

Автореферат
с 16.

Одесский технологический институт пищевой промышленности
им. М.В.Ломоносова

На правах рукописи

САЛАМАХА Владимир Иванович

Диссертация 1984

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЕРТИКАЛЬНОГО
ПНЕВМОТРАНСПОРТИРОВАНИЯ ЗЕРНИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОНЦЕНТРАЦИИ

(Применительно к зерноперерабатывающим
предприятиям)

Специальность 05.18.12 - процессы и аппараты
пищевых производств

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
диссертации на соискание ученой
степени кандидата технических наук

Одесса - 1982

3. Установить зону минимальных энергозатрат вертикального процесса пневмотранспортирования.
4. Разработать конструкции пневмоприёмника и способы управления двухкомпонентным потоком, обеспечивающие надежную работу пневмотранспорта в зоне минимальных энергозатрат.
5. Получить инженерную формулу для расчета скорости соответствующей минимальному расходу энергии.

НАУЧНАЯ НОВИЗНА

1. Проведено исследование фазовой диаграммы состояния сыпучей массы при пневмотранспорте свободным полетом, пульсацией и сплошным потоком по результатам экспериментальных исследований на одной и той же экспериментальной установке.
2. Энергоёмкость процесса пневмотранспортирования оценена КПД, а не косвенной величиной потерь давления.
3. Показано, что вид пневмотранспорта - сплошным потоком, пульсацией и свободным полетом - характеризуется не коэффициентом концентрации μ , а плотностью двухкомпонентного потока β , т.е. отношением объема сыпучего материала в материалопроводе к объему материалопровода.

На защиту вносятся следующие положения:

- Установлено, что определяющим параметром пневмотранспорта сплошным потоком, пульсацией и свободным полетом является плотность двухкомпонентного потока, а не коэффициент концентрации.
- Вяснено, что переход одного вида пневмотранспорта в другой можно осуществить путём изменения только расходной скорости воздуха, что подтверждает наличие общих аэродинамических закономерностей для двухкомпонентных потоков, имеющих место в процессе передачи энергии от воздушного потока к твердым частицам.
- Обосновано, что наименьший расход энергии на процесс вертикального пневматического транспорта соответствует скоростям воздуха в зоне перехода транспорта свободным полетом в транспорт

пульсацией и наоборот.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ - разработаны и внедрены в промышленность приёмные устройства типа ОТИП пневмотранспортных установок, обеспечивающие минимальный расход энергии и значительное снижение рабочих скоростей воздуха. При этом надежность работы пневмотранспорта повышается. Так, на Одесском комбинате хлебопродуктов данные приёмные устройства позволили снизить рабочие скорости почти в два раза и практически обеспечили безотказную работу пневмотранспортных установок.

Экономическая эффективность от внедрения результатов исследования в расчете на размольное отделение мельницы, производительностью 100 тонн в сутки составляет 9 тыс.руб. в год, при годовой экономии электроэнергии - 450 000 кВт.ч.

АПРОБАЦИЯ. Основные результаты работы докладывались на:

1. III Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов", г.Одесса, 1975.
2. Республиканской конференции молодых ученых и специалистов "Наука и практика-производству качественных комбикормов", г.Рига, 1980.
3. IV Всесоюзной конференции "Механика сыпучих материалов", г. Одесса, 1980.
4. Научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава и научных сотрудников ОТИП им.М.В.Ломоносова в 1978, 1979, 1980 г.г.
5. Натуральный образец пневмоприёмника с аспирацией технологического оборудования для вертикального пневмотранспорта экспонируется на ВДНХ в г. Москве с 1980 г. и по настоящее время.

ПУБЛИКАЦИИ. Основные результаты диссертации опубликованы в семи статьях, в том числе одном авторском свидетельстве.

СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ. Диссертация состоит из введения, четырех глав, основных выводов, библиографии из 118 наименований

и приложения. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, включает 75 рисунков и 10 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В ПЕРВОЙ ГЛАВЕ приведен краткий обзор исследований затрат энергии на перемещение твердых частиц в материалопроводе при пневмотранспорте. Рассмотрены различные научные подходы к зоне минимальных энергозатрат и существующие меры, направленные на снижение энергозатрат при сохранении устойчивой работы пневмотрасс на зерноперерабатывающих и других предприятиях. Показано отсутствие среди исследователей единого мнения по этому вопросу. Дан анализ существующих фазовых диаграмм состояния сыпучей массы, как одного из методов исследования энергоёмкости пневматического транспортирования и причин перехода одного вида транспорта в другой.

