

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ, МОЛОДІ ТА СПОРТУ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Ковальов Сергій Федорович

УДК 621.662:664.732 (043.3)

**ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ
ТА ОБҐРУНТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ
БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНОГО АГРЕГАТУ-МЛИНА
ГІДРОДИНАМІЧНОГО ПРИНЦИПУ ДІЇ**

Спеціальність 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, професор
Євтушенко Анатолій Олександрович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедрою «Прикладна гідроаеромеханіка».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Ніколенко Ілля Вікторович,
Національна академія природоохоронного й курортного
будівництва,
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України,
завідувач кафедрою «Водопостачання, водовідведення й
санітарна техніка»;

кандидат технічних наук, доцент
Дранковський Віктор Едуардович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут»,
Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України,
доцент кафедри «Гідравлічні машини».

Захист відбудеться «12» квітня 2013 р. о 13⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 55.051.03 у Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Сумського державного університету (40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2).

Автореферат розісланий: 12 березня 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Є. М. Савченко

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Одним із найбільш важливих завдань машинобудування України є удосконалення та створення принципово нових машин на основі застосування ресурсо- та енергозберігаючих технологій. У різних виробництвах багатьох сфер промисловості (харчова, фармацевтична, хімічна та паливно-енергетичний комплекс) технологічні процеси побудовані на поетапній реалізації окремих операцій: подрібнення твердих включень, змішування з рідкою фазою, перекачування робочого середовища та його підігрівання. Для підвищення конкурентоспроможності готової продукції зазначених виробництв існує доцільність модернізації технологічних ліній за принципами ресурсо- та енергозбереження. Одним із шляхів модернізації та удосконалення технологічних процесів є суміщення технологічних операцій. Такий підхід забезпечує не лише підвищення ефективності окремих машин, але й перегляд технологічної лінії у цілому. У зв'язку з цим вдосконалення робочого процесу та конструкцій багатофункціональних агрегатів гідравлічного принципу дії є актуальною задачею.

Запропоновано впровадити до технологічних ліній виробництв, що базуються на процесах гідроподрібнення, перемішування та перекачування, багатофункціональний агрегат-гідромлин (БАГМ). Гідромлин являє собою відгалуження технічної системи «Багатофункціональний теплогенеруючий агрегат», що створена на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету (СумДУ) під керівництвом М. І. Волкова Ця технічна система уособлює машини гідродинамічного принципу дії, конструктивне виконання проточної частини яких реалізує перетворення енергії, що споживається, на одночасне виконання декількох процесів: підігрів, подрібнення, перемішування та перекачування. У проточній частині БАГМ одночасно реалізуються декілька функцій, домінуючою з яких є подрібнення твердої речовини у рідкому середовищі, а допоміжними є підігрів робочого середовища, перемішування його складових компонентів та перекачування.

Методи вдосконалення конструкцій БАГМ та їх робочих характеристик необхідно створювати на основі теоретичних та експериментальних досліджень з глибоким аналізом робочого процесу, що відбувається, як на одно-, так і на двофазних робочих середовищах.

Таким чином, дослідження робочого процесу БАГМ і розроблення розрахункової моделі для визначення його енергетичних показників (напір та потужність) та удосконалення конструкції є актуальними і практично значущими завданнями.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами і темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідних робіт кафедри прикладної гідроаеромеханіки Сумського державного університету і відповідно до науково-технічної програми Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України та реалізована при виконанні держбюджетних науково-дослідних робіт (замовник – Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України): «Дослідження нетрадиційних шляхів перетворення енергії в рідинах і газах та створення на їх основі прогресивного обладнання для гідропневмосистем» (ДР № 0106U001935), «Дослідження робочого процесу теплогенеруючих агрегатів багатофункціонального призначення та розробка на їх основі енерго- та ресурсозберігаючого обладнання» (ДР № 0109U001381), «Створення ефективних енергозберігаючих систем опалення та гарячого водопостачання на базі багатофункціональних теплогенеруючих агрегатів» (ДР № 0111U002153), у яких здобувач брав участь як виконавець.

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є наукове обґрунтування робочого процесу та визначення залежності енергетичних характеристик багатофункціонального агрегату-гідромлина від конструктивних параметрів проточної частини, частоти обертання ротора машини, подачі і характеристик робочого середовища.

Для досягнення поставленої мети сформульовані такі задачі:

- установити особливості гідродинамічної картини течії робочого середовища в проточній частині БАГМ;
- установити закономірності впливу гідродинамічних та конструктивних параметрів на характеристики БАГМ;
- запропонувати підхід та визначити питому вагу кожної складової у сумарній потужності БАГМ;
- визначити особливості застосування законів теорії подібності для перерахунку робочих характеристик БАГМ за існуючою моделлю;
- розробити методикау проектного розрахунку БАГМ.

Об'єкт дослідження – робочий процес багатофункціонального агрегату-млина гідродинамічного принципу дії.

Предмет дослідження – характеристики багатофункціонального агрегату-млина як машини гідродинамічного принципу дії на однофазних та двофазних робочих середовищах.

Методи дослідження. Поставлені задачі були вирішені за допомогою застосування аналітичного, числового та фізичного методів дослідження. Аналітичний метод шляхом використання класичних рівнянь механіки рідини та газу дозволив визначити основні параметри, які суттєво впливають на потужність машини. Числовий метод, в основу якого покладено вирішення рівнянь Рейнольда та

рівняння безперервності методом послідовних наближень, дав можливість установити особливості структури течії у проточній частині машини. Фізичний метод послужив критерієм адекватності попередніх методів та дозволив одержати інтегральні характеристики й провести уточнення математичної моделі. Крім того, на його основі сформоване уявлення про баланс енергії машини. Достовірність наукових результатів роботи обумовлена застосуванням апробованих методів дослідження, обґрунтованим вибором контрольно-вимірювальної апаратури і методів обробки експериментальних даних із застосуванням методів математичної статистики і теорії малих вибірок. Точність та достовірність отриманих експериментальних даних забезпечено використанням методики проведення випробувань, що відповідає міждержавному стандарту ДСТУ 6134-2009 (ISO 9906:1999) «Насоси динамічні. Методи випробувань», а також допустимою похибкою вимірювання фізичних величин.

Наукова новизна отриманих результатів:

- шляхом математичного моделювання визначені конструктивні та режимні параметри, що впливають на гідродинамічну картину течії у проточній частині БАГМ, яка обумовлює характеристики робочого процесу;
- вперше шляхом аналізу результатів фізичного дослідження встановлено взаємозв'язки між конструктивними та режимними параметрами БАГМ, що дають можливість вдосконалювати його робочі процеси за рахунок прогнозування енергетичної та напірної характеристики на етапі проектування гідравлічної машини;
- вперше, ґрунтуючись на результатах фізичного моделювання та теорії планування інженерного експерименту, удосконалені шляхи реалізації теорії подібності, що дозволяє виконувати модельний перерахунок робочих характеристик БАГМ за існуючою моделлю;
- запропоновано підхід для визначення структури витрат енергії у проточній частині БАГМ, яка дозволяє виділити питомий внесок окремих процесів в енергетичну характеристику машини при її роботі на двофазному робочому середовищі.

Практичне значення одержаних результатів:

- розроблені методики, інженерні програми розрахунків та рекомендації з вибору конструктивних і режимних параметрів БАГМ з урахуванням вимог технологічних процесів;
- запропоновані концептуальні рішення та обґрунтовані конструктивні параметри БАГМ з урахуванням енергетичної та напірної характеристик агрегату;
- розроблена методика експериментальних досліджень, створений експериментальний стенд, що дозволяє проводити випробування проточних частин гідромлина на різних одно- та двофазних робочих рідинах з можливістю

регулювання режимних параметрів;

– запропоновані концептуальні рішення та створені експериментальні зразки гідромлінів для технологічної лінії спиртового виробництва, приготування біодобавок, а також типорозмірний ряд БАГМ циклічної дії для приготування рідких кормових сумішей у сільському господарстві;

– результати дисертаційної роботи впроваджені на промислових підприємствах України ДП «Сумиспирт», ТОВ «Біохем ЛТД», ЗАТ «Маяк» і в навчальному процесі СумДУ, що підтверджується відповідними актами впровадження.

