з розміщеними усередині перфорованими пластинами, який відрізняється тим, що пластини щільно притиснуті одна до одної, а перфорація виконана так, що у зборі утворюється один чи декілька рядів отворів, кожний з яких являє лабіринтний канал. Перевага полягає у низькій металоємності пристрою і високій якості готової продукції.

Сутність конструкції пояснюється кресленнями.

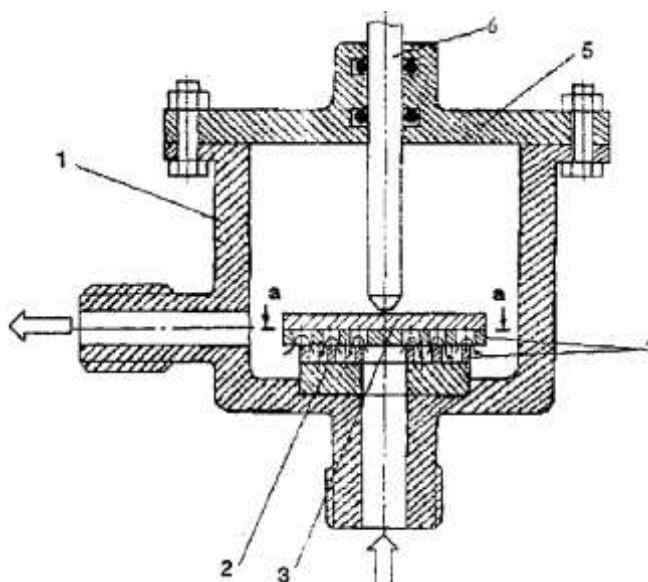


Рисунок 1.5 – Схема пристрою для гомогенізації у розрізі

На рис. 1.5 показана схема одного з варіантів пристрою для гомогенізації у розрізі. В корпусі 1 закріплена нижня підстава 2 і дві пластини 4, притиснуті за допомогою верхньої підстави 3 натискним пристроєм 6, що проходить через кришку 5.

На рис. 1.6 показана схема розміщення радіально розташованих отворів (наприклад, круглих) у пластинах 4. В обох пластинах 4 отвори зміщені так, що при накладенні пластин вони перекривають один одного й утворюють суцільний лабіринтний канал з поперечним перерізом, який змінюється по довжині. Фіксація пластин 4 від взаємного переміщення по площині контакту здійснюється штифтами 7.

На рис. 1.6 показані чотири ряди отворів, число рядів визначається продуктивністю, мінімальне число рядів - один.

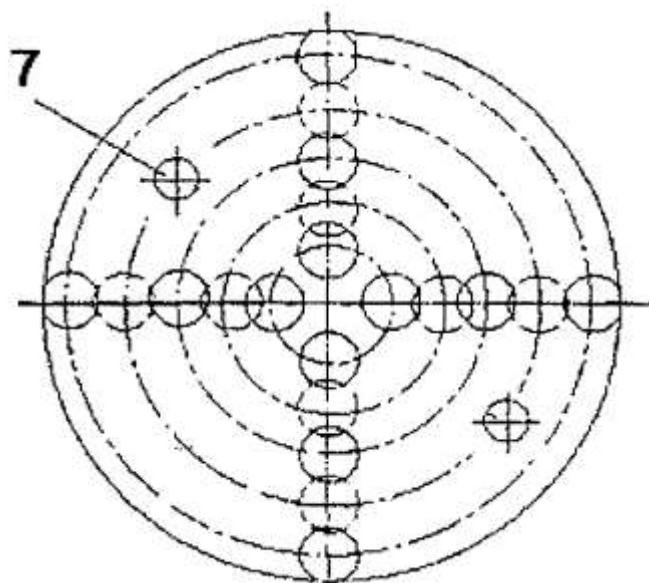


Рисунок 1.6 – Схема розміщення радіально розташованих отворів

Пристрій для гомогенізації працює таким чином. Продукт, котрий піддається гомогенізації, подають у корпус 1 (напрямок показаний стрілками) через центральний отвір у нижній підставі 2. Потім потік проходить по радіальних каналах, утворених рядами отворів у пластинах 4. Оброблюване середовище, проходячи по каналах перемінного перетину, багаторазово змінює величину і напрямок швидкості, а, крім того, піддається впливу пульсацій, викликаних вихровими течіями в камерах розширення. Нестационарність плинну призводить до розпаду часток дисперсної фази на дрібні фракції. Гомогенізований продукт виходить із пристрою через вихідний патрубок корпуса 1.

Відомий відцентровий гомогенізатор (емульсор) [6], що містить ротор поміщений безпосередньо на валу електродвигуна і являє собою диск із трьома ексцентрично розташованими на ньому кільцями з дрібними отворами в їхніх стінках. Ротор розташований у кожусі, що має патрубок для виходу емульсії. На внутрішній стороні кришки емульсора, що прикріплюється до його корпуса

затисками виконані три ексцентрично розташованих кільця, що при установці кришки розташовуються між кільцями ротора.

Недоліком цього відомого гомогенізатора є низький ступінь гомогенізації рідини, що обробляється і несумісність таких операцій як перекачування і гомогенізація.

Розглянемо детальніше насос-гомогенізатор, що має корпус із вхідним і напірним патрубками, рухомий і нерухомий ротори, оснащені лопатками з прорізами, який відрізняється тим, що рухомий ротор складається з основного, покривного і лопатевого дисків, причому лопаті лопатевого диска мають криволінійну форму, а нерухомий ротор сполучений з корпусом, на внутрішніх стінках якого по обидві сторони лопатевого диска виконані прорізи, причому на всмоктувальній периферійній частині корпуса додатково встановлені лопатки, спрямовані по ходу обертання рухливого ротора. Виступи нерухомого ротора розташовані в шаховому порядку щодо прорізів лопатевого диска.

Переваги даного пристрою:

- забезпечення руйнування жирових кульок (для рідких молочних продуктів), що в свою чергу збільшує термін зберігання продукту;
- поєднання двох операцій: перекачування та гомогенізація;
- низькі енерговитрати.

Принцип дії відцентрового насоса-гомогенізатора такий. При обертанні рідина з вхідного патрубка 2 поступає через осьове підведення 9 в міжлопатеві канали 8, де внаслідок взаємодії з лопатевим ротором 4 починають працювати відцентрові сили: тиск по мірі віддалення від центра обертання збільшується і утворюється направлений потік рідини від центра рухливого ротору 4 до периферії.

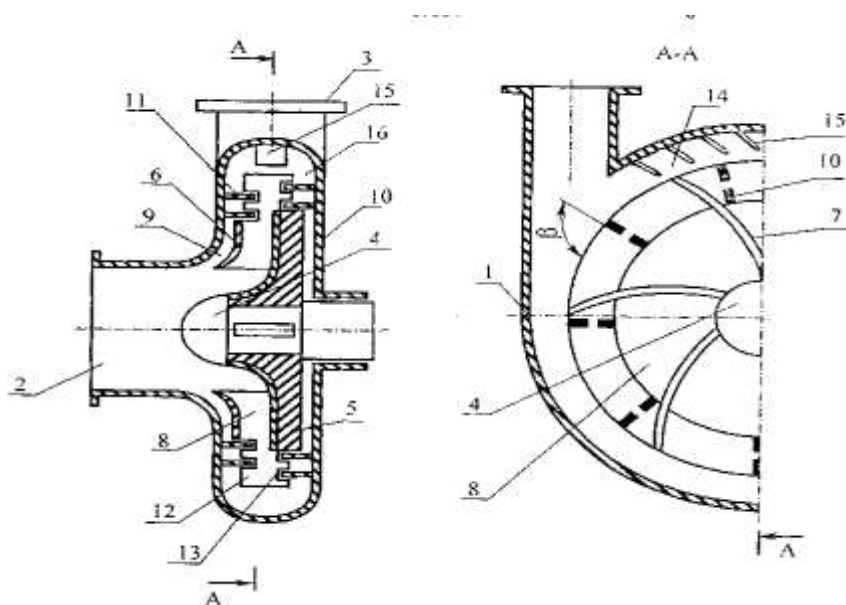


Рисунок 1.7 – Конструктивна схема насоса-гомогенізатора

У закритій частині міжлопатевих каналів 8 рідина здійснює складний рух: обертається разом з рухливим ротором 4 (переносний рух), рухається вздовж лопатей 12 лопатевого диска 7 (відносний рух). Крім того, через прояв сил інерції в міжлопатевих каналах 8 має місце «відносний вихор», що міняє величину переносної, а значить, і абсолютної швидкості. У відкритій частині міжлопатевих каналів 8 рідина виходить з торців рухливого ротору 4 в порожнину корпусу 1, продовжуючи обертатися спільно з лопатями 12 рухливого ротору 4, гальмуватися об лопатки 14, які розташовані в усмоктувальній периферійній частині 15 корпусу 1 і встановлені виступи 11, і відстає від лопатей 12 рухливого ротору 4, що обертаються. Частина загального потоку повертається в міжлопатеві канали 8 рухливого ротору 4 через різницю тиску на різних відстанях від центра обертання, а основна частина потоку рідини через циліндричний відвід 16 надходить у напірний патрубок 3.

Внаслідок гальмування рідини об внутрішні поверхні корпусу 1 та лопатки 14, які розташовані в усмоктувальній периферійній частині 15 корпусу 1, зміни відстані між торцевими поверхнями лопатей 12 рухливого ротору 4, що обертаються і торцевими поверхнями лопатей 12 (прохідного перетину) відбуваються періодичні високочастотні коливання витрат і тиску в рухливому роторі 4, що викликає місцеві

гідравлічні удари та явище кавітації, які руйнують жирові шарики. Таким чином, у проходженні через відцентровий насос-гомогенізатор потік молока постійно обробляється.

Розглянемо «Гомогенізатор суспензій», описаний в [7]. Цей винахід відноситься до хімічного машинобудування й може знайти застосування в апаратах для одержання тонкодисперсних гомогенних суспензій та емульсій. В описі [7] наведено кілька модифікацій конструкції.

На рис. 1.8 наведена базова конструкція винаходу.

Виділимо явні позитивні сторони конструкції:

- за рахунок форм робочих частин роторного 11 і статорного 13 коліс утворюються циркуляційні порожнини 21, у яких створюється пульсуючі закручені потоки, кавітаційне поле й поле відцентрових сил з великими градієнтами швидкості, тиску й температури. Ці фактори сприяють інтенсивному руйнуванню й перемішуванню компонентів робочого середовища;
- одночасно в полі відцентрових сил здійснюється класифікація диспергуючого робочого середовища по крупності й щільності: великі та більш щільні частки відкидаються до периферії на повторне диспергування;
- присутня і вторинна класифікація й диспергування часток у порожнині виходу 22;
- тиск у порожнині ротора й статора приблизно дорівнює тиску за ротором, що приводить до нечутливості апарата щодо зміни торцевого зазору, який можна регулювати;
- має місце термічна врівноваженість апарата: основні його вузли охолоджуються самим робочим середовищем;

Основним недоліком конструкції є можлива робота машини в умовах кавітації, що приведе до підвищеного зношування робочих деталей, а також відносна складність у виготовленні робочих органів.

На рис. 1.9 і рис. 1.10 наведені модифіковані конструкції базової машини. Саме за рахунок внесених конструктивних змін робочих органів установки, які помітні на рисунках, відбувається підвищення характеристик машини: збільшення її продуктивності й підвищення якості вихідного продукту. Але в той же час модернізовані установки володіють ще більш високим ступенем складності конструкції в порівнянні з базовою, що і є їхнім істотним недоліком.

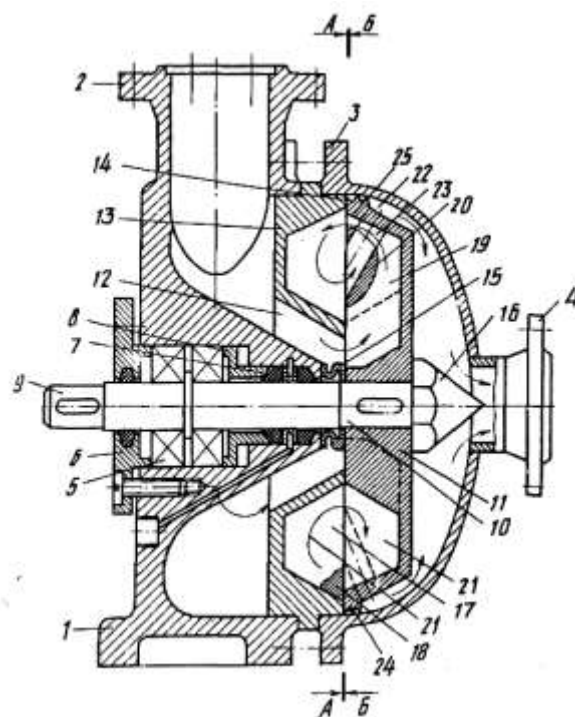


Рисунок 1.8 - Гомогенізатор суспензій

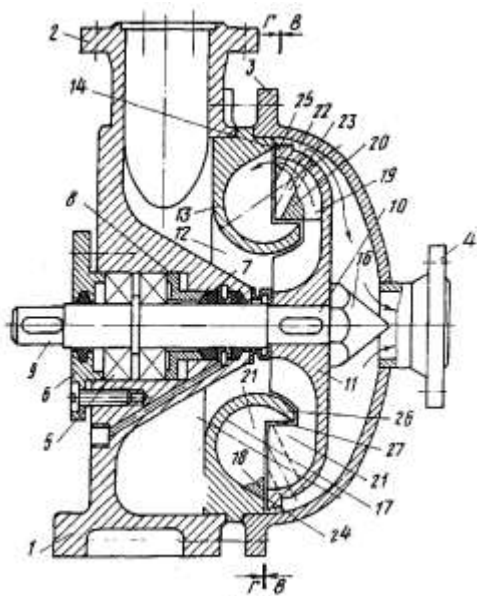


Рисунок 1.9 - Гомогенізатор суспензій модернізований. Варіант А

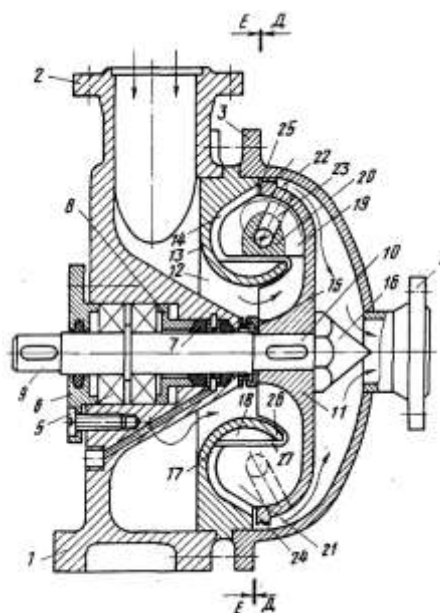


Рисунок 1.10 - Гомогенізатор суспензій модернізований. Варіант Б

Розглянемо «Багатокамерний млин» наведений в [8]. Винахід відноситься до тонкого подрібнення сухих сипучих матеріалів хімічної, фармацевтичної, харчової й іншої галузей промисловості, зокрема до тонкого подрібнення органічних барвників і пігментів. На рис.1.1.10 наведена конструкція розглянутої машини.

Звернемо увагу на плюси даної конструкції:

- багатоступеневість конструкції з можливістю набору необхідного числа щаблів, що дозволяє збільшити ступінь подрібнення, без збільшення питомих енерговитрат, підвищуючи тим самим ККД подрібнювача;
- відмінність першого щабля від наступних дозволяє забезпечити попереднє подрібнення матеріалу, уникаючи можливого «забивання»;
- створення першим щаблем великого вентиляційного ефекту, що забезпечує проходження матеріалу через всі камери;
- подрібнення матеріалу відбувається за рахунок зіткнення його часток між собою, у величезній кількості мікрозавихрень, створюваних пластинами пропонованою конструкцією.

До недоліків конструкції можна віднести:

- технологічна складність пропонованої конструкції робочих органів;
- можливість частої роботи машини при дисбалансі, пов'язаного з нерівномірним зношуванням пластин робочих органів.

Розглянемо конструкцію «Гомогенізатора», наведену в [9]. Цей винахід відноситься до апаратів для обробки гетерогенних середовищ і може бути використаний у хімічній, будівельній, гірничо-рудній, харчовій й іншій галузях промисловості. Конструкція розглянутої машини наведена на рис. 1.12.

Укажемо на переваги конструкції даної машини:

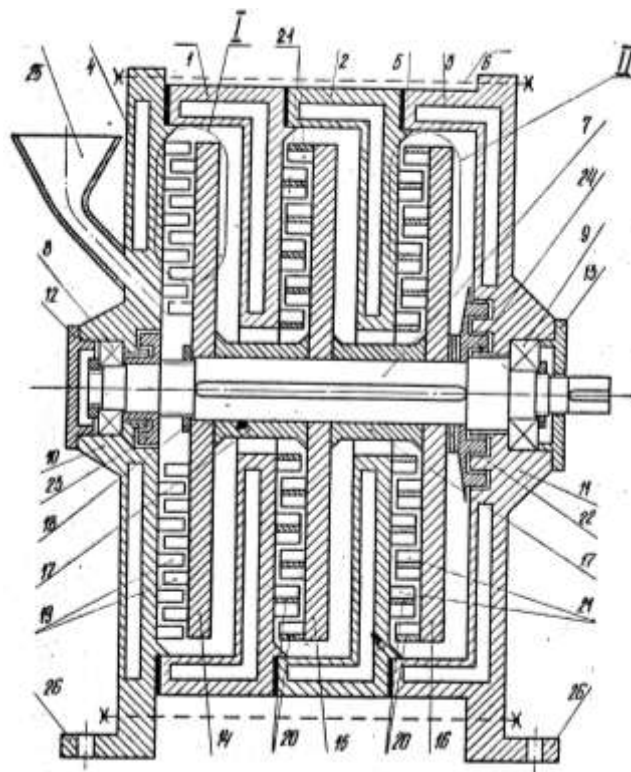


Рисунок 1.11 - Багатокамерний млин

- багатоступінчасте подрібнення;
- отвори дисків статорів і роторів розташовані по протилежно спрямованих спіралях Архімеда, що забезпечує невеликий гідравлічний опір апарата, а також збільшує інтенсивність перемішування матеріалу;

- забезпечується однаковість складу вихідного продукту по об'єму;

- визначено оптимальний крок спіралі Архімеда, складає 1,1 - 1,3 діаметра отвору.

Недоліки конструкції виражені в:

- технологічній складності конструкції: складність забезпечення малого зазору між дисками статора й ротора;

- інтенсивне зношування ріжучих крамок отворів.

Розглянемо «Пристрій для гомогенізації пастоподібних матеріалів», описане в джерелі [10]. Винахід відноситься до техніки для гомогенізації пастоподібних матеріалів і може бути використано хімічною, будівельною, фармацевтичною промисловостями для готування паст, розчинів мазей. На рис. 1.13 показана конструкція цієї машини.

Знайдемо переваги даної конструкції:

- на робочих поверхнях виконані канавки похилі до радіуса зі змінною глибиною й шириною, що дозволяє інтенсифікувати процес;

- канавки на робочих поверхнях корпуса й ротора протилежно спрямовані, що інтенсифікує процес подрібнення й перемішування;

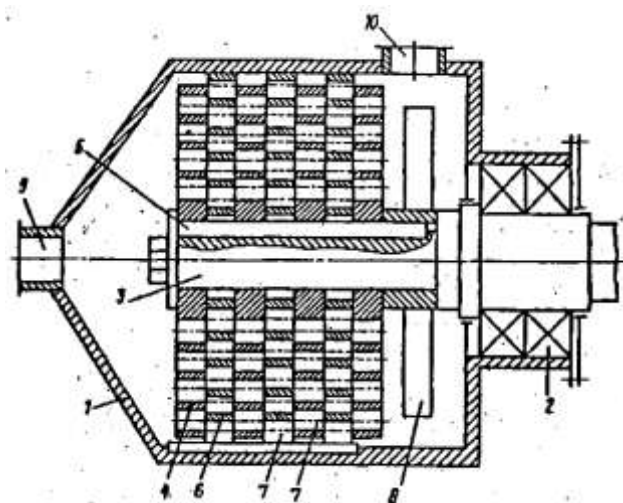


Рисунок 1.12 - Гомогенізатор

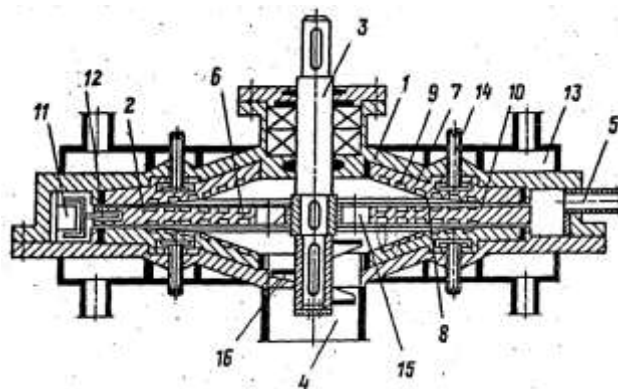


Рисунок 1.13 - Пристрій для гомогенізації пастоподібних матеріалів

- поступове збільшення ступеня подрібнення матеріалу;
- можливість регулювання тонкості дисперсності вихідного продукту;
- наявність у пристрої додаткової ділянки обробки за рахунок стирання продукту роликком 11;
- пристрій має сорочку для можливості охолодження конструкції.