Показано, что наиболее общим показателем расхода энергии при пневмотранспорте является коэффициент полезного действия пневмотранспортирования, т.е.

$$\eta = \frac{gGl}{U\omega H}$$

где gGl - полезная работа (энергия полученная сыпучим материалом от воздушного потока).

$U\omega H$ - затраченная работа (энергия затраченная воздушным потоком при его движении в материалопроводе).

ВО ВТОРОЙ ГЛАВЕ рассмотрены скорости воздуха, действующие на твердые частицы, приведена модель фазового состояния сыпучей массы, показано влияние скорости воздушного потока на расход энергии при пневмотранспортировании. Исследование фазовой диаграммы состояния сыпучей массы позволяет наметить пути для решения многих практических задач, связанных с движением двухкомпонентных сред, в том числе и задачи минимальных энергозатрат. Например, такие вопросы как создание оборудования для совмещения технологического процесса с пневмотранспортом, разработка транспортных установок, наиболее полно отвечающих требованиям автоматизации производственных процессов и др.

Рассмотрены требования к экспериментальным установкам, создаваемым для исследования фазовой диаграммы состояния сыпучей массы. Показано, что μ не является критерием, однозначно характеризующим вид пневмотранспорта. Минимальный расход энергии соответствует только определенной расходной скорости воздуха, зависящий от ряда параметров пневмотранспортирования, в частности, G , U_s , D , l , ϕ и др. Не каждая конструкция приёмного устройства обеспечивает надёжную работу пневмотранспортной установки при скорости воздуха, соответствующей минимальному расходу энергии.

В этой главе отмечено, что высота вертикального пневмотранспорта сплошным потоком имеет ограниченную величину, определяемую скоростью движения твердых частиц.

В ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ описаны экспериментальная установка, методика исследований и выбор исследуемого сыпучего материала. При проектировании экспериментальной установки учли требования, вытекающие из вопросов, рассмотренных в первой и второй главах. К этим требованиям относятся:

1. Возможность построения всех участков фазовой диаграммы состояния взвешенных потоков.
2. Возможность визуального наблюдения за процессами, происходящими в материалопроводах и в пневмоприёмниках.
3. Возможность изменения в широких пределах скоростей движения частиц материала и воздуха.
4. Возможность определения величины β в течении рабочего цикла и изменения её при неизменном значении скорости воздуха.
5. Возможность экспериментальной проверки выводов, полученных при теоретических исследованиях в главе 2.

Размеры материалопроводов экспериментальных установок: внутренний диаметр 37 мм, 57 мм и 78 мм; высота 1,6 м и 3,2 м. Особое внимание уделено выбору методики изменения скорости движения твердых частиц в материалопроводе U_n , т.к. эта вели-

чина входит в основной параметр β , характеризующий переход одного вида пневмотранспорта в другой. Для измерения величины U_M принят емкостной метод, разработанный В.А.Канаевым. Этот метод позволил с достаточной для экспериментов точностью измерить величину U_M непосредственно в процессе пневмотранспортирования зернистых материалов.

При выборе исследуемого материала исходили из следующих требований к нему:

- при постоянной плотности ρ различаться размерами частиц d ;
- при постоянных ρ и различных d иметь, примерно, одинаковую скорость витания U_s ;
- при примерно равных U_s и d иметь различную плотность ρ ;
- резко различаться величиной ρ ;
- частицы должны быть зернистыми, т.е. размер частиц не должен быть меньше 1-2 мм.

В связи с этими требованиями были выбраны сыпучие материалы, основные физико-механические и аэродинамические свойства которых приведены в таблице I.

Таблица I.

