

Автореф.
В 31

НА

ОДЕСЬКИЙ ТЕХНОЛОГІЧНИЙ ІНСТИТУТ ХАРЧОВОЇ ПРОМИСЛОВОСТІ
імені М.В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукопису

ВЕРЕЩІНСЬКИЙ ОЛЕКСАНДР ПАВЛОВИЧ

ВИКОРИСТАННЯ ЕЖЕКЦІЙНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ
БАГАТОЛАНКОВИХ ГРАВІТАЦІЙНИХ МАТЕРІАЛОПРОВІДІВ
В АСПІРАЦІЙНИХ ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ
СИСТЕМАХ ЕЛЕВАТОРІВ

Фак 05.18.12 -- процеси, машини та агрегати
харчових виробництв

А в т о р е ф е р а т
дисертації на здобуття наукового отупенню
кандидата технічних наук

Одеса - 1994

Робота виконана в Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім. М.В.Домоносова.

Науковий керівник:

доктор технічних наук
професор Дмитрук С.А.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук,
професор Дударев І.Р.

кандидат технічних наук,
доцент Гросул Л.Г.

Провідна установа: Київський інститут Промзернопроект

Захист відбудеться "24" червня 1994 р. о 10³⁰ год.
на засіданні спеціалізованої ради К 068.35.02 при Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім.М.В.Домоносова,
270039, м.Одеса, вул. Свердлова, 112.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці Одеського технологічного інституту харчової промисловості ім.М.В.Домоносова.

Автореферат розісланий "20" травня 1994 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
доктор технічних наук,
член-кореспондент

ОНАХТ

04.07.11

Використання ежечіт



v017111

Карнаментово Л. І.

41

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. При переробці сипучих матеріалів виділення пилу обумовлюється відносністю руху повітря і матеріалу, до складу якого входить мілкодисперсна фракція. На елеваторах зазначені процеси найінтенсивніше проявляються при функціонуванні гравітаційного транспорту, представленого переважно багатоланковими матеріалопроводами. Існуюча методична і нормативно-технічна база проектування аспіраційних мереж не дозволяє обґрунтовано враховувати дію потоків багатоланкових матеріалопроводів на повітряне середовище аспіраційних транспортно-технологічних систем (АТТС). Зазначене являється причиною незадовільного знепилення АТТС і вказує на необхідність вивчення закономірностей процесів гравітаційного транспорту в багатоланкових матеріалопроводах з послідовним введенням результатів в практику проектування і експлуатацію АТТС.

Представлені дослідження виконувались згідно з основними напрямками наукової діяльності ОТІХІ ім. М.В.Ломоносова і науково-дослідницькою роботою "Вдосконалити технічні засоби забезпечення екологічно чистих вибухобезпечних процесів приймання сировини і відпуску готової продукції для комбикормових виробництв" на замовлення Міністерства хлібопродуктів України.

Метою роботи є інтенсифікація знепилення АТТС елеваторів на основі використання ежекційних властивостей потоків багатоланкових гравітаційних матеріалопроводів. Досягненню мети передувало рішення слідуючих задач: проведення якісного і кількісного аналізу руху матеріало-повітряних потоків багатоланкових матеріалопроводів; розробка математичних моделей процесів гравітаційного транспорту матеріало-повітряних потоків; розробка методів реалізації математичних моделей і програм їх розрахунку; експериментальне визначення невідомих коефіцієнтів і величин розроблених математичних моделей; перевірка адекватності математичних моделей результатам лабораторних досліджень і виробничої апробації; розробка методик розрахунку аеродинамічних параметрів аспіраційних відборів АТТС елеваторів.

Наукова новизна. Вперше на основі теорії енергопередачі досліджені аеродинамічні та кінематичні характеристики потоків багатоланкових матеріалопроводів при гравітаційному транспортуванні зерна пшениці, кукурудзи, проса; розроблені науково-обґрунтовані методи розрахунку параметрів аспіраційних відборів АТТС елеваторів, які враховують аеродинамічні зв'язки між укриттям машин і ежекцій-



ні властивості сипучого матеріалу в гравітаційних багатоланкових матеріалопроводах, у тому числі з використанням енергії падаючого матеріалу для формування і транспортування аспіраційних потоків повітря; обґрунтовані і запропоновані методи реалізації розроблених методик на базі математичних моделей процесів руху матеріалоповітряних потоків АТТС – розрахунковий і графсаналітичний.

Практична цінність роботи полягає в розробці методик розрахунку аеродинамічних параметрів аспіраційних відборів АТТС елеваторів, а також засобів та пристроїв, які забезпечують доцільні режими функціонування матеріалоповітряних потоків гравітаційного транспорту. Розроблені математичні моделі руху матеріалоповітряних потоків при необхідності можуть бути використані для рішення задач оптимізації процесів знепилення АТТС. Використання результатів роботи на підприємствах галузі дозволило отримати окрім соціального і економічного ефекту, який полягає в зменшенні кількості аспіраційних мереж, зменшенні їх матеріало- і енергоємності в середньому на 30 %, підвищенню надійності роботи.

