

Автор ерр.
У 51

НА

Одеський технологічний інститут харчової промисловості
ім. М.В.Ломоносова



На правах рукопису

Ульяницький Анатолій Володимирович

ОБГРУНТУВАННЯ МІНІМАЛЬНИХ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ
ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМУ ПНЕВМОТРАНСПОРТУВАННІ
СИПЧИХ МАТЕРІАЛІВ

Спеціальність 05.16.12 - процеси, машини
та агрегати харчової промисловості

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Одеса - 1993

Роботу виконано в Одеському технологічному інституті харчової промисловості ім. М.В.Ломоносова.

Науковий керівник - доктор технічних наук
професор Костяк Г.Ф.

Офіційні опоненти - доктор технічних наук,
професор Остапчук М.В.
кандидат технічних наук,
с.н.с. Бернадін О.Ф.

Провідна установа - Одеське виробниче об'єднання
"Елеваторзернопром"

Бахист відбудеться "18" червня 1993р. в 13⁰⁰ год
на засіданні спеціалізованої ради д.068.35.01 при Одеському

Н А

Автореф | v018069
У50 | Ульяницький А.В.

Обґрунтування мінімальних витрат енергії при горизонтальному пневмотранспортуванні сипких 1993

0,00

промисловості ім. М.В.Ломоносова, ІІ2.

в бібліотеці Одеського технологічного інституту промисловості імені М.В.Ломоносова

червня 1993 р.

Б.В.Егоров

ОНАХТ 06.06.12
Обґрунтування мініма



v018069

3

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальності роботи. Основними вимогами, які ставляться перед сучасними технологічними процесами є ресурсо- та енергозбереження. Проте, існуючі технологічні лінії зерноперероблюючих та харчових підприємств, устатковані горизонтальними пневмотранспортними установками, не завжди відповідають цим вимогам. Зокрема, витрати електроенергії на пневматичний транспорт зернопродуктів на млинах складають 35...40% від загальних витрат енергії для виготовлення борошна.

Існуючі теоретичні залежності не дають можливості об'єктивно оцінювати витрати енергії на транспортування повітряних потоків сипких матеріалів і, тим більше, вибирати режими, що забезпечують мінімальні енерговитрати при достатньо надійній швидкості переміщення матеріалу.

Конструктивні рішення пневмоприймальних пристроїв для введення матеріалу в трубопровід не дають можливості впливати на формування матеріалоповітряних потоків і, заздалегідь, приводять до збільшених витрат енергії. Це має особливо велике значення при використанні горизонтальних та нахилених ділянок матеріалопроводів.

Тому, удосконалення методики визначення режимів пневмотранспортування та конструктивних параметрів пневмоустановок, що забезпечать мінімальні витрати енергії при заданій надійності транспортування, є актуальною проблемою.

Метою роботи є наукове обґрунтування засобів, режимів та конструктивних параметрів пневмоприймальних пристроїв, які забезпечують мінімальні витрати енергії на транспортування.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі задачі: обґрунтувати меху зменшення витрат енергії при горизонтальному пневмотранспортуванні зернопродуктів; визначити режими і конструктивні параметри пневмоустановок, що забезпечують мінімальні витрати енергії та надійність транспортування; визначити вимоги та розробити конструкцію експериментальної установки, що дає можливість експериментально знайти оптимальні режими та конструктивні параметри пневмоустановки промислового типу; знайти аналітичні залежності і розробити методику розрахунку швидкості повітря, відповідної мінімальним втратам тиску та енергоспоживанням, зробити виробничу перевірку ефективності роботи запропонованої пневмоприймальної системи.

v 018069
ОНАХТ
БІБЛІОТЕКА

Наукова новизна роботи: теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження можливостей зменшення витрат енергії на пневмотранспортування зернистих продуктів в горизонтальних пневмотранспортних установках; обґрунтування і розробка конструкції пневмоприймального пристрою та встановлення параметрів процесів транспортування, в його використанні, в залежності від режимів руху матеріалоповітряного потоку: вільним льотом, динамі по підстилках, пульсаціями та суцільним потоком; дослідження енергетичних та аеродинамічних характеристик процесів горизонтального пневмотранспорту в залежності від зміни основних параметрів процесу v, v_s, α, ρ, L ; одержання залежностей, дозволяючих розраховувати величину надійно транспортуючої швидкості повітря, відповідної мінімальним втратам тиску та енергоспоживанням, в залежності від початкових параметрів горизонтальних пневмотранспортних установок.

