

Автор едр.
З-34

Министерство высшего и среднего специального образования СССР
ОДЕССКИЙ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
имени М. В. ЛОМОНОСОВА

НА ПРАВАХ РУКОПИСИ

Аспирант ЗАРНИЦЫН Виктор Аркадьевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ
ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТИРОВАНИИ
В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДАХ**

(Специальность 05.02.14.—Машины и агрегаты
пищевой промышленности)

**АВТОРЕФЕРАТ
ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ
КАНДИДАТА ТЕХНИЧЕСКИХ НАУК**

ОДЕССА — 1974

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

Одесский технологический институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова

На правах рукописи

Аспирант ЗАРНИЦЫН Виктор Аркадьевич

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНИСТЫХ
МАТЕРИАЛОВ ПРИ ПНЕВМАТИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТИ-
РОВАНИИ В ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ ТРУБОВОДАХ

(Специальность 05.02.14 – Машины и агре-
гаты пищевой промышленности)

Держу от 1984

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

V 012283

~~e. b. 12282 a-~~

Одесский технологический
институт пищевой промышленности
имени М.В.Ломоносова
Б И Б Л И О Т Е К А

Одесса - 1974

Работа выполнена на кафедре "Промышленная вентиляция, гидравлика и насосы" Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор А.М.ДЗЯДЗИО,
кандидат технических наук, доцент Г.Ф.КОСТЮК.

Официальные оппоненты:

кандидат технических наук, профессор Л.И.КОТЛЯР,
кандидат технических наук, ст.н.с.Б.М.МАКСИМЧУК.

Ведущая организация – Украинский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института комбикормовой промышленности.

Автореферат разослан "19" II 1974 г.

Защита состоится "22" марта 1974 г.

в 10, на заседании Ученого совета механического и инженерно-экономического факультетов Одесского технологического института пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

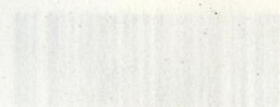
С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, просим направить в Ученый Совет института по адресу:

270039, г. Одесса, ул. Свердлова, 112, Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Ученый секретарь Совета к.т.н. Л.А.Запорожец.

ОПЛАТ 4 10
Исследование скорости



012283

Одним из основных факторов развития народного хозяйства СССР на современном этапе является повышение эффективности общественного производства.

В Директивах XXIV съезда КПСС по девятому пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971-1975 г.г. указывается: "Главная задача пятилетки состоит в том, чтобы обеспечить значительный подъем материального и культурного уровня жизни народа на основе высоких темпов развития социалистического производства, повышения его эффективности, научно-технического прогресса и ускорения роста производительности труда".

Транспорт, являющийся одним из необходимых звеньев народного хозяйства, в значительной степени предопределяет эффективность общественного производства.

Широкое распространение пневматического транспорта в различных отраслях промышленности и особенно в пищевой и зерноперерабатывающей стало возможно благодаря научным исследованиям И. Гастерштадта, Г. Зеглера, М. П. Калинушкина, А. М. Дзядзио, В. С. Пальцева, А. Е. Смолдырева, Г. Вельшофа и др.

Однако вопросы совершенствования и расширения сфер применения его еще не сняты с повестки дня.

Остро стоят вопросы по исследованию технико-экономической эффективности пневмотранспорта. Отсутствие общепринятой теории двухфазных потоков вообще и пневмотранспортирования в частности требует дальнейших экспериментальных исследований, ибо, как сказал академик А. О. Сливаковский, "трудно назвать какую-либо область, в которой опыт и опытные данные имели бы столь существенную и даже руководящую роль при теоретической разработке как это имеет место при пневматическом транспортировании".

Одним из вопросов, требующих своего решения, является скорость движения частиц в двухфазных потоках. Необходимость постановки этого вопроса продиктована целым рядом причин.

Во-первых, скорость движения твердых частиц лежит в основе современных методов расчета пневмотранспорта.

Во-вторых, скорость частиц является определяющим условием при решении вопроса о применении пневмоустановок, особенно для зернистых продуктов (рис, гречиха), которые по технологическим требованиям должны подвергаться минимальному дроблению.