Апробація роботи. Основні положення роботи доповідались і обговорювались на Всесоюзній науково-практичній конференції "Вчені і спеціалісти в рішенні соціально-економічних проблем країни" (Ташкент, 1991 р.), 7-й Всесоюзній конференції "Математичні методи в хімії" (Москва, 1991 р.), 52-й ювілейній науковій конференції, присвяченій 90-річчю ОТІХП ім.М.В.Ломоносова (Одеса, 1992 р.), 53-й науковій конференції ОТІХП ім.М.В.Ломоносова (Одеса, 1993 р.), міжнародній конференції "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчовій та переробній промисловості" (Київ, 1993 р.).

На захист виносяться такі наукові положення: математичні моделі процесів гравітаційного транспорту матеріалоповітряних потоків багатоланкових матеріалопроводів; результати вивчення аеродинамічних і кінематичних характеристик при переміщенні матеріалоповітряних потоків багатоланкових матеріалопроводів; синтез аеродинамічної характеристики потоків багатоланкового матеріалопроводу на базі аеродинамічних характеристик потоків його елементів.

Структура та об'єм роботи. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох глав, висновків і рекомендацій, списку літератури і додатків. Робота викладена на 194 сторінках машинописного тексту, містить 42 малюнки, 8 таблиць і 4 додатки. Список

літератури містить 140 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У першій главі проведено аналіз системоутворюючих відносин АТТС, розглянуто особливості гравітаційного транспорту як елемента АТТС, визначено його функції, процеси і параметри. На основі науково-технічної літератури виконаний аналіз досліджень закономірностей процесів гравітаційного транспорту. З позиції ефективності знепилення АТТС розглянуто сучасний стан теорії і практики проектування і розрахунку аспіраційних мереж.

Приймаючи до уваги виконаний аналіз, а також результати досліджень ОТІХП ім.М.В.Ломоносова, ВНДІЗ, Укр.філії ВНДІКП, ЦНДІПромзернопроект було встановлено: існуючі аспіраційні мережі працюють неефективно; причиною незадовільної роботи аспіраційних мереж є недосконаленість методик розрахунку і проектування, які залишають поза увагою аеродинамічні зв'язки гравітаційного транспорту; для інтенсифікації процесів знепилення АТТС необхідно вивчити, врахувати і використовувати при створенні та експлуатації аспіраційних мереж закономірності руху матеріало-повітряних потоків гравітаційного транспорту, представленого переважно багатоланковими матеріалопроводами. На основі зазначеного було визначено напрям і зміст подальших досліджень.

У другій главі на основі якісного аналізу процесів гравітаційного транспорту була розроблена класифікація режимів руху його потоків. У ланках матеріалопроводів рух матеріалу можливий у зв'язаному, незв'язаному та перехідному режимах, що зумовлюється кутом нахилу α до горизонту кожної з ланок. У колінах матеріалопроводів матеріал може зазнавати режиму ударної взаємодії, обтікання чи змішаної взаємодії. Повітряне середовище у матеріалопроводах може рухатися в прямоточному чи протиточному режимах по відношенню до матеріалу або перебувати в режимі повної герметизації. На базі даної класифікації визначені три види взаємодії між потоками матеріалу і повітря: взаємодія по вільній поверхні шару матеріалу, об'ємна взаємодія і змішана. Для кожної з них виявлено основні закономірності міжфазового енергообміну.

Розробка схем руху матеріалу і повітря дозволила визначити внутрішні і зовнішні зв'язки процесу, а також сили, що діють на потоки у багатоланкових матеріалопроводах. У ланках матеріалопроводу на потік матеріалу діють рушійна складова сили тяжіння F_g , сила аеродинамічної взаємодії F_a , сила взаємодії з поверхнею

ланки $\mathcal{F}_T$, сила опору, викликаного взаємодією частинок матеріалу між собою $\mathcal{F}_A$. У колінах крім перерахованих сил діють сили взаємодії матеріалу з перпоною, утвореною стінками нижчележачої ланки. Потік повітря зазнає дії з боку сил тиску у вхідному та вихідному перерізах матеріалопроводу $\mathcal{F}_{H_0}$, $\mathcal{F}_{H_K}$, сили аеродинамічної взаємодії з матеріалом $\mathcal{F}_a$, сил аеродинамічного опору на вході в матеріалопровід і виході з нього $\mathcal{F}_{Bx}$, $\mathcal{F}_{B_{Kx}}$, сили гідравлічного тертя по вільній поверхні ланок $\mathcal{F}_T$, аеродинамічних сил у колінах матеріалопроводу $\mathcal{F}_{AH_0}$.