№ п/п	Наименование материала	Скорость витания	Плотность	Эквивалентный	Угол естественного откоса φ°
		U_s м/с	ρ кг/м ³	d мм	
1.	Пшеница	10	1360	3,6	29
2.	Овес	8	1200	4,0	38
3.	Просо	9	1100	1,7	21
4.	Силикагель	14	2900	4,0	18
5.	Полиэтилен гранулированный	8,3	1000	3,6	37
6.	Вспененный полистирол	2,5	42	5,0	25

В ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ приведены результаты экспериментальных исследований. Первый параграф этой главы посвящен исследованию приёмных устройств, которые могут обеспечить все виды пневмотранспорта, только путём изменения скорости воздуха в материалопроводе. Экспериментально доказано, что приёмные устройства типа ОТИ могут обеспечить пневмотранспорт только свободным полетом. Приёмное устройство типа "отвод" позволяет осуществить пневмотранспорт в зоне всей фазовой диаграммы - сплошным потоком, пульсацией и свободным полетом. Однако, при этом имеет место резкое снижение производительности пневмотранспортной установки, что видно, например, из рис.1.

На этом рисунке приведены зависимости $H = \varphi(U)$ и $G = \varphi(U)$, т.е. фазовые диаграммы $H-U$ и $G-U$ при пневмотранспорте гранул вспененного полистирола в материалопроводе диаметром $D = 57$ мм. В зоне скоростей воздуха АЕ осуществляется пневмотранспорт сплошным потоком, в зоне ЕС - пульсацией и в зоне СК - свободным полетом частиц. Кроме того при определенных скоростях воздуха в нижней части материалопровода можно обеспечить транспорт сплошным потоком, в средней - пульсацией (в виде поршней), а в верхней - свободным полетом.

При неизменной величине скорости воздуха и производительности можно увеличить высоту транспорта сплошным потоком, если в верхней части материалопровода осуществить торможение частиц. Способ торможения может быть различный - с помощью шибера, диафрагмы, диска, установленного в центральной части поперечного сечения материалопровода либо другими устройствами.

Конструкция тормозящего устройства, как показали экспериментальные исследования, влияет только на энергетическую сторону процесса пневмотранспортирования. В этом же параграфе приведены фотографии различных стадий поршнеобразования и их разрушения при пневмотранспорте пульсацией. Цикличность поршнеобразования

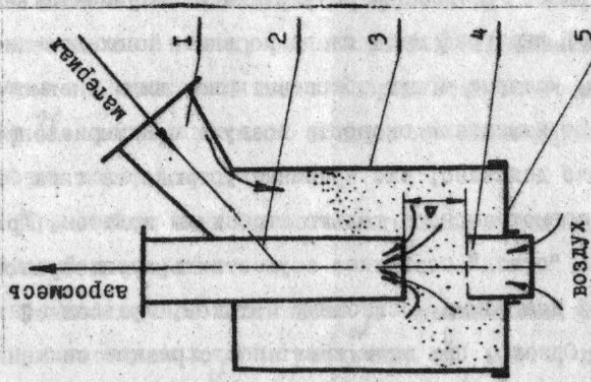


Рис.2. Схема приёмного устройства типа ОТИЩ без аспирации технологического оборудования.

- 1 - самотек,
- 2 - материалопровод,
- 3 - емкость,
- 4 - стакан с сеткой,
- 5 - дно.

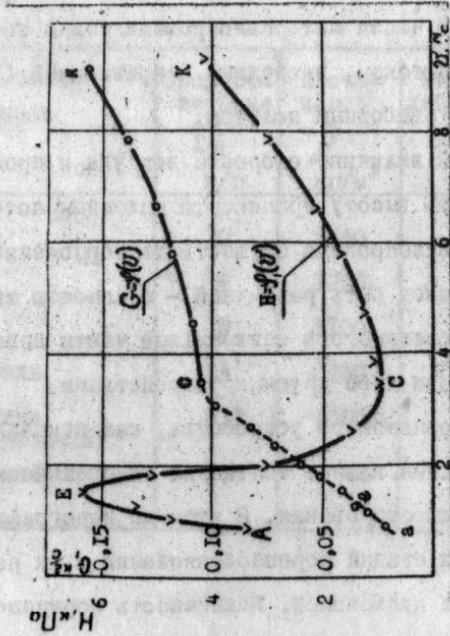


Рис.1. Зависимость производительности и сопряжения от скорости воздуха.

происходит в одном и том же поперечном сечении материалопровода и практически подчиняется постоянству времени.