Особистий внесок здобувача Основні наукові і практичні результати отримані здобувачем самостійно. У роботах [1; 7; 18] здобувачем обґрунтовано необхідність вдосконалення робочого процесу багатофункціональних теплогенеруючих агрегатів для їх застосування у ряді технологічних процесів і взято участь у формулюванні висновків. У роботах [2; 10; 13; 14; 19] здобувачем обґрунтовано реформування спиртового виробництва, проведено експериментальні дослідження в лабораторних та промислових умовах, наведено якісні результати випробувань гідромліна, запропоновано підхід до визначення балансу енергії агрегату та механізм узагальненого визначення окремих його складових і взято участь у формулюванні висновків. У роботах [3; 5] здобувачеві належить обґрунтування можливості впровадження БАГМ у технологічну лінію приготування біологічних добавок ліквіфос-стронгу і участь у формулюванні висновків. У роботах [4; 6; 9; 12; 15; 16; 17] здобувачеві належить аналіз можливості використання багатофункціональних агрегатів для деяких технологічних ліній харчової та хімічної промисловості, отримані експериментальні результати і взято участь у формулюванні висновків. У роботах [8; 11] здобувачем обґрунтовано доцільність використання функції нагріву багатофункціональних агрегатів для ряду технологічних процесів, виділено питомі енерговитрати на реалізацію функції нагріву і взято участь у формулюванні висновків.

Апробація результатів дисертації. Основні положення і результати дисертації доповідалися, обговорювалися та були схвалені на Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2010 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції «Герметичність, вібронадійність та екологічна безпека насосного і компресорного обладнання» – «ГЕРВИКОН – 2011» (м. Суми, 2011 р.), II Всеукраїнській міжвузівській науково-технічній конференції «Сучасні технології в промисловому виробництві» (м. Суми, 2012 р.), XIII Міжнародній науково-технічній конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика» (м. Чернігів, 2012 р.) та на науково-технічних конференціях викладачів, співробітників, аспірантів і студентів СумДУ (2006, 2007, 2009 рр.).

Публікації. За матеріалами дисертації здобувачем опубліковано 19 наукових робіт, з яких 12 у виданнях, що входять до переліку, затвердженого МОНмолодьспорту України [1-12] (у тому числі, 1 особиста публікація [10] та 1 публікація [12] у виданні, що входить до наукометричної бази Scopus), та тези 7 робіт апробаційного характеру [13-19] (матеріали доповідей на конференціях).

Структура й обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаної літератури і додатків. Повний обсяг дисертації 193 сторінки, 92 рисунки, з яких 2 займають 2 повні сторінки, 28 таблиць за текстом, 3 додатки на 14 сторінках, список використаної літератури із 100 джерел на 12 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ

У **вступі** наведено кваліфікаційні ознаки дисертації і визначено напрямок досліджень, який пов'язаний із вивченням робочого процесу БАГМ та розробленням моделі розрахунку енергетичної характеристики агрегату, обґрунтована їхня актуальність.

У **першому розділі** представлено аналітичний огляд принципу дії та конструкцій БАГМ, а також основні напрямки вдосконалення робочого процесу цих гідравлічних агрегатів. Теоретичні основи робочих процесів, які відбуваються в гідродинамічних машинах з обертовим ротором і лопатями були закладені в роботах В.Н. Прокоф'єва, Т.М. Башти та інших, які дозволяють створювати математичні моделі й визначити основні характеристики, оцінювати технічний рівень гідромашин цього типу.

Сучасним шляхом удосконалення технічних систем і підвищення їхнього технічного рівня є створення машин, в яких у робочих процесах суміщені різні технологічні операції. Гідродинамічні машини, у робочих процесах яких суміщаються перенос робочого середовища, його подрібнення, перемішування й нагрівання, відомі у різних модифікаціях і застосовуються у різних галузях промисловості. Основи проектування, а також конструкції деяких модифікацій гідродинамічних машин, робочі процеси яких були розглянуті спрощено, закладені у роботах А. А. Барам, О. В. Дубровін, Б. А. Гавриленко, Н. М. Смірнов та інших.

Проведено огляд технічної системи «Багатофункціональний теплогенеруючий агрегат», яка зусиллями М. І. Волкова та А. А. Папченка була запропонована та розвинута на кафедрі прикладної гідроаеромеханіки СумДУ. Машини такого класу мають гідродинамічний принцип дії, а в їх проточній частині одночасно виконуються декілька процесів: підігрів, подрібнення, перемішування та перекачування робочого середовища. На сьогодні у роботах А. А. Папченка сформовано чітку уяву про робочий процес багатофункціонального ТГА.

Виявлено ряд виробництв, в які має економічний сенс впровадити процес гідроподрібнення. До таких віднесено спиртове виробництво, технології кормоприготування у тваринництві та нафтопереробка. Тому саме для реалізації таких процесів запропоновано впровадження БАГМ, домінуючою функцією якого є функція подрібнення, а функції перемішування, підігріву та перекачування є допоміжними.

У ході інформаційного огляду машин, що реалізують процес гідроподрібнення, виявлена значна кількість різноманітних конструктивних схем. В основу роботи таких машин покладено різні механізми руйнування твердих включень робочого середовища. Проведено аналіз існуючих моделей робочих процесів, що характеризуються складним характером вихроутворень, які відбуваються у проточних частинах гідродинамічних машин: ТГА (А. А. Папченко), роторні апарати (В. М. Черв'яков, О. А. Кокушкін, А. А. Барам, В. В. Богданов.) та гідрогальмо (Б. А. Гавриленко, В. А. Мінін, Л. С. Оловников). Описані машини суттєво відрізняються від гідромлина як конструктивно, так і функціонально, що унеможливує застосування розрахункових методик наведених типів машин відносно БАГМ.

У першому розділі формулюються мета проведення дослідження та завдання, що вирішувалися для її досягнення. Описані методи та засоби проведення дослідження.

Вибір технічного об'єкта базується на найбільш простій та технологічній схемі, яка орієнтована на приготування зернового замісу для спиртового виробництва. Наведений БАГМ (рис. 1) являє собою гідродинамічну машину консольного типу. Проточна частина машини утворена робочими дисками 3 та 4. Робочий диск 3 роз'ємним способом закріплений на диску 5, таким чином утворений роторний елемент машини. Робочий диск 4 роз'ємним способом закріплений на передній кришці 1. Передня кришка 1 ущільнюється з корпусом 2 через гумове кільце 10. Диск 5 за допомогою шпонки кріпиться на валу 8. Статорний та роторний диски 3 та 4 мають однакову конструкцію (рис. 2). Робоча поверхня В дисків 3 та 4 виконана у вигляді конуса з

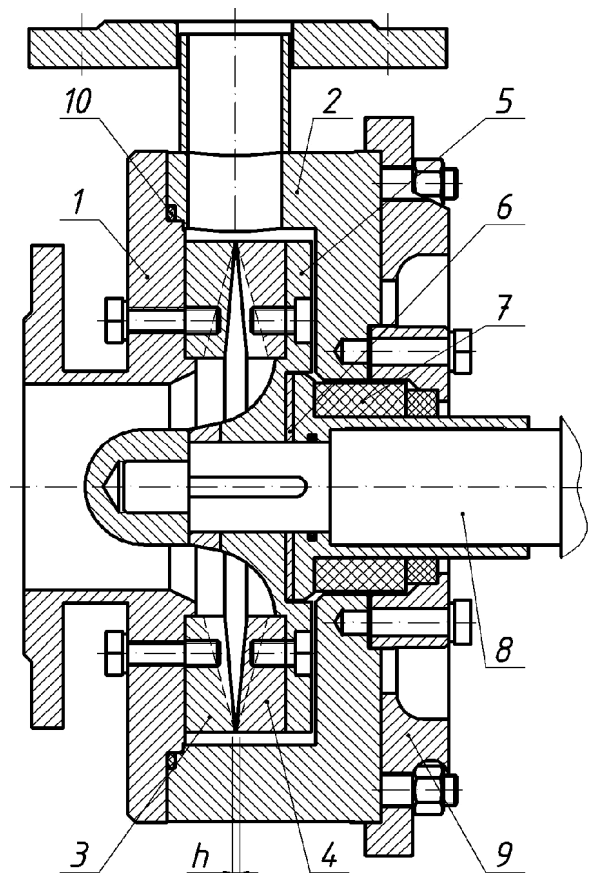


Рисунок 1 – Проточна частина БАГМ

Робочий диск 4 роз'ємним способом закріплений на передній кришці 1. Передня кришка 1 ущільнюється з корпусом 2 через гумове кільце 10. Диск 5 за допомогою шпонки кріпиться на валу 8. Статорний та роторний диски 3 та 4 мають однакову конструкцію (рис. 2). Робоча поверхня В дисків 3 та 4 виконана у вигляді конуса з

кутом α таким чином, що міждисковий простір проточної частини звужується до периферії. На конічній поверхні В дисків 3 та 4 виконані рівнорозміщені зубці 11, кількість яких z штук. Глибина s зубців 11 до периферії зменшується нанівець.