Практичне значення роботи складається з розробки: рекомендацій вибору, розрахунку та експлуатації пневмотранспортних установок горизонтального типу з мінімальними витратами енергії; конструкції пристрою для зведення сипких матеріалів в трубопровод, який забезпечує стійку роботу пневмотранспортної мережі при мінімальних енергоспоживаннях.

Агробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи впроваджені на Сімферопольському комбінаті хлібопродуктів. Зроблено доповіді та обговорено на ІУ Всесоюзній конференції "Механіка сипучих матеріалів" /Одеса, 1980 г./, республіканській конференції молодих вчених та спеціалістів "Наука и практика производству качественных комбикормов" /Рига, 1980 г./, конференції молодих вчених АНДІП "Научные исследования и их практическое использование в комбикормовой промышленности" /Воронеж, 1982 г./, науково-технічних конференціях ОТІП ім.М.В.Ломоносова в 1981... 91 рр. По дисертаційним матеріалам одержано авторське свідоцтво.

На захист вносяться: обґрунтування режимів горизонтального пневмотранспортування зернистих матеріалів, що забезпечують мінімальні витрати енергії; методика визначення швидкості повітря, відповідної мінімуму витрат тиску та енергії.

Публікації. По темі дисертації опубліковано 8 робіт.

Структура і об'єм роботи. Дисертаційна робота складається із вступу, чотирьох розділів, висновків і рекомендацій, списку використаної літератури і додатків. Робота викладена на 188 сто-

рінках машинописного тексту, куди входять 71 рисунок, 3 таблиці та 6 додатків. Список використаної літератури складається з 137 найменувань, в тому числі 10 іноземних.

ЗМІСТ РСЬОТИ

У вступній частині показані ділянки вживання пневматичного транспорту, його переваги та недоліки в порівнянні з механічним транспортом, обґрунтовані практичне значення та актуальність роботи. Сформульовані цілі та задачі досліджень, а також їх наукова новизна.

В першому розділі розглянуті існуючі уявлення про процеси пневматичного транспортування сипких матеріалів та про методику розрахунку основних аеродинамічних параметрів пневмотранспортних установок.

Приведені існуючі діаграми фазового перебування сипкої маси, побудовані різними дослідниками по експериментальним даним, одержаним на різних експериментальних установках. Аналізовано засоби дослідження горизонтального пневмотранспорту при різних режимах з допомогою існуючих фазових діаграм.

Розглянуті та аналізовані літературні дані по дослідженню робочої швидкості повітря та її впливу на межу завалу /закупорки матеріалопроводу/ та величину гідравлічного опору процесу транспортування. В результаті такого аналізу виявлено, що до цього часу немає однозначної думки, що до межі зниження робочої швидкості повітря та визначення оптимальних границь її зміни, з точки зору витрат енергії при горизонтальному пневмотранспортуванні сипких матеріалів.

Таким чином, граничні значення швидкості повітря, сдержані Голобурдінім А., Даларалем Г., Жихаревим Е., Зеглером Г., Зарниціним В., Зусвим Ф., Костюком Г., Лобасвим З., Саксом С., Розе В. та іншими, мають значні розбіжності при визначенні необхідної швидкості повітря при пневмотранспортуванні. Так, для зернистих матеріалів - пшениці, ячменю, вівса, сої швидкості повітря змінюються в 1,4...1,8 рази, для пневмотранспортування картопляної крупки - 3,4 разів, а для висівок - в 5,5 раз.

Проте, проведені дослідження підтвердили наявність обґрунтованих передумов в рішенні цієї проблеми та дозволили визначитися в напрямку та змісту досліджень.

У другому розділі викладені вимоги до експериментальної установки для дослідження горизонтального пневмотранспортування сипких матеріалів, описана установка, схема якої показана на рис.1, методика досліджень та обробки експериментальних даних. Приведена таблиця з характеристиками сипких матеріалів, які відрізняються геометричними, фізичними та аеродинамічними параметрами.

Дослідження проводили на експериментальній установці /рис.1/, яка вміщує скляні матеріалопроводи діаметром $D = 0,056$ м, $L = 0,08$ м та довжиною 6,0 м, допоміжне устаткування, вимірочі прилади. Як матеріалопровід застосували також жолоб прямокутного поперечного перерізу з горизонтально установленим пористим перегородкою, яка розділяє жолоб на верхній та нижній канали. Нижній канал для подачі повітря був розділений на окремі відсіки при допомозі поротних клапанів. Передбачена також можливість подачі повітря в канали в різних пропорціях. Як повітрядувну машину було застосовано два послідовно з'єднаних вентилятора високого тиску - ВВТ № 7. Вибір невеликої довжини матеріалопроводу та застосування вентиляторів дозволило мати достатній запас тиску для транспорту суцільним потоком і необхідні витрати повітря для транспортування зільним льотом. Це забезпечило можливість проходження всіх режимів пневмотранспортування на одному і тому ж експериментальному стенді.