Недоліки наведеної конструкції:

- складність конструкції;
- високе абразивне зношування;
- складність регулювання ступеня подрібнення матеріалу;
- низька надійність установки ролика.

1.2 Порівняльний аналіз гідродинамічних установок для диспергування, гомогенізації і нагріву рідини

Вибір методів і технологій приготування, відновлення МОР та інших технологічних емульсій впливають на трудомісткість і енерговитрати допоміжного виробництва машинобудівних підприємств. При приготуванні таких емульсій використовуються різні пристрої, що забезпечують перемішування, нагрівання, гомогенізацію і диспергування. Крім мішалок, баків з оброблюваним паром, нагріванням у ємностях в даний час все більше застосування знаходять технології з використанням гідродинамічних [11] та інших пристроїв, в яких виконується кавітаційна обробка потоку робочого середовища [12].

Для правильного вибору апаратних засобів, технологій приготування МОР та інших емульсій необхідні загальні критерії оцінки ефективності таких пристроїв.

Застосовувані гідродинамічні системи при обробці рідких середовищ можна розділити на три групи: дезінтегратори, гідродинамічні гомогенізатори (диспергатори) і гідродинамічні пристрої, що використовуються для нагрівання рідини (теплогенератори).

Принцип роботи дезінтегратора заснований на дії робочих органів на оброблюваний продукт при обертанні елементів різної конфігурації з великими кутовими швидкостями. При цьому відбуваються удари оброблюваного продукту об поверхню пальців, зубів, пластин або інших виступаючих деталей. На рис.1.14 показаний дезінтегратор з двома роторами, що обертаються назустріч один одному. Оброблюваний продукт надходить по завантажувальному каналу 1 в робочу зону з роторами 2, розташованими в корпусі 3. У таких пристроях, як правило, використовуються два електродвигуни 4. У даній конструкції на ротор встановлені циліндрові пальці. Вважається, що найбільша кінетична енергія досягається шляхом зустрічних ударів при великих швидкостях.

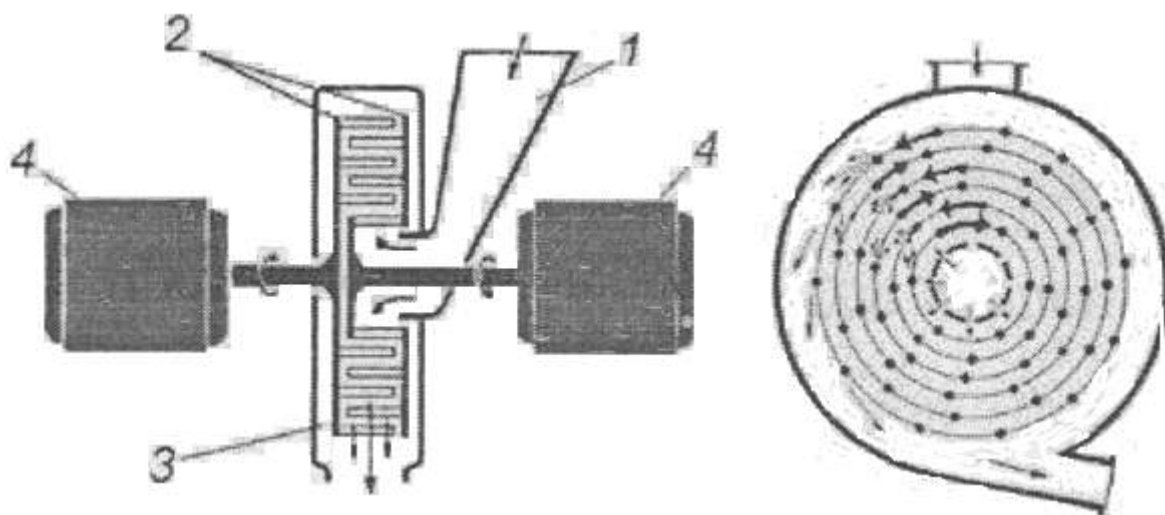


Рисунок 1.14 – Дезінтегратор

В таких пристроях відбувається інтенсивне перемішування, подрібнення, диспергування, механічна активація, але в них не відбувається значного нагрівання, що вказує на недостатню дисипації енергії, тобто перетворення механічної енергії в теплову.

У гомогенізаторах і диспергаторах використовуються різні способи впливу на робоче середовище. Гідродинамічні роторні апарати за характером впливу на робоче середовище можна розділити на два основні класи. До перших відносяться пристрої (рис.1.15), в яких розгін рідини виконується в закритих радіальних або інших за формою каналах ротора 2 з подальшим виходом на кавітуючі елементи 3. При цьому

кінетична енергія руху рідини витрачається на створення робочого тиску на виході 4 і на подолання опорів у робочій зоні 1. У таких апаратах при встановленні ущільнень практично немає повернення оброблюваного середовища на вхід ротора.

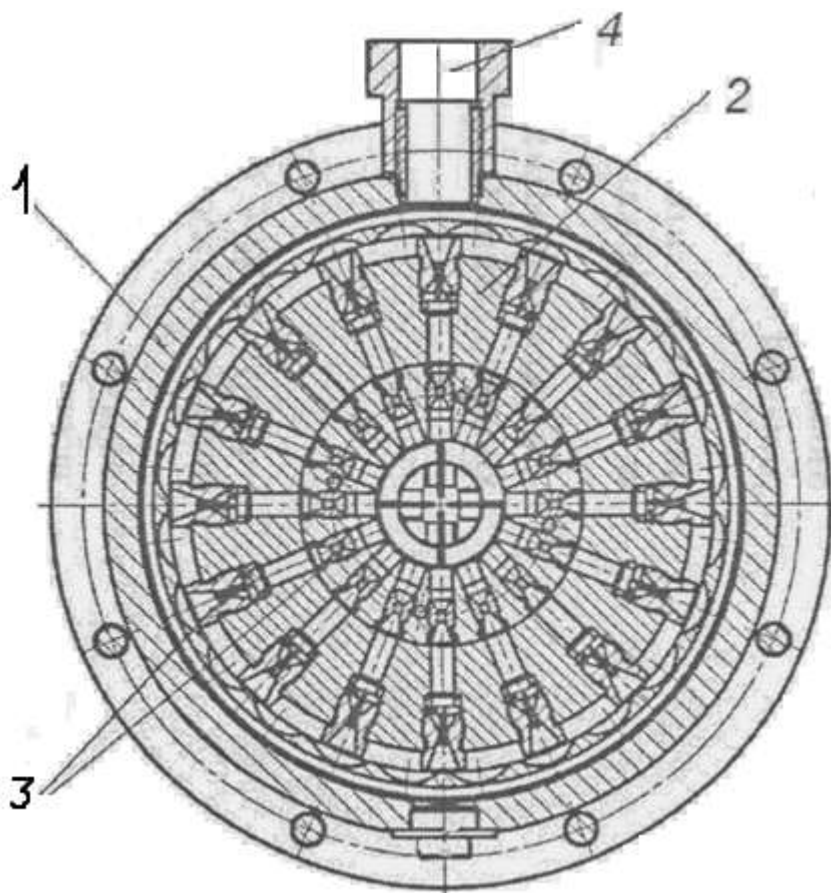


Рисунок 1.15 – Робоча зона апарату першого класу (РКА-03)

До другого класу належать роторно-пульсаційні апарати (РПА). У цих пристроях змінюється характер впливу на робоче середовище. Він обумовлений конструктивною особливістю робочих органів РПА - по черзі нерухомими і обертовими циліндрами або конусами з перфорацією у вигляді прорізів або отворів. При цьому вплив на потік рідкого оброблюваного середовища забезпечується шляхом примусового перекриття каналів його течії в системі обертового ротора і нерухомого статора. У цьому випадку при малих зазорах в сполученні робочих елементів крім кавітаційного ефекту у продукті виникають значні зсувні напруги, що інтенсифікує процес обробки. На рис.1.16 показано РПА [12] с роздільним введенням 4 змішуваних і диспергованих компонентів. Корпус 1 прикритий

кришкою 2. На валу 8 встановлені лопаті 3 для розгону рідини. На корпусі встановлено статор 5, відносно якого обертається ротор 9. Вихід готового продукту виконується через канал 6.

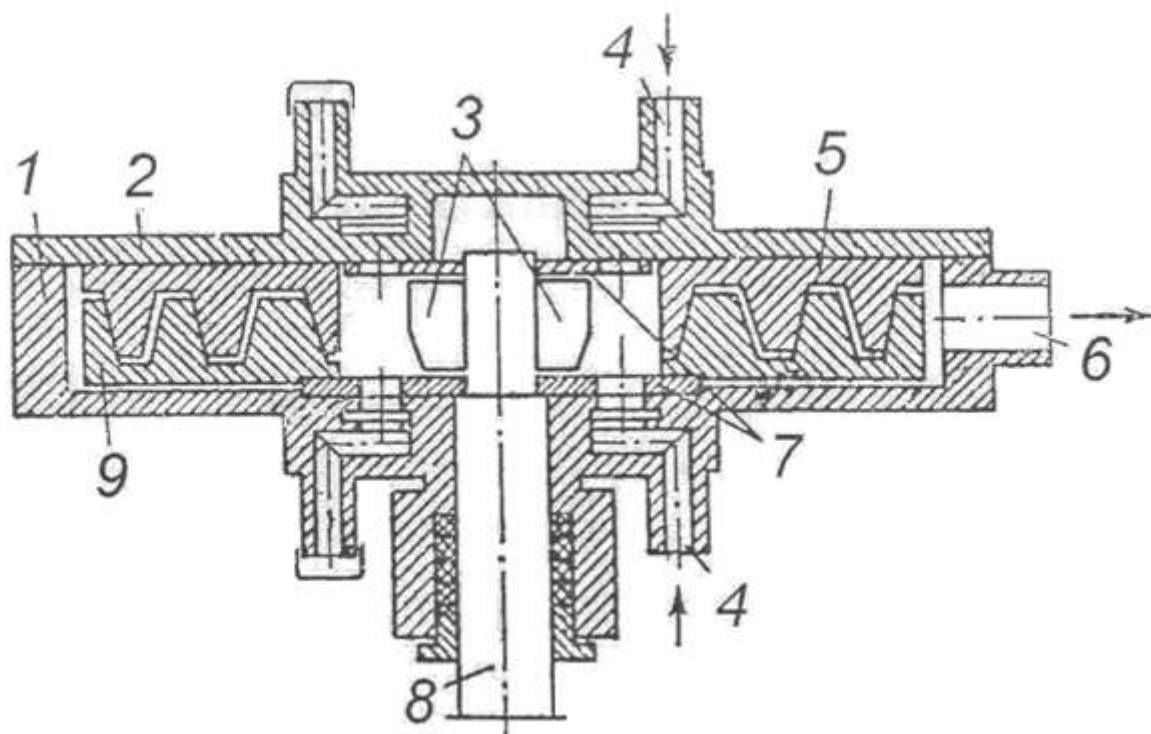


Рисунок 1.16 – Робоча зона апарату другого класу – РПА

Гідродинамічні апарати і перших, і других класів - проточного типу і крім диспергуючого ефекту додатково володіють насосними якостями, а також за рахунок виникнення сил дисипативної тертя в них відбувається нагрів оброблюваного продукту

Найбільш зручним параметром, що визначає рівень впливу на робоче середовище є кількість енергії, затрачується на процес і її розподіл в апараті [11]. У розглянутій системі кінематична енергія руху рідини при обертанні ротора крім створення гідравлічного напору на виході апарату переходить в тепло і зміна фізико-хімічного стану робочого середовища.

Дисипація енергії відбувається за рахунок сил опору в робочій зоні диспергатора, і залежить від конструкції елементів робочої зони і режимів обробки. Баланс енергії в робочій зоні диспергатора має вигляд:

$$W_k = W_\Gamma + W_{\text{вн}} + W_p,$$

де W_k – кінетична енергія рідини, що рухається в робочій зоні; W_Γ – енергія, що витрачається на створення тиску і переміщення робочого середовища в каналах, визначається гідравлічної потужністю диспергатора і втратами на повернення потоку до входу ротора; $W_{\text{вн}}$ – внутрішні втрати енергії на тертя в міжциліндричних, радіальних та осьових зазорах; W_p – енергія, що витрачається на перемішування, гомогенізацію і кавітаційну обробку робочого середовища.

Електроенергія, споживана з мережі змінного струму при роботі диспергатора, також витрачається на електричні та механічні втрати в системі. Тоді повний баланс енергетичних витрат визначається залежністю:

$$W_{\text{ед}} = W_k + W_{\text{пе}} + W_{\text{пм}},$$

де $W_{\text{ед}}$ – енергія, що споживається електродвигуном з мережі; $W_{\text{пе}}$ – втрати енергії в електродвигуні; $W_{\text{пм}}$ – втрати енергії на подолання опору в елементах конструкції диспергатора, тобто механічні (зовнішні) втрати енергії.

Розглянемо структурну схему енергоспоживання в РПА. Енергію, яка споживається приводом РПА з мережі ($W_{\text{ед}}$) узагальнено можна розділити на два потоки. Перший ($W_{\text{па}}$) – це втрати енергії в електродвигуні та в механізмах установки. Ці втрати визначаються за потужністю холостого ходу без заповнення апарату робочим середовищем.

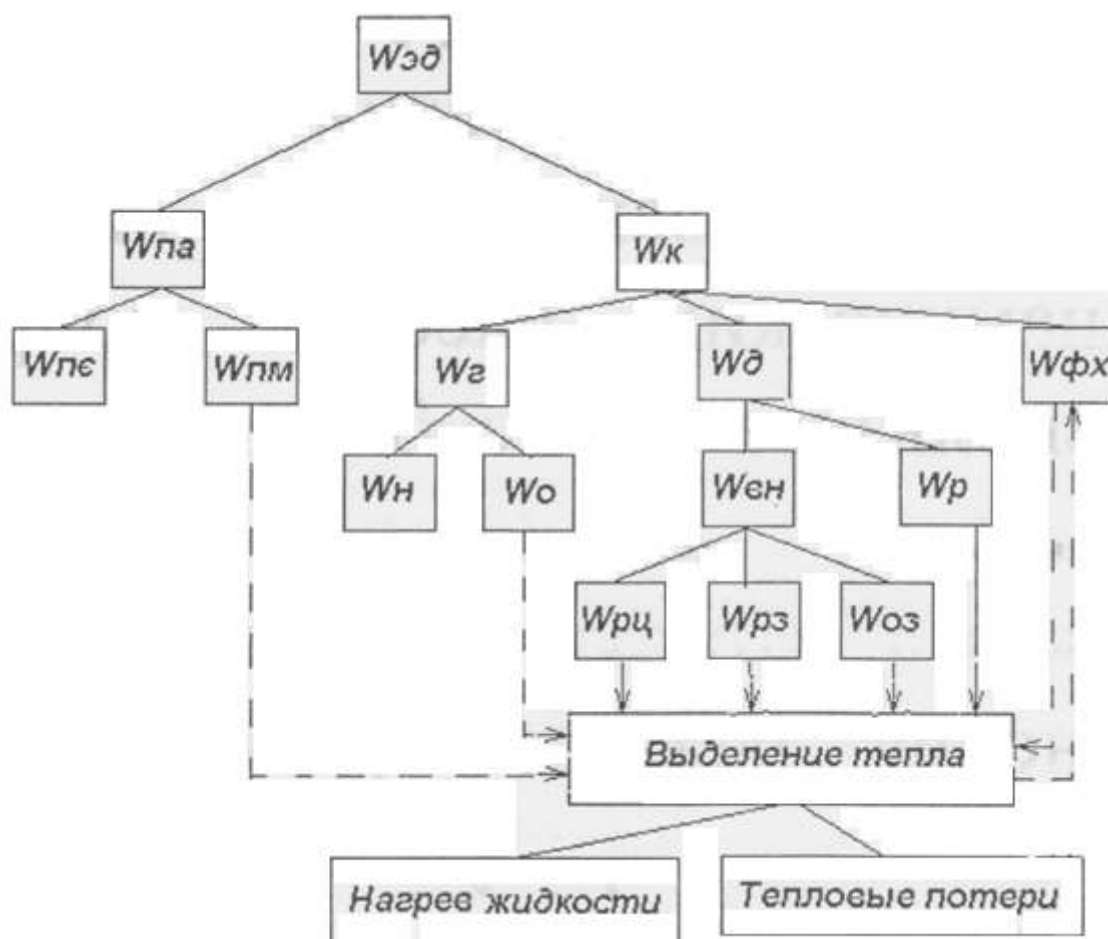


Рисунок 1.17 – Структура втрат енергії в РПА

Другий потік (W_k) – це кінетична енергія рухомої рідини, яка, в свою чергу, поділяється на гідравлічну (W_g) і дисипативну (W_d) і енергія, що витрачається на зміну фізико-хімічного стану робочого середовища ($W_{фх}$). Кількість гідравлічної енергії, визначається напором рідини на виході з апарату (W_n) та енергією, затрачуваної на повернення потоків в робочих пазах системи «ротор-статор» (W_o). Дисипативна енергія (W_d) витрачається на кавітацію, диспергування, перемішування (W_p) і на внутрішні втрати ($W_{вн}$), що включають у себе тертя рідини в міжциліндрових зазорах ($W_{рц}$), дискове тертя в радіальному ($W_{рз}$) і осьовому ($W_{оз}$) зазорах між ротором і корпусом [13]. При цьому в робочій зоні апарату відбувається виділення тепла, яке переноситься з потоком, а також передається на елементи конструкції і в навколишнє середовище. На нагрівання рідини впливають механічні

втрати й повернення рідини, але їхній внесок незначний. При зміні фізико-хімічного стану робочого середовища ($W_{фх}$) тепло може, як виділятися, так і поглинатися.

Перерозподіл енергії в апараті відбувається при зміні параметрів робочої зони (зазору) і параметрів потоку рідини по продуктивності і тиску (розрідженню). Крім того, робоче середовище на виході з апарату може змінювати свій фізико-хімічний стан, який визначається в залежності від технологічних умов (вимог) обробки.

Якщо при роботі в диспергаторі не змінюються параметри робочої зони і обробка виконується при постійних обертах ротора, то $N_{пе} + N_{пм} \approx const.$

В апаратах першого типу при обробці певної рідини з постійними обертами ротора внутрішні втрати ($W_{вн}$) значно не змінюються. У РПА зміна зазору між ротором і статором істотно впливає на опір в робочій зоні, що позначається на перерозподілі енергії. В обох випадках динаміка зміни теплових процесів в основному залежить від енергії дисипації (W_d).

Втрати потужності на нагрівання рідини, що проходить через диспергатор, визначаються залежністю:

$$N_T = K_p \cdot Q \cdot (T_1 - T_2) \cdot T_m \cdot \rho, \text{ (кВт)}$$

де Q – витрата рідини, що проходить через диспергатор ($\text{м}^3/\text{год}$);

T_1 і T_2 – температура рідини на вході і виході диспергатора ($^{\circ}\text{C}$);

T_m – теплоємність робочого середовища ($\text{Ккал}/\text{кг}\cdot^{\circ}\text{C}$);

ρ – густина рідини ($\text{кг}/\text{м}^3$);

K_p – коефіцієнт відповідності розмірностей (для води $K_p = 1,164$).