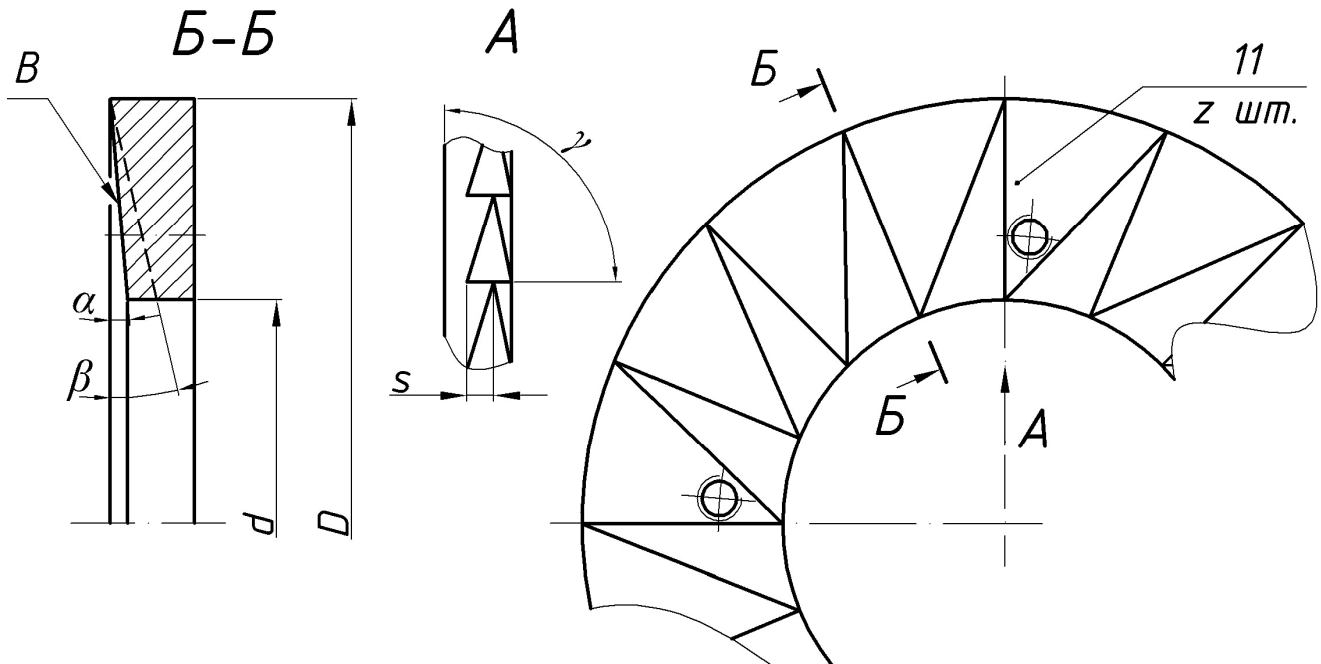


Рисунок 2 – Конструкція робочого диска гідромлина

Між статорним 3 та роторним 4 дисками по зовнішньому діаметру D витриманий зазор h (рис. 1), який виконує роль сепаратора на виході із проточної частини гідромлина. Величина зазору залежно від вимог до крупності готового продукту може варіювати від 0,1 до 4,0 мм. Установка зазору виконується за допомогою дистанційної шайби 6. Герметизація вала 8 забезпечується торцевим 7 (рис. 1) або сальниковим ущільненням.

У другому розділі шляхом аналітичного дослідження розроблено математичну модель робочого процесу гідромлина.

Прийнята умова, що розглядається нерухоме рідке середовище. Встановлено розрахункову схему (рис. 4) – це роторний робочий диск із внутрішнім радіусом R_1 та із зовнішнім радіусом R_2 . На диску знаходиться один зубець. Виділимо на розрахунковій схемі розрахункову ділянку ADC (рис. 4 б), яка являє собою профіль зубця робочого диска. Введемо допоміжну геометрію у вигляді трикутника ACB . Тепер можемо визначити на розрахунковій ділянці елементарну площину dS через її висоту dr :

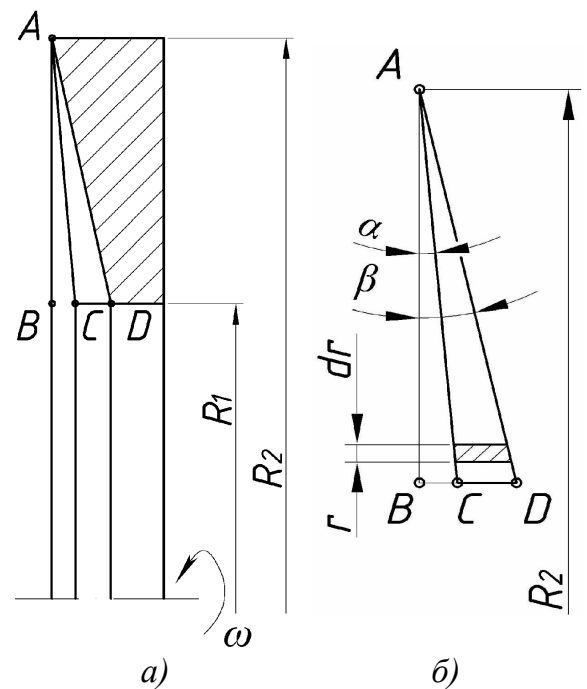


Рисунок 4 – Розрахункова схема:
а) загальний вигляд;
б) робоча ділянка

$$dS = ((R_2 - r) \cdot \operatorname{tg}\beta - (R_2 - r) \cdot \operatorname{tg}\alpha) dr,$$

де α – кут робочої поверхні диска, град.; β – кут, що визначає глибину зубця, град.; r – радіус, на якому розташована площа dS , м.

Момент, що створює гідродинамічна сила при обертанні елементарної площадки dS :

$$dM = 0,5 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot r^3 \cdot (R_2 - r) \cdot (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha) \cdot dr, \quad (1)$$

де ρ – густина рідини, кг/м³; ω – кутова швидкість обертання, с⁻¹.

При обертанні зубця величину моменту визначаємо інтегруванням виразу (1):

$$M = 0,5 \cdot \rho \cdot \omega^2 \cdot (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha) \cdot \int_{R_1}^{R_2} (r^3 \cdot R_2 - r^4) \cdot dr.$$

Потужність, що необхідна для обертання зубця у робочому середовищі, з кутовою швидкістю ω :

$$N = \frac{0,5 \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha)}{20} \cdot (R_2^5 - 5 \cdot R_2 \cdot R_1^4 - 4 \cdot R_1^5). \quad (2)$$

Для зручності введемо величину відносної висоти зубця \bar{b} ($\bar{b} = b/D_2$). Тепер можемо визначити величину внутрішнього радіуса робочого диска через відносну висоту зубця $R_1 = R_2 - 2 \cdot \bar{b} \cdot R_2$. Таким чином, вираз (2) набуває такого вигляду:

$$N = \frac{1}{40} \cdot \rho \cdot \omega^3 \cdot (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha) \cdot R_2^5 \cdot \left(1 - (1 - 2 \cdot \bar{b})^4 \cdot (1 + 8 \cdot \bar{b})\right).$$

Враховуючи залежність кутової швидкості ω від частоти обертання n (об/хв) та наявність на робочому диску z зубців, отримаємо

$$N = \frac{\rho \cdot z \cdot n^3 \cdot D^5}{1116310} \cdot (\operatorname{tg}\beta - \operatorname{tg}\alpha) \cdot \left(1 - (1 - 2 \cdot \bar{b})^4 \cdot (1 + 8 \cdot \bar{b})\right). \quad (3)$$

Наявність множника z фактично є збільшенням лише сумарної площі зубців без урахування їх дискретного розташування і особливостей взаємодії з рідиною.