В третьому розділі приведені експериментальні дослідження впливу різних конструкцій пневмоприймальних пристроїв та функціональних параметрів транспортування /швидкості, повітря, наванузки, виду продукту, довжини транспортування та інше/ на енергетичні і аеродинамічні характеристики процесу пневмотранспортування. Були досліджені пневмоприймальні пристрої, типу трійник та різні його модифікації /рис.2а,б,в/, які найбільш широко застосовуються.

Аналіз досліджень показав /рис.3а,б,в/ та /рис.4а,б,в/, що дані пневмоприймальні пристрої не забезпечують стійкий режим пневмотранспортування в широких межах зміни продуктивності G переміщуваного матеріалу та швидкості повітря v . Проте, основним їх недоліком є те, що вони не забезпечують транспортування в зоні мінімуму гідравлічного тиску при переміщенні суміші - *Нсум*.

Пошук альтернативних пневмоприймальних пристроїв дозволив розробити таку конструкцію пристрою, яка сприяє усуненню існуючих недоліків. Такою конструкцією є пневмоприймальний пристрій, у в'єсі матеріалопідводячого патрубку якого установлена горизонтально

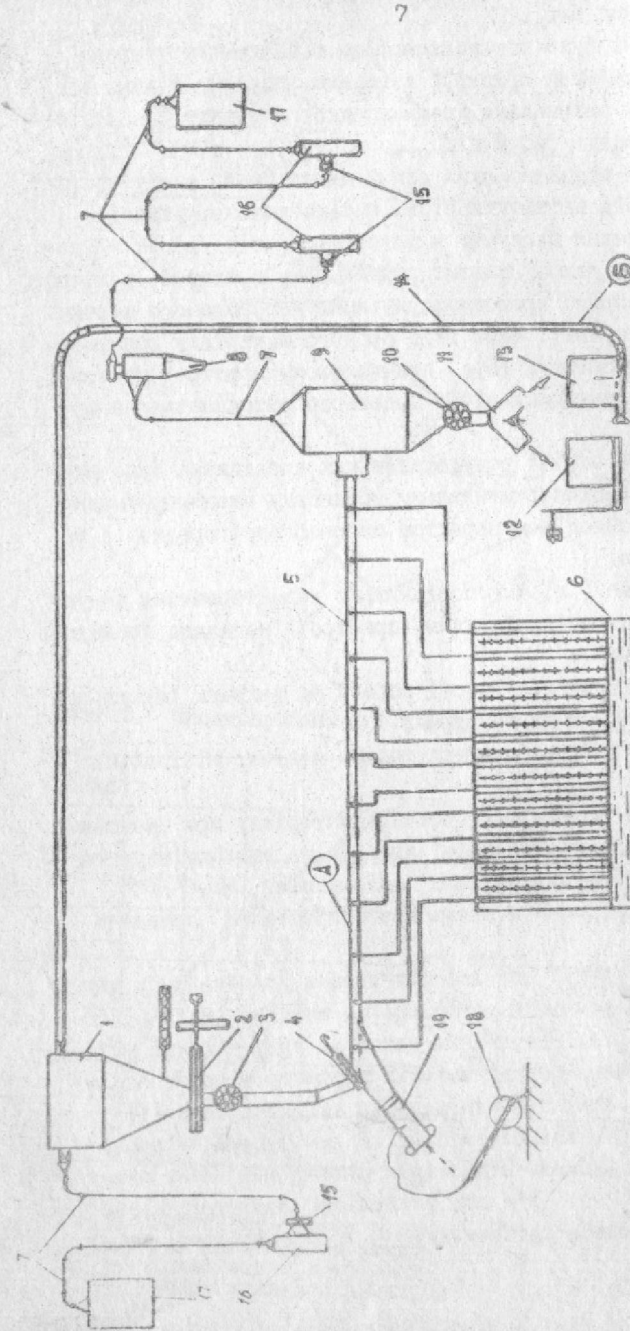


Рис.1. Схема експериментальної установки

- 1 - бункер для збирання матеріалу; 2 - шибер для матеріалу; 3,10 - шкзювка;
 4 - пневмоприймальний пристрій ліній А; 5,14 - матеріалопроводи; 6 - бункер для відділення матеріалу; 11 - перекидний клапан;
 7 - повітрядувний пристрій ліній Б; 8 - циклон; 9 - бункер для подачі матеріалу в ліній Б; 15 - шибери для повітря; 16 - вентилятор;
 12 - терези; 13 - бункер для подачі матеріалу в ліній Б; 15 - шибери для повітря; 16 - вентилятор;
 ВВТ №7; 17 - фільтри; 18 - мікроманометр ММ1; 19 - вимірвальний колектор.