Порівняння об'ємної інтенсивності нагріву для певної рідини без урахування втрат визначається поточним значенням продуктивності диспергатора (Q) і різницею температур на вході і виході ($\Delta T = T_1 - T_2$):

$$K_c = Q \cdot \Delta T \left(\text{м}^3 \cdot \frac{\text{град}}{\text{год}} \right).$$

Розрахунок теплового навантаження апарату для різних рідин можна виконати за допомогою залежності:

$$K_\omega = Q \cdot \Delta T \cdot \rho \cdot T_m \left(\frac{\text{Ккал}}{\text{год}} \right).$$

Оцінку ефективності теплових характеристик кавітаційної обробки певної рідини в диспергаторі виконують за двома критеріями: ефективності тепловиділення (K_ω) і теплонапруженості процесу (K_T):

$$K_T = \frac{N_T}{N_{\text{еф}}},$$

$$\text{де } N_{\text{еф}} = N_{\text{ед}} - N_{\text{хх}} = N_{\text{ед}} - (N_{\text{еп}} + N_{\text{мп}}).$$

У теплогенераторах типу «Торнадо» (рис.1.18) рідина надходить у торцевий зазор з одного боку ротора, а виходить з іншого (на рисунку показано стрілками) [14]. У цьому випадку розігрівання рідини відбувається при кавітації в радіальному зазорі між ротором і статором. Розподіл енергії буде дещо іншим. Основний опір буде в радіальному зазорі, саме тут відбуватиметься дисипація енергії.

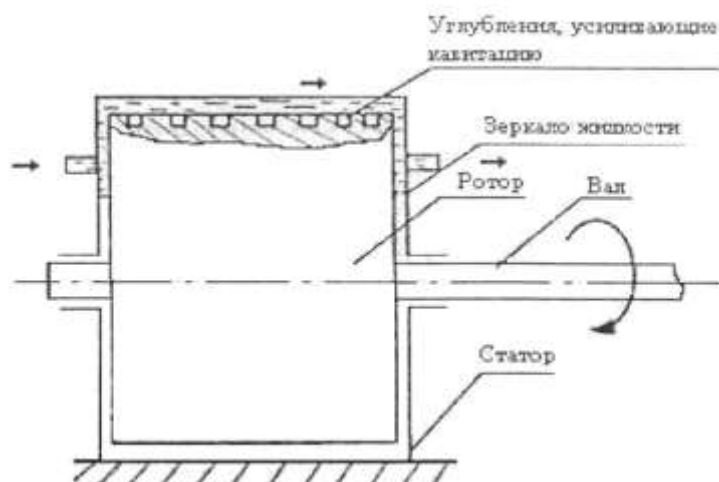


Рисунок 1.18 – Схема роботи теплогенератора типу «Торнадо»

У цьому випадку при певному діаметрі ротора і постійній частоті обертання інтенсивність нагріву визначається геометрією профілю на циліндричній поверхні ротора і величиною зазору. І опір, і кавітація в зазорі, взаємно перерозподіляючись, визначають інтенсивність виділення тепла. У такій конструкції теплогенератора втрати енергії на подачу рідини незначні, тому що витрата невелика. Електричні та механічні втрати визначаються аналогічно попереднім випадкам, по потужності холостого ходу. Розрахункові залежності будуть такими ж, як і при аналізі розглянутих вище пристроїв.

Зрештою інтенсивність нагріву певної маси рідини, залитої в систему, при роботі на протязі часу τ розраховують за формулою:

$$W_{\tau} = 4,19 \cdot Q_{\text{бак}} \cdot \rho \cdot (T_1 - T_2) \cdot T_m \cdot \frac{60}{\tau} \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

де $Q_{\text{бак}}$ - об'єм рідини в баці (м^3).

Для визначення енергії, що витрачається на нагрівання металу (N_m) установки з приведеною масою M_y питомою теплоємністю T_y , користуються виміром температур на корпусі диспергатора в початковий (T_{m1}) і кінцевий (T_{m2}) моменти часу. Використовують аналогічну формулу:

$$W_M = 4,19 \cdot M_y \cdot (T_{M2} - T_{M1}) \cdot T_y \cdot \frac{60}{\tau} \text{ (кВт} \cdot \text{год)},$$

У системі, звичайно, будуть втрати за рахунок передачі тепла у навколишнє середовище, але при гарній теплоізоляції бака і теплогенератора вони будуть незначні.

У кінцевому підсумку сумарна енергія W_c , витрачена на виділення тепла в установці за час τ , буде дорівнювати:

$$W_c = W_T + W_M \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

За цей же час витрати ефективної енергії складають:

$$W_{\text{еф}} = N_{\text{еф}} \cdot \tau / 60 \text{ (кВт} \cdot \text{год)}.$$

Ефективність роботи теплогенератора на бак визначається витратами енергії на обробку рідини й енергією тепловиділення в системі:

$$K_{\text{б}} = W_c / W_{\text{еф}}.$$

Запропонована методика, заснована на порівнянні витрат енергії в робочій зоні гідродинамічної кавітаційної установки, дозволяє виконати аналіз апаратних засобів, технологій приготування МОР та інших виробничих сумішей за інтенсивністю впливу на оброблюване середовище. Наведені розрахункові залежності можуть використовуватися також при визначенні оптимальних режимів роботи інших гідродинамічних кавітаційних пристроїв.

2 СТВОРЕННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО, РЕСУРСО- ТА ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО ОБЛАДНАННЯ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА СПИРТУ

Проведений аналіз стану спиртового виробництва вказує на гостру необхідність виробників у використанні нового ресурсо- та енергозберігаючого обладнання. Існуючі технологічні лінії сучасного вітчизняного спиртпрому складаються з обладнання старого зразка, встановленого на них ще за минулих років. Таке обладнання виробило свій ресурс та застаріло як фізично, так і морально. А в умовах, які диктує сучасна економіка, використовувати таке устаткування не доцільно. Такий стан речей у повній мірі розуміє керівництво підприємств, тому в їх діях чітко просліджується політика удосконалення технологічної лінії виробництва. Виробники спирту на сьогоднішній день ведуть активний пошук шляхів зменшення енерговитрат на виробництво готової продукції. Поширеними варіантами є застосування сучасних, більш прогресивних технологій виробництва, впровадження нового обладнання. При інноваційному підході більшість підприємств намагаються мінімізувати капітальні вкладення. Тому має місце ступеневе реформування технології виробництва спирту. Так в першу чергу нововведення стосуються первинних стадій виробництва, і вчасності – етап підготовки зернового замісу.

2.1 Існуюче технологічне обладнання, передумови впровадження багатофункціонального теплогенеруючого агрегату

Вітчизняні спиртові заводи працюють за давно сталою схемою виробництва. Кафедра прикладної гідроаеромеханіки веде тісну співпрацю зі Стецьківським спиртовим заводом Сумського району, котрий виявив зацікавленість до розробок запропонованого напрямку.

Одним із головних етапів, що в значній мірі визначає енерго- та ресурсовитрати для виробництва спирту є підготовка зернового замісу. Велика роль

у цьому приділяється стадії подрібнення, що впливає на якісні й кількісні показники вихідного продукту – етилового спирту.

Створено сучасну технологічну схему лінії підготовки зернового замісу, наведено на рис. 2.1. Зерно, очищене на сепараторах, ковшовим елеватором 1 подається на автоматичні ваги 3, з них – у запасний бункер 4 і далі через дозатор 5 у молоткову дробарку 6. Дробарка має інерційний живильник, що регулює надходження зерна заслінкою й електромагнітом. Сита, які змінюються мають отвори діаметром 3, 5 й 8 мм. Продуктивність дробарки 2 т/год, потужність електродвигуна 75 кВт (рис. 2.2, а)

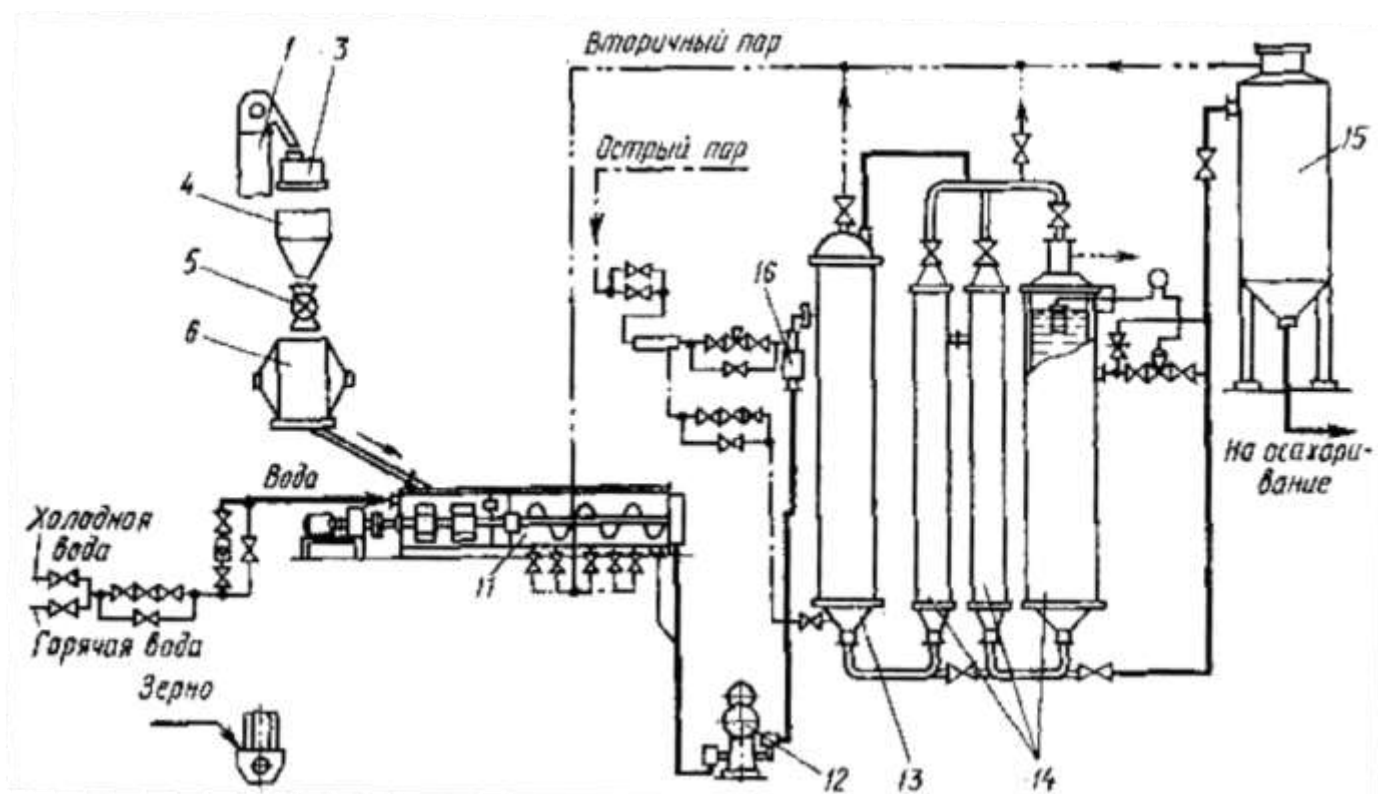


Рисунок 2.1 - Технологічна схема розварювання на установці ВНИИПрБ

Продукт подрібнення повинен проходити через сито з отворами діаметром 1 мм на 100 %, залишок на ситі – це прямі втрати виробництва. Фактичне проходження зернового замісу через сито складає в середньому 94 %.

Подрібнене зерно направляють у змішувач-предрозварник 11 (рис. 2.2), що об'єднує у собі два апарати — для змішування подрібненого зерна з водою й підварювання замісу вторинною парою. Змішувач-предрозварник являє собою U-

подібну витягнуту закриту посудину зі спільним валом і єдиним приводом. Усередині він розділений перегородкою на дві частини, з яких перша по ходу продукту є змішувачем із двома грабельними мішалками, що рухаються спільно з валом з частотою 30 – 40 об/хв. Подрібнене зерно змішується з попередньо підігрітою до 40 – 50° водою у співвідношенні 1:2,5 - 1:3,5 залежно від крохмалистості вихідного зерна. Потужність установки складає 35 кВт (рис. 2.2, б). Надходження подрібненого зерна й води регулюється дозаторами, що працюють синхронно.



Рисунок 2.2 - Фото: а – молоткова дробарка; б – змішувач предрозварник

Приготовлений заміс через патрубков угорі перегородки переливається в другу частину апарата, у якому застосовується мішалка у вигляді гвинтоподібної смуги, прикріпленої до спиць на валу. Пара, що гріє, надходить через кілька патрубків, розташованих унизу корпусу апарата. Підварену масу випускають через щілину в торці предрозварника у вертикальну коробку. Щілина закривається засувкою, положення якої визначає рівень і час перебування маси в предрозварнику. Останнє зазвичай дорівнює 5 – 7 хв. Максимальна температура 75 – 85°С.

Підварений заміс перекачують плунжерним насосом 12 до контактної головки 16, де відбувається нагрів до температури 138 – 140°С та передають у першу варильну колону 13. Потужність плунжерного насоса складає 7,5 кВт

З 1966 р. установка ВНИИПрБ у комплекті з іншим устаткуванням для станції разварювання серійно випускається Смелянским машинобудівним заводом для спиртових заводів потужністю 800 – 1200 й 1700 – 2500 дкл спирту за добу.

В останній час великою проблемою для промисловості є не задовільна якість сировини. Це виражається перш за все у підвищеній вологості зерна, яка значно перевищує нормативні вимоги. Фактично зерно перед безпосередньою загрузкою на подрібнення має вологість, що у двічі перевищує максимально допустимі значення вологості. Перевищення вологості у значній мірі погіршує якість проведення сухого подрібнення, яке застосовується на сьогоднішній день на спиртових заводах. Для вирішення цієї проблеми деякі підприємства навмисно йдуть на ускладнення технологічної лінії за рахунок введення в процес додаткового високоенергетичного обладнання – сушки. Так на Стецьківському заводі встановлено в експлуатацію сушку італійського виробництва. Сумарні енергозатрати на процес сушки складають близько 100кВт (рис. 2.3). Просліджується деяка не раціональність у використанні енергоресурсів, а саме: спочатку вологу сировину висушують, а після подрібнення перемішують з водою.

Пропонується залучення у спиртове виробництво гідроподрібнення, яке характеризується високою однорідністю по всьому об'єму й значно меншим, у порівнянні з існуючим, гранулометричним складом зернового замісу. До того ж зникне потреба у попередній сушці сировини.

Один з варіантів, що забезпечує принципи пропонованої ідеї – це впровадження багатофункціонального теплогенеруючого агрегату (ТГА), що в межах одного агрегату дозволяє виконати декілька технологічних операцій. У той час як «стара» схема мала потребу в роздільному підході до кожної стадії виробництва, маючи для кожної власні машини й установки. Більше того, впроваджуваний ТГА відрізняється не тільки з'єднанням у собі декількох стадій процесу виробництва, але й збільшенням якості вихідного продукту розглянутих стадій технології виробництва спирту, що в остаточному підсумку дозволяє в значній мірі знизити енерговитрати виробництва в цілому.



Рисунок - 2.3 Фото сушки

Тому ТГА має економічний ефект, що проявляє себе не тільки в зниженні енерговитрат на виробництво, але й у збільшенні кількісних і якісних показників кінцевого продукту виробництва – спирту.

Пропонований у цьому розділі варіант впровадження ТГА в технологічну лінію виробництва спирту може бути застосований до будь-якої схеми безперервного розварювання. На рис. 2.4 показана схема впровадження ТГА у технологічну лінію виробництва спирту. Технологічні зміни виражаються в заміні машин й установок, що забезпечують стадії сухого подрібнення, перемішування замісу з водою й підварювання маси на блок для попереднього замочування й безпосередньо використанням ТГА.

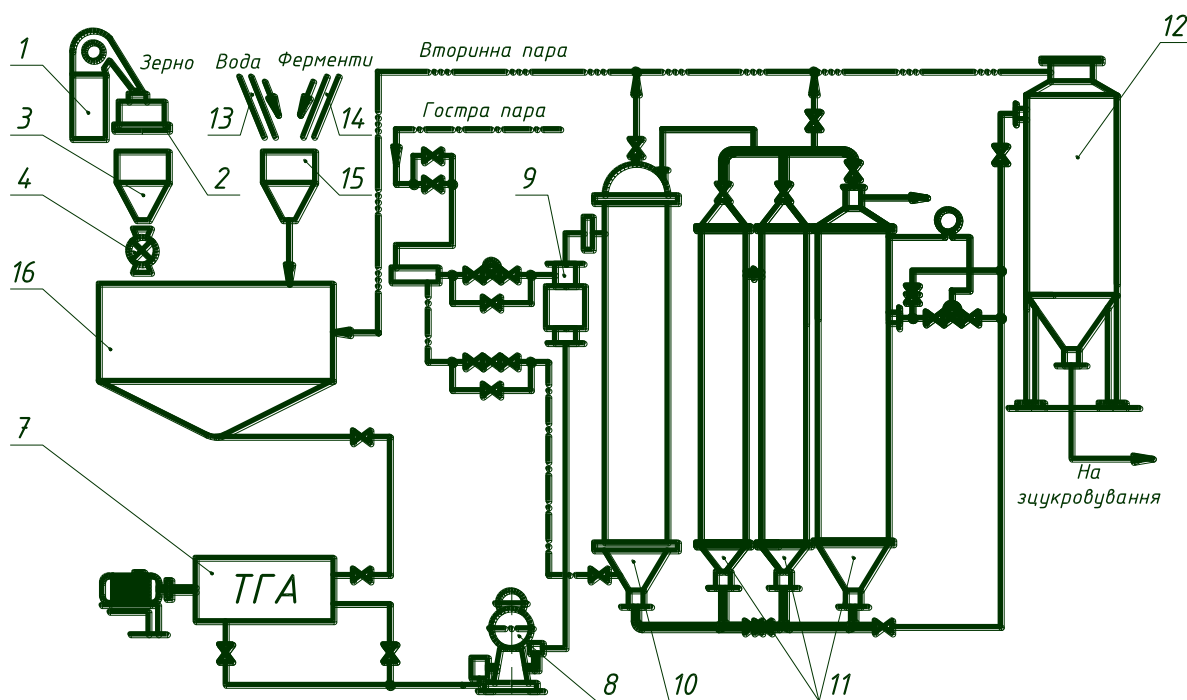


Рисунок 2.4 - Схема впровадження ТГА у технологічну лінію виробництва спирту

2.2 Взаємозв'язок конструктивних та режимних параметрів теплогенеруючого агрегату багатofункціонального призначення

Механізм подрібнення зернових культур має наступну особливість. Попереднє подрібнення зерна (на 2-3 частинки) з точки зору енерговитрат має такий же рівень як і подальше подрібнення зерна до більш дрібних частинок. Виходячи з цього конструктивну схему агрегату доцільно організувати таким чином, щоб умовно поділити процес попереднього та тонкого подрібнення. За таких умов агрегат має двоступеневе виконання (рис. 2.5).

Процес подрібнення відбувається наступним чином. Зерновий заміс (гідромодуль: вода/зерно – 3/1) через осьовий вхід 1 (рис. 2.5, б) потрапляє у проточну частину машини. Після попереднього подрібнення у першій ступені 2 робоче середовище переходить у другу ступень 3, де за рахунок проходження через

статорні 4 та роторні 5 зубці відбувається тонке подрібнення, підігрів, прокачування замісу, який потім виходить з ТГА через кільцевий відвід 6.