Наведена математична модель не дозволяє з необхідною адекватністю прогнозувати енергетичну характеристику гідромлина. Це пояснюється тим, що розрахункова схема не враховує впливу з боку: кількості зубців на роторному та статорному дисках; величини зазору між робочими дисками; твердих включень, що подрібнюються у робочому середовищі; витрати рідини через проточну частину агрегату.

Однак отримана модель визначає основні параметри, що впливають на потужність гідромлина. Прийнято рішення усунути зазначені недоліки шляхом доповнення математичної моделі емпіричним коефіцієнтом.

Також у другому розділі для установлення особливостей характеру гідродинамічних картин течії однофазного середовища у проточній частині БАГМ

передбачена візуалізація робочого процесу. Результати останнього є важливим підґрунтям для формування уявлення про робочий процес гідромлина на двофазному середовищі. Візуалізація проведена шляхом використання числового методу дослідження.

Проведення числового експерименту у рамках даного дослідження виконувалося в програмному комплексі ANSYS CFX, університетська версія якого перебуває в розпорядженні СумДУ. Розрахунок у названому програмному продукті виконувався шляхом числового розв'язання системи рівнянь, які описують найбільш загальний випадок руху рідкого середовища, – рівнянь Рейнольдса, для замикання яких використана типова k - ϵ -модель турбулентності. Застосування k - ϵ -моделі обґрунтовано у ряді робіт з дослідження вихрових потоків (Adi T. Utomo, M. Baker, F. Barailler, О. М. Кочевський, А. А. Папченко). Адекватність отриманих картин течій підтверджено шляхом порівняння інтегральних характеристик, отриманих числовим та фізичним експериментами. Отримана розбіжність величин лежить у межах від 7 до 12 %. Цього достатньо для того, щоб вважати отримані числовим моделюванням картини течії якісно правильними (О. М. Кочевський, С. О. Лугова).

Для більш повного уявлення про картини течії у проточній частині гідромлина проведено кутове розбиття періоду між сусідніми зубцями на п'ять частин. Таким чином, реалізовано квазістаціонарний розрахунок, який проводився при різних кутових положеннях роторного диска відносно нульового положення, яке відповідає розміщенню кромки роторного зуба навпроти кромки статорного зуба. Кут розрахунку набував такі значення: $\varphi = 0^\circ; 5^\circ; 10^\circ; 15^\circ; 20^\circ$. Отримані картини течії та поля розподілу тисків розглядались у меридіанній проекції та у площині зазору між дисками. Приклад отриманих картин течії наведено на рис. 5.

Отримані гідродинамічні картини течії потоку свідчать про складний характер робочого процесу в проточній частині БАГМ, який можна охарактеризувати як нестационарний та неустановлений. Формування тороподібної вихрової структури потоку у поєднанні із встановленою конструктивною схемою робочих елементів проточної частини машини сприяє найбільш ефективному подрібненню твердого включення двофазного робочого середовища.

Аналіз отриманих картин течії у проточній частині БАГМ сформував уявлення про роль рідкої фракції робочого середовища при проведенні процесу гідроподрібнення: формування необхідної структури робочого процесу у проточній частині; забезпечення транспортування твердої фази по проточній частині машини; реалізація гідродинамічного подрібнення уже зруйнованих механічним шляхом твердих частинок.

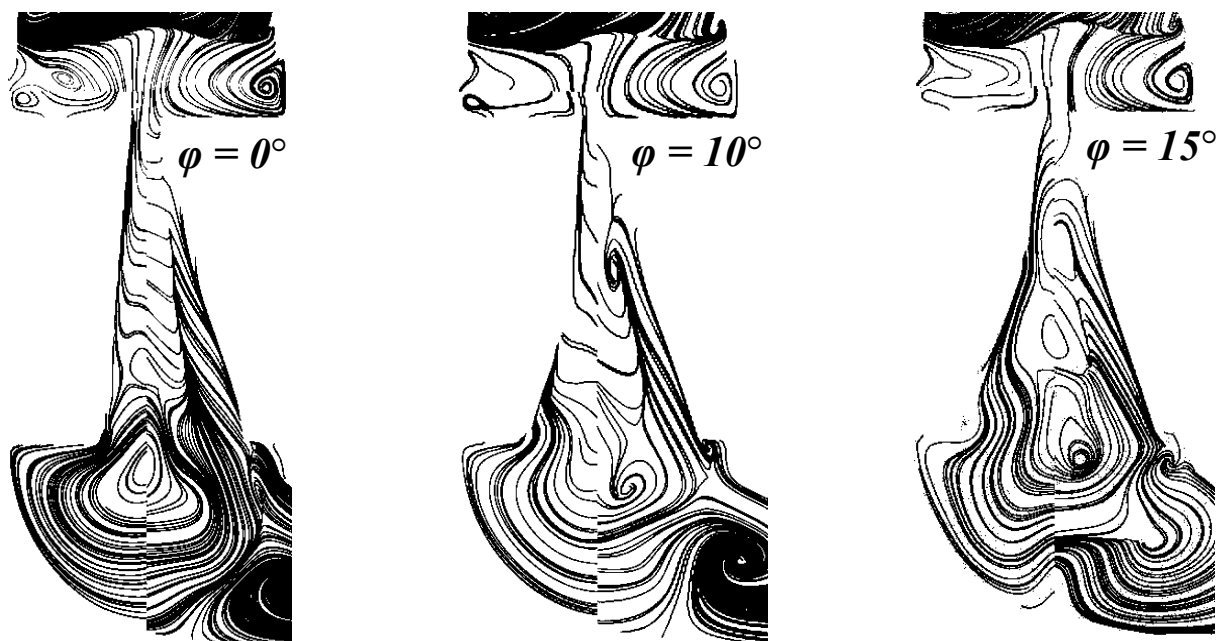


Рисунок 5 – Лінії струму у меридіанній проекції при різних кутових положеннях роторного диска

У третьому розділі описані результати фізичного дослідження та проведено обробку експериментальних даних із застосуванням методу математичної статистики. Результати фізичних досліджень сформували уявлення про баланс енергії БАГМ та дозволили визначити умови застосування теорії подібності.

Перший етап експериментів проводився на лабораторній установці на однофазному робочому середовищі. Отримані результати дозволили уточнити математичну модель робочого процесу БАГМ. Шляхом однофакторного варіювання режимних та конструктивних параметрів отримано енергетичні характеристики БАГМ. На рис. 6 наведено залежності потужності та напору від витрати гідромілина при різних значеннях частоти обертання ротора, при незмінних конструктивних параметрах. Аналогічні характеристики отримані при варіюванні таких величин, як зовнішній діаметр дисків, кількість зубців дисків та зазор між ними. Шляхом аналітичної обробки визначено залежності величин потужності та напору від частоти обертання, зовнішнього діаметра, числа зубців та зазору між дисками (рис. 7–10).

Графічні залежності для основних параметрів (рис. 6–10) з високим значенням величини достовірності апроксимації ($R^2=0,9$) зводимо до алгебраїчної форми: $N = 2 \cdot 10^{-7} \cdot n^{2,89}$, $N = 6 \cdot 10^{-5} \cdot D^{3,32}$, $N = 35,5 \cdot Q + C$.

Використовуючи ці залежності, уточнюємо попередньо отриману математичну модель (3), яка набуває такого вигляду:

$$N = (1 + 35,5 \cdot Q) \cdot \frac{\rho \cdot n^{2,89} \cdot D_2^{3,32}}{1,12 \cdot 10^6} \cdot (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha) \cdot K_N, \quad (4)$$

де K_N – коригувальний коефіцієнт потужності, який визначає одночасний вплив на потужність чотирьох конструктивних параметрів БАГМ.

