

ОДЕСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

на правах рукопису

ГАПОНЮК Олег Іванович



ОСНОВИ ТЕОРІЇ ТА ПРАКТИКА ФУНКЦІОНУВАННЯ СИСТЕМ
ЗНЕПИЛЕННЯ ЗЕРНОПЕРЕРОБНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Спеціальність 05.18.12 - процеси та апарати
харчових виробництв

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Одеса - 1997

661.12



00738154 (S)

Дисертація є рукопис.

Робота виконана в Одеській
(ОДАХТ).

Офіційні опоненти:

1. Академік МАКНС, доктор технічних наук, професор
Малежик Іван Федорович
2. Академік АНТКУ, доктор технічних наук, професор
Бурдо Олег Григорович
3. Академік АТНУ, доктор технічних наук, ст.н.с.

Шаповаленко Олег Іванович

Провідна організація: Одеський державний політехнічний університет.

Захист відбудеться “___” _____ 1997 р. о ___ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 05.16.01 при Одеській державній академії харчових технологій, за адресою:

270039, м. Одеса, вул Канатна, 112 (ауд. А-234).

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Одеської державної академії харчових технологій.

Автореферат розіслано “___” _____ 1997 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради, д.т.н., проф.

Капрельянц Л.В.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність. Підвищення технічного рівня підприємств зернопереробної галузі створенням ресурсо- та енергозберігаючих, екологічно чистих виробництв пов'язане з розв'язанням проблем охорони навколишнього середовища, забезпечення належних умов праці та пожежовибухобезпеки. Найбільш розповсюдженими засобами їх усунення є технологічні та аеродинамічні способи знепилення. Проте їх ефективність у виробництвах переробки сипких матеріалів недостатня. Так, щорічно в світі на підприємствах по збереженню та переробці зерна виникає більш як 100 вибухів пилоповітряних сумішей. Підвищена запиленість робочих приміщень призводить до професійних захворювань. Значна кількість повітря, що оброблюється знепилюючими установками (у співвідношенні 10 м³ до 1 м³ зернопродуктів), спричиняє забруднення навколишнього середовища, втрати харчових продуктів, ускладнює опалення в зимовий період. Низька ефективність діючих аспіраційних систем зумовлена недостатньою науковою обґрунтованістю нормативно-технічної бази проектування, функціонування та управління системами знепилення (СЗ).

До найбільш перспективних напрямків удосконалення діючих та розробки нових засобів знепилення відноситься використання комплексних методів впливу на пилоповітряні потоки - (ППП) технологічних ліній. Значні можливості вказаного напрямку зумовлені тим, що знепилення транспортно-технологічних ліній (ТТЛ) суміщається з транспортними і технологічними операціями та забезпечується безпосередньою дією на основні складові джерел пилоутворення. Це дозволяє ліквідувати забруднення повітряного середовища при мінімальних матеріало- та енерговитратах. В зв'язку з цим, розробка теоретичних основ комплексних систем знепилення є актуальним завданням для науки і практики.

Розв'язання означених проблем здійснювали відповідно з координаційними планами НДР Мінвузу СРСР, Хлібопродуктів СРСР, Мінхлібопродуктів БРСР, Мінсільгоспроду

акціонерної компанії "Хліб України", а також за договорами про міжнародне співробітництво між країнами СЕВ. Окремі розділи дисертації пов'язані з виконанням НДР на замовлення підприємств хлібопродуктів..

Концепція роботи - підвищення ефективності процесів знепилення ТТЛ шляхом наукового обґрунтування схем та параметрів нових систем знепилення цілеспрямованої дії на пилоповітряні потоки джерел пиловиділення гравітаційними самопливами "природні вентилятори" та сіткою укриття транспортного і технологічного обладнання, що суміщають знепилення з транспортними та технологічними операціями.

Мета та завдання досліджень. Мета роботи - розробка теоретичних основ аналізу та синтезу СЗ ТТЛ зернопереробних виробництв та відповідного устаткування, що забезпечують зниження пилових викидів у навколишнє середовище, поліпшення умов праці та підвищення рівня пожежо- і вибухобезпеки. Для досягнення мети необхідно розв'язати такі завдання:

- розробити класифікацію СЗ ТТЛ, елементи яких характеризуються певними сталими характеристиками;
- дослідити закономірності і скласти математичний опис матеріалоповітряних потоків - (МПП) гравітаційних самопливів, вертикальних та горизонтальних транспортерів;
- встановити закономірності та вивести рівняння утворення, руху, виділення ППП в основних ланках ТТЛ;
- встановити закономірності внутрішніх і зовнішніх аеродинамічних зв'язків між структурними елементами ТТЛ та їх системами знепилення;
- експериментально дослідити коефіцієнти, сталі величини та визначити границі змінних величин в рівняннях математичного опису закономірностей МПП та пилоповітряних потоків;
- скласти алгоритми і програми для розв'язання систем рівнянь та нерівностей математичного опису МПП, джерел пиловиділення, СЗ;
- розробити методологію обґрунтування структурних схем конст-

руктивних параметрів і режимів роботи комплексних систем знепилення найменших матеріало- енерговитрат;

- розробити, здійснити виробничі дослідження та впровадити у виробництво екологічно чисті низько матеріало-енергомісткі СЗ.

Наукова новизна.

- розроблено класифікації СЗ за метою призначення, способом знепилення, складом, устроєм, відношенням та аеродинамічними зв'язками структурних елементів ТТЛ;

- встановлено нові закономірності та складено математичний опис утворення ППП в самопливах, горизонтальних та вертикальних транспортерах;

- вперше визначено закономірності і виведено рівняння ППП в умовних каналах укрить ТТЛ із сталими аеродинамічними зв'язками ланок, що враховують ежektivну дію обладнання, наявність сітки зосереджених і роззосереджених нещільностей;

- встановлено нові залежності розподілу тиску, продуктивності ППП та місць розташування джерел пиловиділення від ежektivних властивостей структурних ланок, виду сітки локальних і роззосереджених нещільностей ТТЛ;

- встановлені закономірності цілеспрямованого регулювання параметрів ППП пристроями байпасування та дроселювання МПП як засобів зменшення матеріало- енергоємності СЗ;

- новизна технічних рішень, що отримані в результаті проведених досліджень, підтверджена 37 свідоцтвами на винаходи.

Практична цінність роботи. Матеріали теоретичних і експериментальних досліджень використані при розробці вказівок "Правила проектування аспіраційних установок підприємств по збереженню та переробці зерна" та "Методики проектування вибухопереджуючих систем зернопереробних підприємств", затверджених Міністерством сільського господарства та продовольства України відповідно у 1995 та 1996 р.р.

Створені методики вибору оптимального складу, структури та параметрів роботи комплексних систем з частково замкнутими циклами повітря знепилення млинів, елеваторів, комбікормових заводів, які використані при технічному переозброєнні більш як 50 підприємств галузі хлібопродуктів України, Росії, Білорусії, Латвії, Азербайджану, Молдови. Загальний економічний ефект від їх впровадження у виробництво на 10 підприємствах України становить понад один мільйон гривень і складається за рахунок зменшення потужності, матеріалоемкості знепилюючих установок та втрат харчових продуктів.

Отримані результати роботи дозволяють також зменшити забруднення навколишнього середовища, енергоємність СЗ, забезпечити нормативні показники внутрішнього та зовнішнього середовища, пожежо- та вибухобезпеки, запиленості робочих приміщень зернопереробних виробництв.

Теоретичні, експериментальні та методичні розробки можуть бути використані при подальшому удосконаленні діючої та розробки нової техніки і технології знепилювання зернопереробних виробництв.

Апробація роботи. Основні положення дисертації отримали позитивну оцінку на Всесоюзних, Всеукраїнських наукових семінарах по впровадженню нових наукових розробок та високоефективної техніки (1989...1996): Всесоюзній науковій конференції “Разработка и совершенствование технологических процессов хранения и транспортировки продуктов питания” (Москва, 1987); Всесоюзній науковій конференції “Пути интенсификации технологических процессов и оборудования в отраслях агропромышленного комплекса” (Москва, 1988); Республіканській науковій конференції “Интенсификация технологии и совершенствование оборудования перерабатывающих отраслей АПК” (Київ, 1989); Міжвузівській науковій конференції “Социально-экономические проблемы агропромышленного комплекса” (Одеса, 1989); III-й Всесоюзній науково-технічній конференції “Теоретические и практические аспекты при-

менения методов физико-химической механики с целью совершенствования и интенсификации технологических процессов пищевых производств" (Москва, 1990); Республіканській науково-технічній конференції "Пути коренного улучшения продовольственного обеспечения в новых условиях хозяйствования" (Суми, 1990); Всесоюзній науковій конференції "Проблемы экологии и ресурсосбережения" (Чернівці, 1990); Всесоюзній науково-технічній конференції "Проблемы промышленной экологии" (Чернівці, 1990); Всесоюзній науково-технічній конференції "Математические методы в химии" (Казань, 1991); Республіканській науково-технічній конференції "Разработка и внедрение высокоэффективных, ресурсосберегающих технологий, оборудования и новых видов пищевых продуктов в пищевой и перерабатывающей отрасли АПК" (Київ, 1991); Всесоюзній науково-технічній конференції "Холод - народному хозяйству" (Ленінград, 1991); Всесоюзній науково-практичній конференції "Ученые и специалисты - о решении социально-экономических проблем страны" (Ташкент, 1991); Всесоюзній науково-технічній конференції "Механика сыпучих материалов" (Одеса, 1991); Міжнародній конференції "Разработка и внедрение новых технологий и оборудования в пищевой и перерабатывающей промышленности" (Київ, 1993); Першій національній науково-практичній конференції "Хлібопродукти-94" (Одеса, 1994); Міжнародній конференції "Удосконалення процесів та апаратів хімічних, харчових та нафто-хімічних виробництв" (Одеса, 1996); Наукових конференціях професорсько-викладацького складу ОДАХТ (1984-1996), а також відображені в семи звітах госпдоговірних НДР, що виконані на замовлення Мінхлібопродуктів СРСР, Мінсільгосппроду України, Мінсільгосппроду Білорусії.

Публікації. Основні наукові положення, результати, висновки та рекомендації дисертації опубліковані в 71 роботі, в тому числі в трьох брошурах, 31 статті, 37-ми авторських свідоцтвах на винаходи. В опублікованих роботах, що надруковані у співавторстві, дисертанту на-

лежать наукові гіпотези, теоретичні та методичні розробки, постановка експерименту, науковий аналіз результатів досліджень, формулювання висновків та пропозицій.

Об'єм та структура дисертації. Робота складається із вступу, 6-ти розділів, висновку, списку використаної літератури, додатків. Дисертація викладена на 300 сторінках, містить 209 рисунків, 36 таблиць, 6 додатків. Список літератури має 318 назв, з яких 44 - закордонних.

На захист виносяться наступні основні положення, отримані автором особисто:

- принципи і методи оцінки ефективності процесів знепилення лінійних та розгалужених ТТЛ із змінними електричними властивостями ланок;
- класифікація СЗ;
- наукове обґрунтування напрямків створення нових СЗ поетапної дії на джерела пилоутворення та ППП укриті ТТЛ;
- нові закономірності утворення ППП, місць розташування джерел пиловиділення ТТЛ зернопереробних виробництв;
- обґрунтування принципів побудови, функціонування нових знепилюючих установок, що суміщають знепилення обладнання з технологічними і транспортними операціями;
- наукове обґрунтування нових способів і засобів знепилення та конструктивних параметрів установок і режимів їх роботи.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі окреслено предмет досліджень, обґрунтовано актуальність теми роботи. Сформульовані мета та основні завдання дисертаційної роботи.

В першій главі наведено аналіз сучасного стану зернопереробних виробництв та їх екологічні особливості. Розглянуто причини і наслідки пилоутворення та забруднення навколишнього середовища пиловими викидами пилоповітряних вибухів, шкідливого впливу пилу на обслуговуючий персонал. Встановлена низька ефективність діючих СЗ. Визначе-

но зв'язок процесів переробки і транспортування сипких матеріалів із пилоутворенням. Висвітлена роль основних технологічних та аеродинамічних факторів, які визначають параметри ППП лінійних та розгалужених ТТЛ, пилоутворюючу здібність зернових матеріалів і продуктів їх переробки.

Обґрунтовано доцільність розробки наукових основ комплексних вискоефективних СЗ. Основою створення яких є фундаментальні дослідження таких вчених як: Бошняков Н.М., Бурдо О.Г., Веденєєв В.Ф., Веселов С.О., Володін М.П., Дзядзіо О.М., Дмитрук Є.А., Дударев І.Р., Зенков Р.Л., Карнаушенко Л.І., Костюк Г.Ф., Логачов І.Н., Малежик І.Ф., Мінко О.В., Мірко І.Т., Нейков О.Д., Пальцев В.С., Панченко О.В., Платонов П.М., Шаповаленко О.І. та інші.

Визначені найбільш перспективні напрямки реалізації аеродинамічних, технологічних та комбінованих способів знепилення. Показано, що значним резервом у розв'язанні завдань знепилення є вдосконалення засобів і процесів переробки та транспортування зерна, зернопродуктів.