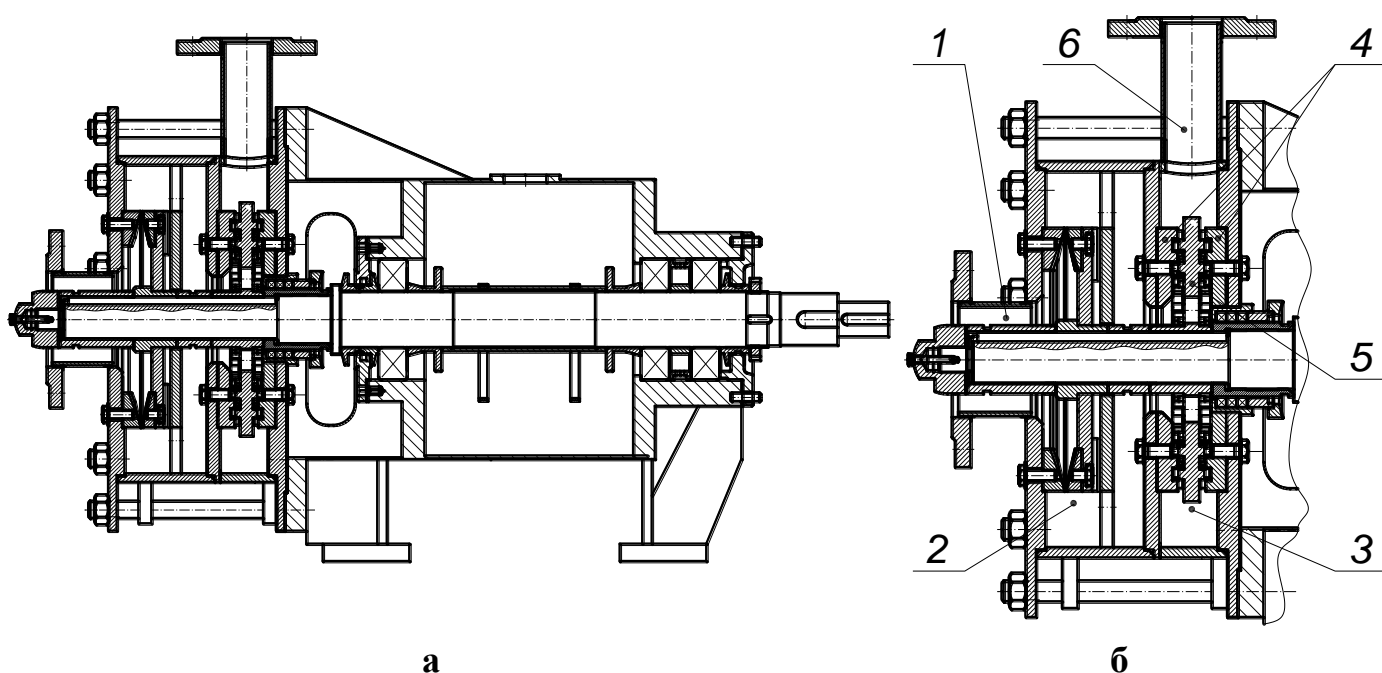


Рисунок 2.5: а – загальний вид ТГА; б – проточна частина машини

При проектуванні агрегату основним питанням є отримання взаємозв'язку між конструктивними та режимними параметрами. Для визначення потужності, яку споживає теплогенеруючий агрегат, слід звернути увагу на новизну конструкції ТГА. За таких умов був виконаний огляд конструктивних аналогів ТГА, які в значній мірі уже є дослідженими, наш вибір був зупинений на апаратах роторно-пульсаційного типу, що широко застосовуються для інтенсифікації гідромеханічних та масообмінних процесів, зокрема, у хімічних технологіях.

Визначаємо потужність, що споживається ТГА. Скористаємося для цього розрахунковою схемою рис. 2.6.

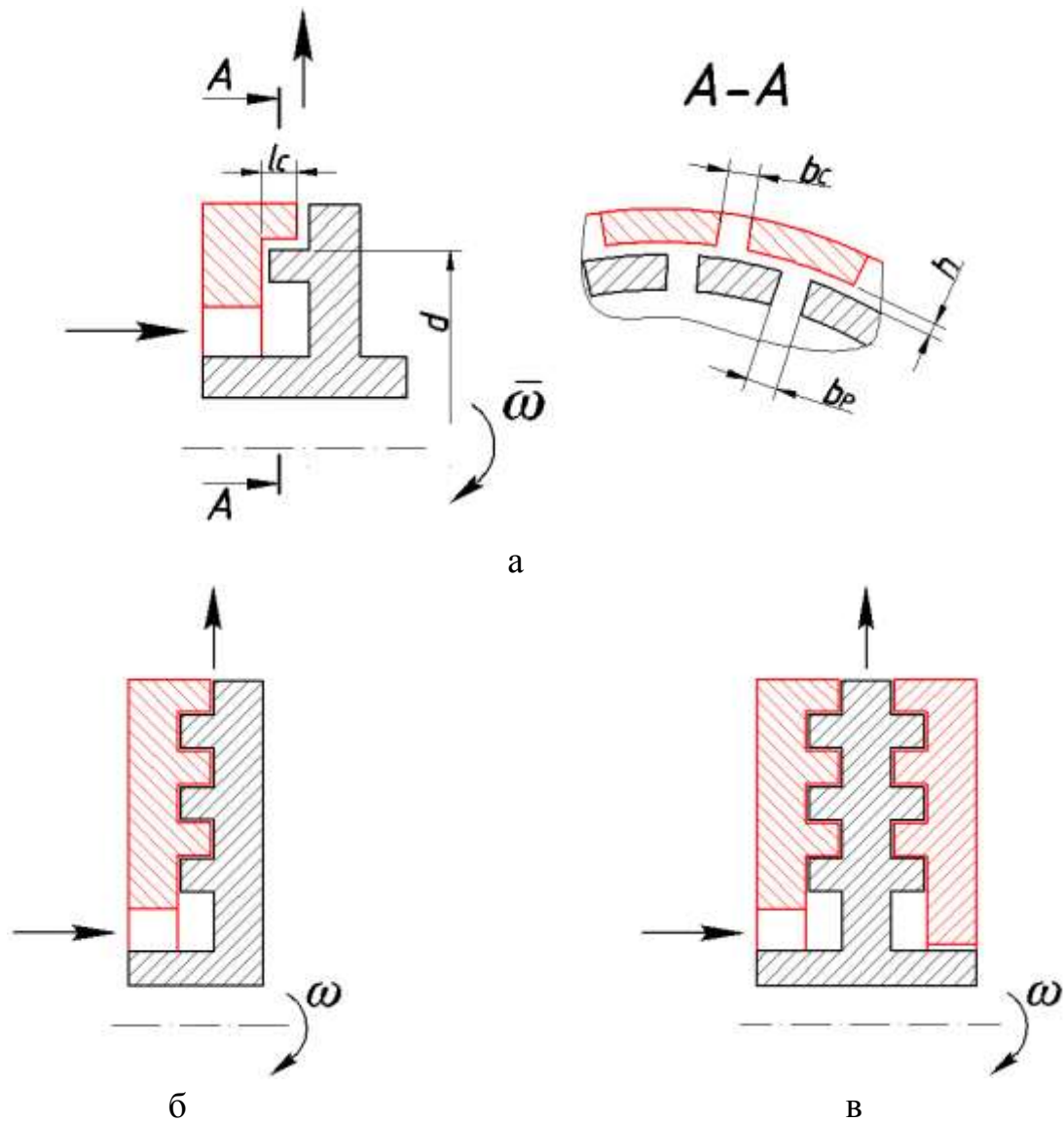


Рисунок 2.6: а– загальна розрахункова схема; б – багатоступенева схема;
в – багатоступенева двупоточна схема.

$$N = k_N \cdot \rho \cdot l \cdot n^3 \cdot d^4,$$

де k_N – критерій потужності, що залежить від конструктивних параметрів машини, витрати та фізико-хімічних властивостей середовища;

ρ – густина середовища, кг/м^3 . $\rho = 998,2 \text{ кг/м}^3$;

l – лінійний розмір, що характеризує геометрію потоку, м. В нашому випадку це довжина зубу $l = 10 \text{ мм} = 10 \cdot 10^{-3} \text{ м}$;

n – частота обертання ротора, об/с. $n = 48,33 \text{ об/с}$;

d – зовнішній діаметр ротора, м.

Значення k_N розраховуємо за формулою

$$k_N = 37,5 \cdot Re_{\mu}^{-0,3} \left[\left(\frac{b_P \cdot z_P}{d} \right)^{0,7} + \left(\frac{b_C \cdot z_C}{d} \right)^{0,7} \right] \times \\ \times \left(1 + 7,2 \cdot \frac{Q}{\pi \cdot d \cdot b_C \cdot l_C \cdot z_C} \right) \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{0,2},$$

де c - відцентровий критерій Рейнольда;

b_P - ширина прорізів ротора, м;

b_C - ширина прорізів статора, м;

z_P - кількість прорізів ротора;

z_C - кількість прорізів статора;

l_C - висота прорізи статора, м. В нашому випадку $l_C = l = 10 \cdot 10^{-3}$ м;

Q - витрата ТГА, м³/с. $Q = 10 \text{ м}^3/200 \text{ с} = 2,778 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3/\text{с}$;

h - величина зазору між зубцями статора і ротора, м. В даній конструкції величина стала $h = 1 \cdot 10^{-3}$ м.

У свою чергу відцентровий критерій Рейнольда Re_{μ} отримаємо наступним чином:

$$Re_{\mu} = \frac{\rho \cdot n \cdot d^2}{\mu},$$

де μ – динамічна в'язкість середовища, Па·с. Використовуємо значення динамічної в'язкості для води $\mu = 1,08 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Слід зазначити, що наша машина розглядається як багатоступенева (рис. 2.6, б) і для кожної ступені має бути проведений окремий розрахунок відповідно до вищенаведених формул. Після чого проведемо складання отриманих значень потужностей на кожній ступені

$$N = \sum_{i=1}^m N_i ,$$

де N_i - потужність i -ї ступені, що розрахована згідно до формули (2.1), Вт;
 m – кількість ступенів ТГА, $m = 5$.

Виходячи з того, що запропонована конструкція ТГА є до того ж двухпоточною (рис. 2.6, в), то отримане значення сумарної потужності треба збільшити у два рази

$$N_{ТГА} = 2 \cdot N ,$$

Підставляючи формулу (2.4) у формулу (2.5) отримаємо дійсне значення потужності ТГА

$$N_{ТГА} = 2 \cdot \sum_{i=1}^m N_i ,$$

Тільки після цього проведений розрахунок буде в значній мірі відповідати дійсності, яку звичайно треба у подальшому перевірити дослідним шляхом, який і буде виступати критерієм використаного методу розрахунку споживаємої ТГА потужності.

2.3 Дослідження насосної характеристики тепогенеруючого агрегату та гранулометричного складу готового продукту

Для реалізації цієї задачі була проведена робота у декілька етапів. На кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету було створено дослідний зразок ТГА - гідромлина (рис. 2.7), відповідно до конструктивної схеми (рис. 2.5).

Створена лінія для дослідження характеристик, які визначають насосний ефект агрегату. Створений стенд для проведення дослідів на водо-зерновій суміші з

подальшим визначенням якості отриманого продукту. На рис. 2.8 наведено принципову схему стенду для визначення насосного ефекту агрегату, що передбачає встановлення напору та потужності гідромлина від величини витрати рідини через його проточну частину.

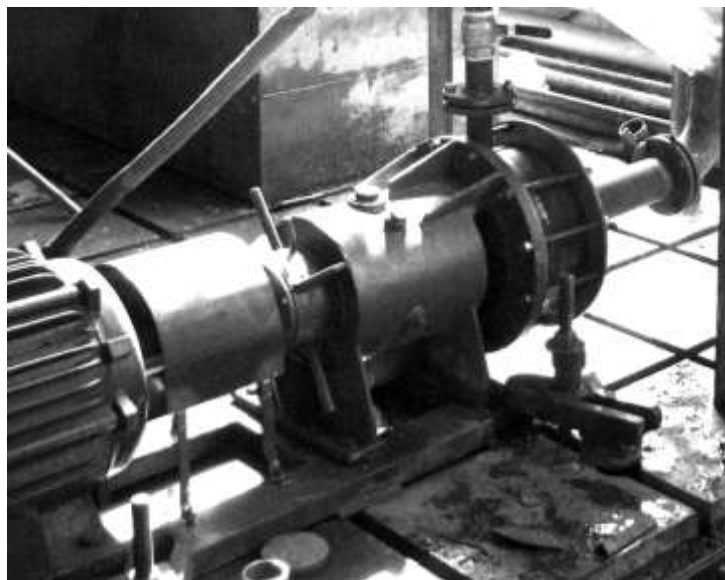


Рисунок. 2.7 - Фото дослідного зразка ТГА – гідромлина

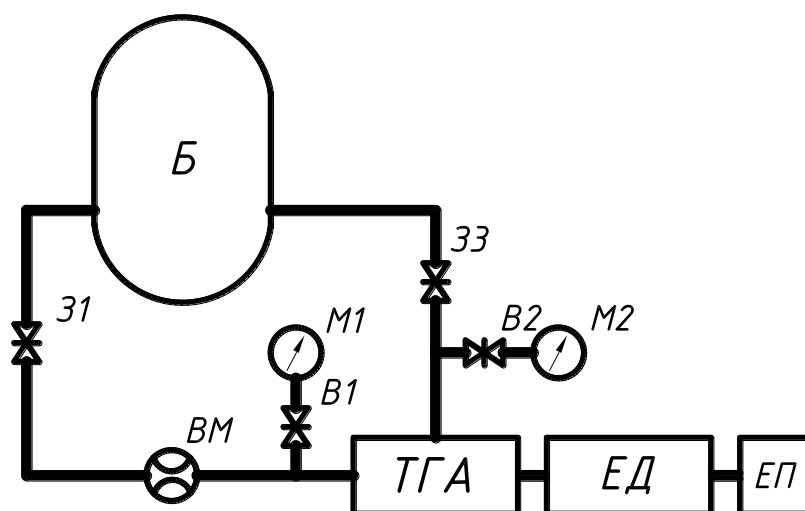


Рисунок 2.8 - Принципова схема стенда для визначення насосної характеристики ТГА: Б – бак; В1, В5 – вентиля; 31-33 – засувки; ВМ – витратомір; М1, М2 – манометри; ЕД – електродвигун; ЕП –

В результаті проведених експериментів було отримано характеристику насосного ефекту дослідної машини. Виконано аналіз роботи ТГА окремо на першій ступені (рис. 2.9), окремо на другій ступені (рис. 2.10) та при їх сумісній роботі (рис.2.11).

Дослід проводився на воді. Максимальна витрата робочого середовища через проточну частину ТГА-гідромлина становить до 40 м³/год, а номінальна витрата робочого середовища в технологічній лінії виробництва спирту становить 6 м³/год. Це дає можливість при необхідності застосувати багато разову кратність проходу суміші через проточну частину машину.