На основі схем руху потоків, виявлених закономірностей та сил представлений формалізований опис зазначених процесів руху в виді детермінованих математичних моделей. При моделюванні прийняті наступні допущення: ланки матеріалопроводів в порівнянні з розмірами частинок матеріалу мають безкінечно більшу довжину; в ланках матеріалопроводу матеріало-повітряні потоки рухаються вздовж осі ланки, з якою співпадає вісь X , а проекції швидкостей матеріалу і повітря на осі X, Y, Z дорівнюють: $u_x \neq 0; u_y = 0; u_z = 0;$
 $v_x \neq 0; v_y = 0; v_z = 0$ зміна питомої ваги повітря по довжині матеріалопроводу незначна, тобто $\rho_0 = \text{const}$; рух потоків відбувається в сталому режимі; відношення розмірів частинок до діаметра матеріалопроводу незначне; потоки ізотермічні; в колінах матеріалопроводу відбувається миттєва зміна величини і напрямку векторів швидкостей матеріалу і повітря.

Узагальнена математична модель (І) відображає найбільш загальний (перехідний) режим функціонування матеріалопотоку у багатоланковому матеріалопроводі з n -числом ланок:

[illegible]

де K — коефіцієнт пропорційності;

G і Q - відповідно, продуктивності потоку матеріалу і потоку

повітря, кг/с;

$\dot{V}_{вх}$ і $\dot{V}_{вих}$ – швидкості потоку повітря у вхідному і вихідному перерізах матеріалопроводу, м/с;

u_1 і u_k – швидкості потоку матеріалу у вхідному і вихідному перерізах ланки, м/с;

k – коефіцієнт зміни швидкості матеріалу в коліні.

Рух матеріалу, представлений парами рівнянь, записаних на основі другого закону Ньютона для зв'язаної та незв'язаної частин гетерогенного матеріалопотоку, відповідно для кожної з n числа ланок матеріалопроводу. Зв'язок між рівняннями, що описують рух матеріалу у сусідніх ланках, проводиться шляхом введення коефіцієнта зміни швидкості матеріалопотоку у коліні k . Співвідношення між частинами гетерогенного матеріалопотоку проводиться за допомогою коефіцієнта пропорційності K . Рівняння руху потоку повітря отримано на основі теореми про зміну кінетичної енергії.

При значенні $0 < K < 1$ математична модель відображає перехідний режим руху матеріалопотоку, при $K = 1$ – зв'язаний, при $K = 0$ – незв'язаний режим.

Для подальшої реалізації узагальненої математичної моделі (I) кожному з її складових було представлено в параметричному вигляді. Сили аеродинамічної взаємодії матеріалу і повітря прийняті прямопропорційними квадрату відносної швидкості обтікання фаз $u-v$ і виражені: при зв'язаному русі матеріалу за допомогою площі шорсткуватої поверхні матеріалу і коефіцієнта енергопередачі; при незв'язаному – шляхом використання швидкості витання частинок матеріалу, розрахованої за формулою, запропонованою Г.А.Васильєвою. Сила взаємодії зв'язаної частини матеріалу з поверхнею ланки описана з урахуванням зміни величини коефіцієнта тертя $f_{тр}$ в залежності від зміни напруги зсуву σ і швидкості матеріалу u . Сили взаємодії частинок між собою, а при незв'язаному режимі руху матеріалу і сила взаємодії матеріалу з поверхнею ланки в відповідності з дослідженнями М.А.Кільчевського, М.П.Володіна, прийняті прямопропорційними швидкості матеріалу u . Сила гідравлічного тертя повітря об вільну поверхню матеріалу при будь-якому режимі руху матеріалу записана як добуток площі вільної поверхні і величини дотичних напруг τ_0 . Сили місцевих опорів повітряному потоку викликані входом у матеріалопровід і виходом з нього описані за допомогою залежності Дарсі-Вейсбаха з використанням коефіцієнтів аеродинамічного опору входу в матеріалопровід ξ_0 і виходу з нього ξ_k . Сумарні сили, які

діють із повітряний потік в коліні матеріалопроводу, описані з використанням величини зміни повного тиску повітря в коліні ΔH_0 . Для замкнення системи рівнянь, що містять складові, відображаючі зв'язаний режим руху матеріалу, визначення ширини вільної поверхні матеріалопотоку B_x проводилося за допомогою трансцендентного рівняння (2) з використанням центрального кута α_x між відрізками, які з'єднують уявний центр поперечного перерізу ланки з граничними точками дотику матеріалопотоку і стінкою ланки:

$$\alpha_x - \sin \alpha_x = \frac{8 \kappa G}{\rho_T u_{38} D^2} \quad (2)$$

де ρ_T – насипна маса матеріалу, кг/м^3 ;

D – діаметр ланок, м.