Именно это обстоятельство сдерживает области применения пневмотранспорта в ряде областей промышленности.

В третьих, параметры движения обеих фаз являются эффективным средством анализа широкого класса аппаратов, позволяющие определять их габаритные размеры, улучшать аэродинамические характеристики и т.д.

И, наконец, знание скорости движения твердых частиц открывает дополнительные возможности в технике экспериментальных исследований.

Задачей настоящего исследования являлось изучение скорости движения зернистых материалов при пневматическом транспортировании в горизонтальных трубопроводах с целью получения обобщенной зависимости для расчета скорости частиц.

Изучение скорости движения частиц в горизонтальных трубопроводах вызвано тем, что именно в вопросе о скоростях материала при пневмотранспорте в горизонтальных трубопроводах имеется много противоречивых мнений и неопределенностей.

Диссертационная работа состоит из введения, пяти глав, изложена на 148 страницах машинописного текста, включает таблицу и 36 иллюстраций.

По литературным данным в первой главе рассмотрены вопросы о скоростях движения зернистого материала в горизонтальных трубопроводах и минимальных скоростях воздушного потока, обеспечивающих транспорт твердых частиц во взвешенном состоянии.

Глава вторая посвящена выбору и обоснованию метода, средств и объектов для исследования.

В третьей главе описаны экспериментальные установки, приборы и устройства для измерения скорости материала.

В четвертой главе изложены методики проведения измерений отдельных величин и опытов, а также дана оценка точности экспериментов.

Пятая глава содержит анализ полученных экспериментальных данных и результаты их обработки.

Проведенный анализ результатов исследований ряда авторов (А.М.Дзядзио, М.А.Дементьева, Г.Вельшофа, Е.А.Жихарева, Г.Зеглера, А.И.Карпова, С.Е.Сакса, М.И.Соловьева и др.) по теме предлагаемого исследования дает основание сделать следующие выводы:

1. Нет единого мнения в оценке влияния на скорость движения частиц материала различных параметров, характеризующих двухфазные потоки.

Предлагаемые зависимости вида

$$\frac{v_m}{v_s} = a_0 + a_1 \frac{v}{v_s} \quad (1)$$

и

$$\frac{v_m}{v} = K \quad (2)$$

носят чисто эмпирический характер и применимы только для конкретных материалов и условий.

2. Опытные данные по скорости материала получены исследователями на ограниченных участках "установившегося" движения, а потому не дают представления о динамике процесса движения

3. Теоретическая зависимость

$$U_M = V - \frac{V V_S}{\sqrt{g L} \cdot V_S^2} \quad (3)$$

предлагаемая А.О.Спиваковским, Трефтцем и др., не получила практического применения, т.к. она не подтверждается экспериментальными данными.

4. Нет четкого и физически обоснованного определения критической скорости, равно как нет и общего подхода к оценке её величины.

Выводы по результатам ранее проведенных научно-экспериментальных исследований подтверждают актуальность настоящей работы.

Ниже излагается основное содержание работы.

Сложность физических механизмов явлений, встречающихся при пневмотранспорте, и отсутствие признанной общей теории двухфазных потоков создают трудности при попытках теоретического анализа этих явлений. Поэтому в качестве основного метода исследования принят экспериментальный с применением метода анализа размерностей. Этот метод позволяет добиться компактности плана эксперимента без потери общности и контроля.

Однако успех анализа размерностей зависит от правильного понимания физического смысла конкретной задачи.

На основании априорной информации в качестве независимых переменных были выбраны следующие параметры

$$U_M = f(V, V_S, D, d_2, \sigma_M, L) \quad (4)$$

Полученные по П — теореме безразмерные комплексы

$$\left(\frac{d_2}{D}, \frac{V_S}{V}, \frac{\sigma_M}{\sigma}, \frac{\sqrt{g L}}{V}, \frac{V - U_M}{V_S} \right) \quad (5)$$

удовлетворяют поставленной задаче и имеют определенный физи-

ческий смысл.