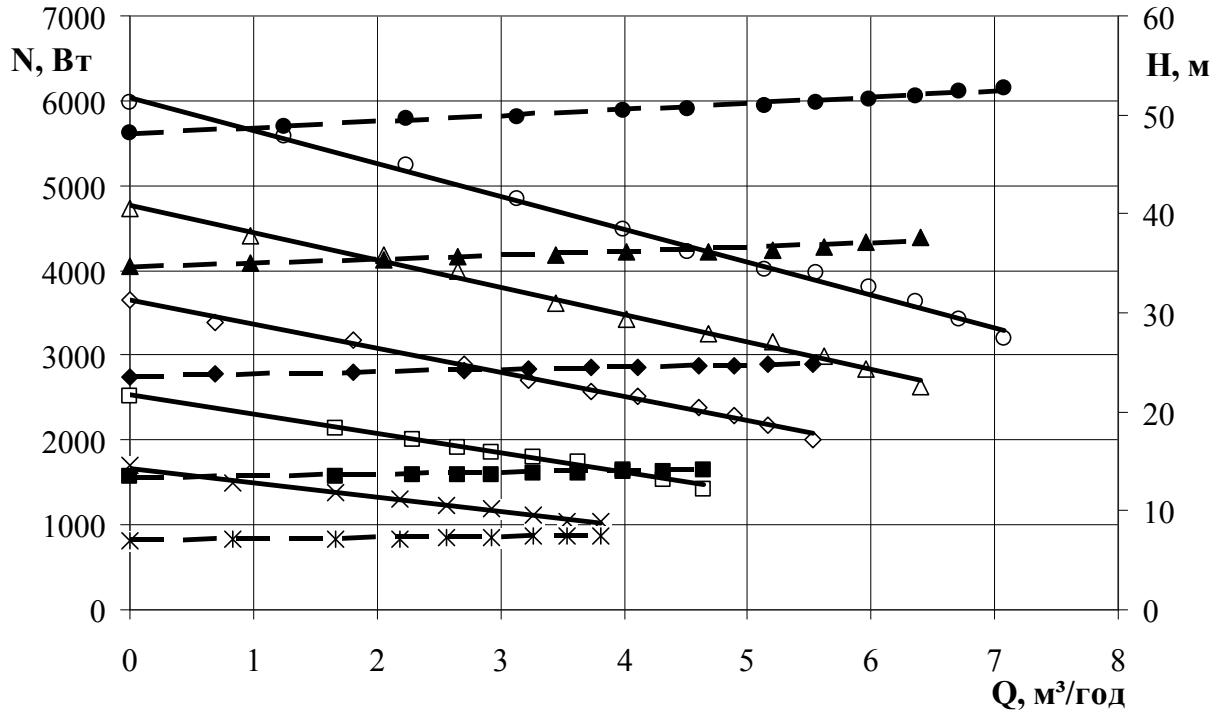


Рисунок 6 – Залежність $N = f(Q)$ та $H = f(Q)$ при різних значеннях n (○● – $n = 3900$ об/хв; $\triangle\blacktriangle$ – $n = 3500$ об/хв; $\diamond\blacklozenge$ – $n = 3000$ об/хв; $\square\blacksquare$ – $n = 2500$ об/хв; $\times*$ – $n = 2000$ об/хв; - - - - - потужність; ———— – напір)

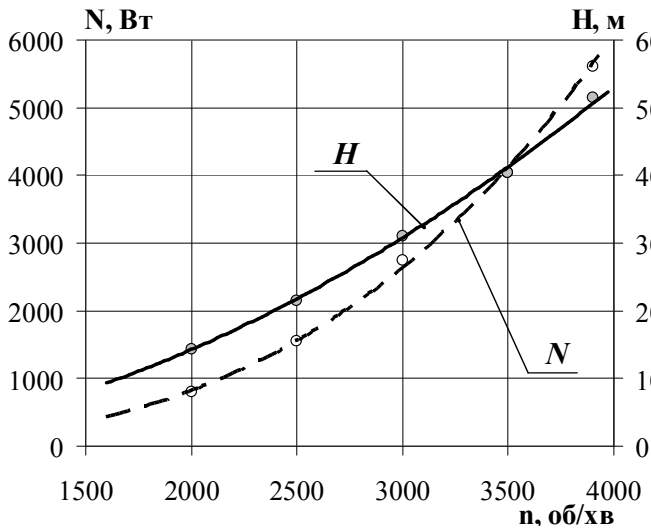


Рисунок 7 – Залежність $N = f(n)$ та $H = f(n)$

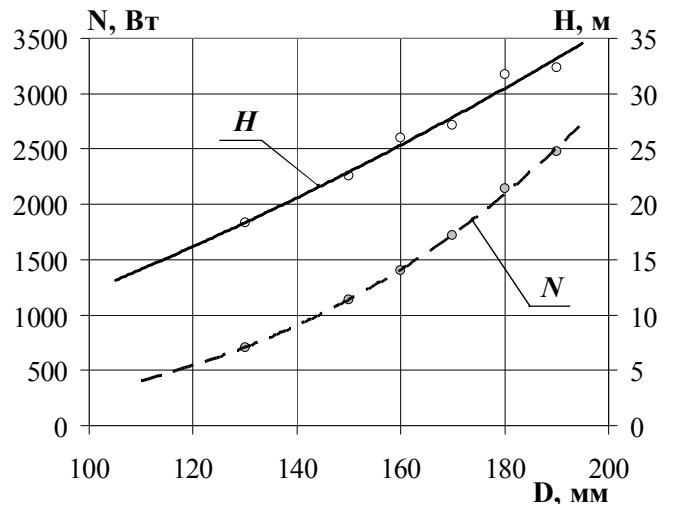


Рисунок 8 – Залежність $N = f(D)$ та $H = f(D)$

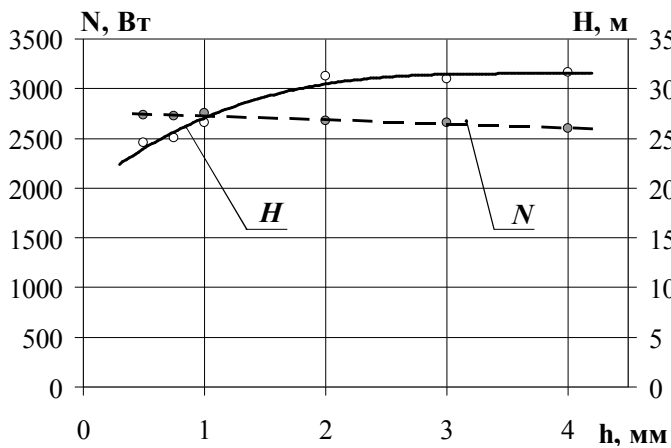


Рисунок 9 – Залежність $N = f(h)$ та $H = f(h)$

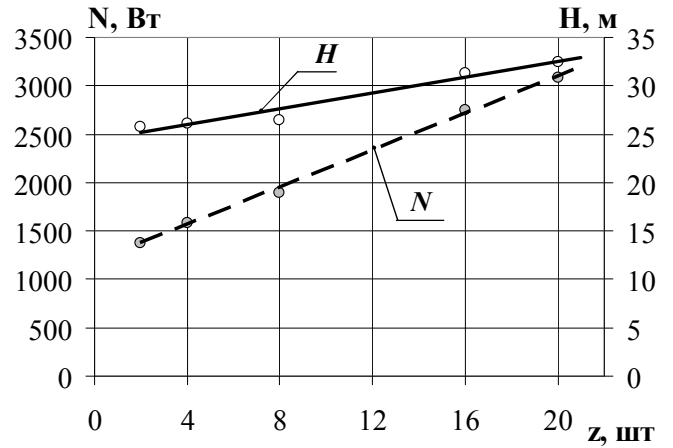


Рисунок 10 – Залежність $N = f(z)$ та $H = f(z)$

Цей коефіцієнт можна записати так:

$$K_N = f(z_p, z_c, \bar{h}, \bar{b}),$$

де \bar{h} – величина відносного зазору, $\bar{h} = h/D$.

За результатами фізичного експерименту уточнюємо вираз для напору БАГМ, який у загальному випадку можна представити як функцію від конструктивних та режимних параметрів:

$$H = f(n, Q, D, b, h, z_p, z_c, \alpha, \beta). \quad (5)$$

Для обраної конструкції взято сталими величини кутів α та β . Введено коригувальний коефіцієнт напору K_H , який за своєю суттю аналогічний коригувальному коефіцієнту потужності K_N , тобто $K_H = f(z_p, z_c, \bar{h}, \bar{b})$. Тоді вираз (5) набуває такого вигляду:

$$H = f(Q) \cdot f(n) \cdot f(D) \cdot K_H.$$

За аналогією з потужністю визначимо алгебраїчні форми залежностей напору від основних параметрів: $H = 8 \cdot 10^{-6} \cdot n^{1,88}$, $H = 9,2 \cdot 10^{-3} \cdot D^{1,45}$, $H = -2,4 \cdot Q + C_1$.

$$H = (1 - 290 \cdot Q) \cdot n^{1,88} \cdot D^{1,45} \cdot K_H. \quad (6)$$

Як інструмент для визначення K_N та K_H було обрано спосіб планування багатофакторних експериментів (А. А. Спиридонов, В. В. Налимов, Н. А. Чернова), що має на меті побудову інтерполяційної формули для прогнозування величин K_N та K_H , які визначалися за формулами (4) та (6) на режимі нульової подачі:

$$K_N = \frac{1,12 \cdot 10^6 \cdot N_{експ}}{\rho \cdot n^{2,89} \cdot D^{3,32} \cdot (tg\beta - tg\alpha)}, \quad K_H = \frac{H_{експ}}{n^{1,88} \cdot D^{1,45}},$$

де $N_{експ}$ та $H_{експ}$ – величини потужності та напору, значення яких визначено експериментальним шляхом на режимі нульової подачі.