Елеваторні матеріалопроводи характеризуються багатоваріантністю конструктивних особливостей, що при математичному опису руху матеріало-повітряних потоків потребує складання математичних моделей в параметричному вигляді для кожного випадку конструкції матеріалопроводу. Використання узагальненої математичної моделі (І), представлених її складових в параметричному вигляді дозволяє отримувати математичні моделі в параметричному вигляді процесів руху матеріало-повітряних потоків у багатоланкових матеріалопроводах будь-якої конструкції.

Для рішення систем рівнянь математичних моделей прийняті наступні граничні умови:

$$x_1 = 0; \quad u_{(0)1} = u_{01}; \quad \dots \quad x_n = 0; \quad u_{(0)n} = u_{0n} \quad (3)$$

Для числового рішення систем рівнянь математичних моделей було розроблено два методи: розрахунковий і графоаналітичний. Розрахунковий метод реалізовано шляхом використання ітераційних методів, де на кожному кроці ітерації диференціальні рівняння рішались методом Рунге-Кутта, нелінійне алгебраїчне рівняння – методом простої ітерації, а інтеграли, які входять до його складу – методом Ньютона-Котеса. Розрахунок коренів трансцендентного рівняння проводили за методом прямокутників. Обрахунки проводили на ПЕОМ в системі MS DOS за програмами, складеними на мові програмування Фортран 77.

Графо-аналітичний метод рішення систем рівнянь базується на суперпозиції аеродинамічних характеристик виду $\Delta H = f(Q)$ потоків матеріалопроводів та окремих елементів АТТС. Аналіз складових систем рівнянь в параметричному вигляді показує, що визначення залежності $\Delta H = f(Q)$ потоків матеріалопроводу неможливе без з'ясування

функціональних залежностей $U=f(x)$ і $\alpha_x=f(x)$, а це можливо тільки розрахунковим шляхом з використанням як рівнянь руху повітря, так і рівнянь руху матеріалу. В такому випадку найбільш раціональним шляхом реалізації графо-аналітичного методу є попередня побудова номограм аеродинамічних характеристик $\Delta H=f(Q)$ потоків матеріалопроводів по результатах розрахунку на ЕОМ. Аналіз узагальненої математичної моделі (I) та складових її показав, що вид аеродинамічних характеристик $\Delta H=f(Q)$ багатоланкових матеріалопроводів, зокрема, залежить від кількості ланок, їх взаєморозташування та довжини. Вказана особливість значно ускладнює номографування через обширність та велику трудомісткість цієї роботи. Спрощення графо-аналітичного рішення можливе за рахунок введення номограм залежностей $U=f(x)$, розрахованих для ланок з типовими кутами нахилу при значеннях $Q=var$. На базі попередньо отриманих залежностей $\Delta H=f(Q)$ при $U_0=var$, та $U=f(x)$ при $Q=var$ потоків ланок з типовими кутами нахилу α і фіксованими довжинами L розроблено спосіб синтезу аеродинамічних характеристик потоків багатоланкових матеріалопроводів.

Результати числових експериментів, проведених з використанням програм розрахунку математичних моделей, підтвердили якісну відповідність розрахункових і експериментальних даних, однак показали їх суттєву кількісну розбіжність, що викликало необхідність експериментального уточнення коефіцієнта k та величини ΔH_0 .

У третій главі наведені програма і методики експериментальних досліджень, методи обробки експериментальних даних і математичного планування експериментів, схема і опис стендової установки.

Базовими об'єктами досліджень були вибрані режими гравітаційного транспорту у багатоланкових матеріалопроводах трьох видів зернових продуктів з різними аеродинамічними, кінематичними та геометричними характеристиками (пшениця, просо, кукурудза). Стендова установка дозволяла змодельовувати всю сукупність умов функціонування гравітаційного транспорту елеваторів: прямоточні, протиточні та перехідні режими руху повітря при зміні питомої продуктивності матеріалопотоку в межах $280 \dots 450 \text{ кг/см}^2$; довжини ланок приймалися у межах $1 \dots 5 \text{ м}$ з кутами нахилу до горизонту від 36° до 90° ; кути повороту колін приймалися згідно до їх нормалізованих значень, тобто 36° , 45° і 54° при типовому розташуванні у просторі – перехід з вертикалі у нахил, – перехід з нахилу у вертикаль.

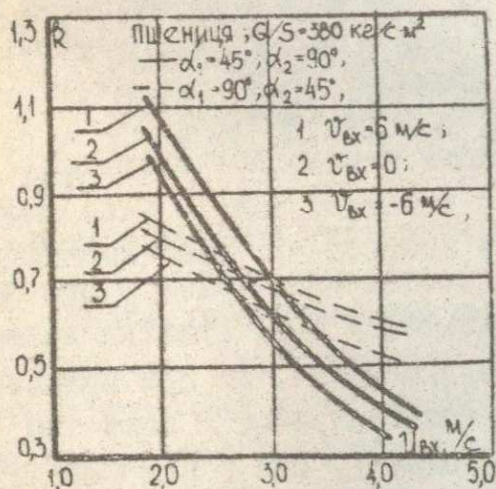
Статистичний аналіз результатів експериментальних досліджень включав визначення грубих похибок, закону розподілу, числа повтор-

ностей дослідів. Метрологічний аналіз використовуваних методів вимірів дозволив встановити, що відносна похибка експериментального визначення параметрів потоків повітря і матеріалу знаходиться в інтервалі 5 % при довірчій ймовірності $P = 0,95$.