У другій главі викладені методологічні основи теорії СЗ, а також аеродинаміки МПП. Визначені структура, зв'язки, відношення основних елементів СЗ, виявлено закономірності утворення ППП та джерел пило-виділення.

Теоретичні основи СЗ складаються з трьох частин (схема 1).

Схема 1

Теоретичні основи систем знепилення		
Аеродинаміка матеріалоповітряних потоків джерел пилоутворення ТТЛ	Функціонування систем знепилення ТТЛ	Проектування засобів систем знепилення

За основу методології СЗ прийнято атрибутивний підхід до вивчення явищ пилоутворення, пиловиділення, дослідження якісних та кількісних характеристик процесів знепилення, а також системний підхід в розв'язанні завдань створення СЗ заданої якості функціонування. На базі положень теорії систем СЗ подано як множину засобів дії на джерела пилоутворення, що знаходяться у певних співвідношеннях, реалізують

вибраний спосіб знепилення і забезпечують ліквідацію виносу пилу із укриття обладнання ТТЛ. Визначення СЗ формалізовано рівнянням:

$$S_n^{\text{def}} = \{S_e | S_e = D(MF), S_e = D(MR), S_e = D(MC)\} \quad (1)$$

де S_n - СЗ, S_e - мережа засобів знепилення; $|$ - символ логічного зв'язку, який визначає зміст системи, MF- множина функцій засобів знепилення і зв'язків між ними; MR - множина відношень засобів знепилення на мережі S_e ; MC - множина мети функціонування засобів знепилення мережі S_e ; D - область визначення множини, що вказана в дужках.

На основі прийнятого визначення розроблено класифікацію СЗ. Серед основних категорій системи виділено: призначення, метод створення і функціонування СЗ, склад, устрій та структура, способи знепилення, відношення та зв'язки між елементами структури.

Аеродинаміка МПП. Основи аеродинаміки МПП складають: визначення фізичних моделей, рівнянь руху взаємопроникних багатокомпонентних середовищ, встановлення найбільш ефективних алгоритмів та програм на ЕОМ. МПП зернопереробних підприємств визначаються класифікацією, наведеною в схемі 2.

Схема 2

Матеріалоповітряні потоки		
Монодисперсні		Полідисперсні
Гравітаційні	Конвейерні	Норійні
Необмежені	Обмежені	Частково обмежені
укриттям	матеріалопроводом	
Нещільного шару	Перехідного шару	Щільного шару

Для означених класів МПП розроблено класифікацію основних їх типів з використанням ознак: форма повздовжньої осі та поперечного перерізу, просторове розташування, вид сипких матеріалів, зв'язок з повітряним середовищем приміщень та ТТЛ. Аналіз процесів утворення та руху пилоповітряних середовищ основних класів МПП здійснено для груп режимів: усталеного та неусталеного, натискового, безнатискового, наскрізного, щільного, кризи щільної структури, ежекційного,

аспіраційного, прямоточного та протиточного транспортування.

Моделювання гравітаційних МПП. Згідно з результатами структурного аналізу матеріалопотік (МП) представлено щільною, пошаровою та наскрізною частинами. У щільній частині в кожній точці контакту частинок діють нормальні сили, опір яких визначається їх міцністю. Пошарова частина характеризується відсутністю врівноваження сил зрушення та сил тертя зчеплення. Наскрізна частина визначається розпадом щільного шару на потік неконтактуючих частинок. Замість контактного сухого тертя існує аеродинамічний опір стисненого руху.

При розробці загальної математичної моделі припускається, що тензор напружень залежить не тільки від тензора градієнта швидкості елементарного шару - U_n , але і від внутрішніх параметрів, що характеризують поведінку частинок. Вигляд внутрішніх параметрів визначається одиничним вектором \hat{V} , який характеризує швидкість та орієнтацію повітряного потоку, вектором швидкості ковзання фаз $\Delta \bar{U}_{r_i} = \bar{U}_{r(i-1)} - \bar{U}_{ir}$, який визначає взаємодію основних фракцій, та вектором $\Delta \bar{V} = \bar{U}_n - \bar{V}$ відносної швидкості компонент потоку. Перехід від характеристик окремих частинок до макрохарактеристик двокомпонентних потоків відбувається при усередненні функцій, що визначають тензор напружень в орієнтаційному просторі гравітаційних систем.

Рівняння руху повітряного середовища у градієнтному полі швидкості твердої компоненти потоку подано за умови: $d\rho_B dt^{-1} + \text{div} \overline{\rho_B v} = 0$.

На основі прийнятого, динамічний стан гравітаційних потоків постійної продуктивності, які включають m - фракції, визначається системою рівнянь:

$$U_n \frac{dU_n}{dx} = g(\sin\alpha - \cos\alpha f) - \frac{U_n^2 dG_r}{G_n dx} + \frac{\lambda_a \rho_B}{2} |\Delta V| \cdot \Delta V \frac{BU_n}{G_n} + \sum_{i=1}^m \frac{\lambda_{r_i} G_{r_i} U_n (G_n)^{-1}}{4R_r (U_{r_i} - U_n)^{-1}} \quad (2)$$

$$U_{ri} \frac{dU_{ri}}{dx} = g \left(1 - \frac{|U_{ri} - V|(U_{ri} - V)}{V_{si}^2} \right) + \frac{U_n dG_{ri}}{S_{ri} \rho_{ri} dx} - \frac{\lambda_{mi} U_{ri}^2}{4R_r} - \lambda_n |U_{ri} - U_n| \times$$

$$\times (U_{ri} - U_n) \frac{1}{4R_r} - \sum_{j=1}^m \frac{\lambda_{rij}}{4R_r} |U_{ri} - U_{rj}| (U_{ri} - U_{rj}) \quad (3)$$

$$\frac{V_k^2 - V_0^2}{2} = \frac{H_0 - H_k}{\rho_B} + \sum_{i=10}^m \int \frac{g G_{ri} |U_{ri} - V|(U_{ri} - V) dx}{U_{ri} \rho_B \left[F - \left(G_n (\rho_n U_n)^{-1} + \sum_{i=1}^m G_{ri} (\rho_{ri} U_{ri})^{-1} \right) \right] V_{si}^2} + \quad (4)$$

$$+ \int_0^L \frac{\lambda_a |U_n - V|(U_n - V) B}{\rho_n U_n \left(F - \frac{G_n}{\rho_n U_n} - \sum_{i=1}^m \frac{G_{rij}}{\rho_{ri} U_{ri}} \right)} dx - \frac{\sum \xi_0 V_0^2}{2} - \frac{\sum \xi_k V_k^2}{2} - 0,014 \int_0^L \left(\frac{\kappa_e}{4R_r} + \frac{68}{Re} \right)^{0,25} \frac{V^2}{4R_r} dx,$$

$$G = G_n + \sum_{i=1}^m G_{ri} = \text{const}, \quad i = \overline{1, m} \quad (5)$$

Рівняння руху щільного шару МПП 2 записано з урахуванням сил тяжіння, пошарового і поверхневого тертя, аеродинамічної та міжфазової взаємодії. Сукупність $i = \overline{1, m}$ рівнянь 3, що описують рух m складових фракцій сипкого середовища матеріалопотоку, додатково визначаються силами аеродинамічної взаємодії наскрізної частини. Переміщення повітряної компоненти описане рівнянням 4, що представлено з урахуванням внутрішніх і зовнішніх опорів.

Розподіл об'єму матеріалопотоку на області щільних, наскрізних та кризи щільної структури виконували з використанням показника $\psi = G_r G^{-1}$, що характеризує співвідношення масових та поверхневих напружень зв'язаного шару.

Загальне рівняння для граничних режимів "наскрізних" МПП трансформується до вигляду:

$$U \frac{dU}{dx} = g \left(1 - \left(\frac{U}{V_s} \right)^2 \right) \frac{UF \rho_r - G - Q \rho_r}{U \rho_r F - G} \left(\frac{UF \rho_r - G - Q \rho_r}{U \rho_r F - G} \right) - \lambda_m \frac{U^2}{D}, \quad (6)$$

$$\frac{1}{2}(Q\rho_r)^2 \left(\left(\frac{U_k}{F\rho_r U_k - G} \right)^2 - \left(\frac{U_o}{F\rho_r U_o - G} \right)^2 \right) = \frac{H_o - H_k}{\rho_B} - \int_o^L \frac{0,014}{4R_r} \left(\frac{k_e}{D} + \frac{68}{Re} \right)^{0.25} \times$$

$$\times \left(\frac{Q\rho_r U}{\rho_r U F - G} \right)^2 dx + \int_o^L \frac{g\rho_r G U^2}{V_s^2 \rho_B} \left| \frac{U\rho_r F - G - Q\rho_r}{U\rho_r F - G} \right| \left(\frac{U\rho_r F - G - Q\rho_r}{(U\rho_r F - G)^2} \right) dx -$$

$$- \frac{1}{2}(Q\rho_r)^2 \left(\left(\frac{U_o}{\rho_r F U_o - G} \right)^2 \xi_o + \left(\frac{U_k}{\rho_r F U_k - G} \right)^2 \xi_k \right). \quad (7)$$

Аеродинаміка сипких гравітаційних m -фракцій матеріалопотоків у градієнтному полі швидкості безнатискового руху ежекційного повітряного середовища змінної продуктивності представлена системою рівнянь, у якій приєднання (відокремлення) мас повітря по шляху руху m -фракційного потоку твердих частинок отримано за умови відповідності повного тиску міжкомпонентної взаємодії втратам тиску повітряного потоку, що приєднуються по довжині гравітаційного потоку.

Моделювання гравітаційних МПП із змінною траєкторією руху розгалуженої та циклічної структур виконували з використанням основної системи рівнянь (2)-(5) описом кінематики твердої та повітряної компонент окремої секції. За внутрішні зв'язки процесів руху прийнято положення про пропорційність кінцевих і початкових значень швидкості основних фракцій при переході з попередньої лінійної ланки в наступну. На відміну від опису ППП лінійних матеріалопроводів переміщення в багатосекційному матеріалопроводі додатково визначається аеродинамічним опором елементів з'єднання ланок.

Взаємозв'язок характеристик твердої і повітряної компонент та їх вплив на параметри стану гравітаційних матеріалопотоків у роботі визначається діаграмою стану гетерогенної системи, яка розроблена шляхом перетворення системи рівнянь (2)-(5). Вона відображає зв'язок основних характеристик руху компонент МПП діапазону прямооточних, протиточних режимів в залежності від граничних умов функціонування гравітаційної системи (рис.1).

Моделювання ППП горизонтального та вертикального транспорту.

Розв'язання основного завдання аеродинаміки пилоповітряних середовищ реалізоване визначенням функцій швидкості, повного аеродинамічного тиску, опору руху ППП з використанням положень:

1. Напружений стан ППП ТТЛ визначається внутрішніми та зовнішніми факторами. Модель потоків будується як модель середовища, напруження в якому залежить від градієнта швидкості повітря, кінематики робочих органів, форми та орієнтації у внутрішньому просторі умовних каналів.

2. Внутрішні параметри визначаються вектором швидкості відносного руху повітря та робочих органів $-\Delta V_{вт} = V - U_T$, що характеризує взаєморозташування тягових органів у просторі укриття; зовнішні встановлюються вектором швидкості ППП на поверхні укриття у місцевих опорах V_H , схемою розташування локальних та розподілених нещільностей і визначаються режимами руху градієнтних пружнов'язких течій.

3. Аеродинамічні характеристики ППП самопливів вводу та виводу сипких матеріалів механічних транспортних засобів шукали у вигляді функцій: $H_{сз} = f(V_{сз})$; $H_{ср} = f(V_{ср})$ з використанням основної системи рівнянь динаміки МПП.

Перехід від локальних до макрохарактеристик виконується з використанням функцій розподілу швидкості поздовжньої та поперечної координат $V = V(x, y)$ ППП. Розподіл тиску визначається суперпозицією втрат повного тиску по довжині потоку та в місцевих опорах і встановлюється функцією:

$$H_B = f(H_{сз}; H_{ср}; H_T; H_{Тр}; H_{ТХ}; H_3; H_p; H_{H3}; H_{Hр}), \quad (8)$$

де $H_{Тр}f(V_{Тр})$, $H_{ТХ}f(V_{ТХ})$, $H_3f(V_3)$, $H_p f(V_p)$ - відповідно повні і часткові втрати тиску в умовних каналах тягових органів, завантажених і незавантажених сипким матеріалом, ланок завантаження та розвантаження меха-

нічних транспортерів, $H_{H3}f(V_{H3}), H_{HP}f(V_{HP})$ - втрати тиску у нещільностях укритть ланок завантаження і розвантаження.