У цьому випадку було проведено планування чотирифакторного експерименту. Після визначення значущих коефіцієнтів рівняння регресії, що має вигляд лінійного полінома, та проведення декодування відповідних величин отримано такі моделі:

$$K_N = 1,28 \cdot 10^{-2} - 4,21 \cdot 10^{-4} \cdot z_p - 2,42 \cdot 10^{-4} \cdot z_c - 2,05 \cdot 10^{-2} \cdot \bar{b} + 0,21 \cdot 10^{-4} \cdot z_c \cdot z_p + 2,65 \cdot 10^{-3} \cdot z_p \cdot \bar{b} + 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot z_c \cdot \bar{b}, \quad (7)$$

$$K_H = 5,92 \cdot 10^{-2} + 7,4 \cdot 10^{-4} \cdot z_p + 6,4 \cdot 10^{-3} \cdot z_c - 1,547 \cdot \bar{h} + 0,508 \cdot \bar{b} + (0,053 \cdot \bar{b} - 0,166 \cdot \bar{h} - 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot z_c) \cdot z_p + (0,057 \cdot \bar{h} - 0,055 \cdot \bar{b}) \cdot z_c. \quad (8)$$

Адекватність отриманих моделей підтверджена за критерієм Фішера: при значенні довірчого рівня ймовірності $\alpha = 0,05$ довірчі інтервали за коефіцієнтами потужності та напору відповідно становлять $\Delta K_N = \pm 6,8 \cdot 10^{-5}$ та $\Delta K_H = \pm 7,7 \cdot 10^{-4}$.

Використовуюючи записи (7) та (8), запишемо вирази (4) та (6) відповідно

$$N = (1 + 35,5 \cdot Q) \cdot \frac{\rho \cdot n^{2,89} \cdot D_2^{3,32}}{1116310} \cdot (\operatorname{tg} \beta - \operatorname{tg} \alpha) \cdot (1,28 \cdot 10^{-2} - 4,21 \cdot 10^{-4} \cdot z_p - 2,42 \cdot 10^{-4} \cdot z_c - 2,05 \cdot 10^{-2} \cdot \bar{b} + 0,21 \cdot 10^{-4} \cdot z_c \cdot z_p + 2,65 \cdot 10^{-3} \cdot z_p \cdot \bar{b} + 1,33 \cdot 10^{-3} \cdot z_c \cdot \bar{b}), \quad (9)$$

$$H = (1 - 290 \cdot Q) \cdot n^{1,88} \cdot D^{1,45} \cdot (5,92 \cdot 10^{-2} + 7,4 \cdot 10^{-4} \cdot z_p + 6,4 \cdot 10^{-3} \cdot z_c - 1,547 \cdot \bar{h} + 0,508 \cdot \bar{b} + (0,053 \cdot \bar{b} - 0,166 \cdot \bar{h} - 1,2 \cdot 10^{-4} \cdot z_c) \cdot z_p + (0,057 \cdot \bar{h} - 0,055 \cdot \bar{b}) \cdot z_c). \quad (10)$$

Таким чином, у результаті обробки даних фізичного експерименту отримана математична модель, яка при заданих конструктивних та режимних параметрах визначеного діапазону дозволяє з достатньою точністю розрахувати значення як величини потужності, що споживається гідромлином, так і величини напору, який створює гідромлин.

Також у третьому розділі шляхом комплексної обробки експериментальних результатів гідромлина на одно- та двофазному робочих середовищах запропоновано підхід до визначення енергетичного балансу БАГМ. Так, виходячи з принципу багатофункціональності гідромлина, маємо:

$$\begin{aligned} N &= N_{\text{ФРП}} + N_{\text{П}} + N_{\text{МЕХ}}; \\ N_{\text{ФРП}} &= N_{\text{ВРП}} + N_{\text{Н}}, \end{aligned} \quad (11)$$

де $N_{\text{ФРП}}$ – потужність, що споживається на формування робочого процесу, Вт; $N_{\text{ВРП}}$ – потужність, що споживається на створення вихрового робочого процесу під час роботи гідромлина на однофазному робочому середовищі, Вт; $N_{\text{Н}}$ – потужність, що споживається на перекачування робочого середовища, Вт; $N_{\text{П}}$ – потужність, що споживається на процес подрібнення, Вт; $N_{\text{МЕХ}}$ – потужність, що витрачається на тертя у вузлах агрегату (підшипники та ущільнення), Вт.

Під величиною $N_{\text{ВРП}}$ слід розуміти енерговитрати, що спрямовані на формування вихрової структури потоку у проточній частині агрегату. Аналізуючи результати експериментів на однофазному робочому середовищі, визначено, що величина $N_{\text{Н}}$ становить до 10 % від значення потужності $N_{\text{ФРП}}$, у той час як 90 % припадає на $N_{\text{ВРП}}$. Аналізуючи результати експериментів на двофазному робочому середовищі, визначено, що потужність $N_{\text{П}}$ при роботі гідромлина на гідросуміші пшениця-вода (1:3) становить 40 % від потужності $N_{\text{ФРП}}$. Відмітимо, що складова потужності $N_{\text{МЕХ}}$ залежно від конструкції агрегату не перевищує 3 % від $N_{\text{ФРП}}$.

Складові компоненти балансу енергії БАГМ (11) наведені у відсотковому відношенні до значення $N_{\text{ФРП}}$, що можна визначити згідно з моделлю робочого

процесу гідромлина (9).

Подано баланс енергії БАГМ у схематичній інтерпретації (рис 11), де умовно показані питомі частинки його складових величин. Показано, що величини $N_{ФРП}$, $N_{П}$ та кінематична складова N_H ($N_{H.кин} = N_H - N_{H.ном}$), спрацьовуються у внутрішню енергію середовища, що приводить до його нагрівання. Ця тепла енергія гідромлином використовується корисно.

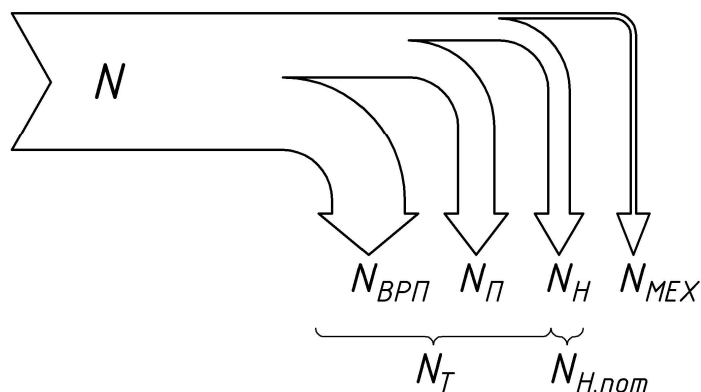


Рисунок 11 – Схематичне зображення балансу енергії БАГМ

Зауважимо, що БАГМ не належить до класу енергетичних машин. Тому неможливо використовувати для характеристики ефективності БАГМ такий показник, як ККД. Для багатофункціональних машин більш доцільними характеристиками ефективності є масогабаритні показники, питомі енергетичні показники (витрата потужності на одиницю маси продукту при заданих якісних показниках), показники інтенсивності обробки.

У третьому розділі шляхом аналізу отриманої моделі робочого процесу БАГМ запропоновано застосовувати теорію подібності для реалізації можливості виконання модельного перерахунку характеристик потужності агрегату. Шляхом аналітичної обробки результатів фізичного експерименту отримані значення коефіцієнтів для модельного перерахунку величин напору та подачі гідромлина. Так, отримані формули модельного перерахунку:

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \lambda^{-0,24} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{0,77}; \quad \frac{H_2}{H_1} = \lambda^{1,45} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{1,88}; \quad \frac{N_2}{N_1} = \lambda^{3,32} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1} \cdot \left(\frac{n_2}{n_1}\right)^{2,89},$$

де H_1 , N_1 , Q_1 , n_1 , ρ_1 та H_2 , N_2 , Q_2 , n_2 , ρ_2 – відповідно напір, потужність, подача, частота обертання та густина рідини натурної та модельної машин відповідно; λ – масштаб геометричної подібності (відображає відношення аналогічних розмірів подібних машин).