Проведенные экспериментальные исследования на приёмном устройстве типа "отвод", в силу его аэродинамической характеристики (резкого снижения производительности при уменьшении скорости воздуха в зоне транспорта сплошным потоком и пульсацией), позволили выяснить только качественные изменения в состоянии фазовой диаграммы сыпучей массы при изменении скорости воздуха в материалопровode. Т.е. подтвердить экспериментально, приведенную во второй главе, модель фазового состояния сыпучей массы и доказать, что:

- путем изменения только скорости воздуха можно осуществлять желаемый вид транспорта: сплошным потоком, пульсацией (поршнями) или свободным полетом.

- Высоту транспорта сплошным потоком можно увеличить путем торможения частиц сыпучего материала.

- Определяющим параметром вида транспорта является не расходная скорость воздуха, а величина

$$\beta = \frac{V_m}{V_r} = \frac{G}{\omega \rho V_m}$$

зависящая от скорости движения твердых частиц и их количества, находящегося в поперечном сечении материалопровода.

- Не каждая конструкция приёмного устройства способна осуществлять транспорт сплошным потоком или пульсацией.

Количественные исследования с целью определения аэродинамических параметров, характеризующих переход одного вида пневмотранспорта в другой и их энергетические показатели, проведены на приёмном устройстве типа ОТИЩ рис.2. Аэродинамическая характеристика данного приёмного устройства приведена на рисунке 3, из которой видно, что изменением величины Δ можно осуществить пневмотранспорт в значительных пределах варьирования величины скорос-

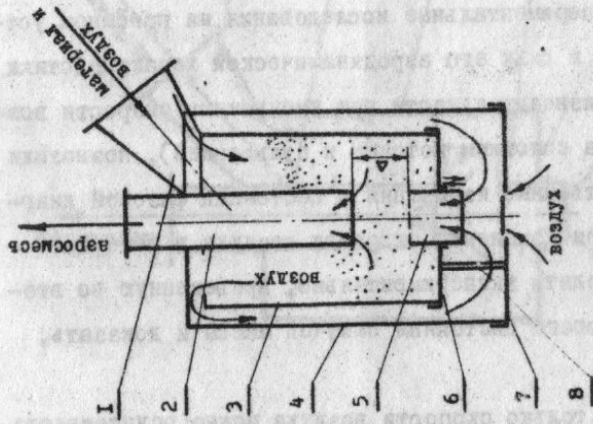


Рис. 4. Схема приёмного устройства типа ОТИП с аспирацией технологического оборудования.

- 1 - самотёк.
- 2 - материалопровод.
- 3 - ёмкость.
- 4 - ковш.
- 5 - стакан с сеткой.
- 6 - дноще.
- 7 - крышка наружного кожуха.
- 8 - упор.

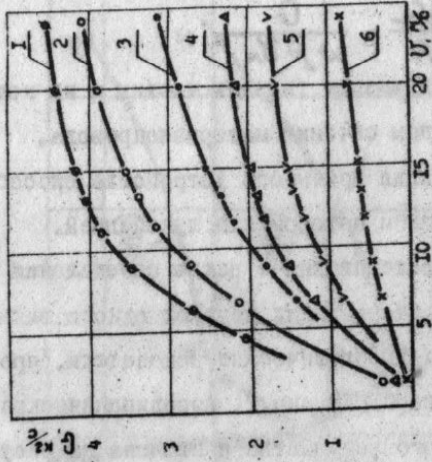


Рис. 3. Зависимость производительности от скорости воздуха при транспорте пшеницы в материалопроводе $D = 57$ мм, с приёмным устройством типа ОТИП, при различных диаметрах

- 1 - $\Delta = 120$ мм; 2 - $\Delta = 100$ мм;
- 3 - $\Delta = 80$ мм; 4 - $\Delta = 60$ мм;
- 5 - $\Delta = 40$ мм; 6 - $\Delta = 20$ мм.

ти воздуха не изменяя при этом производительность пневмотранспортной установки.

Отличием приёмного устройства ОТИП от приёмника типа "отвод" является наличие нулевой скорости ввода частиц в материалопровод и отсутствие влияния отвода на вход воздуха и твердых частиц в пневмоприёмник. Это приводит к тому, что сыпучий материал входит в материалопровод равномерно по всему его поперечному сечению, что позволяет проводить экспериментальные исследования на меньших высотах материалопровода, чем при приёмнике "отвод".

На базе приёмного устройства, без аспирации технологического оборудования рис.2 разработано приёмное устройство, позволяющее осуществлять аспирацию технологического оборудования рис.4. Это приёмное устройство защищено авторским свидетельством.