Аргументи функції $f(H_{C3}, H_{CP}, H_T, H_{TP}, H_{TX}, H_3, H_P, H_{H3}, H_{HP})$ остаточно встановлюються шляхом використання положення про інтерференцію втрат тиску в укритті ППП. Реалізація прийнятого підходу дозволила отримати формалізовані системи рівнянь втрат тиску вертикальних транспортерів (частково замкнутого типу):

$$H_{C3}f(V_{C3}) + H_3f(V_3) + H_{TP}f(V_{TP}) + H_Pf(V_P) + H_{CP}f(V_{CP}) = 0 \quad (9)$$

$$H_{C3}f(V_{C3}) = H_{H3}f(V_{H3}) \quad (10)$$

$$H_{C3}f(V_{C3}) + H_3f(V_3) + H_{TP}f(V_{TP}) = H_{HP}f(V_{HP}) \quad (11)$$

$$H_{C3}f(V_{C3}) + H_3f(V_3) + H_{TP}f(V_{TP}) = H_{H3}f(V_{H3}) + H_{TX}f(V_{TX}) \quad (12)$$

$$Q_{C3} + Q_{H3} + Q_{HP} + Q_{CP} = 0 \quad (13)$$

та укритих горизонтальних транспортерів (лінійний тип ППП)

$$H_{C3}f(V_{C3}) + H_Tf(V_T) + H_{CP}f(V_{CP}) = 0 \quad (14)$$

$$H_{C3}f(V_{C3}) = H_{H3}f(V_{H3}) \quad (15)$$

$$H_{C3}f(V_{C3}) + H_Tf(V_T) = H_{HP}f(V_{HP}) \quad (16)$$

$$Q_{C3} + Q_{H3} + Q_{HP} + Q_{CP} = 0 \quad (17)$$

де Q_{C3}, Q_{CP} - продуктивність ППП самопливів завантаження та розвантаження, Q_{H3}, Q_{HP} - продуктивність ППП нещільностей ланок завантаження та розвантаження.

Системи рівнянь (9)-(13), (14)-(17), замикаються рівняннями нерозривності пилоповітряного середовища використанням функціональних залежностей швидкості від продуктивності та площі поперечного перерізу повітряного потоку $V = f(Q, F)$.

Параметри ежекційних ППП самопливів завантаження та розван-

таження $H_{cs}f(V_{cs})$; $H_{cp}f(V_{cp})$ визначаються рівняннями:

$$H_c = \sum_{i=1}^m \int_0^L \left(\frac{G_{ri} \left| U_{ri} \left(F - G_n (\rho_n U_n)^{-1} - \sum_{i=1}^m G_{ri} (\rho_{ri} U_{ri})^{-1} \right) - Q \right|}{U_{ri} V_{si}^2 \left(F - G_n (\rho_n U_n)^{-1} - \sum_{i=1}^m G_{ri} (\rho_{ri} U_{ri})^{-1} \right)^3 g^{-1}} \right) \times \left(U_{ri} \left(F - \frac{G_n}{\rho_n U_n} - \sum_{i=1}^m \frac{G_{ri}}{\rho_{ri} U_{ri}} \right) - Q \right) dx + \frac{1}{2} \int_0^L \frac{\lambda_a D \sin(\beta_n / 2)}{\left(F - G_n (\rho_n U_n)^{-1} - \sum_{i=1}^m G_{ri} (\rho_{ri} U_{ri})^{-1} \right)^3} \times \left(U_n \left(F - \frac{G_n}{\rho_n U_n} - \sum_{i=1}^m \frac{G_{ri}}{\rho_{ri} U_{ri}} \right) - Q \right) \times \left| U_n \left(F - G_n (\rho_n U_n)^{-1} - \sum_{i=1}^m G_{ri} (\rho_{ri} U_{ri})^{-1} \right) - Q \right| \quad (18)$$

Втрати повного тиску ППП при переміщенні через нещільності укрить натяжного - $H_{H3}f(V_{H3})$, привідного - $H_{Hр}f(V_{Hр})$ пристроїв, а також канали робочих органів пристрою завантаження - $H_3f(V_3)$ та розвантаження - $H_p f(V_p)$ описали рівняннями:

$$H_3 f(V_3) = \frac{1}{2} \xi_3 \rho_V \left(\frac{Q_3}{F_3} \right)^n; \quad H_p f(V_p) = \frac{1}{2} \xi_p \rho_V \left(\frac{Q_p}{F_p} \right)^n \quad (19)$$

$$H_{H3} f(V_{H3}) = \frac{1}{2} \xi_{H3} \rho_V \left(\frac{Q_{H3}}{F_{H3}} \right)^n; \quad H_{Hр} f(V_{Hр}) = \frac{1}{2} \xi_{Hр} \rho_V \left(\frac{Q_{Hр}}{F_{Hр}} \right)^n \quad (20)$$

Опір переміщенню ППП в укриттях робочих органів визначали з використанням залежності виду:

$$H_T f(V_T) = \lambda_B L_T \rho_V (U_T - Q/F_T)^n (8R_T)^{-1} \quad (21)$$

На основі рівнянь стану повітряного середовища лінійних та розгалужених каналів укрить обладнання - (9)-(13), (14)-(17) розроблені математичні моделі ППП, основних видів МПП норій та конвейерів для прямоточних, протиточних та комбінованих режимів руху.

По результатах аналізу числових методів розв'язання інтегродиференційних рівнянь обгрунтовані найбільш ефективні методи розрахунку функцій розподілу швидкості, тиску основних типів ППП ТТЛ. Числовими експериментами визначено об'єм та напрямок лабораторних досліджень сталих та коефіцієнтів у рівняннях, що використовуються при моделюванні ППП ТТЛ.

У третій главі представлено структурний план, що ілюструє взаємозв'язок основних етапів експериментального дослідження в лабораторних умовах, внутрішнього та зовнішнього опору ППП, дисипації енергії та функцій розподілу компонент гетерогенних систем, що замикають рівняння стану основних видів МПП та джерел пиловиділення.

Описано методики, лабораторні установки та пристрої для досліджень процесів взаємодії твердих частинок одна з одною та з поверхнею зміни напрямку руху; масообміну між щільною та незв'язаною частинами течій сипких речовин, фракційної взаємодії, поверхневої та об'ємної ежекції безнатискових повітряних середовищ.

У зв'язку з тим, що існуюча лабораторно-методична база досліджень аеродинаміки ППП не дозволяє дати вичерпну характеристику процесам формування, руху, взаємодії повітряних мас у складних розгалужених мережах ТТЛ з невизначеною формою внутрішніх перерізів окремих ланок моделювання основних видів та режимів функціонування гравітаційних полідисперсних систем, виконували на установках, які відтворювали основні види МПП, ТТЛ, СЗ, що визначені у 2-й главі (атрибутивна класифікація). З урахуванням положень теорії подібності, масштаби моделей визначали відповідно діапазону основних параметрів функціонування гравітаційних МПП зернопереробних підприємств (ЗПП) з використанням критеріїв Рейнольдса Re та Фруда Fr .

Визначення властивостей сипких матеріалів та їх фракційних складових, повітряного середовища, кінематики робочих органів механічних транспортерів виконували з використанням загально-прийнятих методів.

Обробку результатів експериментальних одно- та багатофакторних планів досліджень, а також їх статистичний аналіз виконували методами математичної статистики.

В четвертій главі наведено результати досліджень функцій опору МПП, які замикають системи рівнянь руху повітряних середовищ основних класів МПП гравітаційного, конвейєрного та норійного транспорту.

Визначено процеси взаємодії компонент лінійних наскрізних потоків, межі областей енергопередачі твердої та повітряної компонент гравітаційних джерел пилоутворення. Показано, що відсутність сумарної міжкомпонентної взаємодії в режимах, що характеризуються рівністю середніх швидкостей $U_{(x)}|_{oL} = V_{(x)}|_{oL}$, має місце як для потоків щільної, наскрізної, так і для кризи щільної структур, кожен з яких визначається певним діапазоном значень критерія Фруда.

Отримано залежність коефіцієнта тертя - λ_M потоку незв'язаних монодисперсних частинок з поверхнею матеріалопроводу від фізичних характеристик сипкого матеріалу та самопливу.

$$\lambda_M = 6.107 \cdot 10^{-3} + 0.1 \cdot 10^{-5} Gg(F)^{-1} + 0.1 \cdot 10^{-5} d_e - 0.125 \cdot 10^{-5} L \quad (22)$$

На основі досліджень тертя потоку матеріалу встановлено, що зростання швидкості відносного руху зернової маси приводить до концентрації напружень на поверхні ковзання, росту кількості захоплених шарів, ущільнення укладки. Це, в свою чергу, призводить до збільшення коефіцієнта f . З ростом напружень зсуву, насипної маси має місце зменшення коефіцієнта тертя f , що викликане релаксацією напружень, рівномірним перерозподілом та розосереджуванням частинок по об'єму щільного шару. Обробка експериментальних даних по розподілу МПП на щільний та нещільний шар в області значень $1.5 < Fr < 5$ дозволила отримати залежність коефіцієнта $\psi = G_r \cdot G^{-1}$ від основних факторів, що визначають рух МПП ($75^0 < \alpha < 85^0$).

$$\psi = -1,994 - 2,7 \cdot 10^{-2} \cdot L + 3,28 \cdot 10^{-2} \alpha + 5,83 \cdot 10^{-4} L \alpha \quad (23)$$

Стандартна програма обробки багатofакторних експериментів ПІ-теореми дозволила отримати емпіричну залежність коефіцієнта міжфракційної взаємодії λ_r від фізичних характеристик сипкого матеріалу, самопливу у вигляді рівнянь:

$$\lambda_r = 2,45 \cdot 10^5 \text{Re}^{-1,79} \left(\frac{d_{e1} + d_{e2}}{2D} \right)^{0,08} \left(\frac{V_{s1}}{V_{s2}} \right)^{0,88} (\mu_{\eta} + \mu_{r2})^{0,21} \quad (24)$$

Експериментальні дослідження параметрів гравітаційних потоків з непрямою повздовжньою віссю виконували на основі визначення залежності коефіцієнта зміни швидкості $k_{\text{ш}}$ від фізичних характеристик сипкого матеріалу, самопливів, кінематичних показників двокомпонентного потоку в колінах матеріалопроводів.

$$k_{\text{ш}} = 11 - 112 \cdot 10^{-1} U_k - 3,61 \cdot 10^{-3} \mu + 3,23 \cdot 10^{-4} G/F + 6,67 \cdot 10^{-3} V_k \quad (25)$$

Показано, що збільшення концентрації μ твердої компоненти потоку призводить до росту опору руху частинок в області значень $\mu < 0,005$. Стабілізація значень $k_{\text{ш}}$ в області значень $\mu \approx 0,2$ визначається двошаровою структурою потоку матеріалу у коліні. При збільшенні концентрації $\mu > 0,2$ на зовнішній поверхні злому утворюється шар, і основна частина потоку ударяється об рухоме зернову підстилку, замість ударної взаємодії має місце внутрішнє тертя між шарами.

Визначено втрати тиску в місцях зміни напрямку руху двокомпонентних МПП:

$$H_{\text{ш}} = 8114 - 2013 U_k - 9,07 V_k + 0,27 G F^{-1} - 2,56 V_k^2 + 2,26 U_k V_k - 0,69 U_k \mu - 0,09 U_k G F^{-1} + 4,01 U_k d_e + 11 V_k \mu - 0,64 \cdot 10^{-2} \mu \cdot G F^{-1} + 0,29 \cdot 10^{-2} V_k \mu G F^{-1} - 1,131 \cdot 10^{-2} V_k \mu d_e \quad (26)$$

По результатах досліджень отримано рівняння коефіцієнта міжкомпонентної взаємодії щільних потоків сипкого матеріалу і повітря.

$$\lambda_a = 6,4 \cdot 10^{-3} \alpha + 3,44 \cdot 10^{-2} L + 7,39 \cdot 10^{-3} d_e - 1,32 \cdot 10^{-3} G/F - 8,42 \cdot 10^{-4} L \alpha + \quad (27)$$

$$+6.0 \cdot 10^{-4} \alpha V + 3.1 \cdot 10^{-7} \alpha \cdot G/F - 6.09 \cdot 10^{-3} LV + 7.5 \cdot 10^{-7} L \cdot G/F$$

Залежність коефіцієнта опору переміщенню ежективних повітряних мас у гравітаційний потік, не обмежений укріттям повітряного простору від фізичних властивостей сипкого матеріалу представлена в роботі рівнянням виду:

$$k_{\text{б}} = 1.07 + 0.11 \text{GS}^{-1} - 0.025 V_{\text{s}} + 0.12 L - 2.6 \cdot 10^{-2} \text{GS}^{-1} V_{\text{s}} + \left(0.125 V_{\text{s}} + 0.175 \text{GS}^{-1} - 0.124 \text{GS}^{-1} V_{\text{s}} \right) \quad (28)$$

Адекватність розроблених математичних моделей гравітаційних систем, що доповнені експериментально отриманими залежностями $\lambda_{\text{а}}$, $\lambda_{\text{в}}$, $\lambda_{\text{п}}$, $\lambda_{\text{м}}$, $\lambda_{\text{г}}$, $k_{\text{ш}}$, $H_{\text{ш}}$, $k_{\text{б}}$ за межами діапазону варіювання факторів, які визначають коефіцієнти дисипативних функцій, знаходиться в стандартних межах (0.95).