У четвертому розділі шляхом комплексного аналізу результатів фізичного дослідження робочого процесу БАГМ на одно- та двофазних робочих середовищах сформульовано ряд рекомендацій щодо вибору конструктивних параметрів проточної частини гідромлина, який призначений для приготування зернового замісу у спиртовому виробництві. Базуючись на рекомендаціях, розроблено методику розрахунку БАГМ для потреб спиртового виробництва.

За наведеною методикою розроблено та виготовлено промисловий зразок потужністю 75 кВт, який було включено в технологічну лінію виробництва спирту на етапі приготування зернового замісу (ДП "Сумиспирт", с. Стецьківка Сумського району). Приготований на гідромлині зерновий заміс відповідає необхідним нормам якості, що підтвердила лабораторія заводу. Запропоновано схему модернізації технологічної лінії техпроцесу на етапі приготування зернового замісу, що може бути застосована до будь-якої схеми безперервного розварювання. Пропонований варіант БАГМ дозволяє повною мірою реалізувати принцип багатофункціональності машини: замінюється молоткова дробарка, змішувач-передрозварник і насос на один багатофункціональний гідромлин. Крім того, варіант модернізованої лінії займає менший робочий простір і для його обслуговування потрібна менша кількість персоналу. Таким чином, застосування БАГМ у технологічній лінії виробництва етилового спирту на етапі приготування зернового замісу забезпечує зниження питомого енергоспоживання на 40 % порівняно з існуючою технологічною схемою та дозволяє виключити енерговитрати, що були пов'язані із попереднім сушінням сировини.

Наведено досвід застосування БАГМ для технологій кормоприготування на сільськогосподарських підприємствах ЗАТ «Маяк», ПП «Влад», ПП «Штефан». Для цього напрямку розроблено типорозмірний ряд БАГМ циклічної дії.

У цьому самому розділі описане впровадження БАГМ у технологічну лінію приготування біологічних добавок в умовах підприємства ТОВ «Біохем ЛТД». Завдяки своїй багатофункціональності гідромлин дозволив вирішити ряд труднощів, які були поставлені перед виробництвом.

ВИСНОВКИ

У результаті виконання комплексного дослідження робочого процесу БАГМ, як агрегату гідродинамічного принципу дії, обґрунтовано вдосконалення робочого процесу, що подано в отриманих висновках:

1. Обґрунтовано, що використання БАГМ у різних галузях промисловості, сільському господарстві, будівництві, топливно-енергетичному комплексі дозволяє спростити та суттєво знизити енерговитрати технологічних процесів, які включають подрібнення, перемішування, перекачування та нагрів робочого середовища.

2. Проведення числового дослідження робочого процесу на однофазному середовищі дозволило виконати візуалізацію течії у проточній частині БАГМ та на її основі зробити такі висновки:

- течія має нестационарний та неусталений характер;
- у міждисковому просторі проточної частини БАГМ формується тороподібна вихрова структура;

– обґрунтовано, що вихровий характер руху рідини дозволяє покращити процес гідроподрібнення;

– рідина у проточній частині БАГМ під час роботи на двофазному середовищі виконує також функцію транспортування твердої фази.

3. Удосконалена математична модель робочого процесу БАГМ, що враховує вплив його основних конструктивних параметрів (зовнішнього діаметра робочих дисків, зазору між ними і відносної висоти зубця) та режимних параметрів (частота обертання ротора, густина робочого середовища) на напірну і енергетичну характеристики агрегату та дозволяє вдосконалювати робочий процес гідроагрегату. У результаті фізичного моделювання, встановлено, що потужність БАГМ залежить від частоти обертання у вигляді $n^{2,89}$ та від зовнішнього діаметра робочих дисків у вигляді $D^{3,32}$, напір, що створюється на виході з БАГМ, залежить від частоти обертання у вигляді $n^{1,88}$ та від зовнішнього діаметра робочих дисків у вигляді $D^{1,45}$.

Шляхом аналізу результатів фізичного моделювання на основі планування багатофакторного експерименту встановлено, що коригувальні коефіцієнти потужності K_N та напору K_H БАГМ пропорційні кількості зубців статорного і роторного дисків та величини відносній висоті зубця. Крім того, K_H лінійно залежить від величини відносного зазору між робочими дисками. Адекватність емпіричних коефіцієнтів підтверджена за критерієм Фішера при значенні довірчого рівня ймовірності $\alpha = 0,05$.

4. У результаті аналітичного аналізу отриманої енергетичної залежності обґрунтовано використання критерію Ейлера, який дозволяє застосовувати теорію подібності для прогнозування характеристик БАГМ методом модельного перерахунку. Отримані залежності для проведення модельного перерахунку потужності, напору та подачі гідромлина за існуючою моделлю.

5. На підставі результатів експериментальних досліджень та з урахуванням фактора багатофункціональності гідравлічного агрегату визначена структура енерговитрат формування робочого процесу у проточній частині БАГМ. Встановлено, що до 90 % потужності витрачається на утворення вихрового потоку, а 10 % витрачається на перекачування робочої рідини. З урахуванням механічних властивостей та концентрації твердих включень у двофазній суміші складова енергії на подрібнення складає 20–45 % від енергії формування робочого процесу.

6. Розроблена методика проектного розрахунку, на основі якої виготовлені та успішно апробовані БАГМ для використання у технологічних процесах різних галузях промисловості. Створено промисловий зразок БАГМ для підготовки зернового замісу у спиртовому виробництві, впровадження якого забезпечило зниження енергоспоживання в технологічній лінії на 40 % та повністю виключена необхідність попереднього сушіння сировини.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ АВТОРОМ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Ковальов С. Ф. Теплогенеруючі агрегати – подальші шляхи їх розвитку та удосконалення / А. О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, А. А. Папченко // Проблемы машиностроения. – 2007. – Т. 10. – С. 48-52.

2. Ковальов С.Ф. Багатофункціональні теплогенеруючі агрегати та їх використання для перспективних технологій спиртового виробництва / С. Ф. Ковальов, А. А. Папченко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2007 – № 3 (109), Ч.1. – С. 124–128.

3. Ковальов С. Ф. Розробка багатофункціонального теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора для приготування біологічних добавок / А.О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Вестник Национального технического университета Украины «Киевский политехнический институт». Машиностроение. – 2008. – 52. – С. 324 – 329.

4. Ковальов С. Ф. Состояние исследования и реализации теплогенерирующих агрегатов. / А.А. Евтушенко, С.Ф. Ковалёв, М.С. Овчаренко, А.А. Папченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2008. – № 4 . – С. 86-92.

5. Ковальов С.Ф. Розширення функціональних можливостей теплогенеруючих агрегатів –гомогені-заторів для технології виробництва ліквіфос-стронгу / А.О. Євтушенко, С.Ф. Ковальов, М.С. Овчаренко, А.А. Папченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки, – 2009.– № 4. – С. 30-35.

6. Ковальов С.Ф. Шляхи підвищення ефективності роторних теплогенеруючих агрегатів-гомогенізаторів / С.Ф. Ковальов, В.В. Коломієць, М.С. Овчаренко, А.А. Папченко // Промислова гідравліка і пневматика.-2010.-№ 1.-С. 95-99.

7. Ковальов С.Ф. Баланс енергії теплогенеруючого агрегату та оцінка ступеня гомогенізації робочого середовища / С.Ф. Ковальов, А.А. Папченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2010. – №6/7(48). – С.10-12.

8. Ковальов С. Ф. Результати впровадження теплогенеруючих агрегатів для систем опалення / С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки – 2011.– № 4 .– С. 173-174.

9. Ковальов С. Ф. Удосконалення лінії виробництва згущеного молока за рахунок роторнодинамічного агрегату-гомогенізатора / С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки, – 2012. – № 2 . – С. 90-95.

10. Ковальов С.Ф. Стан справ у дослідженні гідромлина, орієнтованого на спиртове виробництво / С.Ф. Ковальов // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – №3/7(57). – С.57-61.