Во втором параграфе четвертой главы приведены фазовые диаграммы $H-U$ при постоянных μ и переменных производительностях пневмотранспортной установки. На рис.5 приведена фазовая диаграмма $H-U$ без дополнительного торможения твердых частиц. При этом отсутствует транспорт сплошным потоком, который осуществляется только на высоте 0,3 м.

На рис.6 изображена фазовая диаграмма для случая, когда в конце материалопровод был перекрыт шибером на величину $\delta = 26$ мм. В этом случае при скорости воздуха в пределах 1,5 - 2,6 м/с имел место транспорт сплошным потоком, а при $U < 1,5$ м/с транспорт материала прекратился, однако столб пшеницы в материалопроводе был примерно на 25% выше, чем при $U = 0$, т.е. имело место расширение слоя.

Неправомерность определения вида пневмотранспорта по величине μ подтверждает таблица 2.

Таблица 2

Вид транспорта	β	μ	v м/с	G кг/с
Сплошной поток	0,50	125	2,0	1,80
- " -	0,52	34	2,3	0,60
- " -	0,43	46	2,3	0,76
- " -	0,57	20	2,3	0,34
Пульсация	0,42	46	2,3	0,76
- " -	0,40	88	2,3	1,45
- " -	0,37	23	4,7	0,78
- " -	0,30	64	4,7	2,10
- " -	0,40	17	4,7	0,48
Свободный полет	0,18	52	5,7	2,10
- " -	0,15	34	5,7	1,35
- " -	0,20	40	5,7	1,65
- " -	0,18	25	12,9	2,35

Обработывая экспериментальные данные в координатах $\beta-v$, как это видно, например, из рис.7, получили четкую зависимость величины β от вида пневмотранспорта.

Обобщая экспериментальные величины β , характеризующие переход одного вида транспорта в другой, при помощи критериев подобия Re , Fz и плотности начальной укладки сыпучего материала получили следующие расчетные зависимости:

для транспорта сплошным потоком

$$0,8 \beta_{нч} > \beta_{сп} > 2 \cdot 10^{-4} \beta_{нч} \frac{g^{0,5}}{v} \cdot D^{1,5}$$

для транспорта пульсацией (поршнями)

$$2,5 \cdot 10^{-5} \frac{g^{0,5}}{v} \cdot D^{1,5} < \beta_n < 2 \cdot 10^{-4} \beta_{нч} \frac{g^{0,5}}{v} \cdot D^{1,5}$$

для транспорта свободным полетом

$$\beta_{пт} < 2,5 \cdot 10^{-5} \frac{g^{0,5}}{v} \cdot D^{1,5}$$

В последнем параграфе четвертой главы приведены энергетические показатели пневмотранспорта при различных его видах. Обработывая экспериментальные данные энергетических показателей пневмотранспорта в координатах $\eta-v$ получили общую закономер-

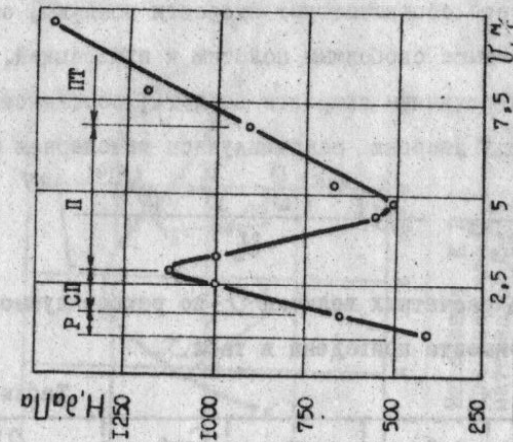


Рис.6. Изменение сопротивления от скорости воздуха при транспорте пшеницы в трубе $D = 57$ мм при перекрытии её шибером на величину $\delta = 26$ мм.