Вивченням прямоточних, протиточних режимів, а також режимів руху в нерухомому відносно поверхні матеріалопроводу повітряному середовищі доведено, що самопливи є природними вентиляторами, а сукупність залежностей $\Delta H = f(V, Gg/F)$ може бути описана узагальненими аеродинамічними характеристиками. Аеродинамічні характеристики самопливів містять повний масив даних про рух і взаємодію як окремих компонент, так і потоку в цілому. Кожна точка характеристики (рис.2) визначає певний стан ППП самоплива - продуктивність, швидкість, перепад тиску між вхідним і вихідним перерізами, відносну швидкість компонент. На рис.3 представлені функції розподілу швидкості компонент МПП для певних точок аеродинамічної характеристики, що відображають ежекційні прямоточні режими.

Дослідженнями функцій розподілу $U = f(x)$; $H = f(V)$ гравітаційних потоків з непрямою поздовженою віссю доведено, що їх основна аеродинамічна характеристика $\Delta H = f(V)$ може бути отримана на базі синтезу аеродинамічних характеристик лінійних ланок $\Delta H_{\text{л}} = f(V)$ з урахуванням втрат енергії, а також зміни швидкості $U = f(x)$ у з'єднуючих їх колінах.

Порівняння узагальнених характеристик різних способів вводу си-
пких матеріалів у матеріалопроводи та різних видів двокомпонентних по-
токів, що отримані експериментально та розрахунками, підтвердило
вірогідність розроблених математичних моделей для опису процесів фор-
мування і руху гравітаційних МПП.

Експериментальними дослідженнями встановлено аеродинамічні по-
казники: герметичність, площа нещільностей, внутрішній опір складових
елементів основних видів норій, ланцюгових і стрічкових конвейєрів
(башмак, головка, натяжна і привідна станції).

Вивчення залежності коефіцієнта Дарсі - ξ_T при переміщенні ППП
в укриттях тягових органів виконували шляхом використання критеріїв
 Re , стиснення потоку - K_T , вирівняності потоку по довжині каналу - C_T :

$$K_T = 1 - S_e(S_M - S_T), \quad C_T = (h_K - h_T) \cdot L_T^{-1},$$

де S_M - площа поперечного перерізу каналу, S_e - площа міделевого пе-
рерізу транспортуючих елементів, S_T - площа поперечного перерізу тяго-
вого органа, h_K - відстань від тягового органа до верхньої кромки транс-
портуючих елементів, h_T - товщина тягового органа, L_T - крок розташу-
вання транспортуючих елементів.

Експериментальними дослідженнями втрат повного тиску по дов-
жині тягових органів в діапазоні значень $\Delta V_{вТ}[2..6]$ встановлено за-
лежність коефіцієнта опору.

$$\xi_T = -5.11 + 8.99K_T + 5.67 \cdot 10^{-8} Re + 4.46C_T - 271.72 \cdot K_T^2 - 0.97 \cdot C_T^2 - 5.56 \cdot 10^{-14} Re^2 \quad (29)$$

За результатами досліджень розподілу концентрацій пилу - z в
укриттях механічних транспортерів отримана залежність виду:

$$z = -4.387 - 0.253L - 4.663V + 1.3G + 8.77 \cdot 10^{-3} L^2 + 1.172V^2 - 0.148G^2 \quad (30)$$

Вивчення взаємодії ППП з поверхнею конвейєрної стрічки викону-
вали з використанням теоретичних основ приграничних турбулентних
шарів та опору щільних зернистих поверхонь. Проведені дослідження

зрізу поля швидкості конвейерної стрічки дозволили встановити можливість моделювання градієнтних течій залежностями дотичних напружень $\tau=f(x,y,z)$ П.Д.Альтшуля для розрахунків показників руху ППП укритих конвейерів.

В п'ятій главі викладено основи функціонування СЗ, моделювання джерел пиловиділення, принципи вдосконалення діючих аспіраційних установок та розробки оптимальних транспортно-технологічних СЗ.

Ядром основ функціонування СЗ є дослідження залежностей стану пилоповітряного середовища, джерел пилоутворення та пиловиділення ТТЛ від конструктивних особливостей технічних засобів знепилення та впливу аеродинамічних характеристик ТТЛ на показники якості СЗ.

Моделювання ТТЛ здійснено синтезом моделей основних складових їх елементів, серед яких виділено ділянки і аеродинамічні зв'язки. Синтез певного виду ділянок реалізовано використанням ланок та обладнання. Структурна схема ТТЛ зображена на схемі 3. Ділянки за ознакою стабільності внутрішнього об'єму розподіляються на три види: постійної продуктивності (транзитні), змінної продуктивності (змінного об'єму), накопичення матеріалу (непрохідні). В залежності від продуктивності та втрат тиску ППП визначено три види зв'язків: повний, частковий, розірваний. Перший визначає зв'язки між ділянками, при відсутності втрат тиску та продуктивності ППП. Другий - визначає часткові зміни опору та продуктивності ППП, а третій - повну відсутність взаємозв'язку параметрів ППП з'єднаних ділянок.

Схема 3

Транспортно-технологічна лінія					
Ділянка			Зв'язок		
Транзитна	Непрохідна	Змінного об'єму	Повний	Частковий	Розірваний
Ланка			Обладнання		
Гравітаційна	Горизонтального переміщення	Вертикального підйому	Періодичної дії	Інтенсивного пиловиділення	Постійної дії

Аеродинамічні характеристики, функції розподілу тиску повітряного

середовища, ділянки певного виду отримані синтезом характеристик ланок та обладнання. Опис стану ППП ланок здійснено системами рівнянь руху двокomпонентних потоків (глава 2), замкнених рівняннями регресій, які отримані за результатами експериментальних досліджень гравітаційних сипких та ППП (глава 4). Переміщення ППП у внутрішньому об'ємі, а також взаємодія з робочими органами основних типів обладнання описане залежностями втрат тиску від продуктивності ППП ланок - $Q_{л}$ та нещільностей укриття обладнання - $Q_{нм}$ для певних схем руху запиленого повітря. Параметри повітряного середовища транзитних ($G_3 = G_p$), а також ділянок із змінним внутрішнім об'ємом ($G_3 \neq G_p$) встановлюються із загальної системи рівнянь (31)-(33) в залежності від схеми руху двокomпонентних потоків та аеродинамічних зв'язків ТТЛ:

$$H_{лз}f(Q_{лз}) = k_{нм} \left(Q_{нм} + (G_{лз} - G_{лр}) \rho_n^{-1} \right)^2 \quad (31)$$

$$H_{лз}f(Q_{лз}) - \varepsilon_m Q_m^2 + H_{лр}f(Q_{лр}) = 0 \quad (32)$$

$$Q_{нм} + Q_{лз} - Q_{лр} + (G_{лз} - G_{лр}) \rho_n^{-1} = 0 \quad (33)$$

Комплекси $H_{лз}f(Q_{лз}), H_{лр}f(Q_{лр})$ визначають залежність втрат тиску від продуктивності ППП ланок завантаження та розвантаження обладнання. У випадку гравітаційних ланок вони розраховуються за рівнянням (18) для вертикального підйому - системою рівнянь (9)-(13) і для ланок горизонтального переміщення - системою рівнянь (14)-(17). Коефіцієнти $k_{нм}, \varepsilon_m$ визначають герметичність та внутрішній опір обладнання. Параметри стану ППП ділянки описано рівнянням:

$$H_d f(Q_d) = H_z f(Q_z) + H_{лр} f(Q_{лр}) - \varepsilon_n Q_d^2, \quad Q_d = Q_p \quad (34)$$

Стан ППП непрохідних ділянок описується системою рівнянь (31)-(33) за

умови $G_3=0, G_p \neq 0, Q_d=0$ або $G_3 \neq 0, G_p=0, Q_d=0$.

Аеродинаміка ППП лінійних ТГЛ визначається синтезом моделей перелічених основних видів ділянок і зв'язків у напрямку руху матеріалопотоків. Аеродинамічні характеристики i -тої ділянки визначаються параметрами ППП вводу та виводу відповідно $i-1$ та $i+1$ ділянок $H_{дi-1} = f(Q_{дi-1}), H_{дi+1} = f(Q_{дi+1})$ і розраховуються за рівнянням (34). Транспортно-технологічні аспіраційні системи (ТТАС), які включають т-ланок, можуть бути описані системою рівнянь:

$$\begin{aligned}
 H_{лз1}f(Q_{лз1}) &= k_{нм1} \left(Q_{нм1} + (G_{лз1} - G_{лр1}) \rho_n^{-1} \right)^2 \\
 H_{лз1}f(Q_{лз1}) - \varepsilon_{м1} Q_{м1}^2 + H_{лр1}f(Q_{лр1}) &= 0 \\
 Q_{нм1} + Q_{лз1} - Q_{лр1} + (G_{лз1} - G_{лр1}) \rho_n^{-1} &= 0 \\
 H_{д1}f(Q_{д1}) &= H_{лз1}f(Q_{лз1}) + H_{лр1}f(Q_{лр1}) - \varepsilon_{м1} Q_{м1}^2 \\
 &\dots \\
 H_{дi-1}f(Q_{дi-1}) &= k_{нмі} \left(Q_{нмі} + (G_{лзі} - G_{лрі}) \rho_n^{-1} \right)^2 \\
 H_{дi-1}f(Q_{дi-1}) - \varepsilon_{мі} Q_{мі}^2 + H_{лрі}f(Q_{лрі}) &= 0 \\
 \sum_{i=1}^i Q_{нмі} + Q_{лзі} - Q_{лрі} + \sum_{i=1}^i (G_{лзі} - G_{лрі}) \rho_n^{-1} &= 0 \quad (35) \\
 H_{ді}f(Q_{ді}) &= H_{дi-1}f(Q_{дi-1}) + H_{лрі}f(Q_{лрі}) - \varepsilon_{мі} Q_{мі}^2 \\
 &\dots \\
 H_{дm-1}f(Q_{дm-1}) &= k_{нmт} \left(Q_{нmт} + (G_{лzm} - G_{лрm}) \rho_n^{-1} \right)^2 \\
 H_{дm-1}f(Q_{дm-1}) - \varepsilon_{mт} Q_{mт}^2 + H_{лрm}f(Q_{лрm}) &= 0 \\
 \sum_{i=1}^m Q_{нmт} + Q_{лзі} - Q_{лрm} + \sum_{i=1}^m (G_{лzm} - G_{лрm}) \rho_n^{-1} &= 0, \\
 H_{дm}f(Q_{дm}) &= H_{дm-1}f(Q_{дm-1}) + H_{лрm}f(Q_{лрm}) - \varepsilon_{mт} Q_{mт}^2, \quad i = \overline{1, m}
 \end{aligned}$$

Стан ППП ТТЛ розгалуженої структури описано шляхом синтезу аеродинамічних характеристик лінійних ТТЛ з використанням положень: - відповідності тиску в ділянках з'єднання (роз'єднання) ППП; - відповідності повного тиску, що створюють зовнішні та внутрішні джерела енергії (СЗ, самопливи, механічні транспортери) втратам опору розгалужених гілок ТТЛ; - балансу продуктивності ППП.

Опис стану циклічних ТТЛ здійснено на основі синтезу аеродинамічних характеристик ППП лінійних груп ділянок вводу, виводу та ділянки основної переробки матеріалопотоку. Перетік ППП у розгалуженій лінії представлено умовою відповідності повного тиску повітря переточної ділянки, тиску ППП групи ділянок переробки основного матеріалопотоку. Аеродинаміка комбінованих ТТЛ визначається синтезом рівнянь стану групи ланок лінійного, розгалуженого, циклічного типу та їх аеродинамічних зв'язків.

З метою спрощення аналізу множини джерел пиловиділення їх поділено за класифікаційною ознакою - вид ділянки ТТЛ - на три типи: транзитні, непрохідні, змінного об'єму. Їх місце знаходження встановлюється визначенням функцій розподілу лишкового статичного тиску на поверхні укриття ТТЛ. Опис джерел здійснено шляхом розрахунку продуктивності ППП - Q_{ny} , що поступають у виробничі приміщення, та тиску - H_y в укриттях джерел пилоутворення. Параметри пиловиділення визначаються на основі системи рівнянь (31)-(33), в якій стан ППП, що вводяться з $(i-1)$ -тої ділянки і виводяться в $(i+1)$ -ту ділянку описується комплексами $N_{di-1}(Q_{di-1})$, $N_{di+1}(Q_{di+1})$ з використанням залежності (34). Система рівнянь (31)-(33) є базовою для опису параметрів джерел пиловиділення. На рис.4 наведено аналіз режимів руху ППП для основних співвідношень аеродинамічних характеристик ділянок ТТЛ.