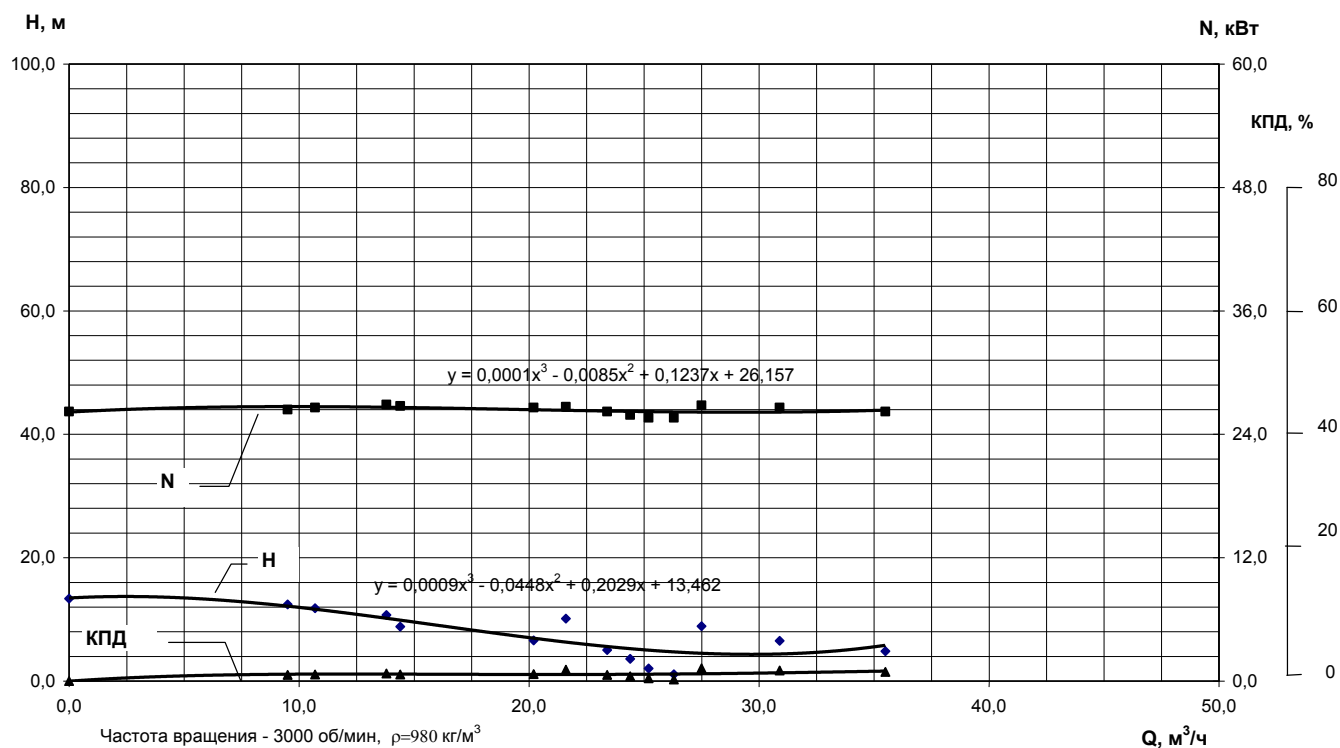


Рисунок 2.9 - Характеристика насосного ефекту першої ступені ТГА

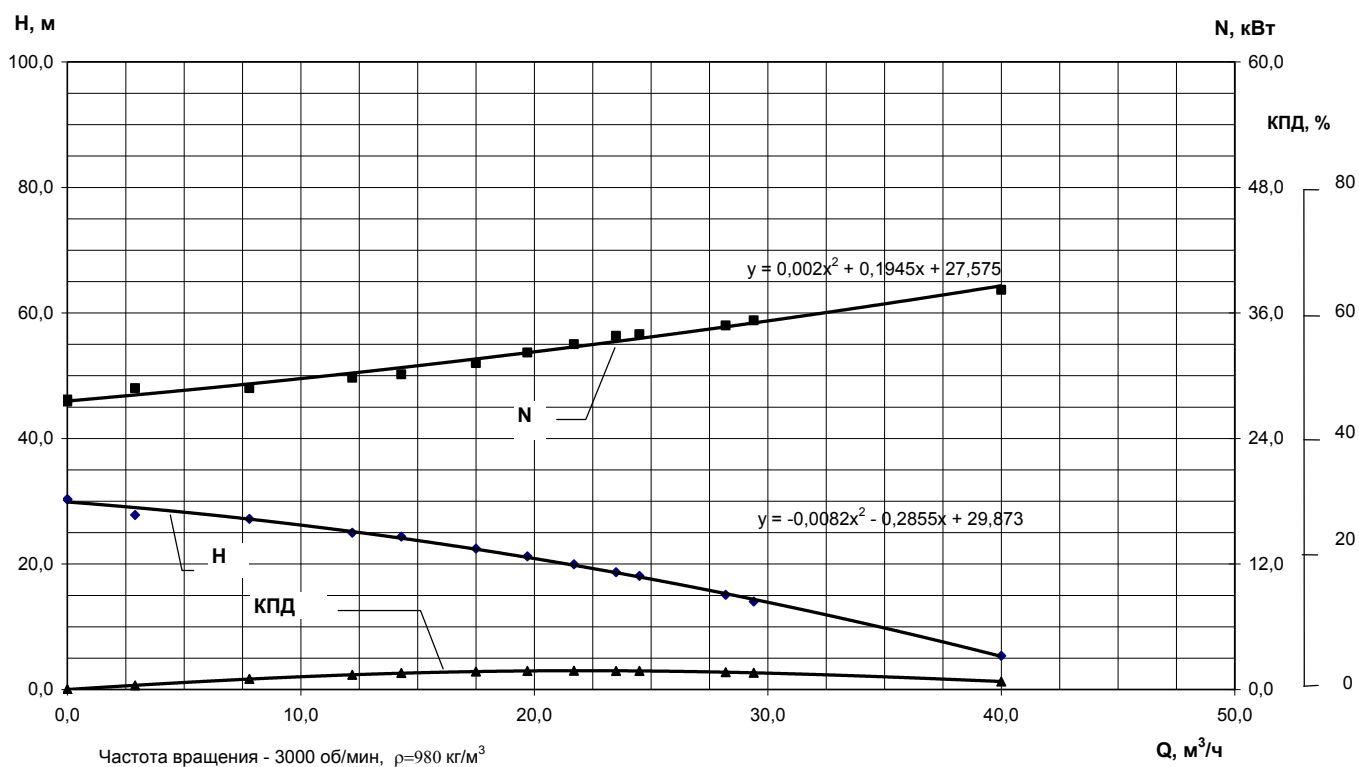


Рисунок 2.10 - Характеристика насосного эффекта другої ступені ТГА

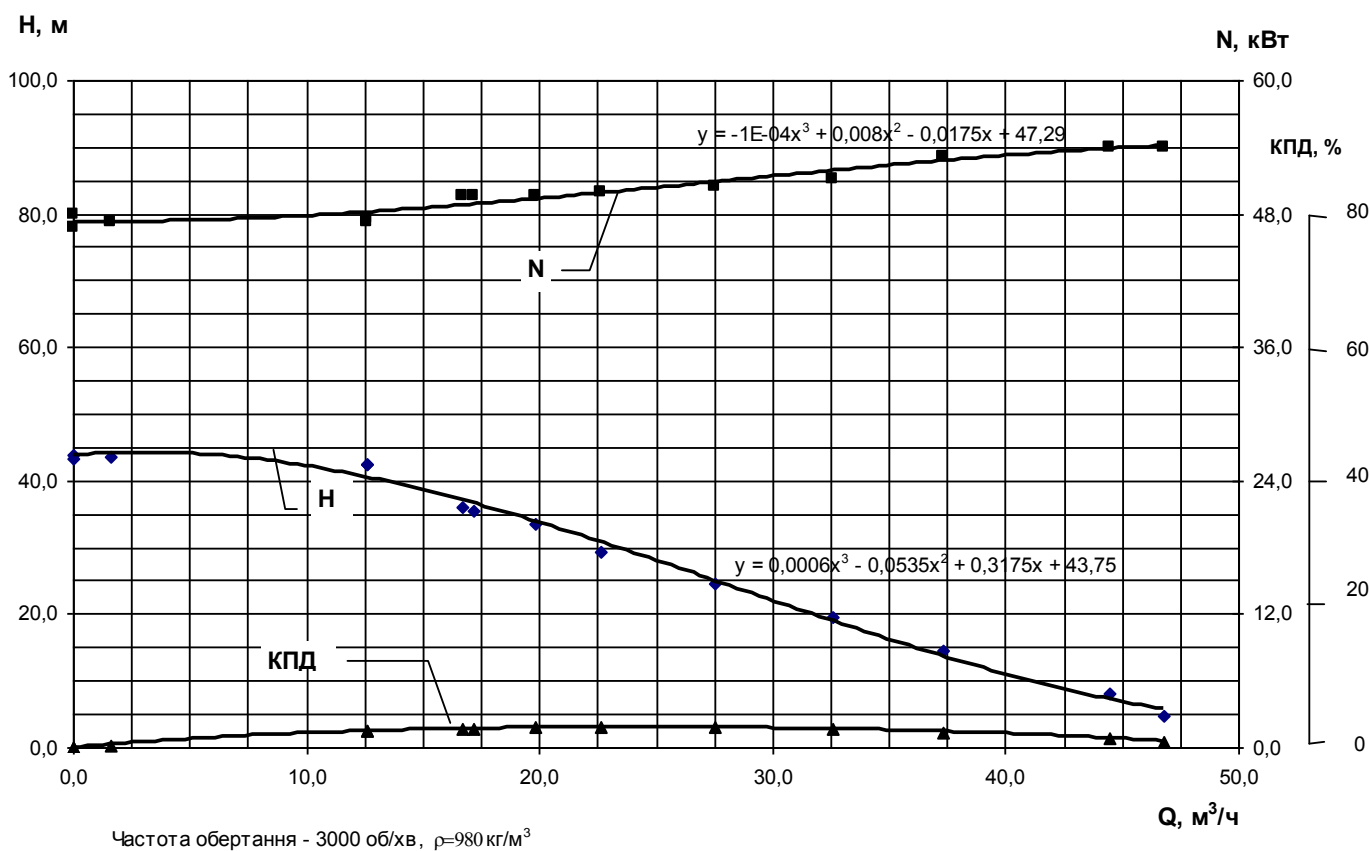


Рисунок 2.11 - Характеристика насосного ефекту ТГА

Для дослідження гранулометричного складу зернового замісу, що є кінцевим продуктом ТГА-ГМ, було створено дослідний стенд. Принципова схема наведена на рис. 2.12. Цей стенд дає можливість визначити величину енергії, яка витрачається на подрібнення зернової культури та визначити фактичне значення подачі гідромлина при його роботі на гідромодулі (вода/зерно: 2/1). Характеристики зернового замісу та затрат енергії для його реалізації визначались наступним чином. Виконувалося заповнення зерном бункера Б1 та водою баку Б2. Виконувався пуск ТГА в режимі рециркуляції робочого середовища через бак Б2. Потім відкривається шибер Ш і у відповідності до тарировки висипається зерно з Б1. Таким чином на вході в ТГА маємо необхідну гідросуміш. Під час першого проходу гідросуміші через проточну частину ГМ потужність, на повністю відкритій засувці, становила 80 кВт. За 1 хв. 40 с було пропущено об'єм 160 л суміші, що відповідає промисловій витраті 6 м³/год. При роботі гідромлина в режимі рециркуляції потужність знизилась до 55 кВт.

Таким чином попереднє подрібнення зерна вимагає підвищення потужності агрегату на 65% відносно потужності на чистій воді, для реалізації додаткового подрібнення в режимі рециркуляції відбувається підвищення потужності на 15% відносно роботи на чистій воді.

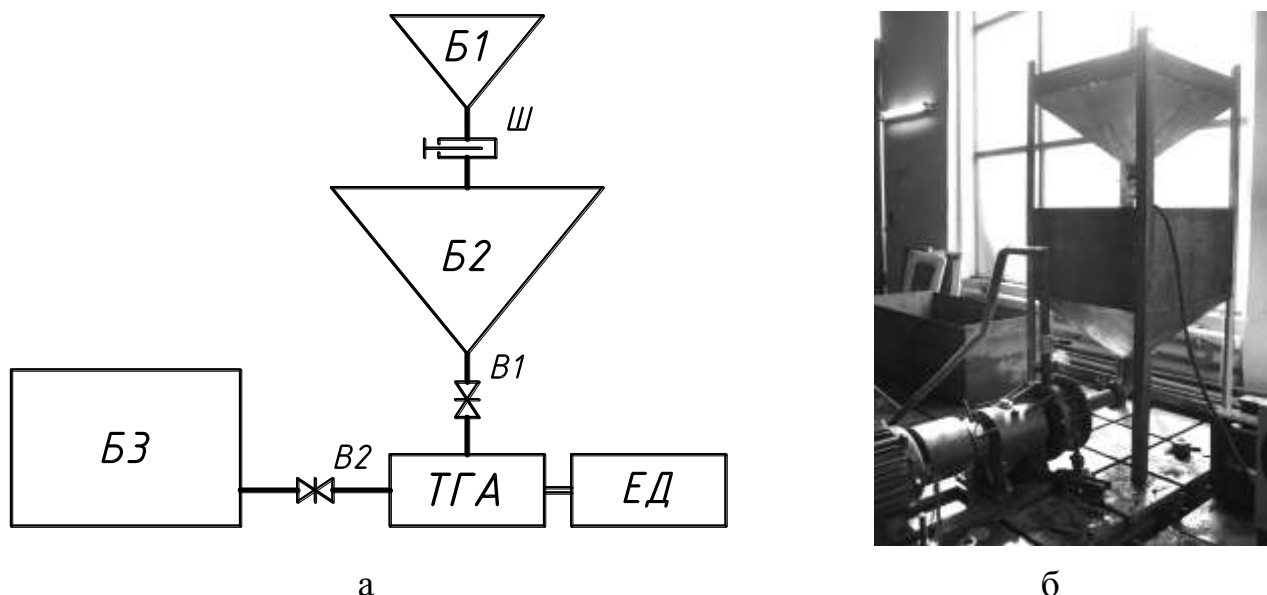


Рисунок 2.12 - а) Принципова схема дослідження гранулометричного складу зернового замісу ТГА: Б1 – бак із зерном; Б2 – бак з водою; Б3 – бак зернового замісу; В1,В2 – вентилі; Ш– шибер; ЕД – електродвигун; б) фото стенда

Після випробувань на кафедрі ПГМ СумДУ, було проведено промислові випробування в умовах виробництва Стецьківського спиртового заводу. На рис. 2.13 показана схема врізки гідромлина в існуючу схему виробництва.

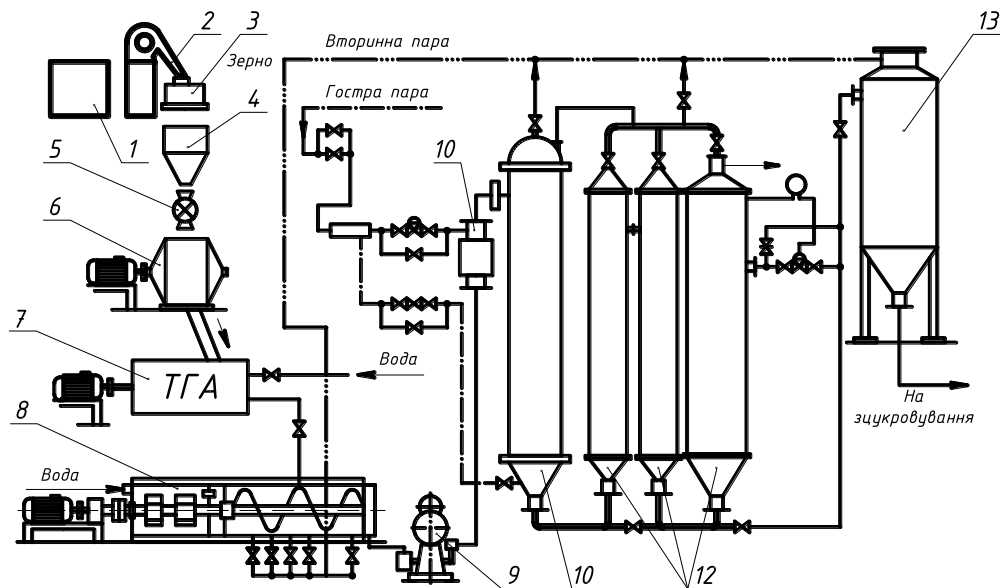


Рисунок 2.13 - Схема врізки ТГА в існуючу лінію виробництва

Випробування проходили у два етапи:

1. Постійна подача сировини та постійний вихід готового продукту. Подрібнення в «один прохід». Отриманий продукт за результатами заводської лабораторії не задовольняє необхідній якості. Через сито з міліметровою ячейкою проходить 35% суміші.

2. Виходячи з умови, що максимальна продуктивність гідромлина становить до 40 м³/год., а необхідна для виробничої лінії це 6 м³/год, можливо застосувати циклічність проходження суміші через проточну частину машину, яка становитиме до 6 разів.

Реалізовано етап випробування ТГА у режимі рециркуляції через змішувач-предрозварник. За півгодини роботи агрегату на об'ємі 3 м³, що відповідає промисловій витраті 6 м³/год. Отриманий продукт за результатами заводської лабораторії у повній мірі задовольняє необхідній якості. Через сито з міліметровою ячейкою проходить 100% суміші.

Важлива вимога до ТГА, яку висунули спиртовики, це її можливість робити як машини проточного типу. Тобто з технологічної лінії потрібно вилучити змішувач-

предрозварник. Виходячи з поставлених умов та отриманих експериментальних результатів, можна зробити висновок, що впровадження ТГА-ГМ у лінію виробництва можливо за двома напрямками:

- доопрацювання проточної частини машини, щоб за «прохід» отримати продукт, що відповідає потрібній якості. Тобто ввести агрегат в роботу як машину проточного типу;

- створити пристрій, який дозволить на виході з ТГА всі частинки, що крупніше 1 мм, повернути на вхід у ТГА. Вирішення поставленої задачі планується виконати за рахунок використання гідродинамічного сепаратора.

Розрахунок такого пристрою виконувався у відповідності до умов виробництва за допомогою методики, запропонованої проф. Фінкільштейном З.Л. За результатами розрахунку вибрано конструктивну схему та підготовлений комплект робочих креслень для виготовлення сепаратора. Виготовлений на кафедрі сепаратор був змонтований в технологічній лінії виробництва спирту. Результати випробувань сумісної роботи сепаратора та гідродинамічного сепаратора в умовах виробництва дали наступні результати. Очевидним є, що вибрана конструкція сепаратора успішно працює на зерновій суміші. На виході з сепаратора готовий продукт проходив через сито з ячеекми 1 мм в 100 % об'ємі, а з ячеекми 0,6 мм – в 70 % об'ємі. Така якість зернового замісу у повній мірі задовольняє потребам спиртового виробництва.

Виходячи з отриманих результатів, на сьогоднішній день ведеться подальша робота спрямована на

- створення агрегату, що виконує підготовку замісу «в один прохід». Це дає можливість при певних капітальних витратах виконати повну модернізацію відділення підготовки зернового замісу спиртових виробництв.

- створення агрегату спільно з гідродинамічним сепаратором, що дозволяє значно зменшити капітальні витрати, залишаючи діюче обладнання та впроваджуючи невеликий блок додаткового подрібнення зернового замісу.

3 СТВОРЕННЯ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТИВ ДЛЯ СИСТЕМ ОПАЛЕННЯ ТА ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Базуючись на постанові Кабінету Міністрів України №502 від 28.03.2006 року “Про переведення населених пунктів на опалення електроенергією” та аналізуючи стан централізованих систем опалення в країні і тенденції росту цін на природні ресурси, науково проблемна лабораторія кафедри прикладної гідроаеромеханіки почала розробку нових зразків обладнання, здатного вирішити проблему опалення та гарячого водопостачання.

Для виконання поставленої задач реалізовувалися наступні етапи:

- інформаційний огляд за темою дослідження;
- створення методики розрахунку проточної частини агрегату;
- отримання методики підбору необхідної потужності агрегату;
- розробка, виготовлення та випробування дослідного зразка агрегату;
- розробка типорозмірного ряду агрегатів.

3.1 Передумови використання теплогенеруючих агрегатів (далі ТГА) гідродинамічного принципу дії

Існуюче в Україні централізоване теплопостачання, яке залишилось з минулих часів, характеризується низьким коефіцієнтом використання теплових ресурсів, та практично повністю вичерпало свій ресурс довговічності. Більшість існуючих систем опалення в якості джерела енергій використовують рідке та газоподібне паливо, яке закупається за кордоном. Ціни на яке зростають кожним роком, що створює пряму енергетичну залежність України від країн постачальників енергоресурсів.

Тому зараз з’явилися нові стимулюючі фактори використання електричної енергій в якості енергоресурсу.

Перерахуємо деякі з них:

- хронічний надлишок існуючих потужностей на електростанціях більшості регіонів України, пов'язана зі спадом промисловості;
- надлишок “Нічної” електроенергії;
- менші затрати при монтажі нових електричних мереж в порівнянні з гідравлічними мережами. Та значно менші затрати на обслуговування, ремонт та модернізацію.
- складність прокладання нових теплотрас в міських умовах, які виникають в наслідок великої кількості підземних комунікацій,
- постійні дотації з бюджетів всіх рівнів на дотацію стійкої роботи централізованого теплопостачання.

Виходячи з цього була проведена робота по вивченню існуючих агрегатів для електроопалення та водонагріву.

На сьогоднішній день існує ряд агрегатів здатних виконувати вище перелічені функції. Кожен з яких має як переваги так і недоліки, для кожної конкретної задачі.

Котли електричні “ТЕНові”



Призначені для опалення житлових будинків, побутових та промислових об'єктів загальною площею до 300м²

Такі котли мають ряд переваг:

- невисока ціна
- простота монтажу;
- безпечність;
- простота в експлуатації;
- не потребує допоміжних приміщень(котельні);
- не потребує монтажу димоходу ;

- безшумній;
- екологічно безпечній;

Недоліки:

- відсутність котлів високої потужності;
- необхідність сертифікації вузлу;
- поступове зниження ККД, в зв'язку з накипом на ТЕНах;
- необхідність заміни старих тепло комунікацій;

Таким чином можна зробити висновок що, ТЕНові котли доцільно використовувати в невеликих, окремо розташованих приміщеннях, як автономну систему електроопалення та джерело гарячого водопостачання.

Котли електричні “Електродні”



Рисунок 3.1 – Електродний котел

Електродний котел (рис. 3.1) представляє собою опалювальний пристрій проточного типу. Процес нагріву теплоносія в якому відбувається за рахунок його іонізації тобто розщеплення молекул теплоносія на позитивно та негативно заряджені іони, які рухаються, відповідно, к негативному та позитивному електродам, електроди змінюють полярність 50 раз секунду, іони

коливаються, виділяючи при цьому енергію, тобто процес нагріву теплоносія йде напряму, без “посередника”

Переваги електродного котла:

- невеликі розміри;
- простота монтажу;
- безпечність;

- простота в експлуатації;
- не потребує допоміжних приміщень(котелень);
- не потребує монтажу димоходу ;
- безшумній;
- екологічно безпечній;
- не потребує згоди на монтаж від органів котлнадзора;

Недоліки:

- відсутність агрегатів великої потужності;
- необхідність обов'язково використовувати циркуляційного насосу;
- більша вартість в порівнянні з ТЕНовими котлами;
- неможливість використання у якості теплоносія антифризів, та інших рідин складної структури;
- необхідність заміни старих теплокомунікацій;

Таким чином можна зробити висновки, що “Електродні” котли являють собою сучасне, автономне, високо економічне, надійне та малогабаритне опалювальне обладнання. Система водяного обладнання змонтованого на базі електроустановки відрізняються економічністю, навіть в порівнянні з котлами на рідкому та газоподібному палеві. Але таке обладнання можливо використовувати лише на невеликих об'єктах, які використовуються цілий рік, та температура в яких не може знижуватись до нульової відмітки.

Електричні конвертори

Призначений для використання у якості основного чи допоміжного джерела тепла для обігріву квартир, офісів чи дому за межами міста.

Представляє собою опалювальній прилад який складається з конвекційної камери (алюмінієвого радіатора) в якому заключна трубка нагрівального, якою закритий ТЕН



Рисунок 3.2 – Електричний конвектор

ТЕН який складається з закритого нагрівального елемента, який знаходиться в герметично запаяній трубці з нержавіючої сталі, заповненої спеціальною магнетитовою засипкою, яка запобігає руху нагрівального елемента під час роботи.

Переваги електродного котла:

- простота монтажу(непотрібні гідравлічні тепломережі);
- безпечність;
- простота в експлуатації;
- безшумній;
- екологічно безпечній;
- не потребує згоди на монтаж від органів котлонадзора;

Недоліки:

- значна вартість
- неможливість опалення великих об'єктів та об'єктів підвищеної небезпеки

Кавітаційний теплогенератор



Рисунок 3.3 – Кавітаційний теплогенератор

Генератор призначений перетворювати механічну енергію в високопотенційну теплоту за рахунок нагріву та перегріву рідини, без використання вогню та ТЕНів. Основна відмінність цієї технології, полягає в її корисній ефективності. Технологічний процес отримання тепла відбувається в заповненому рідиною зазорі між ротором що обертається, та нерухомим статором.

Переваги електродного котла:

- генерування пару з рідин на основі складних з'єднань відбувається при температурі в 2-3 рази нижче, їх точки кипіння;

- висока заявлена ефективність;
- безпечність;
- простота в експлуатації;
- не потребує згоди на монтаж від органів котлонадзора.

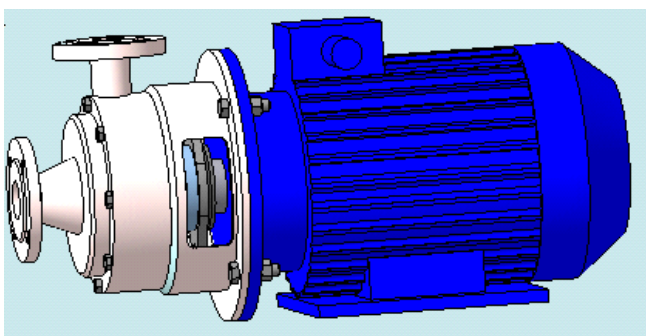
Недоліки:

- значна вартість;
- необхідність допоміжного приміщення;
- високий рівень шуму.