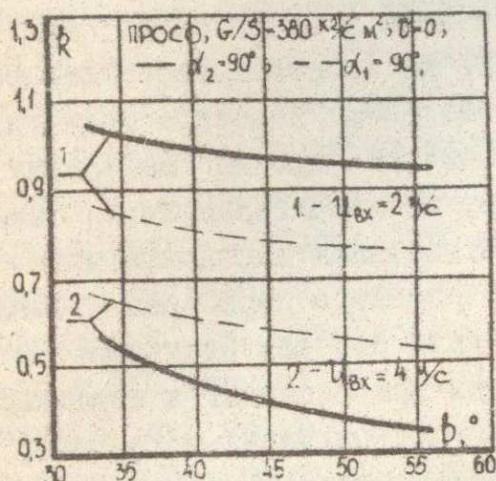
У четвертій главі проведені експериментальні дослідження впливу параметрів потоків та матеріалопроводів на енергетичні і кінематичні характеристики процесів руху матеріало-повітряних потоків в колінах багатоланкових матеріалопроводів, експериментально визначені особливості основних аеродинамічних характеристик потоків багатоланкових матеріалопроводів. Отримані кількісні характеристики підтвердили правомірність висунутих теоретичних висновків. Була виявлена група параметрів, що визначають процеси енергообміну матеріало-повітряних потоків в колінах матеріалопроводів. Такими параметрами для матеріалопотоку є: швидкість потоку матеріалу $u_{вх}$ та потоку повітря $v_{вх}$ у вхідному перерізі коліна, питома продуктивність матеріалопотоку G/S , кут повороту коліна β , та розміщення коліна у просторі. Між коефіцієнтом k і величиною $u_{вх}$ має місце нелінійний зв'язок (мал.1). З ростом $u_{вх}$ значення k зменшується в результаті росту дисипації енергії потоку матеріалу через збільшення пластичних деформацій та подрібнення частинок матеріалу при ударній взаємодії його з перепорою, та через збільшення числа і інтенсивності контактів між частинками при взаємодії обтікання. Зростання величини $v_{вх}$ приводить до зростання k , що обумовлено наявністю міжфазової взаємодії потоків (мал.1). В залежності від співвідношення і напрямку векторів середніх швидкостей руху фаз, повітря здійснює на матеріал гальмування або рушійну дію. Незбалансована зміна площі ударного контакту частинок потоку з перепорою зі зміною величини G/S приводить до існування функціональної залежності $k = f(G/S)$ (мал.2). Характер залежностей $k = f(\beta)$ (мал.3) показує, що зі зменшенням величини β спостерігається зростання k , що не суперечить відомим представленням про взаємодію потоку матеріалу з перепорою. Вплив розміщення коліна у просторі на величину k обумовлений, головним чином, відхиленням потоку матеріалу від напрямку руху, заданого вищележачою ланкою, і взаємодією його з перепорою під кутами, відмінними від величини β (мал.1). Реалізація плану ПФЕ2⁴ по визначенню коефіцієнта k дозволила отримати наступні рівняння регресії:

- при переході коліна з нахилу у вертикаль:

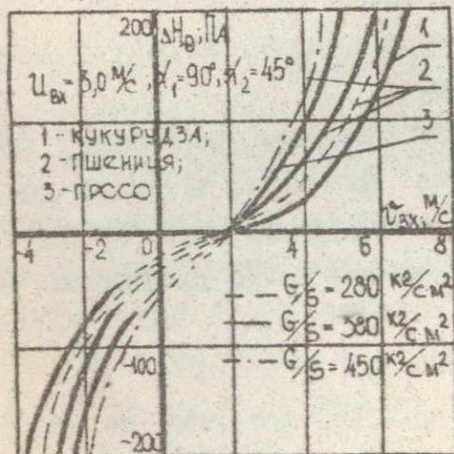
$$k_1 = 1,21 - 1,24 \cdot 10^{-1} u_{вх} + 4,72 \cdot 10^{-3} \beta + 3,16 \cdot 10^{-4} G/S +$$