Аналіз схем розташування, характеристик джерел пиловиділення та їх аеродинамічних зв'язків дозволяє встановити необхідні режими знепи-

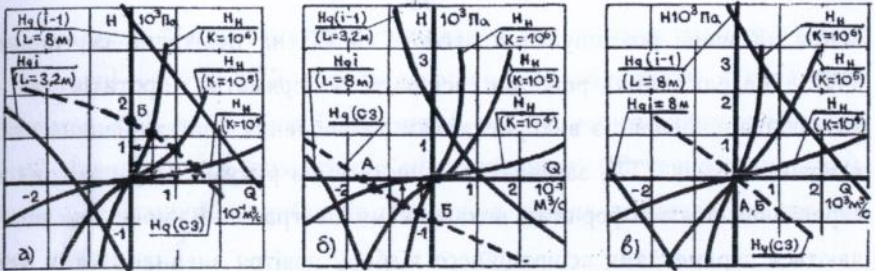


Рис. 4. Співвідношення аеродинамічних характеристик ділянок ТТЛ: а - пилovidілення, б - засмокування, в - транзитного руху ППП.

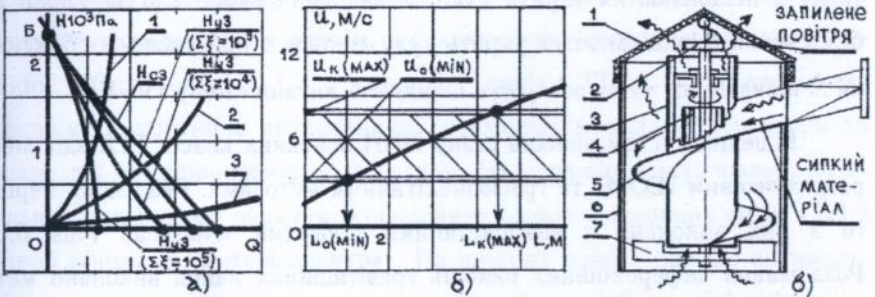


Рис. 5. Дроселювання МПП: а - характеристики джерела пилovidілення; б - область ефективного дроселювання; в - схема пристрою: 1,2 - фільтрувальна тканина та пристрій її регенерації; 3,4 - повітропровід з вентилятором; 5,6 - гравітаційний спуск; 7 - крильчатка привода вентилятора.

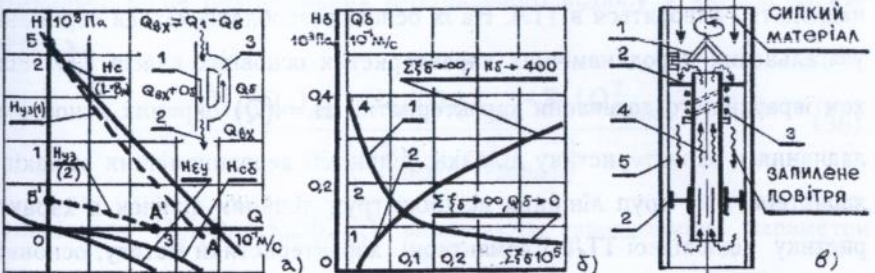


Рис. 6. Байпасування МПП: а - характеристика джерела пилovidілення, б - параметри циркуляційних ППП 1 - $Q_{\delta} = f(\xi_{\delta})$; 2 - $H_{\delta} = f(\xi_{\delta})$; в - схема пристрою байпасування; 1, 2, 3 - елементи дроселюючого пристрою; 4 - байпасний повітропровід; 5 - матеріалопровід МП.

лення та місце розташування засобів дії СЗ на повітряне середовище ТТЛ. Моделювання режимів аспірації - прямотік, протитік та їх комбінація здійснено з використанням розроблених систем рівнянь стану основних класів ТТЛ, заміною граничних умов руху ППП у повітряному середовищі з атмосферними показниками на граничні умови, що визначаються параметрами аспіраційного відбору повітря знепилюючими установками. Встановлення режимів роботи відборів повітря СЗ виконано шляхом обмежень у системі рівнянь стану ППП ТТЛ (35) на градієнти тиску в нещільностях укрить ТТЛ. Їх значення визначено за умови забезпечення в нещільностях укрить руху повітря з приміщень в обладнанні зі швидкістю, що перевершує швидкість витання пилу ($V > V_s$).

Рішення систем рівнянь стану ППП основних класів ТТЛ здійснено розрахунковим (ЕОМ) та графоаналітичним методами. Реалізація першого з них виконана з використанням програми «Mathcad Plus 5.0». Розв'язання диференційних рівнянь гравітаційних ланок виконано методом Рунге-Кутта за формулою Хойне. Основу графоаналітичного методу складають принципи: відповідності втрат тиску ППП повному тиску, що створюють засоби СЗ та ланки ТТЛ; відповідності повного тиску ППП у місцях їх з'єднання та роз'єднання; балансу продуктивності ППП, що надходять і виводяться в ТТЛ. На їх основі розроблено методи отримання узагальнених аеродинамічних характеристик основних класів ТТЛ шляхом ієрархічного додавання характеристик $H = f(Q)$ окремих ланок і обладнання в характеристику ділянки; ділянок і аеродинамічних зв'язків в характеристику груп лінійних ділянок; груп лінійних ділянок в характеристику відповідної ТТЛ. Елементарні характеристики методу, основних видів ланок отримані з рівняння (18), системи рівнянь (11)-(13), (14)-(17) для діапазону прямоточних та протиточних режимів руху ППП. В графічному виді вони представлені в чотирьох квадрантах системи координат (H-Q). Графоаналітичний метод дозволяє розв'язати три види задач. По першому визначаються місця знаходження та режими джерел

пиловиділення. По другому виду при певних обмеженнях градієнтів тиску на поверхні укрить ТТЛ встановлюються розподіл тиску в складових елементах ТТЛ та необхідні параметри роботи аспіраційних приймачів. Третій - зводиться до визначення енергомісткості СЗ певного виду компоновки аспіраційних приймачів. Множина рішень визначається граничними умовами.

Розроблене математичне моделювання ТТЛ є основою створення оптимальних СЗ. В процесі формалізації пошуку оптимальної СЗ виконана спеціальна її структуризація, визначені необхідні параметри, які представляють основні класи систем, а також сформульовані необхідні обмеження. Оптимізація СЗ основних типів ТТЛ зернопереробних підприємств здійснена визначенням оптимального складу, структури та параметрів функціонування у два етапи. На першому - встановлені оптимальні компоновочні рішення аспіраційних відборів основних видів ТТЛ з позиції мінімізації матеріаловитрат. На другому етапі - для СЗ оптимальної структури визначені параметри аспіраційних відборів, які забезпечують мінімізацію енергії, що витрачається на функціонування систем.

Аналіз похідних функцій розподілу споживаної потужності по довжині дводілянкової ТТЛ дозволив встановити екстримальне її значення і оптимальне місце розташування інтегрального відбору у вигляді залежності:

$$L_{(i)opt} = \frac{H_{пf}(Q_{п})_{min} - H_{пpf}(Q_{пp})_{min} + K_L L Q_{(n)min}^2}{K_L (Q_{(n)min}^2 + Q_{(пp)min}^2)} \quad (36)$$

Функціонали $H_{пf}(Q_{п}); H_{пpf}(Q_{пp})$ визначають аеродинамічні параметри прямої та протиточної груп лінійних ділянок ТТЛ і розраховуються з системи рівнянь (35). Співвідношення опору ППП прямої, протиточної частин ланки розташування відбору повітря характеризуються комплексом K_L , який визначається з використанням отриманих вище аеродинамічних характеристик гравітаційних самопливів та механічних

конвейєрів.

З аналізу рівнянь стану ППП лінійних ТТЛ місце розташування компенсуючих відборів, що забезпечують роботу центральних відборів, (диференційний спосіб знепилення) визначається з рівняння виду:

$$L_{(к)опт} = (H_{п} f(Q_{п})_{\min} - H_{пр} f(Q_{пр})_{\min}) \left(K_L Q_{(пр) \min}^2 \right)^{-1} \quad (37)$$

Компоновка, вибір кількості аспіраційних приймачів СЗ визначаються аналізом функцій витрат мінімальної питомої енергії установок, які реалізують знепилення - $N_{\min(i)}$ інтегральними та диференційними відборами - $N_{\min(д)}$ із використанням залежностей:

$$N_{\min(i)} = H_{\min(i)} (Q_{(п) \min} + Q_{(пр) \min}) \quad (38)$$

$$N_{\min(д)} = H_{(п) \min(д)} Q_{(п) \min(д)} + H_{(пр) \min(д)} Q_{(пр) \min(д)}$$

Порівняння величин $N_{\min(i)}$ та $N_{\min(д)}$ вказує на меншу енергомісткість СЗ диференційної схеми компоновки:

$$\begin{aligned} \Delta N = N_{\min(i)} - N_{\min(д)} = Q_{(п) \min}^3 & \left(\left(\frac{\varepsilon_{м(п)} + K_L (L - L_{(i) \text{опт}})}{\varepsilon_{м(пр)} + K_L L_{(i) \text{опт}}} \right)^{0,5} - \right. \\ & \left. - \left(\frac{\varepsilon_{м(п)} + K_L (L - L_{(к) \text{опт}})}{\varepsilon_{м(пр)}} \right)^{0,5} \right) \varepsilon_{м(пр)} + \\ & + K_L (L - L_{(i) \text{опт}}) \left(1 + \frac{\varepsilon_{м(п)} + K_L (L - L_{(i) \text{опт}})}{\varepsilon_{м(пр)} + K_L L_{(i) \text{опт}}} \right)^{0,5} \end{aligned} \quad (39) \quad m=3$$

Підсумковий вибір схеми компоновки ТТАС визначається порівнянням сукупних витрат.

Встановлення оптимального складу, структури та параметрів функціонування СЗ розгалужених ТТЛ здійснено для трьох їх основних типів. До першого типу віднесено лінії, які включають транзитні ділянки

з послідовно зростаючими аеродинамічними характеристиками в напрямку руху матеріалопотоків і визначаються співвідношенням ежективних властивостей ланок: $N_{л1}f(Q_{л1}) < \dots < N_{ли}f(Q_{ли}) < \dots < N_{лк}f(Q_{лк})$. До другого типу відносяться ТТЛ, які складаються з ділянок із послідовно зменшуваними аеродинамічними характеристиками. ТТЛ вказаного типу характеризуються нерівністю $N_{л1}f(Q_{л1}) > \dots > N_{ли}f(Q_{ли}) > \dots > N_{лк}f(Q_{лк})$. Третій тип визначає певну комбінацію двох перших.

Із аналізу загальних матеріало-енерговитрат встановлено, що для ТТЛ першого виду найбільш доцільними є СЗ з інтегральними відборами, які розташовані на поверхні укриття вихідних ланок технологічних ліній. Доцільність указаної системи зумовлена зменшенням енерго-матеріаловитрат СЗ за рахунок поєднання операції гравітаційного транспорту та знепилення шляхом використання ефекта ежекції повітря самопливами.

Числовий аналіз по критерію загальних витрат СЗ другого типу вказує на доцільність диференційних систем дії на ППП ліній. Цей факт обумовлено зростанням аеродинамічного опору в напрямку руху матеріалопотоків, завдяки зниженню пропускну здатності ділянок при забезпеченні необхідного об'єму аспіраційного повітря початкових ланок.

З аналізу загальних витрат встановлено, що використання СЗ, які реалізують диференційні схеми дії на ППП, доцільне у випадках, коли ТТЛ включають ланки з повністю ($k_{нм} \rightarrow \infty$) або частково розірваними аеродинамічними зв'язками.

У шостій главі наведено результати розробки основ проектування СЗ та апробації нових способів і засобів знепилення, які спрямовані на розв'язання практичних завдань ліквідації джерел пилоутворення та пилорозподілення.

Проектування СЗ складається з трьох взаємозв'язаних частин (схема 4).

Проектування систем знепилення									
Проектування засобів дії на джерела пилоутворення			Проектування засобів ліквідації ежекційних ППП			Проектування аспіраційних мереж			
Усунення об'ємної взаємодії МПП	Дроселювання	Шлюзування	Байпасування	Виводу ППП за межі ТТЛ	Технологічних процесів	Еле-ваторів	Комбі-кормових заводів	Мли-нів	Круп'я-них заводів

Відповідно з прийнятим системно-атрибутивним підходом створення СЗ виконується у три етапи. На першому розв'язують задачу усунення джерел пилоутворення, на другому - ліквідації остаточних ежекційних ППП і на третьому - забезпечення гарантованого попередження пиловиносу.