3.2 Розробка нового обладнання на основі теплогенеруючих агрегатів

Враховуючі існуючі потреби та всі переваги та недоліки існуючого обладнання, на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки була проведена розробка нового виду обладнання, яке забезпечує:

- мінімальні втрати енергії в процесі її перетворення та доставки споживачу;
- високу надійність та безпечність роботи в зв'язку з відсутністю струмонесучих нагрівальних елементів, що контактують з робочим середовищем;
- відсутність зовнішніх частин що обертаються;
- раціональне автоматичне регулювання кількості теплової енергії, необхідного в відповідності з завданням по забезпеченню потрібних температур;
- комфортні умови експлуатації, що не потребують постійної присутності обслуговуючого персоналу;
- екологічну чистоту;



Теплогенеруючий агрегат (ТГА) – агрегат гідродинамічного принципу дії, в котрому реалізується безступінчасте перетворення

Рисунок 3.4 - Теплогенеруючий агрегат ТГА-2

механічної енергії привідного двигуна в теплову енергію робочого середовища. Розігрів рідини відбувається за рахунок сил в'язкостного тертя, що дозволяє відмовитись від використання нагрівальних елементів.

Принцип дії агрегату:

Розігрів рідини, яка надходить до всмоктуючого патрубку відбувається за рахунок в'язкістних сил, які вникають при її розгоні роторною лопатевою системою та гальмуванні в статорах лопаткових агрегатів. Такий принцип дозволяє генерувати тепло безпосередньо в рідині.

За рахунок використання роторної лопатевої системи на рідину в проточній частині ТГА діють відцентрові сили, які забезпечують насосний ефект агрегату. Це



Рисунок 3.5 - Станція автоматичного керування ТГА

дозволяє забезпечити прокачування рідини через систему без використання допоміжних циркуляційних насосів.

Для запобігання витоків рідини з агрегату, передбачене торцеве ущільнення валу.

Підтримання необхідного теплового режиму здійснюється станцією автоматичного керування, яка окрім цього реалізує захисні функції (захист двигуна від

коротких замкнень, недопустимих навантажень, обриву чи перекоосу фаз, постійний контроль його ізоляції)

3.3 Модель течії рідини в проточній частині ТГА

Враховуючи складність робочого процесу ТГА, передусім необхідно визначити параметри, які найбільше впливають на енергетичну та теплову характеристики агрегату. Тому для первісного аналізу робочого процесу ТГА була

прийнята розрахункова схема, яка базується на обертанні з постійною частотою плоскої радіальної пластини в нерухомому середовищі.

Розглянемо пряму плоску пластину радіусом R і шириною b , що кріпиться до валу з радіусом R_v та обертається в рідині з постійною кутовою швидкістю ω навколо вісі, що проходить через один з її кінців.

Гідродинамічну силу, яка діє на елементарну площадку $dS = bdr$, визначимо як

$$dF = 0.5\rho\omega^2 r^2 bdr$$

де ρ - густина рідини, кг/м³.

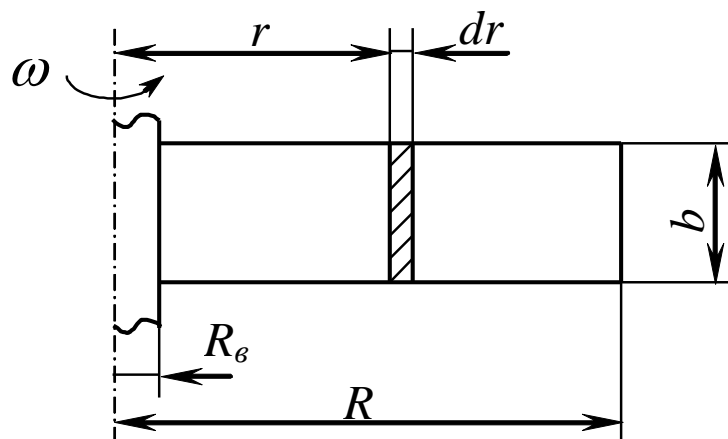


Рисунок 3.6 - Розрахункова схема

Момент, який створюють гідродинамічні сили при обертанні плоскої пластини

$$M = 0.5\rho\omega^2 b \int_{R_v}^R r^3 dr ,$$

тоді потужність, яка необхідна для обертання плоскої пластини в рідині з кутовою швидкістю ω

$$N = M\omega ,$$

або

$$N = 0.5\rho\omega^3b \int_{R_A}^R r^3 dr$$

Враховуючи залежність кутової швидкості ω від частоти обертання n (об/хв), можна записати

$$N = \frac{\rho\pi^3 n^3 b}{216000} (R^4 - R_A^4)$$

Отримана залежність дозволяє визначити величину потужності для однієї лопаті на робочому колесі. У разі розміщення на робочому колесі i лопатей та багатоступуневому виконанні агрегату з загальною кількістю робочих коліс k залежність запишеться у наступному вигляді

$$N = \frac{\rho\pi^3 n^3 b}{216000} (R^4 - R_B^4) ik$$

або

$$N \approx \frac{\rho n^3 b}{111461.3} (D^4 - D_A^4) ik$$

Наявність у формулі множника ik фактично є збільшенням лише сумарної площі лопатей без урахування їх дискретного розташування і особливостей взаємодії з рідиною.

Слід відзначити, що приведена розрахункова схема не відображає впливу всіх параметрів на енергетичну характеристику агрегату і додатково потребує уточнення впливу:

- кількості дискретно розташованих лопатей на робочому колесі ТГА;
- кількості та ширини лопаток на статорних колесах;
- твердих включень, що подрібнюються, у робочому середовищі;
- витрати рідини через проточну частину агрегату.

В подальшому використовуються більш повні математичні моделі, що в певній мірі враховують зазначені особливості робочого процесу ТГА. Тому у роботі [15] на базі розрахунково-аналітичного підходу запропонована модель, яка враховує вплив ряду конструктивних параметрів (кількості лопатей робочого колеса i та статора i_c та відносної ширини \bar{b} (відношення ширини лопатей статорного колеса до ширини РК) на енергетичну характеристику ТГА, за таких умов залежність запишеться у вигляді

$$N \approx K_N \frac{\rho n^3 b}{111461.3} (D^4 - D_A^4) k,$$

де залежність коефіцієнту потужності $\hat{E}_N = f(i, i_c, \bar{b})$ визначалося методом рототабельного планування другого порядку. При цьому фактором оптимізації був обраний \hat{E}_N , а математична модель визначалася у вигляді полінома другого ступеня:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 + b_{11} x_1^2 + b_{22} x_2^2 + b_{33} x_3^2$$

Після обробки результатів розрахункового дослідження, та переходу від кодованих значень факторів рівняння регресії [40] було записано у вигляді:

$$K_N = -24.8795 + 2.44i + 2.72i_{\bar{N}} + 43.26\bar{b} - 0.034i i_{\bar{N}} - 0.37i \bar{b} - 1.31i_{\bar{N}} \bar{b} + 0.074i i_{\bar{N}} \bar{b} - \\ - 0.123i^2 - 0.134i_{\bar{N}}^2 - 21.28\bar{b}^2$$

3.4 Випробування дослідного зразку

В програму досліджень дослідного зразку було включено два етапи:

- отримання фактичної насосної характеристики агрегату;
- дослідне визначення часу нагрівання рідини.

На рис. 3.7 наведена фактична насосна характеристика теплогенератора ТГА-2 з наступними параметрами:

- потужність 15 кВт;
- частота обертання ротора 3000 об/хв.

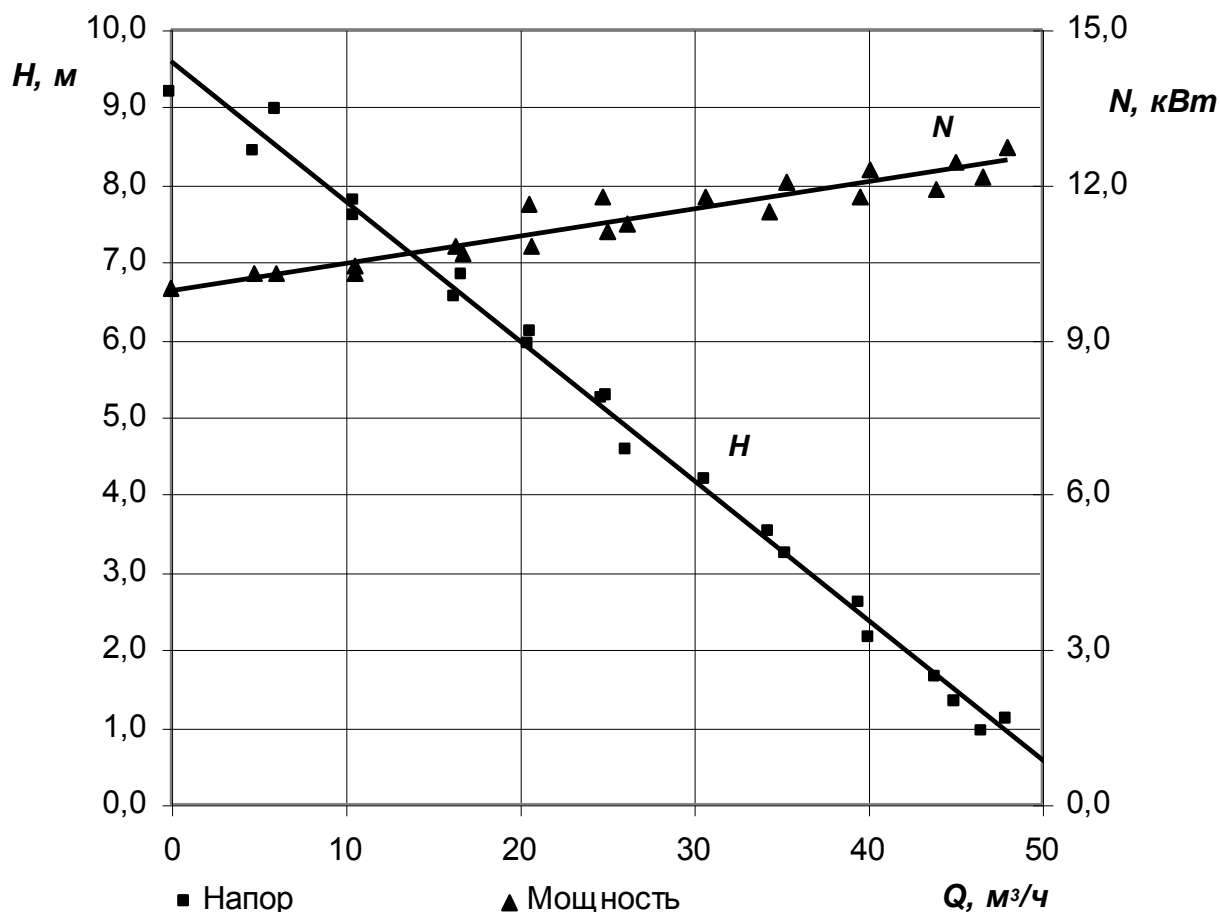


Рисунок 3.7 – Напорна характеристика агрегату ТГА-2

Витрата агрегату в системі опалення підбирається таким чином, щоб забезпечити швидкість руху рідини по трубах не більше 2 м/с (відповідно вимог СНТП). При більш високих швидкостях спостерігається підвищення рівня шуму в трубах.

Потрібний напір агрегату визначається шляхом розрахунку характеристик існуючої системи опалення, що дозволяє узгодити її з насосною характеристикою агрегату.

Для простоти підбору потужності теплогенераторів для певних умов роботи на рис. 3.8 наведено діаграму

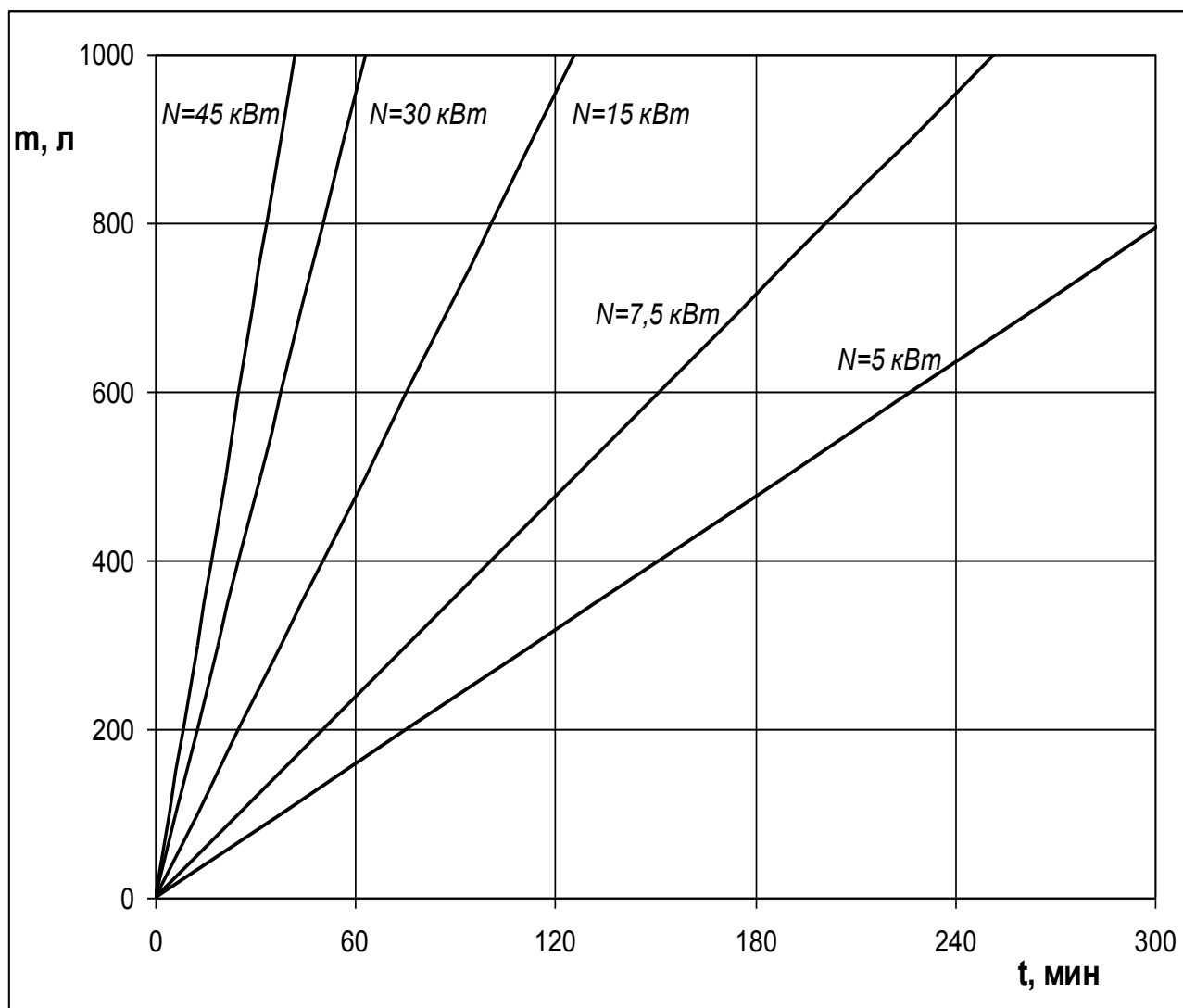


Рисунок 3.8 - Залежність часу нагріву рідини на 30°C (від 30 до 60°C) в залежності від ємності системи опалення для різних потужностей тепло генераторів

3.5 Створення типорозмірного ряду агрегатів

Для забезпечення потреб об'єктів будь якої конфігурації був розроблений типорозмірний ряд агрегатів.

Одним із важливих етапів створення типорозмірного ряду є отримання рекомендацій щодо вибору оптимальних параметрів ТГА. Аналізуючи залежність можна зробити висновок, що збільшення всіх геометричних та режимних параметрів призводить до збільшення потужності, що споживається агрегатом. Але, при можливості, перевагу слід віддавати збільшенню таких параметрів як частота обертання ротору або діаметр РК, адже незначне підвищення цих параметрів призводить до значного підвищення потужності агрегату. Особливу увагу слід приділяти вибору таких параметрів, як кількість лопатей РК, кількість та відносна ширина лопаток статорних коліс. Виконаний аналіз розрахункової залежності свідчить про наявність оптимального діапазону наведених параметрів .

Визначення оптимальних параметрів було виконано методом простого перебору з використанням ЕОМ.

На основі отриманих результатів, були спроектовані агрегати, основні параметри яких вказані в (табл. 1)

Таблиця 1 - Типорозмірний ряд агрегатів ТГА

Параметр моделі	ТГА3	ТГА7	ТГА15	ТГА30	ТГА55	ТГА110
Встановлена потужність двигуна, кВт	3	7.5	15	30	55	110
Напруга мережі, В	380					
Приблизний об'єм приміщення, м ³	50	125	250	500	1000	1900
Температура теплоносія, °С	до 90					
Габарити, м	0,57	0,57	0,95	1,1	1,1	1,3
	0,5	0,5	0,7	0,6	0,6	0,7
	0,56	0,56	0,8	0,7	0,7	0,8
Маса, кг	160	135	180	320	450	650

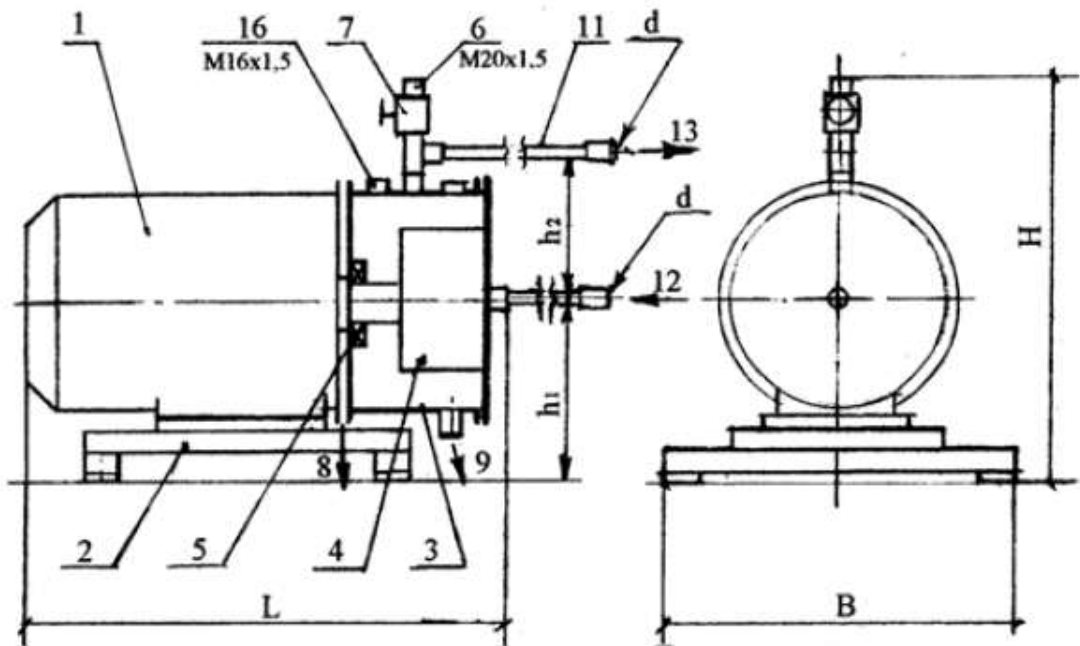


Рисунок 3.9 - Схема складання ТГА:

1. Електродвигун; 2. Рама; 3. Корпус; 4. Активатор; 5. Ущільнення;
6. Місце під манометр; 7. Кран продувки; 8. Дренаж; 9. Злив;
10. Місце датчика температури; 11. Підвід; 12. Рідина, що розігрівається;
13. Підігріта рідина

4 ВИКОРИСТАННЯ БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИХ ТЕПЛОГЕНЕРУЮЧИХ АГРЕГАТИВ ДЛЯ ТЕХНОЛОГІЙ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ

У теперішній час в практику вводяться апарати для гідромеханічних, тепло-і масообмінних процесів, в яких застосовують різні пристрої, які інтенсифікують процес. Їх дія заснована на збудженні низько- або високочастотних коливань в рідині. Спостереження різних авторів показали, що вплив акустичних коливань прискорює найрізноманітніші процеси - розчинення, диспергування, емульгування і т.п. Апарати для отримання пружних коливань діляться наступним чином:

- випромінювачі (електромагнітні, електродинамічні, магнітострикційні, п'єзоелектричні);
- імпульсні та електромашинні генератори;
- аеродинамічні і гідродинамічні апарати.