пориста перегородка, а подача повітря може здійснюватись як під перегородку, так і над нею.

При дослідженні було встановлено, що найбільш ефективним виявився пневмоприймальний пристрій з подачею повітря тільки під пористу перегородку, оптимально довжина якої дорівнює 2...3 діаметрам матеріалопроводу /рис.2 г/.

Одночасно було виявлено який вплив мають умови вводу твердої фази в матеріалопровід на ефективність пневмотранспортування. Встановлено, що введення продукту в матеріалопровід /рис.2 г/ повинно здійснюватись в самому пневмоприймальному пристрої, в місці подачі повітря. Це сприяє кращому формуванню направленного потоку матеріалоповітряної суміші. Якщо ввід сипкого матеріалу розміщено в верхній частині самопливу, то в приймальному пристрої утворюється вихор, на підтримання якого додатково витрачається енергія.

Таким чином, на основі результатів цих досліджень було розроблено та вкрито в експериментальну установку пневмоприймальний пристрій з горизонтальною пористою опорною перегородкою і регульовальною заслінкою.

Приведені на рис.3 г, 4 г порівняльні характеристики існуючих та розробленого пневмоприймальних пристроїв наглядно показують такі переваги останнього:

- значне підвищення надійності роботи за рахунок істотного розширення межі функціонування пристрою;
- можливості стійкої роботи пристрою в ділянці мінімальних витрат енергії.

Процес наглядної поведінки частинок матеріалу при зменшенні швидкості повітря в матеріалопроводі знімали на видеоплівку та фотографували. Одна із функціональних залежностей $N_{сум} = f(v)$ на якій визначена межа режимів пневмотранспортування показана на рис.4.

В четвертому розділі описані результати узагальнених даних одержаних на експериментальній установці та порівняння їх з дослідженнями інших авторів. Розроблена також та представлена методика розрахунків основних аеродинамічних параметрів горизонтального пневмотранспортування при мінімальних витратах енергії.

Із аналізу функціональної залежності $N_{сум} = f(v)$ визначили, що мінімум цієї функції відповідає різним значенням швидкості повітря, в залежності від продуктивності пневмоустановки - G , та довжини матеріалопроводу - L в той час, як