Для нахождения числовых значений величин, входящих в уравнение (4), были использованы общепризнанные методы измерения, обеспечивающие достаточную точность и позволяющие осуществлять периодический контроль в процессе проведения опытов.

Вопросы, поставленные в настоящей работе, изучались на пневмотранспортной установке с общей длиной трубопровода около 60 м. Длина каждой из 2-х горизонтальных ветвей составляет 26 м.

В работе особое внимание уделено методике измерения скорости движения частиц по всей длине трассы пневмопровода.

В качестве основного метода контроля скорости частиц был выбран радиоактивный метод, который реализован с помощью специально изготовленного электронного измерителя интервалов времени (ИИВ) и селектора-формирователя. Принцип работы ИИВ основан на счете кодовых импульсов с помощью двоичных счетчиков, представляющих собой цепочку последовательно соединенных триггеров.

Точность определения временных интервалов с помощью ИИВ находится в прямой зависимости от точности выработки управляющих сигналов, поступающих от датчиков. Необходимая точность обеспечивается селектором - формирователем, работа которого основана на накоплении тройного импульса и выделении на выходе его одиночного за время пребывания частицы в зоне щели коллиматора.

Данные устройства позволили решить задачу сбора информации о времени движения частиц непрерывно на 50-ти участках пневмопровода.

Информация о временных интервалах по мере продвижения частицы по участкам непрерывно фиксируется на бумажную ленту перфоратора в виде, пригодном для дальнейшей обработки на ЭЦМ.

Точность измерений V_m в пределах до $1,5 \pm 2\%$.

Одновременно с методом радиоактивных индикаторов для из-

измерения массовой скорости был использован метод объемной концентрации. Для реализации его были разработаны и изготовлены три задвижки.

Привод задвижек осуществляется пороховыми газами. Одновременность срабатывания их обеспечивалась специальными электрозажальными устройствами.

Время перекрытия трубопровода составляет $0,01 \pm 0,014$ с.

В качестве подопытного материала применяли сою, пшеницу и четыре типа капроновых шариков. Выбор материала продиктован условиями получения достаточного диапазона его по крупности, плотности, требованиями устойчивости против дробления и истирания при транспортировании.

Исследуемый материал позволил применить при экспериментальном измерении скорости движения частиц в качестве основного метода радиоактивный метод с радиоактивным изотопом ^{60}Co .

Объем экспериментальных исследований и основные характеристики подопытного материала приведены в таблице 1.

При выборе параметров и их диапазонов изменения исходили из необходимости определенной суммы опытных данных, подтверждающих полученное критериальное уравнение (5).

Значительные длины горизонтальных ветвей и соответствующая измерительная аппаратура дали возможность получить достаточно надежные количественные и качественные результаты об изменении скорости материала по длине трубопровода.

Опытные данные показывают, что скорость частиц материала по мере удаления от места загрузки растет, но интенсивность роста её не постоянна. Говорить об участке установившегося движения, т.е. об участке, где скорость материала постоянна, можно условно, с определенной степенью точности.

Таблица I.

№ п/п	Транспортный материал				Диаметр трубопровода	Скорость воздуха в трубах v м/с	Наибольшая концентрация смеси ρ	Метод измерения скорости роста частиц
	Наименование	Эквивалентный диаметр d_3 мм	Удельный вес γ кг/м ³	Скорость витания v_s м/с				
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1.	Соя	7	1300	13	75, 100, 200	18 - 27	единич.	Радиоактивный
2.	Соя	7	1300	13	100	18 - 27	4,7	"
3.	Пшеница	3,6	1260	10,2	100	16 - 24	6,5	"
4.	Пшеница	3,6	1260	10,2	100	18 - 28	7,5	Отсечки
5.	Шар №1	10	1100	16	75, 100, 200	18 - 28	единич.	Радиоактивный
6.	Шар №1	10	1100	16	100	18 - 28	3,00	"
7.	Шар №2	10	1330	17,9	75, 100, 200	18 - 28	единич.	"
8.	Шар №3	10	1720	19,6	75, 100, 200	24 - 30	единич.	"
9.	Шар №4	10	2100	21	75, 100, 200	24 - 30	единич.	"