Найбільш перспективні з точки зору найменших питомих енерговитрат, високої якості виробленої продукції, найменших габаритних розмірів є пристрої останньої групи.

Принцип їх дії заснований на явищі пульсації затопленого потоку рідини внаслідок вихроутворення (гідравлічні свистки: пластинчасті, вихрові, роторно-пальцеві) або переривання потоку за допомогою клапанів, золотників (клапанні, мембранно-клапанні, роторні апарати).

Роторні апарати мають цілу низку переваг в порівнянні з іншими пристроями, які збуджують коливання різного спектру частоти та інтенсивності в оброблюваному середовищі.

Перевага роторних апаратів обумовлена тим, що в них реалізуються різні фактори впливу на оброблюване середовище:

- механічна дія робочих частин апарату на потік рідини, що приводить до його турбулізації, виникнення великих градієнтів зсувних напруг, зрізаючих зусиль;
- акустичний вплив на потік оброблюваного середовища, що виражається у виникненні пульсацій динамічного тиску, інтенсивної гідродинамічної та акустичної кавітації, гідравлічних ударів, вторинних нелінійних акустичних ефектів.

Крім того, за рахунок дисипації частини підведеної енергії в тепло, особливо в радіальному зазорі між ротором і статором, відбувається нагрів оброблюваного середовища.

Таким чином, роторні апарати відносяться до найбільш ефективного обладнання для проведення і інтенсифікації гідромеханічних і тепломасообмінних процесів.

4.1 Вибір конструктивної схеми гомогенізатора та розрахунок енергетичних характеристик агрегату

В основі гомогенізатора, що розробляється, лежить аналог впровадженого у технологію виробництва етилового спирту багатofункціонального теплогенеруючого агрегату (ТГА) – машини, що реалізує ряд функцій, які дозволяють забезпечити виконання декількох стадій технологічного процесу, а саме: подрібнення, перемішування, підігрів та перекачування. Конструкція машини (рис. 2.5) має деякі зміни у порівнянні з попередніми аналогами [33] суть яких полягає у появі додаткової ступені. Остання повинна виконувати першу стадію подрібнення зерна. Такі зміни зумовлені особливістю подрібнення зерна. Вона полягає в тому, що перший етап помолу порушує цілісність зерен та потребує більших енерговитрат ніж подальше подрібнення.

Додаткова ступень для проведення першої стадії подрібнення являє собою робочі диски дискової мельниці, які відносяться до обладнання для помолу зерна [34].

Друга ступень ТГА конструктивно повинна забезпечувати максимальний подрібнюючий ефект, що досягається за рахунок використання принципу багатоступеневості у радіальному напрямку. Проточна частина другої ступені машини утворена робочим колесом (рис. 4.1 а) та двома статорними дисками (рис. 4.1 б). Конструкція робочого колеса являє собою диск з двома робочими поверхнями, які мають по три ряди зубців з різною висотою. Зокрема, така конструкція дозволяє зменшити осьову силу. Конструкція статорних дисків

виконана таким чином, щоб її зубці входили у відповідні кільцеві проточки робочого колеса. Між зубцями статорного диску та диском робочого колеса витримується відповідний зазор.

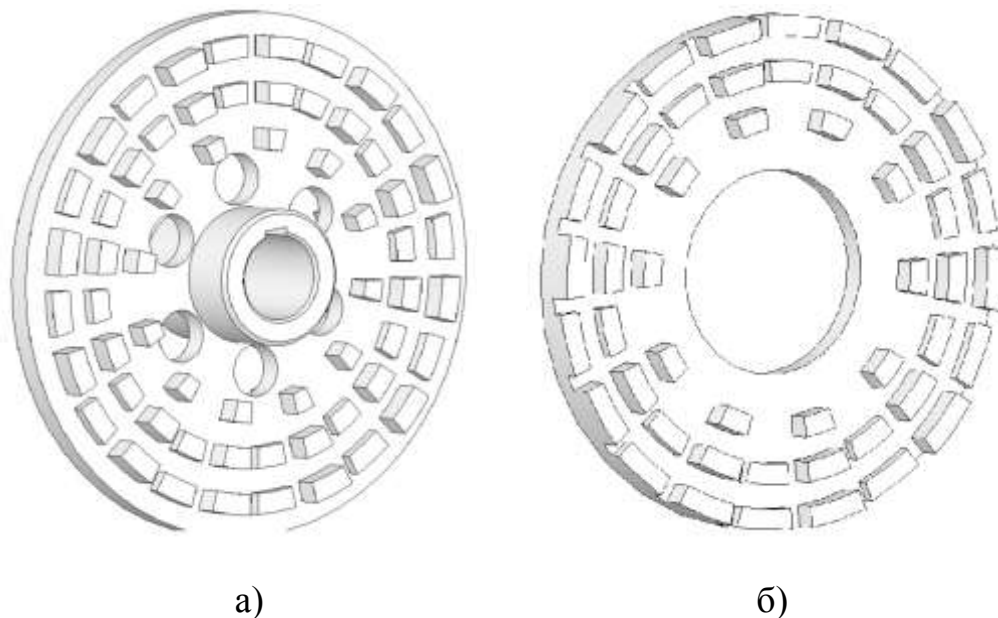


Рисунок 4.1 – Проточна частина другої ступені

а) робоче колесо; б) статорний диск

При розробці даного гомогенізатора нас зацікавила саме друга ступень описаного вище ТГА, а наявність додаткової ступені з робочими дисками не обов'язкова, тому що планується проведення гомогенізації мало дисперсних частинок.

Гомогенізатор складається з приводного асинхронного електродвигуна 1 (рис.4.2), до якого кріпиться проточна частина, виконана з нержавіючої сталі. Вона складається з робочого колеса двохстороннього входу 2 із радіальними концентричними кільцями, яке кріпиться безпосередньо на валу двигуна (моноблочна схема) і обертається між статорними кільцями відповідно переднього 3 і заднього 6 дисками. Як уже зазначалося, така конструкція робочого колеса з двома робочими поверхнями значно зменшує небажане осьове зусилля, яке виникає в процесі роботи машини. Для запобігання витоків робочої рідини передбачене торцеве ущільнення 7. Рідина надходить у проточну частину агрегату через підвід 4.

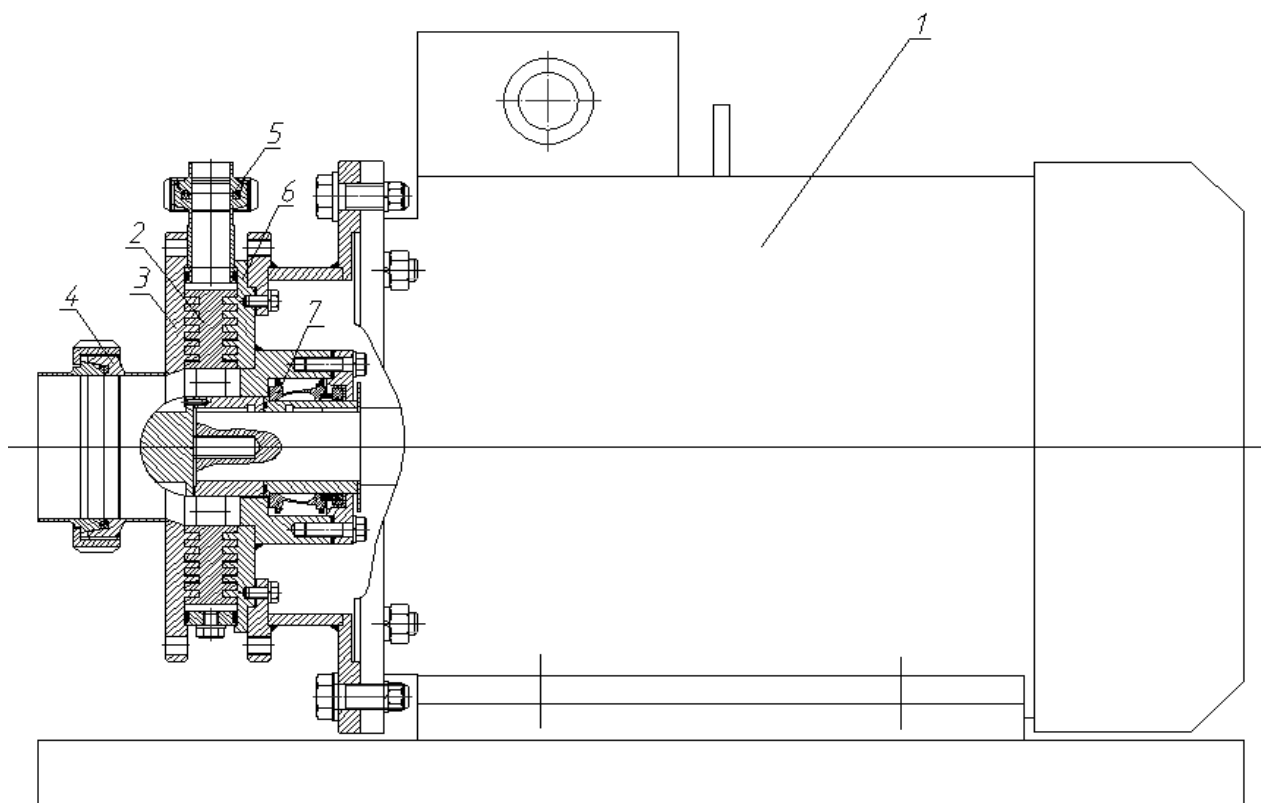


Рисунок 4.2 – Проточна частина гомогенізатора

Принцип роботи гомогенізатора полягає в наступному: рідина надходить у проточну частину агрегату, де відбувається її розгін робочим колесом 2. При проходженні оброблюваного середовища через малі зазори й прорізи в роторних і статорних кільцях відбувається інтенсивне перемішування суспензії і доведення її до необхідної однорідної маси. Шляхом утворення вихрових структур відбувається перетворення механічної енергії в теплову, тому процес гомогенізації супроводжується підігрівом середовища. На виході з робочого колеса за рахунок відцентрових сил рідина виходить через кільцевий відвід 5 в напірний трубопровід, що забезпечує насосний ефект проточної частини.

Основна відмінність гомогенізатора від існуючих роторно-пульсаційних апаратів полягає в наступному:

1) гомогенізатор має різну кількість прорізів на роторі і статорі, що кардинально змінює принцип дії агрегату (при однаковій кількості прорізів на робочих органах виникають взаємні положення ротору та статору коли прохідні канали повністю перекриваються, що призводить до значної пульсації тиску). При

роботі на двофазних робочих середовищах можливий абразивний знос робочих елементів, що призводить до збільшення зазору між ними та, як наслідок, зниження величини пульсації. Це зумовлює зниження ефективності обладнання в цілому. За таких умов конструктивно зроблено ставку на пристрій, гомогенізуюча дія якого визначається ефективністю турбулізації потоку;

2) наявність на робочих органах агрегату елементів для турбулізації потоку у вигляді канавок на концентричних кільцях.

Додатково планується експериментальне дослідження впливу кількості та розмірів турбулізаторів на енергетичну характеристику агрегату та ефективність гомогенізації. Конструктивні схеми ротора і статора зображені на рис. 4.3 і рис. 4.4.



Рисунок 4.3 – Ротор гомогенізатора



Рисунок 4.4 – Статор гомогенізатора

Проведемо розрахунок потужності, що споживається гомогенізатором.

Для визначення потужності, яку споживає даний роторний агрегат, скористаємось трудами к.т.н. А.А. Барама, П.П. Дерко та інж. Б.А. Клоцунга, в достатній мірі відображених в [17] й беручі до уваги матеріали [15], [16] та [20]. Пояснюючи вибір найбільш відповідної математичної моделі розрахунку енергетичних характеристик, слід звернути увагу на принципову новизну розроблюваного гомогенізатора і, тому виходячи з пошуку машин, найбільш схожих до даної конструкції, які в значній мірі уже є дослідженими, наш вибір був

зупинений на апаратах роторно-пульсаційного типу, які широко застосовуються для інтенсифікації гідромеханічних та масообмінних процесів, зокрема, у хімічних технологіях.

Згідно [17] споживана потужність агрегату визначається за формулою

$$N = k_N \rho l n^3 d^4,$$

де k_N – критерій потужності, що залежить від конструктивних параметрів машини, витрати та фізико-хімічних властивостей середовища;

ρ – густина середовища, кг/м³. Приймаємо для води $\rho = 998,2$ кг/м³;

l – лінійний розмір, що характеризує геометрію потоку, м. В нашому випадку це довжина зубу $l = 10$ мм = $10 \cdot 10^{-3}$ м;

n – частота обертання ротора, об/с. $n = 50$ об/с;

d – зовнішній діаметр ротора, м.

Значення k_N розраховуємо за формулою:

$$k_N = 37,5 Re_{\text{ц}}^{-0,3} \left[\left(\frac{b_p z_p}{d} \right)^{0,7} + \left(\frac{b_c z_c}{d} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \cdot \frac{Q}{\pi d b_c z_c l_c} \right) \cdot \left(\frac{h}{d} \right)^{0,2},$$

$Re_{\text{ц}}$ – відцентровий критерій Рейнольда;

b_p – ширина прорізів ротора, м;

b_c – ширина прорізів статора, м;

z_p – кількість прорізів ротора;

z_c – кількість прорізів статора;

l_c – висота прорізі статора, м. В нашому випадку $l_c = 1 = 10 \cdot 10^{-3}$ м;

Q – витрата гомогенізатора, м³/с. $Q = 10$ м³/год = $2,778 \cdot 10^{-3}$ м³/с;

h – величина зазору між зубцями статора і ротора, м. В даній конструкції величина стала $h = 3 \cdot 10^{-4}$ м.

У свою чергу відцентровий критерій Рейнольда $Re_{ц}$ отримаємо наступним чином:

$$Re_{ц} = \frac{\rho n d^2}{\mu},$$

де μ – динамічна в'язкість середовища, Па·с. Використовуємо значення динамічної в'язкості для води $\mu = 1,008 \cdot 10^{-3}$ Па·с.

Слід зазначити, що наша машина розглядається як багатоступенева і для кожної ступені буде проведений окремий розрахунок відповідно до вищенаведених формул. Після чого проведемо складання отриманих значень потужностей на кожній ступені

$$N = \sum_{i=1}^m N_i,$$

де N_i – потужність i -ї ступені, що розрахована згідно до формули, Вт;

m - кількість ступенів гомогенізатора, $m = 10$.

Виходячи з того, що пропонується конструкція гомогенізатора є двохпоточною, то отримане значення сумарної потужності треба збільшити у два рази

$$N_{г} = 2 \cdot N.$$

Підставляючи формулу отримаємо дійсне значення споживаної потужності гомогенізатора

$$N = 2 \cdot \sum_{i=1}^m N_i.$$

Тільки після цього проведений розрахунок буде мати рацію і в значній мірі відповідатиме дійсності, яку звичайно треба у подальшому перевірити дослідним шляхом, який і буде виступати критерієм використаного методу розрахунку споживаної гомогенізатором потужності.

Для прикладу проведемо розрахунок потужності для однієї ступені агрегату, за алгоритмом якого, використовуючи програмний комплекс Excel, визначимо необхідні числові значення інших ступеней. Сталі розрахунку наведемо в таблиці 2. Отримані результати розрахунку зведемо до таблиці 3, де покажемо значення змінних величин характерних для кожної ступені та результати підрахунків не тільки потужності N_i але і проміжних величин: критерій потужності k_N та відцентровий критерій Рейнольда $Re_{ц}$. Скориставшись формулою визначимо дійсну споживану потужність гомогенізатора, числове значення якої відобразимо в таблиці.

Відцентровий критерій Рейнольда $Re_{ц}$ для 1-ї ступені дорівнює

$$Re_{ц} = \frac{998,2 \cdot 50 \cdot 0,1095^2}{1,008 \cdot 10^{-3}} = 593683,9.$$

Критерій потужності згідно (1.3.24) для 1-ї ступені становить

$$k_N = 37,5 \cdot 593683,9^{-0,3} \left[\left(\frac{0,005 \cdot 18}{0,1095} \right)^{0,7} + \left(\frac{0,005 \cdot 24}{0,1095} \right)^{0,7} \right] \cdot \left(1 + 7,2 \cdot \frac{0,002778}{3,14 \cdot 0,1095 \cdot 0,005 \cdot 24 \cdot 0,01} \right) \cdot \left(\frac{0,0003}{0,1095} \right)^{0,2} = 6,36.$$

Визначаємо споживану потужність агрегату на 1-й ступені

$$N = 6,36 \cdot 998,2 \cdot 0,01 \cdot 50^3 \cdot 0,1095^4 = 1141 \text{ (Вт)}.$$

Таблиця 2 – Сталі величини при розрахунку потужності гомогенізатора

Густи- на ρ , кг/м ³	Частота обертання n , об/с	Динамічна в'язкість μ , Пас	Лінійний розмір l , м	Висота прорізі статора l_c , м	Величи на зазору h ,м	Вит- рата Q , м ³ /с
998,2	50	0,001008	0,01	0,01	0,0003	0,00278

Виходячи із числового значення споживаної гомогенізатором потужності $N = 39,223$ кВт та кількості обертів ротора $n = 3000$ об/хв з каталогу [35, с. 564, табл. 1] вибираємо електродвигун трьохфазний, короткозамкнутий серії 4А, закритий, що обдувається: марка виробу 4А200L2У3 з параметрами:

$N = 45,0$ кВт - потужність двигуна;

$n = 3000$ об/хв - синхронна частота обертів;

$s = 1,8\%$ - коефіцієнт ковзання;

$n = 2946$ об/хв - номінальна частота обертів (з урахуванням ковзання).

Таблиця 3 – Розрахунок потужності гомогенізатора

Параметри ступені	Ступені									
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Зовнішній діаметр ротора d , м	0,109	0,12	0,129	0,14	0,149	0,16	0,169	0,18	0,189	0,2
Ширина прорізів ротора b_p , м	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Ширина прорізів статора b_c , м	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005	0,005
Кількість прорізів ротора z_p	18	18	18	18	18	18	18	18	18	18
Кількість прорізів статора z_c	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
Відцентровий критерій Рейнольда $Re_{\Omega} \cdot 10^{-6}$	0,59	0,71	0,83	0,97	1,11	1,27	1,42	1,60	1,78	1,98
Критерій потужності k_N	6,36	5,07	4,2	3,46	2,94	2,49	2,16	1,86	1,64	1,43
Потужність i -ї ступені N_i , Вт	1141	1312	1473	1659	1834	2034	2222	2436	2636	2864
Потужність гомогенізатора N , Вт	39223									

4.2 Експериментальне дослідження агрегату

Експериментальні дослідження обраного технічного об'єкту передбачають детальний розгляд процесу перекачування робочого середовища через проточну частину гомогенізатора та оцінку впливу витрати рідини на енергетичну характеристику агрегату. За таких умов на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки СумДУ було розроблено стенд (рис. 3.1.1) на базі дослідно-промислового зразка ТГА в одноступеневому виконанні. Принципова схема стенду приведена на рис. 4.5.