11. Ковальов С. Ф. Досвід використання систем опалювання на основі теплогенеруючих агрегатів / С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2012. – №5/8(59). – С. 58-60.

12. S. Kovalev The Use of the Multi-Functional Heat Generating Unit-Homogenizer in Food Processing Industry / Papchenko A., Kovalev S., Ovcharenko M. // Procedia Engineering, 2012. – №39. – с. 192-196.

13. Ковальов С. Ф. Розробка багатофункціонального теплогенеруючого апарата для спиртового виробництва / І.П. Каплун, С. Ф. Ковальов, А. А. Папченко // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів інженерного факультету. – Суми, 2006. – С.161.

14. Ковальов С. Ф. Застосування багатофункціональних теплогенеруючих агрегатів для потреб спиртової промисловості / А. О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, А. А. Папченко // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів інженерного факультету.– Суми, 2007.– С.79.

15. Ковальов С.Ф. Перспективність використання теплогенеруючого агрегату / А. О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Матеріали науково-технічної конференції викладачів, співробітників, аспірантів та студентів інженерного факультету. – Суми, 2009. – Ч II. – С. 34.

16. Ковальов С. Ф. Розробка та дослідження роторного гомогенізатора для підвищення якостей рідинних середовищ харчових технологій / А. О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, В. В. Коломієць, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Матеріали Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції "Сучасні технології в промисловому виробництві". – Суми, 2010. – Ч III. – С.43-44.

17. Ковальов С. Ф. Використання багатофункціонального теплогенеруючого агрегату-гомогенізатора для харчових технологій / С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко // Теория и практика насосо- и компрессоростроения: монография / под ред.. В. А. Марцинковского, И. Б. Твердохлеба, Е. Н. Савченко. – Сумы: Сумский государственный университет, 2001. – 412 с. (За матеріалами XIII Міжнародній науково-технічній конференції «ГЕРВИКОН – 2011»).

18. Ковальов С.Ф. Досвід практичного впровадження процесу гідроподрібнення / А. О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, М. С. Овчаренко, А. А. Папченко, О. В.Турчин // Матеріали II Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції "Сучасні технології в промисловому виробництві". – Суми, 2012. –Ч. III. – С. 30.

19. Ковальов С.Ф. Реалізація процесу гідроподрібнення шляхом використання багатофункціонального теплогенеруючого агрегату-гідромлина / А. О. Євтушенко, С. Ф. Ковальов, А. А. Папченко, // XIII Міжнародної науково – технічної конференції АС ПГП «Промислова гідравліка і пневматика». Чернігів, 19-20 вересня 2012 р.: Матеріали конференції. – Вінниця: ГЛОБУС-ПРЕС, 2012. – С. 148.

АНОТАЦІЯ

Ковальов С. Ф. «Вдосконалення робочого процесу та обґрунтування конструкції багатофункціонального агрегату-млина гідродинамічного принципу дії». – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.05.17 – гідравлічні машини та гідропневмоагрегати. – Сумський державний університет, Суми, 2013.

У дисертаційній роботі наведені результати вирішення наукової задачі, яка полягає в дослідженні робочого процесу та визначенні залежності енергетичних характеристик БАГМ від конструктивних параметрів проточної частини, частоти обертання ротора машини, подачі і параметрів робочого середовища. У результаті числового моделювання отримані картини течії у проточній частині гідромлина, адекватність яких підтверджена порівнянням інтегральних характеристик, отриманих фізичним та числовим методами. Шляхом аналітичної обробки результатів фізичного дослідження робочого процесу гідромлина на рідині, встановлено закономірності впливу гідродинамічних та конструктивних параметрів на характеристики БАГМ. Аналізуючи аналітичну модель робочого процесу БАГМ, встановлено особливості застосування теорії подібності для модельного перерахунку робочих характеристик. Результати фізичних експериментів під час роботи гідромлина на одно- та двофазних середовищах дозволили запропонувати підхід для визначення балансу енергії та встановити питому частку кожної його складової. Розроблено методику проектного розрахунку елементів проточної частини БАГМ, керуючись якою створено промисловий зразок гідромлина для спиртового виробництва на етапі приготування зернового замісу.

Ключові слова: багатофункціональний агрегат-гідромлин, гідроподрібнення, робочі характеристики, модель робочого процесу, спиртове виробництво.

АННОТАЦИЯ

Ковалёв С. Ф. «Усовершенствование рабочего процесса и обоснование конструкции многофункционального агрегата-мельницы гидродинамического принципа действия». – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.05.17 – гидравлические машины и гидропневмоагрегаты. – Сумский государственный университет, Сумы, 2013 г.

С целью определения зависимости величин мощности и напора многофункциональных агрегатов-гидромельниц от конструктивных параметров

проточной части, частоты вращения ротора машины, подачи и параметров рабочей среды. Проведены исследования работы МАГМ на одно- и двухфазных средах. Научно обоснован рабочий процесс, установлено влияние гидродинамических параметров течения, свойств рабочих сред и геометрии проточной части на энергетические характеристики гидромельницы.

Работа выполнена с помощью методов математического и физического моделирования процессов, происходящих в проточной части гидромельницы. Аналитическим методом путём использования классических уравнений механики жидкости и газа получены основные параметры, которые существенно влияют на энергетические показатели машины. Используя пакет прикладных программ, проведён численный расчёт, в основе которого лежит совокупность нелинейных дифференциальных уравнений в частных и полных производных. Визуализированы гидродинамические картины течения в проточной части МАГМ, достоверность которых подтверждена путём сравнения интегральных характеристик, полученных физическим и численным методами. На основании результатов комплекса физических экспериментов получены рабочие характеристики МАГМ. Определены зависимости величин мощности и напора от частоты вращения ротора машины и внешнего диаметра рабочих дисков. Эти зависимости в совокупности с корректирующими коэффициентами мощности и напора позволили уточнить математическую модель рабочего процесса МАГМ. Коэффициенты получены обработкой экспериментальных данных с использованием математической статистики при многофакторном варьировании геометрических параметров проточной части гидромельницы. Анализ расчётной модели позволил определить особенности применения теории подобия для проведения модельного пересчёта характеристик МАГМ. Руководствуясь результатами физических экспериментов, проведённых на одно- и двухфазных рабочих средах, предложен подход к определению баланса энергии и выделено удельный вес каждой его составляющей. На основе полученных результатов разработана методика инженерного расчета проточной части гидромельницы для приготовления зернового замеса в спиртовом производстве. Результаты исследований в виде промышленных образцов внедрены в спиртовое производство, в технологию кормоприготовления для животноводства и в технологическую линию приготовления биодобавок.

Ключевые слова: многофункциональный агрегат-гидромельница, гидроизмельчение, рабочие характеристики, модель рабочего процесса, спиртовое производство.

ABSTRACT

Sergey F. Kovalyov «The improvements to the work process and the justification of the design of the multifunctional mill unit with hydrodynamic principle of action» – the Manuscript.

The thesis work for the candidate degree in technical sciences, speciality 05.05.17 – Hydraulic Machines and Hydropneumatic Units. – Sumy State University, Sumy, 2013.

The thesis work is occupied by the solving of the scientific problems of justification of the work process and determination of the energy characteristics of the multifunctional mill unit depending on the design parameters of its hydraulic part, rotor speed, the flow rate and fluid parameters. Owing to numerical simulation, the flow patterns within the hydraulic part of the hydraulic mill have been obtained. The probability of the flow patterns has been confirmed by the comparison of the integral characteristics that were obtained by means of experiment and numerical simulation. Analysis of the results of the physical research of the work process of the hydraulic mill on fluid allowed to determine the effect of hydrodynamic and design parameters on the characteristics of the unit.

The features of the application of the similarity theory for the model recalculation of the characteristics has been established as the result of analysis of the model of the work process. The results of the experiments with one- and two-phase fluid allowed to propose an approach for determining the energy balance. The specific part of each component of the energy balance has been determined. The methodology for calculating the elements of the hydraulic part of the multifunctional mill unit with hydrodynamic principle of action has been developed. According to this methodology production unit for a distilling plant has been manufactured.

Keywords: multifunction mill unit, hydraulic milling, operating characteristics, model of work process, alcohol production.

Підписано до друку 28.02.2013 р.

Формат 60x84/16. Ум. друк. арк. 1,1. Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. № .

Видавець і виготовлювач

Сумський державний університет,

вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК№3062 від 17.12.2007р.