Сравнение данных измерений с имеющимися в литературе показывает значительную разницу в величинах как длин разгонных участков, так и скоростей материала на участках установившегося движения. Например, по данным Гастерштадта при транспортировании пшеницы длина разгонного участка не превышает 9 м, в то время как по мнению А.И.Карпова она находится в пределах 3,9 м. Измерения же показывают, что длина участка разгона для данного материала меняется в зависимости от скорости воздушного потока. При транспортировании пшеницы воздушным потоком со скоростью 18 ± 24 м/с длина разгонного участка меняется соответственно от 11 до 20 м.

Такое расхождение в значениях величин объясняется тем, что длины разгонных участков определялись исследователями не по изменениям скорости частиц транспортируемого материала по длине, а по графикам изменения статического давления. При этом полагалось, что равенство коэффициента трения на единицу длины участка установившегося движения соответствует равномерной скорости материала на этих участках.

С учетом точности измерений при сравнительно коротких длинах экспериментальных установок (10 ± 11 м) неизбежна ошибка в определении длины разгонного участка вследствие того, что незначительные изменения скорости частиц не могут быть зафиксированы посредством изменения статического давления, особенно при малых концентрациях.

Вероятно этим можно объяснить утверждение авторов (Е.В.Донат, А.И.Карпов) о том, что с ростом концентрации увеличивается длина разгонного участка.

Результаты опытов, проведенных на разном материале, при различных концентрациях и в широком диапазоне изменения скоростей воздушного потока, дают основание утверждать, что концент-

рация в исследуемом диапазоне влияет на скорость частиц материала в сторону уменьшения. Это влияние особенно ощутимо при малых скоростях воздушного потока. По мере увеличения скорости воздуха при $\sigma_m = \text{const}$ отношение осредненной скорости массы материала $V_{m, \text{оср}}$ к скорости единичной частицы $V_{m, 0}$ увеличивается и в пределе стремится к единице. Практически равенство $V_{m, \text{оср}} = V_{m, 0}$ наступает тем быстрее, чем меньше концентрация.

Данные по скоростям движения пшеницы, полученные нами путем непосредственных измерений методом радиоактивных индикаторов и отсечек на участках установившегося движения, хорошо согласуются с данными Гастерштадта, Барта, Алама. По данным Е.А. Жихарева, А.И. Карпова, Б.А. Кузьмина, М.И. Соловьева эти величины имеют меньшие значения.

Причина такого расхождения кроется в условиях эксперимента. Длина горизонтального трубопровода экспериментальной установки у Е.А. Жихарева, А.И. Карпова, Б.А. Кузьмина и М.И. Соловьева находилась в пределах Ю-III м, что, как показывают опытные данные, явно недостаточно для выбора участка установившегося движения.

Такой вывод подтверждается тем, что величины скоростей, определенные нами на участках, одинаково удаленных от пневмоприемников, совпадают с результатами измерений Е.А. Жихарева и др.

Таким образом, достоверность наших экспериментальных данных по V_m косвенно подтверждается опытными данными других исследователей.

В настоящем исследовании вся обработка опытных данных проводилась аналитически методом средних и наименьших квадратов. Графические построения, проведенные в безразмерных ко-

ординатах, использовались нами в качестве вспомогательных и иллюстрационных материалов.

Экспериментальные данные говорят о том, что скорость частиц зернистого материала при горизонтальном пневмотранспорте всегда меньше средней по сечению трубопровода скорости воздушного потока и для одиночной частицы может быть представлена как

$$V_{no} = V - a V_s \quad (6)$$

где a — переменный коэффициент.

Влияние концентрации смеси на поведение отдельных частиц в потоке и, в конечном счете, на их скорость можно характеризовать осредненной скоростью массы V_{mm} и представить как

$$V_{mm} = A V_{no} \quad (7)$$

где A — коэффициент пропорциональности, характеризующий влияние концентрации.