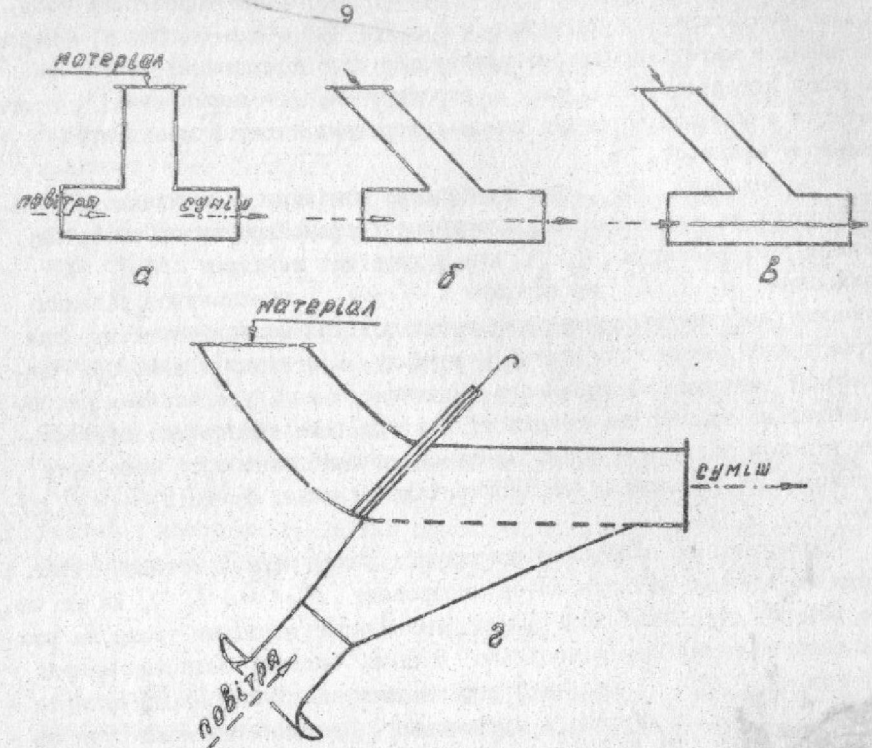


Рис.2. Пневмоприймальні пристрої типу трійник

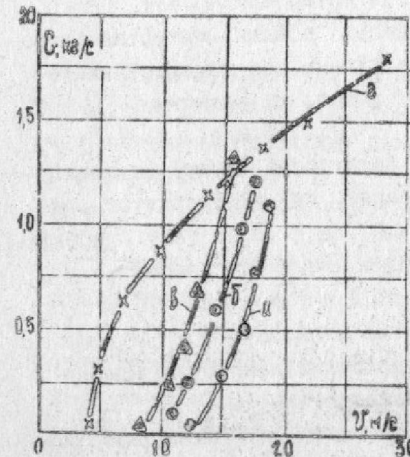


Рис.3. Залежність зміни продуктивності від швидкості повітря та пневмоприймального пристрою

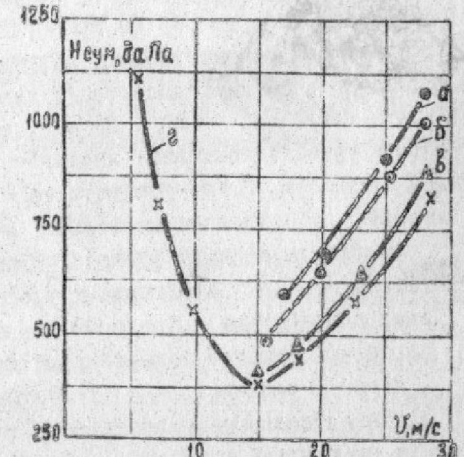


Рис.4. Залежність втрат тиску від швидкості повітря та пневмоприймального пристрою

мінімум функції $H_M = H_{сум} - H_4 = f(v)$ відповідає однаковим швидкостям незалежно від значень G і L , де: $H_{сум}$, H_M - втрати тиску в матеріалопроводі відповідно при переміщенні суміші та чистого матеріалу, Па; H_4 - втрати тиску при переміщенні чистого повітря в матеріалопроводі разом з втратами тиску в пневмоприймальному пристрої, Па.

На величину v_H , яка відповідає мінімуму H_M впливають тільки фізичні та аеродинамічні властивості транспортуемого матеріалу. Незмінність величини v_H , яка відповідає мінімуму H_M та впливання G і L на мінімум $H_{сум}$, пояснюється різними закономірностями впливання швидкості повітря на втрати тиску при переміщенні чистого повітря і матеріалу. В зв'язку з цим, при визначенні величини мінімального значення H_M , узагальнена експериментальна залежність швидкості повітря, яка відповідає мінімальним втратам тиску при горизонтальному пневмотранспорті може бути визначена із одержаних експериментальних даних функції $H_M = f_1(v)$, а не $H_M = f_2(v)$.

Показано, що проводити розрахунок опору мережі методом втрат тиску на одиницю довжини матеріалопроводу $H_M' = R_M \cdot L$, як це часто роблять зарубіжні дослідники, зневажаючи втратами тиску на розгін силкого матеріалу, нецільно. В цьому випадку величина швидкості повітря v_H' , при якій втрати тиску на 1 м довжини матеріалопроводу R_M досягають мінімального значення не може бути однаковими з v_H , при якій втрати тиску досягають мінімуму величини H_M , враховуючи втрати тиску на розгін матеріалу $H_M = H_M' + H_p$. Це обумовлено тим, що H_p не пропорційні довжині матеріалопроводу і, при інших рівних умовах, залежать тільки від швидкості матеріалу. Із приведених в дисертації даних видно, що величини v_H' і v_H - різні. Так, $v_H' = 23$ м/с, а $v_H = 18$ м/с.

В дисертації приведені аналогічні залежності взяті із досліджень Г.Вельшофа, Г.Гастерштадта та Л.Палаї, які підтверджують, що на величину v_H' впливає не тільки G/ω , а і L . Такі дослідження показані в вигляді функції $H_M = R_M \cdot L + H_p$ показали, що v_H не залежать від D в діапазоні 0,05...0,2 м і дорівнює 18 м/с.

Аналіз одержаних даних показав, що на величину v_H впливають такі параметри силкого матеріалу як швидкість вільного загарсання v_s , діаметр частинки d і густина матеріалу ρ_M .

З цілю одержання узагальнених залежностей для інженерних розрахунків результати привели в критеріальній формі, тобто в безроз-

мірних координатах. З урахуванням сил, діючих на тверду частинку, яка рухається в горизонтальному двухфазному потоці, за один із безрозмірних параметрів був прийнятий критерій Фруда $Fr = v_M / \sqrt{g \cdot d}$.