Пошук шляхів зниження інтенсивності джерел пилоутворення базується на основі аналізу рівняння (18) (перший рівень дії на джерела пилоутворення СЗ), перепаду тиску ежекційних пилоповітряних потоків. Із проведених досліджень встановлена можливість усунення пилоутворення забезпеченням режимів руху щільним шаром, а також зниженням кінетичної енергії матеріалопотоків. Серед основних напрямків способу виділяються: забезпечення аеродинамічного опору ТТЛ, який перевершує ежекційний тиск гравітаційних матеріалопотоків $H(\xi) \geq \Delta H_c$, зниження ежективних властивостей потоків ТТЛ зменшенням площі поверхневого контакту твердої та повітряної компонент гравітаційних МПП та шлюзуванням ППП. Параметри функціонування пристроїв першого рівня дії на джерела пилоутворення, місце їх розташування встановлюються з умов: - забезпечення заданої продуктивності матеріалопотоків - $F_p U \geq G$, - мінімізації подрібнення зернин обмеженням динамічної взаємодії сипкого потоку та поверхні пристроїв; $P_{gm} \leq 0,3P_g (g=9,81m/c^2)$. Конструктивні параметри пристроїв дроселювання ППП, що захищені АС № № 1507684, 1643343, 1585245, 1638090, 1761650 визначаються за умови створення щільного зернистого шару, опір яких перевершує ежекційний

тиск джерела пиловиділення. Площа поперечного перерізу та довжина дросельних ланок розраховуються з рівнянь:

$$F_{др} = G \left(n p_n k_{ш} \left(U_0 + 4,43 c L^{0,5} \right) \right)^{-1}; \quad L_{др} = 2 G g \Delta H_{сз} d_{\epsilon} \left(F \xi_{\phi} V_{\phi}^2 \rho_v \right)^{-1} \quad (40)$$

де c - коефіцієнт аеродинамічного опору МП; n - число ланок дроселювання; $\Delta H_{сз}$ - питомий тиск МПП у випадку $V=0$.

Опір щільних зернистих сипких середовищ в роботі описано з використанням відомих залежностей $H=f(V_{\phi}; \xi_{\phi})$. Основні характеристики способу та засобу дроселювання МП приведено на рис.5. Рівняння (40) використовуються у методиках визначення форми та розмірів прохідних перерізів, елементів формування ущільнених шарів гальмуючих пристроїв, а також місць їх розташування в ТТЛ.

Ліквідація ежекційних ППП пристроями другого рівня дії на джерела пилоутворення (байпасування, апаратний вивід, відбір ППП для технологічних операцій АС №№ 1384507, 1504186, 1629235) здійснюється за умови створення направленного руху ППП. Продуктивність Q_T - транзитного та $Q_{ц}$ - циркуляційного ППП вертикальних гравітаційних МПП визначаються рівняннями виду:

$$Q_{Тр} = (Gg\Delta H_{сз})^{0,5} (F\epsilon_3 + \epsilon_p F)^{-0,5}; \quad Q_{ц} = (Gg\Delta H_{сз})^{0,5} (F\epsilon_6)^{-0,5} \quad (41)$$

де $\Delta H_{сз}$ - питомий тиск потоку частинок у випадку $V=U_0$.

Площа перерізу байпасних пристроїв встановлюється за формулою:

$$F_6 = (Gg\Delta H_{сз})^{-0,5} (F\epsilon_6 (U_0)^2)^{-0,5} \quad (42)$$

де ϵ_6 - коефіцієнт опору переточного каналу.

На рис.6 приведено характеристики способу байпасування МПП.

Аналіз впливу байпасних пристроїв на аеродинамічні характеристики ППП показав, що їх продуктивність - $Q_{Тр}$ у значній мірі залежить від сумарного опору переточних каналів $\sum \xi_{пк}$. Так, зменшення $\sum \xi_{пк}$ в

діапазоні 150...50 Па приводить до зменшення ежекційного тиску до 3 разів та продуктивності ППП - Q_e в 5 разів. Спосіб байпасування застосовується у випадках використання повітряних середовищ МПП для реалізації процесів пневмосепарування, аеродозування тощо.

На відміну від байпасування спосіб ліквідації ежективного тиску матеріалопотоків реалізується при необхідності створення високих швидкостей руху МП $U > 8$ м/с відводом ППП від ділянок завантаження устаткування у навколишнє середовище або в пневмотранспортні установки. Аеродинамічні параметри вказаного способу визначаються з рівняння (18), яке доповнюється функціями розподілу швидкості МПП.

Найбільш доцільне використання засобів ліквідації ежективного тиску (АС №№ 1562271, 1666977) в пристроях завантаження автомобільного та залізничного транспорту. Комплексні системи впливу на аеродинамічно зв'язані джерела пилоутворення із використанням механічних та агрегатних засобів у роботі реалізовано способами знепилення протяжних укрить ТТЛ циклічних режимів роботи розгалуженої системи гравітаційних матеріалопроводів (АС №№ 1742187, 1752692, 1832105, 1384508).

Знепилення ТТЛ з циклічними режимами роботи за вказаними способами здійснюється у два етапи, на першому з яких зменшується тиск імпульсивних ежектованих ППП - H_c , що спрямовує їх переміщення в демпфірні ємкості, розрідження в яких визначається за умовами :

$$H_{\min} < H_{\max} (M_{p\max} - M_i) M_{p\max}^{-1} \quad (43)$$

де H_{\max} - максимально припустимий тиск в демпфірній ємкості, яка включає вивід ППП в навколишнє середовище, $M_{p\max}$ - маса повітря в резервній ємкості, M_i - маса повітря, що надходить з ТТЛ в результаті імпульсної подачі матеріалу. На другому етапі запилене повітря виводиться аспіраційними пристроями.

Розв'язання задач проектування аспіраційних мереж - пристроїв третього рівня дії на ППП здійснюється за етапами: визначається клас, тип ТТЛ по співвідношенню ежektivних властивостей ланок; встановлюється тип схеми компоновки (інтегральний, диференційний), схема аспірації (прямоток, протиток, комбіновані режими); визначаються місця підключення аспіраційних приймачів та параметри їх роботи; встановлюються параметри обладнання СЗ. Розроблені методики створення СЗ покладені в основу "Вказівок по проектуванню систем аспірації з нормами на обладнання підприємств хлібопродуктів" (Мінсільгосппрод України) та "Правил по проектуванню аспіраційних установок зерноперероблюючих підприємств" (Мінсільгосппрод Росії).

Параметри ефективної дії СЗ на джерела пиловиділення лінійних ТТЛ, що містять n ланок, аспіраційними приймачами визначаються рівняннями:

$$H_a = 0,5 \xi_{з} \rho_v V_s^2 + \varepsilon_{мл} (Q_{н1} + Q_{сз})^2 - \dots - H_{c(n-1)n} + \varepsilon_{мп} \left(\sum_{i=1}^n Q_{нмі} + Q_з \right)^2 \quad (44)$$

$$Q_a = \sum_{i=1}^n \left(\left(H_{н(n-1)} - H_{c(n-1)n} + \varepsilon_{мп} \left(\sum_{i=1}^n Q_{нмі} + Q_з \right)^2 \right) k_{нмі}^{-1} \right)^{0,5} + Q_{сз} - Q_{ср} \quad (45)$$

В рівняннях (44), (45) комплекси $H_{c(n-1)n}$ встановлюють перепад тиску в самопливах з'єднання ланок і визначаються з рівняння (18). Втрати тиску в нещільностях укрить - $H_{н(n-1)}$ ланки $n-1$ встановлюються за втратами тиску ППП магістральної схеми знепилення ТТЛ.

За результатами досліджень розроблено нові СЗ для ТТЛ: приймання сировини; транспортування матеріалопотоків норіями; завантаження, розвантаження силосних місткостей; розподілу матеріалопотоків; завантаження автомобільного та залізничного транспорту.

Зменшення енергоємкості СЗ пристроїв приймання сировини досягнуто сумісництвом технологічних операцій, знепилення зерна та укрить

обладнання ліній шляхом подачі аспіраційних ППП в аеросепаруючий пристрій. Місце розташування знепилюючої камери визначається з умов відповідності втрат тиску ППП прямої та протитої лінійних груп ділянок ТТЛ.

Розробка нових СЗ робочих веж елеватора здійснена шляхом сумісництва сепарування з аспірацією обладнання через укриття норій. Відбір ППП від норійних труб перетічними повітропроводами, що приєднуються до аспіраційних каналів сепаратора А1-БЦС-100, дозволяє знепилювати скидальні коробки, башмаки, головки норій, надвагові, підвагові місткості та ваги технологічною установкою знепилення.

Зменшення матеріало- енергоємкості СЗ ліній завантаження і розвантаження місткостей досягнуто використанням нових конструкцій насипних лотків скидальних візків та укрить стрічкових конвейерів. Конструкція нових скидальних візків запобігає утворенню ежекційних ППП, а також забезпечує вивід лишкових ППП силосних місткостей через локальні фільтровальні пристрої. Нові конструкції укрить стрічкових конвейерів створюють направлені потоки ППП в башмаки норій, що дозволяє повністю усунути аспірацію підсилосних конвейерів.

Сумісництво операцій охолодження, сушки та аспірації ліній гранулювання комбікормів дозволяє усунути СЗ їх ТТЛ. Знепилення ліній здійснюється подачою аспіраційних ППП норій, місткостей, транспортерів, сепараторів в приймачі охолоджувальних колонок.

Створення нових СЗ ліній завантаження автомобільного та залізничного транспорту здійснено шляхом сумісництва операцій транспортування та знепилення комплексною дією засобів дроселювання та відводу ППП. Методики вибору конструктивних та аеродинамічних параметрів нових СЗ розроблені з використанням залежностей (40)-(45). Прикладом нових ТТЛ СЗ зернопереробних виробництв є знепилюючі установки зерноочишувального відділення млина ($G=250$ т/доб.) Дніпропетровського комбіната хлібопродуктів (КХП) (рис. 7), їх викорис-

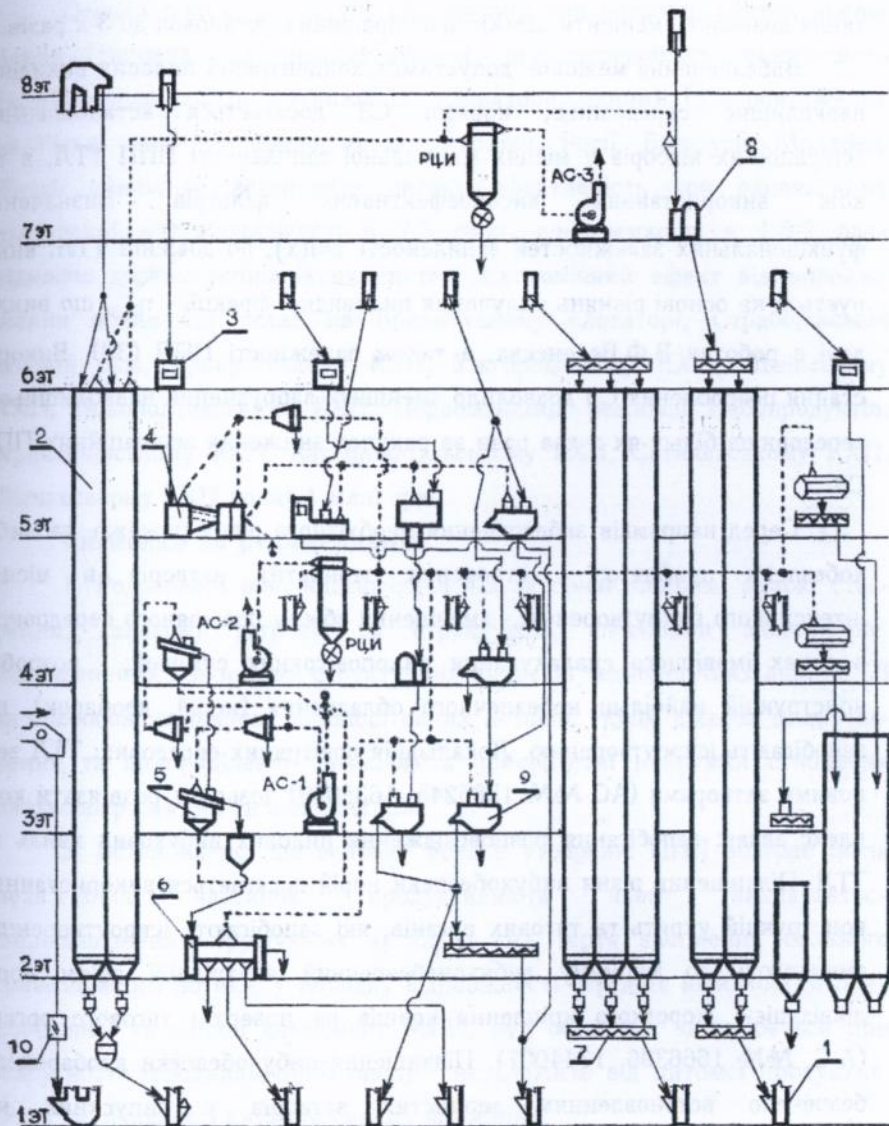


Рис. 7. Схема знепилення зерноочищувального відділення млина $G=250$ т/доб (Дніпропетровський КХП): 1 - норія; 2 - місткість; 3 - магнітна колонка; 4 - сепаратор АІ-БІС-12; 5 - каміневідділювач; 6 - концентратор; 7 - шнек; 8 - дуаспіратор; 9 - трієр; 10 - пристрій дроселювання; АС-І, АС-2, АС-3- аспіраційні установки.

тання дозволяє зменшити кількість аспіраційних установок до 3-х разів.