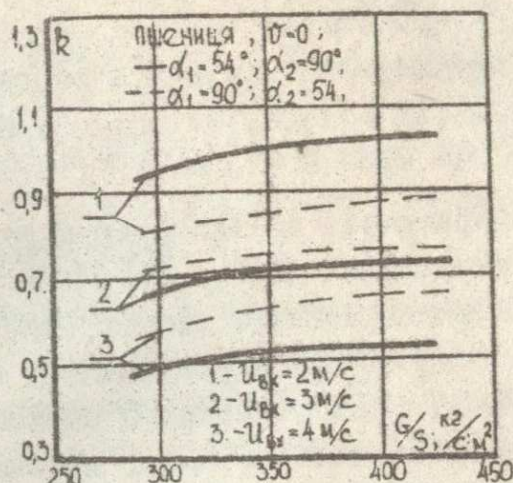
Мал.1. Залежність коефіцієнта k від швидкості матеріалопотоку u



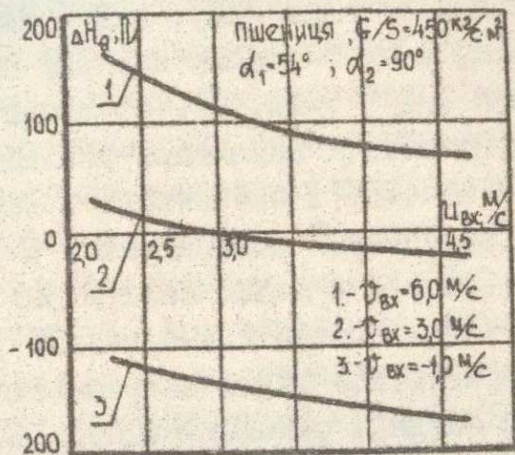
Мал.3. Залежність коефіцієнта k від величини повороту коліна β



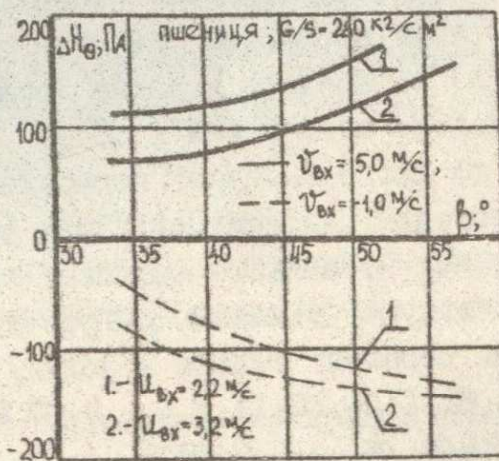
Мал.5. Аеродинамічні характеристики $\Delta H = f(u_{vx})$ потоків у колінах матеріалопроводу



Мал.2. Залежність коефіцієнта k від питомої продуктивності матеріалопотоку G/S



Мал.4. Залежність величини ΔH від швидкості матеріалу u_{vx}



Мал.6. Залежність величини ΔH від величини кута повороту коліна β

$$+ 0,792 \cdot 10^{-3} v_{bx} - 3,54 \cdot 10^{-3} u_{bx} \beta ; \quad (3)$$

- при переході коліна з вертикалі у нахил:

$$k_1 = 1,1 - 1,12 \cdot 10^{-1} u_{bx} - 3,61 \cdot 10^{-3} \beta + 3,23 \cdot 10^{-4} G/s + 6,67 \cdot 10^{-3} v_{bx} , \quad (4)$$

Параметри, що визначають аеродинаміку потоку повітря у колінах, виявилися: u_{bx} , v_{bx} , G/s , β , розміщення коліна у просторі, та еквівалентний діаметр частинок матеріалу d_e . Графіки залежності $\Delta H_g = f(u_{bx})$, представлені на мал. 4, свідчать, що при прямооточних режимах руху повітря з ростом u_{bx} величина ΔH_g може не тільки зменшуватися, але і приймати як додатні, так і від'ємні значення. Характер залежності $\Delta H_g = f(v_{bx})$ підтверджує правильність теоретичних пошуків і не суперечить відомим дослідженням (мал. 5). Збільшення величини G/s приводить до збільшення кількості частинок в одиницю часу, які приймають участь у енергообміні між потоками, а це в будь-якому випадку приводить до зростання абсолютного значення ΔH_g (мал. 5). Зростання значень ΔH_g з ростом величини β здійснюється внаслідок збільшення величини "пробки" матеріалу в місці взаємодії останнього з перпоною, що характеризується зменшеними значеннями коефіцієнта k та збільшенням аеродинамічного опору і потребує додаткових втрат енергії на його переборення (мал. 6). При переході коліна з нахилу у вертикаль процеси руху повітря характеризуються вищою енергомісткістю ніж при переході з вертикалі у нахил завдяки режимам повного поперечного продування матеріалу, що мають місце у першому випадку, де повітря додатково взаємодіє з "решіткою" частинок матеріалу на відміну від другого випадку, де рух відбувається без такої взаємодії. Як видно з графіків, представлених на мал. 5, зерновим матеріалам з меншим значенням d_e характерні більші абсолютні значення ΔH_g повітряного потоку і навпаки, що не суперечить відомим дослідженням.