Якщо швидкість матеріалу, при останніх рівних умовах, визнається швидкістю загарсання частинки - то критерій Фруда подаємо в вигляді $Fr = v_s / \sqrt{g \cdot d}$.

Другим безрозмірним параметром прийняли величину, яка враховує відношення сил інерції до сил в'язкості повітря, транспортуемого тверді частинки при швидкості v_H , а також сили ваги - $v_H / (v \cdot g)^{0,33}$.

За дослідженнями Г.Ф.Костюка, аеродинамічною характеристикою силкого матеріалу в більшій мірі може бути $v_{sr} = 1,4 v_s$, а не v_s , де v_{sr} - швидкість загарсання твердої частинки в горизонтальному матеріалопроводі.

Результати обробки експериментальних даних в координатах $v_H / (v \cdot g)^{0,33}$ та $v_{sr} / \sqrt{g \cdot d}$ в логарифмічній сітці приведені в дисертації, звідки одержано, що ця функція апроксимується рівнянням $v_H / (v \cdot g)^{0,33} = 13 (v_{sr} / \sqrt{g \cdot d})^{0,75}$ звідки одержано

$$v_H = 13 (v \cdot g)^{0,33} \cdot (v_{sr} / \sqrt{g \cdot d})^{0,75} \quad /1/$$

Для порівнявання в роботі ця ж залежність приведена, але з урахуванням величини v_s , яка апроксимується рівнянням з якого одержуємо

$$v_H = 34 (v \cdot g)^{0,33} \cdot (v_s / \sqrt{g \cdot d})^{0,55} \quad /2/$$

Після підстановки та перетворень одержаних рівнянь маємо формулу, яка дозволяє з достатньою точністю для інженерних розрахунків визначати необхідну швидкість повітря в горизонтальному матеріалопроводі

$$v_H = 4 + 0,25 \cdot v_s / \sqrt{g \cdot d} \quad /3/$$

На рис.5 приведена залежність зміни втрат тиску при переміщенні суміші / ячміль - повітря / в залежності від швидкості повітря в матеріалопроводі оснащеному розробленим пневмоприймальним пристроєм. Також показана межа зміни режимів пневмотранспортування від швидкості повітря. Тут: ТД - транспорт льотом; Тд - транспорт донами; ТС - транспорт по підстилках; Тп - транспорт поршнями; ТП - транспорт сушілим потоком.