Забезпечення межово- допустимих концентрацій пилових викидів у навколишнє середовище, новими СЗ досягається встановленням аспіраційних відборів у місцях мінімальної запиленості ППП ТТЛ, а також використанням вискоєфективних фільтрів. Визначення функціональних залежностей запиленості $z=i(x)$, по довжині ТТЛ, виконується на основі рівнянь вилучення пиловидної фракції - $\eta_{пв}$, що викладені в роботах В.Ф.Веденеєва, а також залежності ППП (30). Використання розроблених СЗ дозволило зменшити забруднення навколишнього середовища більш як в два рази за рахунок зниження аспіраційних ППП СЗ.

Серед напрямків забезпечення необхідного рівня пожежо- та вибухобезпеки прийнято: - створення зернистих затворів в місцях інтенсивного пилоутворення; - зменшення об'єму повітряного середовища в зонах імовірного спалахування пилоповітряних сумішей; - розробка конструкцій найбільш небезпечного обладнання (норій, дробарок), що запобігають іскроутворенню. Локалізація повітряних середовищ ТТЛ зерновими затворами (АС №№ 1585245, 1638090) дозволяє розв'язати комплекс задач: запобігання розповсюдження пилових вибухових хвиль по ТТЛ. Підвищення рівня вибухобезпеки норій досягається використанням конструкцій укрить та тягових органів, які запобігають іскроутворенню, зменшують до мінімуму вибухонебезпечний внутрішній об'єм норій ліквідацією жорсткого кріплення ковчів на поверхні тягового органу (А.С. №№ 1666396, 1744007). Підвищення вибухобезпеки дробарок забезпечено встановленням зернистих затворів у випускних матеріалопроводах (АС № 1585245). Запобігання повторних пилоповітряних вибухів досягається локалізацією СЗ, а також гарантованим усуненням пиловиділення з укрить ТТЛ, що дозволяє виключити утворення шару пилу на поверхні робочих приміщень.

Основи проектування СЗ використані при розробці систем знепилення типових по продуктивності зернопереробних підприємств (комбікормові заводи, крупазаводи, елеватори, млини). Їх впровадження на більш як 50-ти підприємствах України, Росії, Білорусії, Молдови, Латвії дозволило встановити високу ефективність при одночасному зменшенні матеріалоемкості в 2-3 рази, енергоемкості в 1,5-2 рази відносно діючих аспіраційних систем. Економічний ефект від впровадження нових СЗ склав на Врадівському елеваторі, Страбичевській хлібній базі, Трикратському КХП, Ужгородському КХП, Львівському КХП, Новополтавському КХП, Первомайській реалбазі хлібопродуктів, Христинівському КХП, Катеринопільському КХП, Сигнаєвському КХП, Пісчанському КХП понад 1 млн. грн.

Висновки та рекомендації.

1. Розроблені нові класифікації СЗ за призначенням, метою створення, складом, устроєм та структурою, способами знепилення, відношеннями і зв'язками структурних елементів технологічних ліній; ТТЛ за способом утворення пилоповітряних потоків, типом джерел пилоутворення та пиловиділення визначають пріоритетні напрямки створення низькоенергоємких та надійних СЗ.

2. Встановлено, що основну роль в утворенні ППП відіграє потік незв'язаних частинок, продуктивність якого визначається співвідношенням зрушуючих зусиль і сил тертя зчеплення щільного гравітаційного потоку, у випадку відповідності середніх швидкостей руху повітряної та сипкої компонент МПП, рух останньої здійснюється при відсутності аеродинамічного опору і незалежить від питомої продуктивності та швидкості витання сипких частинок.

3. При прогнозуванні утворення та моделюванні ППП ТТЛ є доцільним використання розроблених рівнянь: полідисперсних гравітаційних МПП із змінними продуктивністю щільного шару та витратами ППП; ППП норій і ланцюгових та стрічкових конвейєрів; джерел

пиловиділення ТТЛ; ППП лінійних та розгалужених ТТЛ для прямиотічних, протитічних та комбінованих схем компоновки інтегральних і диференційних приймачів СЗ. Їх ефективність підтверджується результатами експериментальних та виробничих досліджень.

4. Доведено, що використання гравітаційних самопливів, як засобів знепилення ТТЛ, дозволяє зменшити витрати енергії СЗ до 30% та продуктивність ППП до 40% при реалізації прямоотічних схем аспірації матеріалопроводами з кутом нахилу $\alpha > 80^{\circ}$ та питомою продуктивністю МП, яка не перевершує 700 кг/см^2 . При встановленні протитічних схем - кут нахилу α не повинен перевершувати 60° . Межові значення аеродинамічних характеристик самопливів визначаються діапазоном значень коефіцієнта аеродинамічного опору $\xi = 0 \dots \infty$.

5. Встановлено, що використання механічних транспортерів в якості природних повітропроводів СЗ повинно здійснюватись в діапазоні значень відносної швидкості ППП і робочих органів, яка не перевершує швидкість витання сипких частинок відповідно 4 м/с , 6 м/с при транспорті борошнистих і зернових продуктів. Питомий перепад тиску холодних гілок не повинен бути більше 10 Па/м , 20 Па/м відповідно для борошнистих і зернових норій, перевершення вказаних значень призводить до утворення зворотнього сипу та джерел пиловиділення.

6. Встановлено, що забезпечення питомої продуктивності сипких матеріалопотоків гравітаційного транспорту зернопереробних виробництв більш, як 2000 кг/см^2 , а також збільшення щільності укрить ТТЛ до значень, які визначаються показником $k_H > 1000 \text{ Пас}^2/\text{м}^6$ дозволяє зменшити продуктивність ППП, джерел пиловиділення до 2 раз, а також енергоємність аспіраційних установок до 40%.

7. Доведено, що ефективна структура та режими роботи аспіраційних установок визначаються співвідношенням ежективних властивостей ланок ТТЛ. У випадку їх зростання (приріст перепаду тиску ежекційних ППП ланок перевершує 10%) раціональною є інтегральна

схема відбору запиленого повітря від вихідних ланок. У протилежному випадку раціональною є диференційна схема відбору центральними аспіраційними приймачами від ланок найбільших ежективних властивостей та найменшої герметичності (значеннями коефіцієнта опору нещільностей не більш $1000 \text{ Пас}^2/\text{м}^6$) і компенсуючими від ланок з найбільшим аеродинамічним опором.

8. По результатах теоретичних узагальнень та експериментальних досліджень процесів пилоутворення встановлено, що створення принципово нових СЗ повинно здійснюватися усуненням об'ємного контакту сипких гравітаційних потоків і повітря, спрямованим використанням технологічних аспіраційних потоків, які знаходяться в певних співвідношеннях, реалізують способи комплексної дії на джерела пилоутворення та забезпечують гарантоване усунення пиловиділень з нещільностей обладнання (розрідження визначається діапазоном значень $5 \text{ Па} \leq H \leq 15 \text{ Па}$).

9. Перспективним напрямком зменшення енерго- та матеріалоємкості СЗ є розробка знепилюючих комплексних транспортно-технологічних аспіраційних установок з частково замкнутими циклами повітря, що використовують засоби дроселювання (опір яких перевершує 1000 Па), байпасування (швидкість руху ППП до 5 м/с) та створення повітряних «завіс» на внутрішній поверхні укрить ТТЛ ($V \geq V_S$).

10. Застосування нових СЗ на десяти ЗПП дозволило отримати економічний ефект в сумі понад 1 млн. грн. за рахунок зменшення потужності, матеріалоємкості знепилюючих установок, втрат харчових продуктів при забезпеченні нормативних показників внутрішнього та зовнішнього середовища, пожежо- та вибухобезпеки, запиленості зернопереробних підприємств.

ПУБЛІКАЦІЇ ЗА МАТЕРІАЛАМИ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Гапонюк О.І. Рациональні параметри аспірації. // Харч. і перероб. Пром-сть. - 1995. - №10. - С.14-15.
2. Гапонюк О.І. Ефективні системи знепилення. // Зерно і хліб. - 1996. - № 3. - С. 35-36.
3. Гапонюк О.И. Метод создания эффективных обеспыливающих систем. // Комбикорм.пром-сть. - 1996. - № 3. - С. 32-33.
4. Гапонюк О.И. Новые направления в проектировании аспирационных систем. // Комбикорм.пром-сть. - 1997. - № 1. - С.12-14.
5. Гапонюк О.І. Рациональні параметри аспіраційних систем. // Зерно і хліб. - 1997. - № 1. - С. 32-33.
6. Гапонюк О.І. Удосконалення аспіраційного обладнання. // Харч. і перероб.пром-сть. - 1997. - № 4. - С.23-24.
7. Гапонюк О.І., Мельник В.В. Удосконалення фільтрів РЦ. // Зерно і хліб. - 1996. - № 4. - С.29-30.
8. Гапонюк О.И., Дмитрук Е.А. Рациональные режимы работы аспирации. // Комбикорм.пром-сть. - 1995. - № 5. - С. 34-36.
9. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Федунец П.Д. Методологические основы расчета систем зерноперерабатывающих предприятий и элеваторов. Обзорная информация. - М., 1991. - 48 с. - (Обзор. информ./ ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов. Сер. «Элеватор. Пром-сть»).
10. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И. Верещинский А.П. Научно-технические пути совершенствования систем обеспыливания комбикормовых заводов. Обзорная информация. М., 1992. - 36 с. (Обзор. информ./ ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов. сер. «Комбикор. пром-сть»).
11. Правила по проектуванню систем аспірації зерноперероблюючої галузі. - К.: Мінсільгосппрод України. 1995. - 190 с.
12. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Касторных Н.Г. Противоточное обеспыливание поворотных кругов через самотеки зерна. // Мукомол.-элеват. и комбикорм. пром-сть. - 1987. № 10. - С.31-33.
13. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Бабич М.Б. Аспирация площадок для приема зерна. Хлебопродукты. - 1989. - № 6. - С. 40-43.
14. Метод расчета аспирационных сетей. / Е.А. Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.В. Василишин, А.П. Несмелов. // Комбикорм. пром-сть. - 1989. - № 6.-С.39-41.
15. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Василишин М.В. Основные аэродинамические характеристики укрытий. // Хлебопродукты. - 1990.- № 4. - С. 19-21.
16. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Кононова Р.В. Чистота воздушно-го бассейна. // Комбикорм. пром-сть. -1990. - № 4.- С. 43-44.
17. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Василишин М.В., Кононова Р.В. Нормирование вредных выбросов в атмосферу зоны экологической чистоты воздушного бассейна. -М., 1990.-№11.- (Обзор. информ./ ЦНИИТЭИ

Хлебопродуктов. сер. "Комбикорм. пром-сть").

18. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Даниченко Н.В. Расчет параметров функционирования систем аспирации на участке приема зерна. // Хлебопродукты. - 1990. - № 2. - С. 10-20.

19. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Василишин М.В. Математическая модель аэродинамических процессов функционирования норий. // Сб. тр. / ВИНТИЭИ, - М., - 1990. - Вып. 5. - С. 135.

20. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Кононова Р.В., Василишин М.В. Исследование процессов аспирации нории. Информ. сборник научно-техн. достижения и передовой опыт в отрасли хлебопродуктов. Вып. 2. - М., 1991. - С. 7-9.-(ЦНИИТЭИ Хлебопродуктов).

21. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Василишин М.В., Верещинский А.П. Новое в проектировании аспирационных систем. // Комбикорм. пром.- сть. - 1991. - №3. - С. 58 - 60.

22. Алгоритм расчета аэродинамических характеристик вертикального гравитационного движения зерновоздушных потоков. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, В.В.Краснова, М.Б. Бабич // Пищ. пром.-ность. Межвед. темат. науч. сб.,- 1991. - №37.- С. 40-42.

23. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Василишин М.В. Метод. расчета параметров функционирования протяжных укрытий. //Современные технологии перерабатывающих предприятий: Сб. науч. тр.- К.,1991.-С. 50-55.

24. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Бабич М.Б. Расчет энергетических характеристик самотечного транспорта элеваторов. // Современные технологии перерабатывающих предприятий: Сб. науч. тр. - К., 1991. - С.55-59.

25. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Верещинский А.П. Анализ обобщенных аэродинамических характеристик при противоточном перемещении двухфазных гравитационных систем. //Хим. пром.-ность.-1991.-№9.- С.556.

26. Расчеты систем аспирации при отпуске зернового сырья. / Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко, А.П. Верещинский.// Хлебопродукты. - 1992.-№2.-С.9-11.

27. Совершенствования систем аспирации. / Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко, А.П. Верещинский.// Хлебопродукты. - 1992.- №3. - С. 34.

28. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Бабич М.Б. Методика проектирования систем аспирации зерновых производств. // Хлебопродукты. - 1993.-№2.- С.30.

29. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Верещинский А.П. Оценка герметичности укрытий машин. // Комбикорм. пром.-сть.-1993. -№3.- С. 58 - 60.

30. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Бабич М.Б. Алгоритм расчета аэродинамических характеристик гравитационных материаловоздушных потоков элеваторов. // Известия вузов. Пищ. технология. - 1991. № 3. -

С. 106-108.

31. Дмитрук Е.А., Гапонюк О.И., Верещинский А.П. Анализ межкомпонентного взаимодействия в вертикальных самотеках. // Изв. вузов. Пищ. технология. - 1991. № 3. - С. 108-111.