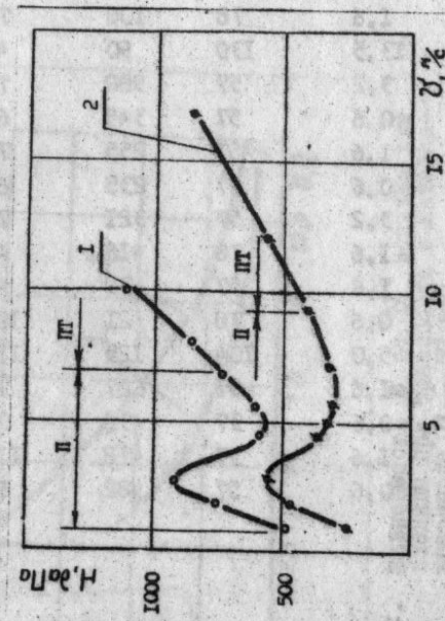


Рис.5. Изменения сопротивления от скорости воздуха при транспорте пшеницы.
I - $G = 0,04 - 0,9$ кг/с
2 - $G = 0,02 - 0,4$ кг/с

ность, аналогичную приведенной на рис.8. Обобщение экспериментальных данных позволяет сделать вывод, что наименьший расход энергии при пневмотранспорте соответствует скорости воздуха, обеспечивающей транспорт на стыке свободным полетом и пульсацией.

Для расчета величины скорости воздуха, соответствующей минимальному расходу энергии рекомендуется инженерная формула

$$\frac{1}{v} = \left[\frac{1}{v_s^{0,9}} - 0,85 \frac{G}{\omega} \left(\frac{d}{D} \frac{1}{\rho} \right)^{0,1} \right]^{0,9}$$

Сходимость расчетных величин v по рекомендуемой формуле с данными эксперимента приведена в табл.3.

Таблица 3

МАТЕРИАЛ	l м	D мм	G/ω кг/м ² с	v м/с	
				расч.	опыт
Пшеница	13,5	130	90	13,1	13,1
Пшеница	1,6	78	100	7,6	7,5
Отруби	13,5	130	90	4,5	5,0
Просо	3,2	57	980	7,2	7,1
Просо	0,6	57	345	6,3	6,5
Овес	1,6	57	255	7,0	5,6
Овес	0,6	57	235	6,3	5,4
Овес	3,2	57	321	7,1	6,4
Полистирол	1,6	78	416	4,5	5,2
Полистирол	1,6	57	39	4,6	4,4
Полистирол	0,6	78	21	10,2	9,8
Полиэтилен	5,0	104	125	11,0	10,5
Полиэтилен	1,6	57	627	7,2	6,2
Полиэтилен	0,6	37	36	3,7	3,2
Силикагель	1,6	37	418	11,0	9,3
Силикагель	0,6	57	482	9,1	8,8

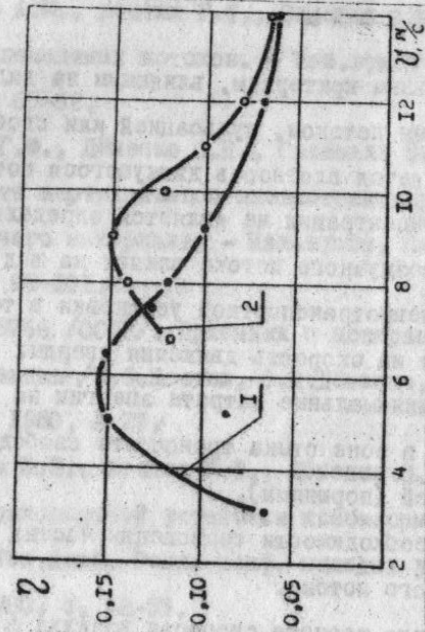


Рис.8. Изменение К П Д от v воздуха при пневмотранспорте пшеницы в материальномпроводе $D = 57$ мм на высоту 1,6 м.
1 - $G = 0,3$ кг/с; 2 - $G = 0,5$ кг/с.

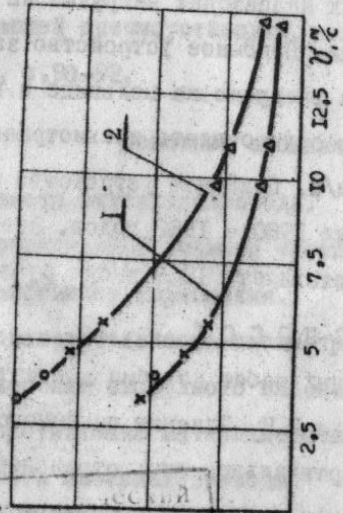


Рис.7. Зависимость β от v воздуха для пшеницы при транспорте в материальномпроводе $D = 57$ мм.
1 - $l = 1,6$ м
2 - $l = 0,6$ м
0 - сплошной поток
x - пульсацией,
Δ - свободным полетом.