Для порівнявання величин швидкості повітря, відповідних міні-

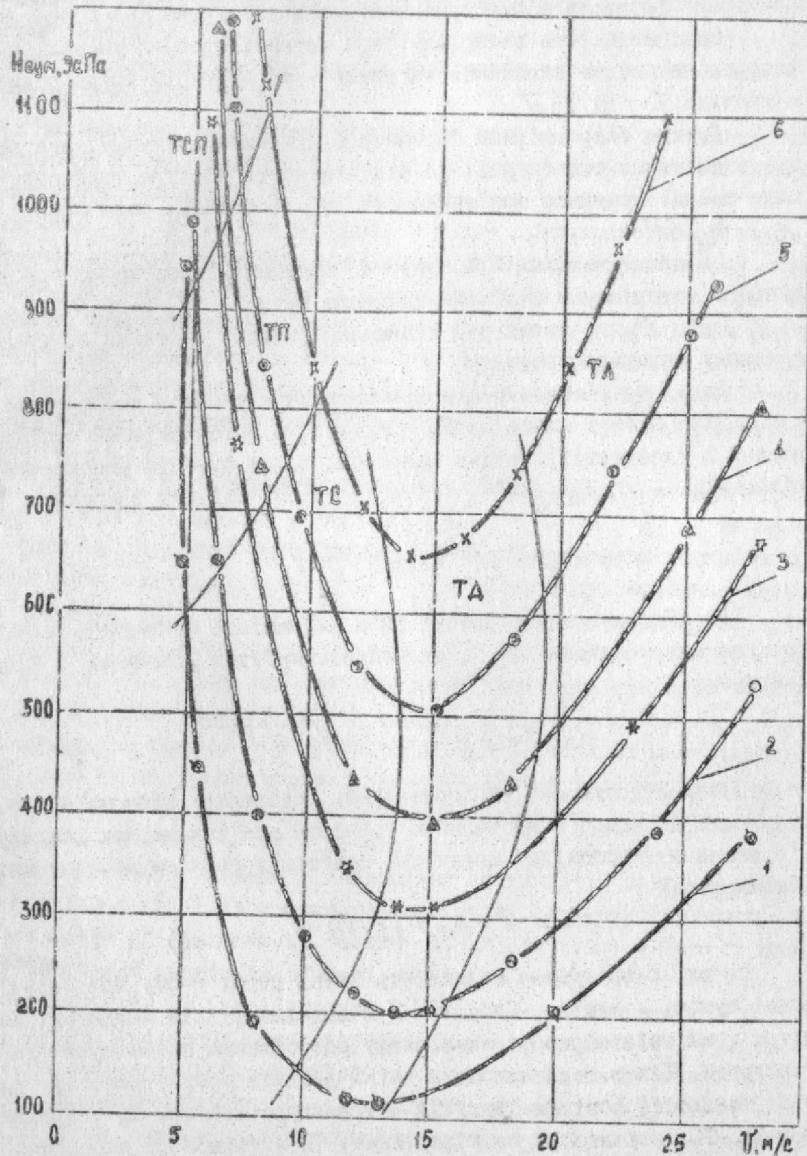


Рис. 5. Зміна $H_{\text{сум}}$ від V в залежності від G при транспортуванні ячменю в матеріалопроводі $D = 80$ мм
 1 - $G = 0,15$ кг/с; 2 - $G = 0,4$; 3 - $G = 0,75$;
 4 - $G = 1,0$; 5 - $G = 1,5$; 6 - $G = 2,0$

муму втрат тиску та визначених експериментальним способом і розрахованим за рівняннями /1/, /2/ і /3/ приведена таблиця I.

Табл. I

№ п/п	Матеріал	v_{s0} м/с	d мм	v_{H_0} м/с	Розрахунок v_H по рівнянням		
					1	2	3
1.	Ячміль	8,0	4,0	14,0	14,4	13,9	14,1
2.	Пшениця	10,0	3,6	18,0	17,8	16,2	17,3
3.	Соя	12,0	7,0	15,5	15,9	14,8	16,5
4.	Картофельна крупа	4,5	1,5	13,5	13,6	13,1	13,4
5.	Бисітки	2,5	1,0	11,0	10,1	10,3	10,3
6.	Полістирол /спінений	3,5	5,0	7,0	7,2	7,4	6,7
7.	Пшениця /Гастерштадт/	9,5	3,8	18,0	16,6	15,5	13,4
8.	Пшениця /Папай/	8,4	4,0	17,0	15,0	14,3	14,6
9.	Пшениця /Вельшоф/	8,8	3,9	16,5	15,1	14,6	15,2
10.	Пшениця /Елатов/	8,4	4,0	19,0	15,0	14,3	14,6
11.	Горох /Папай/	13,6	6,1	15,0	18,1	16,4	18,9

Аналіз приведених в таблиці даних показує, що розрахункові та експериментальні величини v_H мають достатній збіг за виключенням даних, одержаних при транспортуванні пшениці та гороху, де мають місце декілька завищених розбіг в цих величинах, зважаючи, за помилкових значень швидкості записання пшениці /8,4 м/с/ і гороху /13,6 м/с/. Якщо при розрахунку v_H прийняти швидкість записання по даних довідника, то одержані розрахункові величини будуть приблизно рівні експериментальним значенням v_H .

На основі теоретичних передумов, які ілюстровані графіком, приведеним в дисертації, показано, що шукана нами величина швидкості повітря, відповідної мінімуму витрат енергії може бути описана залежністю

$$v_H = v_{H_0} - a(G/\omega)^{17} \quad /4/$$

На основі теорії розмірності цю функцію приведено до рівняння за допомогою введення в неї величини густини повітря ρ . Експериментально визначено, що в зоні мінімальних значень v_H , які знаходяться в режимі переходу пневмотранспорту із зони "по підстилці" в зону транспорту "поршнями", функціональна залежність

$$v_N = \varphi(G/\omega) \quad /5/$$

практично лінійна.

Результати обробки експериментальних даних пневмотранспорту сипких матеріалів, приведені в табл.2, також підтверджують лінійність функції /5/ і дали можливість визначити параметри α і ρ залежності /4/. Так, коефіцієнт α однаковий за величиною для всіх досліджених нами сипких матеріалів і рівний 0,012, а показник степеня $\rho = 1$.

Показано, що другий доданок залежності /4/ повинен включати в себе параметр густини повітря, а не сипкого матеріалу, тому, що базовою величиною цієї залежності являється швидкість повітря v_N , яка залежить від швидкості зависання, на яку вже впливає густина транспортуемого матеріалу, в результаті чого $\alpha = \text{const}$.

Таким чином, розрахункове рівняння для визначення величини швидкості повітря при горизонтальному пневмотранспорті буде мінімальною, приймає вид

$$v_N = v_H - 0,014 \cdot G/\omega \cdot \rho \quad /6/$$

Або, змінюючи величину ρ її значенням для стандартного повітря

$$v_N = v_H - 0,012 G/\omega \quad /7/$$

Формула /6/ справедлива в тих випадках, коли зміною густини повітря можна знехтувати.