Числове визначення ΔH_g проведено шляхом реалізації плану ПФЕ²⁵, до якого включені перераховані вище фактори, а також додатково проведені експерименти для розрахунку квадратичного ефекту по фактору v_{bx} , а також виявлені трійні взаємодії, що дозволило отримати наступні рівняння регресії:

$$\begin{aligned} \Delta H_{gr} = & 81,14 - 20,13 u_{bx} - 9,07 v_{bx} + 0,27 G/s - 2,56 v_{bx}^2 + \\ & + 2,26 u_{bx} v_{bx} - 0,69 u_{bx} \beta - 0,09 u_{bx} G/s + 4,01 u_{bx} d_e + \\ & + 1,1 v_{bx} \beta - 0,64 \cdot 10^{-2} \beta G/s + 0,29 \cdot 10^{-2} v_{bx} \beta G/s - \\ & - 11,31 \cdot 10^{-2} v_{bx} \beta d_e \end{aligned} \quad (5)$$

- при переході коліна з вертикалі у нахил:

$$\Delta H_0 = 129,16 + 6,74 v_{bx} + 1,52 \beta - 4,21 v_{bx}^2 - 3,0 u_{bx} v_{bx} - \\ - 1,75 u_{bx} \beta - 0,11 u_{bx} G/S + 2,92 u_{bx} d_e + \\ + 0,11 v_{bx} G/S - 2,84 v_{bx} d_e + 3,18 10^{-1} u_{bx} v_{bx} \beta \quad (6)$$

Статистична оцінка експериментальних даних показала, що рівняння (3 - 6) при довірчій похибці 0,95 і 5 % довірчому інтервалі адекватно описують область експериментування.

Експериментальне вивчення особливостей і закономірностей аеродинамічних характеристик потоків багатоланкових матеріалопроводів підтвердили висунуту гіпотезу про можливість синтезу основної аеродинамічної характеристики потоків матеріалопроводу $\Delta H = f(Q)$ на базі аеродинамічних характеристик потоків їх окремих елементів.

Перевірку адекватності математичних моделей проводили з урахуванням рівнянь (3 - 6) шляхом порівняння розрахункових і експериментальних основних аеродинамічних характеристик потоків $\Delta H = f(Q)$ при різних значеннях параметрів, що відображають роботу гравітаційного транспорту у виробничих умовах. Результати зазначеної перевірки підтвердили достатню схожість розрахункових і реальних даних. Апробація розроблених методик розрахунку аеродинамічних параметрів аспіраційних відборів АТТС на Катеринопільському, Сорокському, Ново-Каховському КХП, Піщанському комбикормовому заводі (Україна), Полоцькому, Пуховичському КХП (Білорусь), Кольцовському, Білогорському КХП (Росія) підтвердила правильність проведених теоретичних пошуків, які дозволили на зазначених підприємствах крім соціального ефекту отримати зменшення кількості аспіраційних мереж, їх матеріало- і енергоємності в середньому на 30 %.

В И С Н О В К И

1. Багатоланкові матеріалопроводи є елементами АТТС елеваторів і їх аеродинамічні зв'язки необхідно враховувати при проектуванні та експлуатації зазначених систем.
2. В роботі вперше на основі теорії енергопередачі були досліджені аеродинамічні характеристики потоків багатоланкових матеріалопроводів при гравітаційному транспортуванні зерна пшениці, проса, кукурудзи.
3. На базі розроблених математичних моделей і експериментальних досліджень рекомендуються розрахунковий та графо-аналітичний методи визначення аеродинамічних характеристик потоків багатоланкових матеріалопроводів.

4. Вивчені та експериментально визначені коефіцієнт зміни швидкості потоку матеріалу k та величина зміни повного тиску ΔH_0 в колінах багатоланкових матеріалопроводів в залежності від параметрів потоків та колін.
5. Розроблені на базі результатів роботи нові методики розрахунку аеродинамічних параметрів АТТС адекватно відображають кількісні характеристики виробничих процесів аспірації.
6. Результати роботи дозволили розробити технічні засоби та пристрої, що дають можливість ціленаправлено формувати матеріалоповітряні потоки АТТС та керувати їх параметрами.
7. Апробація нових методик розрахунку, технічних засобів та пристроїв підтвердила їх доцільність для забезпечення санітарно-гігієнічних умов праці, охорони навколишнього середовища та підвищення пожежовибухобезпеки елеваторів при одночасовому зменшенні матеріало- і енергомісткості аспіраційних мереж в середньому на 30 % за рахунок використання ежекційних властивостей потоків багатоланкових матеріалопроводів.