32. Гапонюк О.И., Дмитрук Е.А., Джума Аль Хуссин. Проблемы совершенствования систем аспирации комбикормовых заводов. - Одесса, 1995. - 8 с. - Деп. в ГИТБ Украины. - № 2607- Ук95.

33. Гапонюк О.И., Дмитрук Е.А., Джума Аль Хуссин. Моделирование процессов эжекции воздуха полидисперсными гравитационными потоками. - Одесса, 1995. - 10с. - Деп. в ГИТБ Украины. - №2609 - Ук95.

34. А.с. №1352081, СССР, МКИЗ Е21 F 5/00, В 65 G21//00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера. / Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин. - № 4066440/22-03; Заявл. 06.05.86; Оpubл. Б.И. - 1987. - №42.

35. А. с. № 1384507. СССР МКИЗ В65 69/18, 11/20. Перегрузочное устройство для сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин, П.Д. Федунец, И.И. Гапонюк.-№4126560/31-11; Заявл. 01.10.86; Оpubл. Б.И.-1988.-№12.

36. А. с. № 1384508. СССР МКИЗ В65 69/18, 11/20. Перегрузочное устройство для сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, П.Д. Федунец. - № 4127492/31-11; Заявл.03.10.86; Оpubл. Б.И.- 1987.- №12.

37. А. с. № 1384794. СССР МКИЗ Е21-5/00, В656 21/00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин.- №4122842/22-03; Заявл. 30.06.86; Оpubл. Б.И.-1987.-№12.

38. А. с. № 1425159. СССР МКИЗ В 65 69/18, 11/20. Перегрузочное устройство для сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, - № 4156532/31-11; Заявл. 03.10.86; Оpubл. Б.И.- 1988. - №35.

39. А. с. № 1504186. СССР МКИЗ В65 69/18. Устройство для перегрузки сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк. - №4333728/31-11; Заявл. 20.10.87; Оpubл. Б.И.-1989.-№35.

40. А. с. № 1507684. СССР МКИЗ В65 11/10. Гравитационный спуск. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк, В.В. Краснова. - № 436371/31-11; Заявл. 01.12.87; Оpubл. Б.И.-1989.-№34.

41. А. с. № 1559203. СССР МКИЗ Е21-5/00, В65 21/00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк. - №4385897/31-03; Заявл. 26.01.88; Оpubл. Б.И.-1990.-;15.

42. А. с. № 1562271. СССР МКИЗ В 65 11/00, 69/18. Устройство для загрузки емкостей сыпучими материалами. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабич, А.П. Верещинский. - № 4417109/30-11; Заявл. 09.03.88; Оpubл. Б.И.-1990.-№17.

43. А. с. № 1585245. СССР МКИЗ В65 11/00, 69/18. Гравитационный спуск. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабич, А.В. Сопрунов.

- №4419040/31-11; Заявл.03.05.88; Оpubл. Б.И.-1990.-№30.
44. А. с. № 1622042. СССР МКИЗ В 08 В 15300, Е21-5/55, В65 21/00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабиц, А.П. Верещинский.- №4476908/12; Заявл. 23.08.88; Оpubл. Б.И.-1991.-№3.
45. А. с. № 162923. СССР МКИЗ В65 65/30, А01-12/54. Загрузочное устройство элеватора. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабиц, А.П. Верещинский.- №4632766/15; Заявл.06.01.89; Оpubл. Б.И.-1990.-№7.
46. А. с. № 1638090. СССР МКИЗ В65 69/187. Устройство для перегрузки сыпучих материалов /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабиц, Р.В. Кононова. - № 4711150/11; Заявл. 27.04.89; Оpubл. Б.И.-1990.-№12.
47. А. с. №1640060. СССР МКИЗ В65 17/36. Способ пылеподавления в ковшом элеваторе и ковшовый элеватор. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин. - № 4691059/03; Заявл. 07.02.89; Оpubл. Б.И.-№13.
48. А. с. № 1643343. СССР МКИЗ В65 11/08. Устройство для гравитационного транспортирования сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабиц, О.И. Гапонюк, Е.В. Петько.-№4415348/11; Заявл. 25.04.88; Оpubл. Б.И.-1990.-№15.
49. А. с. № 1652257. СССР МКИЗ В65 69/18. Устройство для перегрузки сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, А.П. Верещинский. - №4648315/11; Заявл. 09.02.89; Оpubл. Б.И.-1991.-№20.
50. А. с. № 1666396. СССР МКИЗ В65 17/12. Ковшовый элеватор. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин. - № 4730457/03; Заявл. 18.08.89; Оpubл. Б.И.-1991.-№28.
51. А. с. № 1676977. СССР МКИЗ В65 68/18, 11/06. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко. - № 4741488/11; Заявл. 07.-8.89; Оpubл. Б.И.-1991.-№34.
52. А. с. № 1678729. СССР МКИЗ В65 69/18. Устройство для аспирации мест загрузки сыпучих материалов в бункер. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко. - № 4744366/13; Заявл. 29.09.89; Оpubл. Б. И. -1991.-№35.
53. А. с. № 1699887. СССР МКИЗ В65 69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко, М.Б. Бабиц. - №4684250/11; Заявл. 27.04.89; Оpubл. Б. И.-1991.-№47.
54. А. с. № 1712280. СССР МКИЗ В65 69/18, 65/30. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабиц, О.И. Гапонюк, Е.А. Банит, Р.В. Кононова. - №4703491/11; Заявл. 08.06.90; Оpubл. Б.И.-1991.-№6.
55. А. с. № 1713874. СССР МКИЗ В65 С69/18. Распределительно-аспирационное устройство сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, А.П. Верещинский. - №4744977/13; Заявл.29.11.89; Оpubл.

Б.И.-1991.-№7.

56. А. с. № 1742187. СССР МКИЗ В65 С69/18. Способ перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк, И.М. Петровский. - №4786721/13; Заявл. 29.01.90; Оpubл. Б.И.-1992.-№23.

57. А. с. № 1744007. СССР МКИЗ В65 С17/36. Грузонесущий орган ковшового элеватора. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин. - № 4694686/03; Заявл.06.02.89; Оpubл. Б.И.-1992.-№22.

58. А. с. № 1749138. СССР МКИЗ В65 С69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк. - №4741366/11; Заявл. 07.08.90; Оpubл. Б.И. - 1992.-№27.

59. А. с. № 1752697. СССР МКИЗ В65 С69/18. Способ аспирации протяженных укрытий транспортно-технологической линии. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин.-№4685438/11; Заявл.07.02.89; Оpubл. Б.И.-1992.-№29.

60. А. с. № 1761650. СССР МКИЗ В65 С69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабич, А.П. Верещинский.- №4825104/11; Заявл 02.04.90; Оpubл. Б.И.-1992.-№34.

61. А. с. № 1765088. СССР МКИЗ В65 С69318. Способ аспирации при импульсной загрузке сыпучим материалом емкостей. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, А.П. Верещинский. - № 4681357/11; Заявл.18.04.89; Оpubл. Б.И.-1992.-№36.

62. А. с. № 1766806. СССР МКИЗ В65 G69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко. - №4787565/11; Заявл. 22.12.89; Оpubл. Б.И.-1992.-№37.

63. А. с. № 1768243. СССР МКИЗ В01 Д45/14. Вентилятор-пылеуловитель. /Е.А. Дмитрук, М.Б. Бабич, О.И. Гапонюк. - №4741481/26№ Заявл. 29.09.89; Оpubл. Б.И.-1992.-№38.

64. А. с. № 17183106. СССР МКИЗ С. Устройство транспортирования сыпучих материалов. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, А.П. Верещинский. - Б.И.-1992.-№ 29.

65. А. с. № 1773831. СССР МКИЗ В65 G69/16. Устройство для загрузки емкости сыпучим материалом. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.Б. Бабич, И.М. Петровский.- №4807787/11; Заявл.02.04.90; Оpubл. Б.И.-1992.- №41.

66. А. с. № 1776612. СССР МКИЗ В1Е29. Ковшовый элеватор. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, М.В. Василишин. - № 4646137/03; Заявл. 06.02.89; Оpubл. Б.И.-1992.-№43.

67. А. с. № 1782901. СССР МКИЗ В65 G 69/18. Способ аспирации загружаемого сыпучим материалом приемного бункера и устройство для его осуществления. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко, И.М. Петровский. - № 4855766/11; Заявл. 01.08.90; Оpubл. Б.И.-1992. - №47.

68. А. с. № 1785978. СССР МКИЗ В65 G 69/18. Устройство для перегрузки зернового сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко, Р.В. Коконова. - №4741465/11; Заявл.02.08.89;

Опубл. Б.И.-1993.- №1.

69. А. с. № 1808805. СССР МКІЗ В65 G69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, Н.В. Даниченко, И.М. Петровский. - №4788796/11; Заявл. 05.02.90; Опубл. Б.И.-1993.-№14.

70. А. с. № 1832105. СССР МКІЗ В65 G 65/30. Способ аспирации транспортно-технологической линии с самотечным транспортом. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, А.П. Верещинский. - № 4748535/11; Заявл. 16.10.89; Опубл. Б.И.-1993.-№29.

71. А. с. № 1832108. СССР МКІЗ В65 G 69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала. /Е.А. Дмитрук, О.И. Гапонюк, А.П. Верещинский. - № 4864209/11; Заявл. 07.09.90; Опубл. Б.И.-1993.-№29.

Умовні позначення

U, V - відповідно швидкість сипких частинок та повітря; g - прискорення вільного падіння; V_S - швидкість витання сипких частинок; G - масова продуктивність сипкого потоку; Q - об'ємна продуктивність ППП; B, k_e - ширина та еквівалентна шорсткість поверхні щільного МП; R_r , S - гідравлічний радіус та площа поперечного перерізу потоку; ρ - густина; H - тиск повітря; m - число фракцій сипкого середовища; α , L, D, F - відповідно кут нахилу, довжина, діаметр та площа поперечного перерізу самоплива; f_T , λ_a , λ_B , λ_{Π} , λ_M , λ_r , ξ - відповідно коефіцієнти тертя щільного потоку; взаємодії повітря з поверхнею щільного потоку; взаємодії повітря з поверхнею самопливу; взаємодії незв'язаних частинок з поверхнею щільного МП; взаємодії незв'язаних частинок з поверхнею самопливу; взаємодії певної фракції незв'язаних частинок з іншими фракціями сипкового середовища; опору повітряного потоку; β_{Π} - діаметральний кут ширини щільного потоку; d_e - еквівалентний діаметр частинок; μ - об'ємна концентрація; V_{ϕ} - фільтраційна швидкість повітря; τ_w - питома продуктивність МПП; N - потужність; $k_{\text{ш}}$ - коефіцієнт зміни швидкості сипких частинок у коліні; k_6 - коефіцієнт опору ежекційних течій в МВП; $k_{\text{нм}}$ - коефіцієнт опору нещільностей обладнання; ϵ_M - коефіцієнт опору обладнання. **Індекси:** п - щільний шар; г - незв'язані частинки; м - матеріалопровід; і - фракція сипкого середовища; в - повітря; о, к - відповідно початок і кінець матеріалопровода; с - самоплив; з - ланка завантаження, р - ланка розвантаження, н - нещільності; тр, тх - тяговий орган робочої і холостої гілки транспортера; д - ділянка; л - ланка; а - аспірація; у - укріття; ф - фільтрація.

Аннотация. Гапонюк О.И.

обеспыливания зерноперерабатывающих предприятий. диссертация на соискание научной степени доктора технических наук по специальности 05.18.12 - процессы и аппараты пищевых производств, Одесская государственная академия пищевых технологий, Одесса, 1997 г. Защищаются 34 научные работы и 37 авторских свидетельств, которые содержат теоретические, экспериментальные исследования процессов пылеобразования и обеспыливания зерноперерабатывающих производств. Показано, что основой создания новых СЗ является множество средств воздействия на источники пылеобразования, которые находятся в заданных отношениях, реализуют способы устранения избыточного давления путем совмещения обеспыливания с транспортными и технологическими операциями. Выполнено промышленное внедрение комплексных обеспыливающих установок, а также приведены данные об их эффективности.

Annotation. Gaponyuk O.I. The principles of the theory and the practice of dust catching systems of grain processing enterprises. The thesis is submitted for a doctor's degree of technical sciences on the speciality 05.18.12 «The processes and apparatus of food productions». Odessa State Academy of Food Technologies, Odessa, 1997. Thirty three scientific papers and thirty seven author's certificates which include theoretical and experimental investigations of dust-making and dust catching of grain processing productions are defended. It is shown that the basis of the creation of the new dust catching systems are plenty of means of influence on the dust-making sources which are in the given relations, realize the methods of eliminating of excessive pressure by combining of dust catching with transport and technological operations. Industrial introduction of the complex dust-catching installations was carried out and the information about their efficiency was given.

Ключові слова: джерела пилоутворення, системи знепилення, зернові виробництва, транспортно-технологічна лінія.