Змінюючи v_H в рівнянні /6/ значенням /1/ одержимо

$$v_N = 13(v \cdot g)^{0,33} \cdot (v_{cr}/\sqrt{g \cdot d})^{0,75} - 0,014 G/\omega \cdot \rho \quad /8/$$

а в рівнянні /7/ значенням /3/ -

$$v_N = 4 + 0,25 \cdot v_s/\sqrt{g \cdot d} - 0,012 G/\omega \quad /9/$$

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. В результаті аналізу аналітичних та експериментальних досліджень пневмотранспортних установок горизонтального типу встановлено, що значна частина пневмоприймальних пристроїв не можуть забезпечити стійку роботу пневмотранспортної установки при швидкості повітря, відповідної мінімуму втрат тиску і витрат енергії.

2. Одержані функціональні залежності $H_{сум} = f(v)$ при $G = \text{const}$, для зернистих матеріалів, які відображають границі існування режимів транспортування: транспорт льотом, д-

нами, по підстількам, поршнями та суцільним потоком.

3. Запропоновано і розроблено приймальний пристрій, який дозволяє забезпечити стійку роботу горизонтального пневмотранспорту у всіх його режимах, в тому числі і при мінімальних втратах тиску та витратах енергії.

4. Визначені режими пневмотранспортування, при яких досягається мінімум витрат енергії. Такі режими пневмотранспортування знаходяться в зоні переходу від транспорту "по підстількам" до "поршневого".

5. Одержані аеродинамічні та енергетичні параметри горизонтального пневмотранспорту при всіх можливих режимах, при певних навантаженнях, при певній швидкості повітря.

6. Одержані рівняння для визначення швидкості повітря, при якій опір матеріалопроводу та витрати енергії відповідають мінімальним значенням. При цьому встановлено, що швидкість повітря, яка відповідає мінімуму опору пневмотранспортної мережі більше швидкості повітря, при якій має місце мінімум витрат енергії.

7. Річний економічний ефект від впровадження досліджень на одній пневмотранспортній мережі Сімферопольського комбінату хлібопродуктів складає II тис. 348 крб./в цінах 1987 р./, при цьому економиться 39528 кВт.г електричної енергії.

По темі дисертації опубліковані наступні роботи:

1. Ульяновський А.В., Костюк Г.Ф., Деменко О.Н. Скорость витания гранулированного комбикорма. // Тезисы докл. Респ. конф. молодых ученых и специалистов. Рига, 1980. - С.33.
2. Деменко О.Н., Костюк Г.Ф., Ульяновський А.В. Определение скорости витания частиц цилиндрической формы. // Тезисы докл. IV Всесоюзной конф. "Механика сыпучих материалов", Одесса, 1980. - С.127-128.
3. Ульяновський А.В., Костюк Г.Ф., Деменко О.Н. Пути улучшения работы аэрошолобов. // Тез. докл. IV Всесоюзн. конф. "Механика сыпучих материалов". Одесса, 1980. - С. III.
4. Деменко О.Н., Костюк Г.Ф., Ульяновський А.В. Теоретический анализ процесса пневмотранспортирования. // Совершенствование технологического процесса и экономической эффективности производства комбикормов. - М.: Тр. / ВНИИКИ, 1982. - вып.20, - С.57-59.

5. Ульяницкий А.В., Деменко О.Н., Костюк Г.Ф. Снижение энергоёмкости горизонтального пневмотранспорта. // Совершенствование технологического процесса и экономическая эффективность производства комбикормов. // Тр./ВНИИЦ. - 1982. - Вып. 20. - С. 68-69.
6. Ульяницкий А.В., Костюк Г.Ф., Деменко О.Н. Оптимизация энергозатрат при пневмотранспорте пищевых материалов // Интенсификация процессов и новые технологии переработки, хранения и транспортировки в АПК. - Киев: УМК ВО 1988. - С. 82-87.
7. Деменко О.Н., Костюк Г.Ф., Ульяницкий А.В. Скорость воздуха при минимальных потерях давления горизонтального пневмотранспорта // Изв. вузов. Пид. технология - 1988. - № 2. - С. 109-111.
8. А.с. № 1567476 /СССР/. Устройство для ввода и регулирования подачи сыпучих материалов в трубопровод. Г.Ф.Костюк, О.Н.Деменко, А.В.Ульяницкий, В.Н.Петров - Опубл. в Б.И., 1990, №20.