е.в.
10138860
институт пищевой промышленности им. В.П.Проскудина
БИБЛИОТЕКА

ВЫВОДЫ

1. Показано, что основным критерием, влияющим на вид пневмотранспорта - сплошным потоком, пульсацией или свободным полетом частиц - является плотность движущегося потока. Коэффициент весовой концентрации не является определяющим критерием. Скорость воздушного потока влияет на вид транспорта и сопротивление пневмотранспортной установки в той мере, в которой она влияет на скорость движения твердых частиц.
2. Установлено, что минимальные затраты энергии на пневмотранспорт имеют место в зоне стыка транспорта свободным полетом частиц и пульсацией (поршнями).
3. Дано объяснение необходимости торможения частиц для увеличения высоты сплошного потока.
4. Получена формула для расчета скорости воздуха в зоне минимального расхода энергии на пневмотранспорт.
5. Создано приёмное устройство, позволяющее осуществлять пневмотранспорт на скоростях воздуха, соответствующих минимуму расхода энергии в широких диапазонах нагрузки на поперечное сечение материалопровода. Приёмное устройство защищено авторским свидетельством и внедрено на мельнице и комбикормовом заводе, что позволило осуществлять пневмотранспорт со скоростью воздуха 15-16 м/с. Приёмное устройство экспонируется на ВДНХ СССР в течение 1980 - 1982 годов. Экономический эффект от внедрения составляет 12,9 тысяч рублей.

СПИСОК

опубликованных работ по теме диссертации

1. Дёменко О.Н., Саламаха В.И. Влияние приёмного устройства на энергоёмкость при вертикальной пневмотранспорте. - В кн.: Тез. докл. III Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов". Одесса, 1975, с. 206-208.

2. Дзядзю А.М., Костюк Г.Ф., Саламаха В.И. Диаграмма состояния двухкомпонентных потоков. - Изв. вузов Нефть и газ, 1977, № 2, с. 65-68.
3. Костюк Г.Ф., Дёменко О.Н., Саламаха В.И. Исследование энергоёмкости вертикального пневмотранспорта по фазовой диаграмме сыпучего материала. - Изв. вузов, Пищ. технология, 1978, № 4, с. 98-101.
4. А.С. 749766 /СССР/. Приёмник с аспирацией технологического оборудования /Г.Ф.Костюк, О.Н.Дёменко, В.И.Саламаха. - Опубл. в Б.И., 1980, № 27.
5. Саламаха В.И., Костюк Г.Ф., Дёменко О.Н. Щелевой приёмник пневмотранспортной установки комбикормового производства. - В кн.: Тез. докл. Респ. конф. молодых ученых и специалистов. Рига, 1980, с. 52-53.
6. Саламаха В.И., Костюк Г.Ф., Дёменко О.Н. Пневмотранспортный приёмник ОГИП. - В кн.: Тез. докл. IV Всесоюз. конф. "Механика сыпучих материалов". Одесса, с. 91-93.
7. Костюк Г.Ф., Дёменко О.Н., Саламаха В.И. Приёмное устройство всасывающей пневмоустановки. - Изв. вузов. Нефть и газ, 1981, № 2, с. 90-92.

Основные обозначения

- D - диаметр материалопровода.
- d - эквивалентный диаметр частиц материала.
- φ - коэффициент торможения.
- G - производительность пневмотранспортной установки.
- g - ускорение свободного падения тела.
- H - сопротивление материалопровода.
- l - высота материалопровода.
- U - расходная скорость воздуха.

- U_M - скорость движения частиц материала.
 U_S - скорость витания частиц материала.
 V_T - объем материалопровода.
 V_M - объем материала.
 $\beta = \frac{V_M}{V_T} = \frac{G}{\omega \rho U_M}$ - плотность потока.
 β_{np} - плотность начальной укладки сыпучего материала.
 ρ - плотность материала.
 ν - кинематический коэффициент вязкости воздуха.
 μ - весовая концентрация.
 η - коэффициент полезного действия пневмотранспортирования.
 Re - критерий Рейнольдса.
 Fr - критерий Фруда.
ПТ - транспорт полетом.
СП - транспорт сплошным потоком.
П - транспорт пульсациями (поршнями)

Сессия