Основний зміст дисертації викладений у роботах:

1. А.с. СССР № 1562271, В 65 G 69/18. Устройство для загрузки емкостей сыпучими материалами /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский, - № 4417109. Заявл. 09.03.88, опубл. 07.05.90, Б.И. № 17.
2. А.с. СССР № 1622042, В 08 В 15/00. Устройство для аспирации разгрузочной тележки конвейера /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский, - № 4476902. Заявл. 23.08.88, опубл. 23.01.91, Б.И. № 3.
3. А.с. СССР № 1629235, В 65 G 65/30. Загрузочное устройство элеватора /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский, - № 4632766. Заявл. 06.01.89, опубл. 23.02.91, Б.И. № 7.
4. А.с. СССР № 1652257, В 65 G 69/18. Устройство для перегрузки сыпучих материалов /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, - № 4648315. Заявл. 09.02.89, опубл. 30.05.91, Б.И. № 20.
5. А.с. СССР № 1765088, В 65 G 65/30. Способ аспирации при импульсной загрузке сыпучими материалами емкостей /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, - № 4681357. Заявл. 18.04.89, опубл. 30.09.92, Б.И. № 36.

6. А.с. СССР № 1713874, В 65 G 69/18. Распределительно-аспирационное устройство сыпучих материалов /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, - № 4744977. Заявл. 29.09.89, опубл.23.02.92, Б.И. № 7.
7. А.с. СССР № 1832105, В 65 G 65/30. Способ аспирации транспортно-технологической линии с самотечным транспортом /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, - № 4748535. Заявл. 16.10.89, опубл. 07.08.93, Б.И. № 29.
8. А.с. СССР № 1761650, В 65 G 69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, - № 4825104. Заявл. 02.04.90, опубл. 15.09.92, Б.И. № 34.
9. А.с. СССР № 1832108, В 65 G 69/18. Устройство для перегрузки сыпучего материала /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, - № 4864209. Заявл.07.09.90, опубл. 07.08.93, Б.И. № 29.
10. Исходные предпосылки проектирования аспирационных установок с учетом аэродинамических связей транспортно-технологических линий /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.Б.Бабич, А.П.Верещинский, А.В.Сопрунов //Депонированные научные работы. - М.: ВИНТИ, 1988, № 3. - С.170.
11. Метод расчета аспирационных сетей /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, М.В.Василишин, Н.В.Несмелов //Комбикормовая промышленность. - 1989. - № 6. - С.39-41.
12. Аспирационные системы в решении проблем экологии и взрывобезопасности предприятий по хранению и переработке зерна /Е.А.Дмитрук, М.Б.Бабич, М.В.Василишин, А.П.Верещинский //Тез. докл. Всесоюз. научн.-практ.конф. "Ученые и специалисты - в решении социально-экономических проблем страны.-Ташкент,1991. - С.176.
13. Математическая модель аэродинамических процессов функционирования норий /М.В.Василишин, Р.В.Кононова, А.П.Верещинский, //Тез. докл. 7-й Всесоюз. конф. "Математические методы в химии. - Казань, 1991. - С.261.
14. Анализ обобщенных аэродинамических характеристик при противоточном перемещении двухфазных гравитационных систем /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский //Химическая промышленность. - М., 1991. - № 9. - С.28-29.
15. Новое в проектировании аспирационных систем /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, М.В.Василишин, А.П.Верещинский.//Комбикормовая промышленность. - М., 1991. - № 3. - С.58-60.
16. Математическое моделирование процессов функционирования зерно-

- вых самотеков с непрямою продольною осью /Е.А.Дмитрук, А.П.Верещинский, И.М.Петровский //Тез.докл. 52-й юбилейной научн. конф., посвященной 90-летию ОТИП. - Одесса. - 1992. - С.203.
17. Расчет систем аспирации при отпуске зернового сырья. /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, Н.В.Даниченко, М.Б.Бабич //Хлебопродукты. - М., 1992. - № 2. - С.9.
18. Совершенствование систем аспирации /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский, В.А.Прудников //Комбикормовая промышленность. - М., 1992. - № 3. - С.49-51.
19. Научно-технические пути совершенствования аспирационных транспортно-технологическим систем комбикормовых заводов /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский //ЦНИИТЭИхлебопродуктов "Обзорная информация". - М., 1993. - С.36.
20. Оценка герметичности укрытия машин /Е.А.Дмитрук, О.И.Гапонюк, А.П.Верещинский //Комбикормовая промышленность. - М., 1993. - № 3. - С.58-60.
21. Комплексне використання повітря в цілях технології і аспірації на підприємствах системи хлібопродуктів /М.Б.Бабич, А.П.Верещинський //Тез. докл. 53-й наук. конф. ОТИП ім.М.В.Ломоносова. - Одеса, 1993. - С.155.
22. Математичне моделювання процесів функціонування зерно-повітряних потоків у багатоланкових гравітаційних матеріалопроводах /Е.А.Дмитрук, О.І.Гапонюк, О.П.Верещинський //Тез. доп. міжнародної конференції "Розробка та впровадження нових технологій та обладнання у харчовій та переробній промисловості. - Київ, 1993. - С.140.