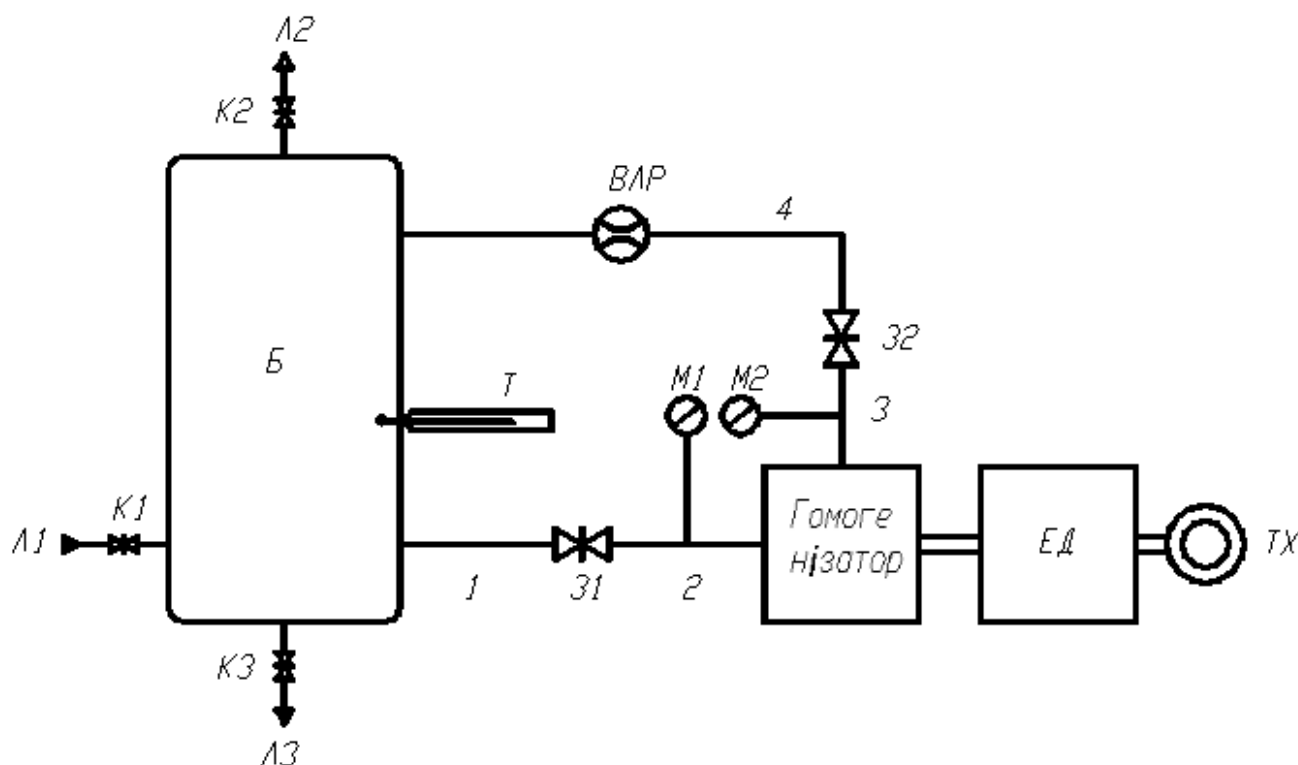


Рисунок 4.5 – Принципова схема стенду для дослідження насосного ефекту гомогенізатора

Таблиця 4 – Умовні позначення принципової схеми стенду

Умовне позначення	Назва	Кількість	Примітка
ЕД	Асинхронний електродвигун	1	
ТХ	Тахометр	1	
Т	Термометр	1	
Б	Бак	1	$V=5 \text{ м}^3$
К1, К2, К3	Кран шаровий	3	
31, 32	Засувка	2	
ВЛР	Витратомір	1	

Умовне позначення	Назва	Кількість	Примітка
M1, M2	Манометр	2	
Л1	Лінія заливки води	1	D _y 15
Л2	Лінія випуску повітря	1	D _y 15
Л3	Лінія зливання води	1	D _y 15
1, 2	Всмоктувальна ділянка трубопроводу	2	D _y 100
3	Напірна ділянка трубопроводу	1	D _y 100
4	Напірна ділянка трубопроводу	2	D _y 100

Стенд дає можливість проводити дослідження насосного ефекту гомогенізатора в діапазоні витрат 0 – 20 м³/годину та напором до 50м. До основного обладнання входять: бак ємністю 5 м³, агрегат гомогенізатора з асинхронним двигуном 4A200L2У3 потужністю 45 кВт та синхронною частотою обертання 3000 об/хв., з'єднувальні трубопроводи, запірні арматура, пульти керування та контрольно-вимірювальні прилади.

Вимірювальна апаратура забезпечувала можливість визначення характеристик напору та потужності від величини витрати рідини через проточну частину агрегату згідно існуючих вимог [36]. До складу комплексу контрольно-вимірювальних приладів входили:

- комплекс ДМК 21 – для визначення електричної потужності, що споживається електродвигуном;
- манометр пружинний класу точності 0,15 з межею вимірювання 0,25 МПа для вимірювання тиску у всмоктуючому трубопроводі;
- манометр пружинний класу точності 0,4 з межею вимірювання 0,6 МПа для вимірювання тиску у напірному трубопроводі;
- тахометр механічний ТЧ10-Р для визначення частоти обертання ротору гомогенізатора;
- витратомір – ВЛР 150ЕК для визначення величини витрати рідини через проточну частину гомогенізатора з точністю 0,5%.

В цілому методика проведення випробувань гомогенізатора по визначенню енергетичних характеристик ґрунтувалася на відпрацьованих рекомендаціях щодо

випробувань гідравлічних машин [37]. Далі наведені загальні залежності, за якими визначалися необхідні характеристики.

При дослідженні насосного ефекту гомогенізатора енергетична характеристика визначалася електричним шляхом і обчислювалася наступним чином

$$N_{ем} = (W_1 + W_2 + W_3) \cdot K \cdot \eta_{ел} \cdot \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^3$$

де $N_{ем}$ – модельна (приведена) потужність гомогенізатора, Вт;

W_1, W_2, W_3 – показання ватметра по кожній фазі, Вт;

K – коефіцієнт, який враховує схему підключення та режим роботи вимірювального приладу;

$\eta_{ел}$ – ККД електродвигуна, що відповідає режиму його роботи.

Напір, що створює гомогенізатор під час роботи, обчислювався за показаннями манометрів, які вимірювали величину тиску у всмоктуючій та напірній ділянках трубопроводів

$$H_M = \left[\frac{\left(\frac{P_H \cdot P_2}{n_{2M}} - \frac{P_B \cdot P_1}{n_{1M}}\right) \cdot 10^6}{\rho \cdot g} + \frac{u_H^2 - u_B^2}{2 \cdot g} + Z_H - Z_B \right] \cdot \left(\frac{n_H}{n_M}\right)^2,$$

де H_M – модельний (приведений) напір, що створює гомогенізатор, м;

P_B, P_H – показання манометрів у всмоктуючому та напірному трубопроводах, діл (ділень);

P_1, P_2 – межа вимірювання тиску манометрами у всмоктуючому та напірному мірних перетинах, МПа;

n_{1M}, n_{2M} – кількість ділень манометрів на всмоктуючому та напірному мірних перетинах, діл.;

ρ – густина робочого середовища, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, $g = 9,81$ м/с²;

u_B, u_H – швидкість течії робочої рідини у всмоктуючому та напірному мірних перетинах, м/с;

z_B, z_H – висота розташування манометрів, м.

Враховуючи однаковий рівень розташування манометрів та однаковий діаметр мірних ділянок на всмоктуючому та напірному трубопроводах формула для визначення напору запишемо у наступному вигляді

$$H_M = \left[\frac{\left(\frac{P_H \cdot P_2}{n_{2M}} - \frac{P_B \cdot P_1}{n_{1M}} \right) \cdot 10^6}{\rho \cdot g} \right] \cdot \left(\frac{n_H}{n_M} \right)^2.$$

Величина приведеної витрати рідини через проточну частину гомогенізатора Q_M визначалася за формулою:

$$Q_M = Q \cdot \left(\frac{n_H}{n_M} \right),$$

де Q_M – експериментально визначена величина витрати, м³/с.

При розрахунку похибок визначення основних параметрів гомогенізатора використовувалися аналітичні залежності, наведені в [38, 39].

Відносна гранична похибка вимірювання частоти обертання ротора ТГА δn визначалася за формулою

$$\delta n = \frac{100 \cdot \Delta n}{n}, \%$$

де Δn – абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання ротору, об/хв.;

n – експериментально визначена величина частоти обертання, об/хв.

Абсолютна гранична похибка вимірювання частоти обертання визначалася як сума похибки тахометра та похибки вимірювання.

Відносна гранична похибка вимірювання потужності на валу експериментального гомогенізатора визначалася за формулою [34]

$$\Delta N_{\text{м}} = \sqrt{\left(\frac{100 \cdot F_{\psi}}{F_{\text{р}}}\right)^2 + \delta F_{\text{р}}^2 + \delta l^2 + 4\delta n^2} \%,$$

де F_{ψ} – поріг чутливості балансирного двигуна, Н;

$\delta F_{\text{р}}, \delta l$ – відносні похибки вимірювання, відповідно зусилля та довжини плеча важеля балансирного двигуна, %.

Відносна гранична похибка вимірювання лінійних розмірів елементів проточної частини гомогенізатора δL визначалася за формулою

$$\delta L = \frac{100 \cdot \Delta L}{L} \%,$$

де ΔL – абсолютна гранична похибка вимірювання геометричного розміру, м;

L – величина параметру, що визначається, м.

Відносна гранична похибка вимірювання температури рідини δt визначалася за формулою

$$\delta t = \frac{100 \cdot \Delta t}{t} \%,$$

де Δt – абсолютна гранична похибка вимірювання температури, °С;

t – експериментально визначене значення температури, °С.

Відносна гранична похибка вимірювання часу проведення експерименту δT визначалася за формулою

$$\delta T = \frac{100 \cdot \Delta T}{T} \%,$$

де ΔT – абсолютна гранична похибка вимірювання часу, хв;

T – експериментально визначене значення часу, хв.

Відносна гранична похибка вимірювання електричної приведеної потужності, що споживається гомогенізатором, ΔN_{me} визначалася за формулою

$$\Delta N_{me} = \sqrt{\delta P_B^2 + \delta \eta_B^2 + 9 \delta n^2} \%,$$

де δP_B – відносна гранична похибка вимірювання електричної потужності по кожній з фаз, %;

$\delta \eta_B$ – відносна гранична похибка визначення ККД електродвигуна, %.

Відносна гранична похибка визначення приведеної витрати рідини через проточну частину гомогенізатора ΔQ_m визначалася за формулою

$$\Delta Q_m = \sqrt{\delta Q^2 + \delta n^2} \%,$$

де δQ – відносна гранична похибка вимірювання витрати рідини, %, що визначалася як

$$\delta Q = \frac{100 \cdot \Delta Q}{Q} \%,$$

де ΔQ – абсолютна гранична похибка вимірювання витрати рідини, м³/с;

Q – експериментально визначена величина витрати, м³/с.

Враховуючи рівність всмоктуючого і напірного трубопроводів і однаковий рівень положень манометрів, відносну граничну похибку вимірювання напору можна виразити через межі вимірів манометрів та їх класи точності.

Для умов експерименту по дослідженню насосного ефекту формула для визначення відносної похибки обчислення напору має наступний вид

$$\Delta H = \frac{1}{H_{\text{оп}}} \sqrt{\frac{P_{\text{н}}^2 \cdot \delta P_{\text{н}}^2 + P_{\text{в}}^2 \cdot \delta P_{\text{в}}^2}{\rho^2} + H_{\text{оп}}^2 \cdot (\delta \rho^2 + 4\delta n^2)}, \%$$

де $\delta P_{\text{в}}, \delta P_{\text{н}}, \delta \rho$ – відносні граничні похибки вимірювання, відповідно тиску на вході та виході з гомогенізатора та густини робочої рідини, %;

$H_{\text{оп}}$ – експериментальне значення напору, м.

Середньоквадратичні відносні похибки непрямих вимірювань визначалися за формулою [39]

$$\sigma_{\text{в}} = \frac{\Delta}{2}, \%$$

де Δ - відносна гранична похибки параметру, що визначається, %.

ВИСНОВКИ

В зв'язку з необхідністю вдосконалення ряду технологічних процесів, зокрема в харчовій промисловості, наприклад, виробництво молока, майонезу, різноманітних йогуртів, соусів, паст, соків з м'якоттю та сумішей на їх основі тощо нами був проведений детальний аналіз відомих конструкцій, які ефективно використовуються для інтенсифікації даних процесів. Після всебічного розгляду численного ряду роторних апаратів, враховуючи виділені позитивні та негативні сторони кожного з них, нашу увагу привернув гідравлічний млин, призначений для спиртової галузі промисловості, а саме його друга ступень, яка була закладена в основу розробки нашого агрегату.

Згідно використаних джерел був проведений розрахунок енергетичних параметрів машини, зокрема споживаної потужності на кожній ступені та агрегату в цілому, який дав змогу оцінити ефективність конструкції проточної частини агрегату, оптимальність вибору геометричних розмірів прорізів ротора й статора та зазорів між ними. Унікальність конструкції полягає у різній кількості прорізів на робочих поверхнях, що кардинально змінює принцип дії агрегату та наявність турбулізуючих елементів у вигляді канавок, які впливають на ефективність гомогенізації середовища. При подальшій розробці та модернізації даної машини планується проведення досліджень щодо розмірів і форми канавок, їх вплив на енергетичну характеристику та якість вихідного продукту.

Розробленим агрегатам притаманний насосний ефект, що, крім ретельного диспергування і підігріву робочого середовища, дозволяє подавати оброблюваний продукт з необхідним напором і витратами до наступної стадії технологічного процесу, якщо це необхідно для даних умов виробництва. Для детального вивчення характеристик агрегатів найближчим часом планується проведення ряду експериментальних досліджень на спеціально розроблених стендах кафедри прикладної гідроаеромеханіки СумДУ.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Волков Н.И., Папченко А.А. Многофункциональный теплогенерирующий агрегат и его использование для приготовления кормовых смесей в сельскохозяйственных предприятиях // Промислова гідравліка і пневматика, – Вінниця, № 1 (3).– 2004. – С. 99-102
2. Євтушенко А.О., Ковальов С.Ф., Овчаренко М.С., Папченко А.А. Розробка багатофункціонального теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора для приготування біологічних добавок // Вестник национального технического университета Украины «КПИ». Серия "Машиностроение", Киев, – 2007.- 53 с.
3. Технологическое оборудование консервных заводов // И.С. Аминов, М.Я. Дикис, А.Н. Мальский, А.К. Гладушняк. – 5-е изд. перераб. и доп. – Агропромиздат. 1986. - 319 с.
4. Промтов М.А. Роторные импульсные аппараты и перспективы их применения. <http://www.tstu.ru/r.php?r=structure.kafedra&sort=&id=3>.
5. Мелехин Ю.И.; Беляев А.В. Патент ООО "Технологии в Сибири". 1999.03.23.
6. Гринь В.Т., Статический смеситель-гомогенизатор для производства наливных маргаринов // Пищ. Пром-сть, №6 – 1989. – С. 23-25.
7. Патент ЕВП 0285725, А2, МКИ В01F5/06, Опубл. Bulletin 88/41. – 12.10.88.
8. Оборудование предприятий молочной промышленности / Н.Я. Лукьянов, Н.В. Барановский – М.: «Пищевая промышленность», 1968.- С. 166-170.
9. Авторское свидетельство № 1535609, кл. В 01 F 7/04, 1990.
10. Авторское свидетельство № 980823, кл. В 02 С 7/00, кл. В 02 С 19/00, 1982.
11. Авторское свидетельство № 1494956, кл. В 01 F 7/10, 1989.
12. Авторское свидетельство № 1299615, кл. В 01 F 7/26, 1987.
13. Фесенко А.В. Методика оцінки параметрів кавітаційної обробки МОР // Вісник національного технічного університету «ХПІ», збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні вип. - Харків: изд. НТУ «ХПІ», -2008 .- № 1. С. 14-18.

14. Богданов В.В., Христофоров Є.І., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные смешиватели. - Л.: Химия, 1989. - 224 с.
15. Червяков В.М. Гидродинамические и кавитационные явления в роторных аппаратах: монография / В.М. Червяков, В.Ф. Юдаев. - М.: Машиностроение -1, 2007. - 128 с.
16. Б.М. Посметный, Ю.І. Горпинко. Сверхдвигательные теплогенераторы роторных конструкций // Сборник доповідей НТК «Аномальные физические явления в энергетике та перспективе створення нетрадиційних джерел енергії. -Харків, 2005. – С. 268 - 277.
17. В.М. Червяков, А.А. Коптев. Определение энергозатрат в роторных аппаратах. Химическое и нефтегазовое машиностроение, 2005, №4.- С. 10-12.
18. О.А. Кокушкин, А.А. Барам, и И.С. Павлушенко. О расчете мощности ротационных аппаратов. Химическое машиностроение, 1969. - №8.
19. Барам А.А., Дерко П.П., Клоцунг Б.А. Расчет мощности аппаратов роторно-пульсационного типа // Химическое и нефтяное машиностроение.- 1978. №4. - С. 5-6.
20. Дерко П.П., Барам А.А., Коган В.Б. и др. О гидромеханических закономерностях работы роторно-пульсационных аппаратов. // ТОХТ 1973. Т.7, №1. - С. 123-125.
21. Балабудкин М.А. Роторно-пульсационные аппараты в химико-фармацевтической промышленности. М.: Медицина, 1983. - 160 с.
22. Богданов В.В., Христофоров Е.И., Клоцунг Б.А. Эффективные малообъемные системы. Л.: Химия. - 1989. - 244 с.
23. Иванец Г.Е., Плотников В.А., Плотников П.В. Энергетическая характеристика роторно-пульсационного аппарата // ЖПХ 2000. Т.73. вып. 9.- С. 1511-1514.
24. Промтов М.А. Пульсационные аппараты роторного типа. Теория и практика. М.: Машиностроение, 2001. - 260 с.
25. Балабышко А.М., Юдаев В.Ф. Роторные аппараты с модуляцией потока их применение в промышленности. М.: Недра, 1982.- 176 с.

26. Червяков В.М., Галаев В.И., Коптев А.А. Нестационарное течение жидкости в зазоре между ротором и статором роторного аппарата // Вестник ТГТУ. 2003. Т9, №4. С. 646-652.
27. Волк А.М. Течение вязкой жидкости в пространстве между движущимися проницаемыми поверхностями // ИФЖ. 1993. Т. 65, №2.- С. 152-158.
28. Karman Th. Uber laminare und turbulente Reibung // ZAMM. 1921. В. 1. S. 233-352.
29. Коптев А.А. Die Flussigkeitsstromung in den zentrifugalfeldern unter Wirkung der sich drehenden Scheiben. Problem von Th. Karman // Transaction of TSTU. 1995. V.1. №1-2. S. 65-74.
30. Шертинг Г. Теория пограничного слоя. М.: «Наука», 1974. - С. 71-76.
31. О гидромеханических закономерностях работы роторно-пульсационных аппаратов. – «Теоретические основы химической технологии», 1973, №1.- С. 123-125. Авт.: П.П. Дерко, А.А. Барам, В.Б. Коган, О.К. Федоров.
32. Лошакова О., Барам А.А., Коган В.Б. О механизме пульсационных явлений в аппаратах роторно-пульсационного типа. – В сб.: Машинное оборудование целлюлозно-бумажных производств. Л.: (ЛТИЦБП), вып. 3. - С. 74-81.
33. Исследование гидродинамических и акустических характеристик аппаратов с роторно-пульсационными устройствами. – «Химическое и нефтяное машиностроение». 1969, №11. С. 11-14. Авт.: А.А. Барам, П.П. Дерко, В.Б. Коган и др.
34. Стренк Ф. Перемешивающие аппараты с мешалками. М. – Л. «Химия», 1975. – 322 с.
35. Євтушенко А.О., Ковальов С.Ф., Папченко А.А. Теплогенеруючі агрегати – подальші шляхи їх розвитку та удосконалення // Международный научно-технический журнал "Проблемы машиностроения". – Харьков, 2007, том 10. – С. 48 – 52.
36. Авторское свидетельство SU № 1366204, кл. В 02 С 7/18, 1985.
37. Анурьев В.И. Справочник конструктора-машиностроителя: В 3-х т. Т. 3. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1980. – 557 с., ил.

38. ГОСТ 6134-87. Насосы динамические, методы испытаний. - Введ.01.01.89. - М.: Изд-во стандартов, 1988. - 29 с.
39. Яременко О.В. Испытания насосов. Справочное пособие. - М.: Машиностроение, 1976. - 225 с.
40. Спиридонов А.А. Планирование эксперимента при исследовании технологических процессов. М: Машиностроение, 1981. – 184 с., ил.
41. Рузинов Л.П., Слободчикова Р.И. Планирование эксперимента в химии и химической технологии. – М., Химия, 1980. – (серия «Химическая кибернетика») – 280 с., ил.