Таким образом, в общем виде уравнение для определения скорости частиц при горизонтальном пневмотранспорте можно записать как

$$V_{mm} = A (V - a V_s) \quad (8)$$

Уравнение (8) является суть критериального уравнения (4). Переменный коэффициент a при $A = 1$ можно выразить как

$$a = \frac{V - V_{mm}}{V_s} \quad (9)$$

Обработка опытных данных в прямоугольной системе координат / а; $\frac{\sqrt{22}}{V}$ / показала, что при горизонтальном пневмотранспорте величина взвешивающей скорости V_{sr} в большей мере характеризует поведение частиц, чем скорость витания V_s , т.е. при замене V_s на V_{sr} разброс экспериментальных точек значительно уменьшается.

Под взвешивающей скоростью V_{sr} будем понимать такую скорость, при которой начинается отрыв частиц от нижней поверхности. Движение происходит полетом с кратковременным касанием частиц поверхности трубопровода. По данным исследований Г.Ф.Костюка величина взвешивающей скорости при горизонтальном транспортировании равна $V_{sr} = 1,45 V_s$.

Решая уравнение (рис. I) относительно Q , находим конкретные зависимости для единичных частиц различных материалов, которые в общем виде можно записать как

$$Q = m + n e^{-\frac{89L}{V^2}} \quad (10)$$

где m и n - соответствующие коэффициенты.

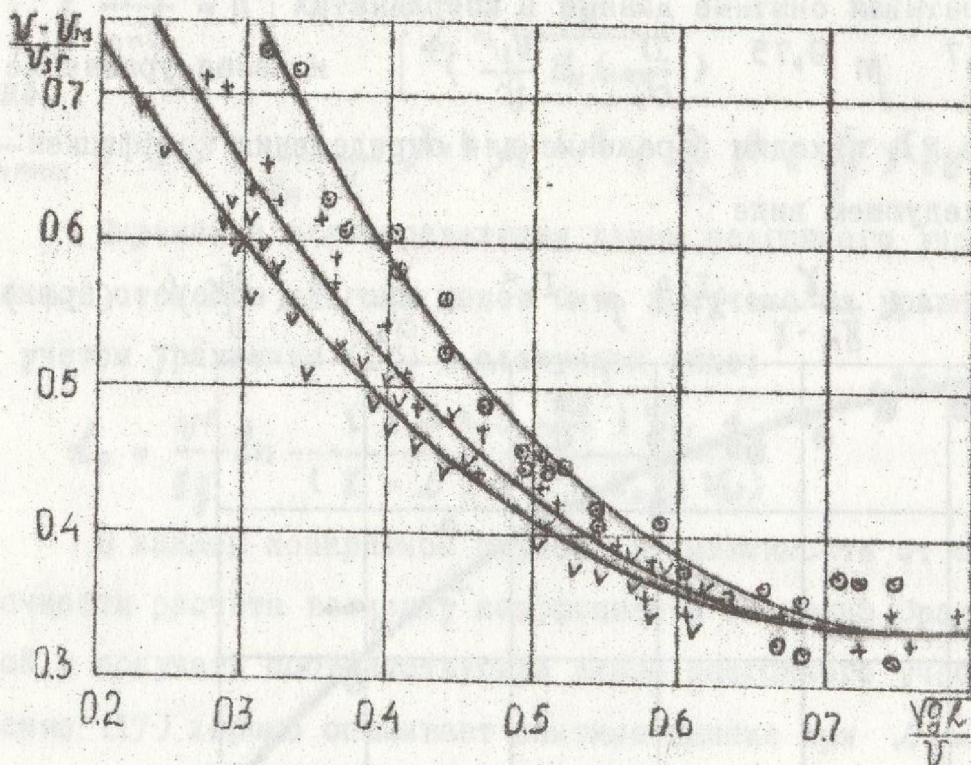


Рис. I.

○ - пшеница, + - соя, ∇ - шары.

Коэффициент m у исследуемых материалов изменялся в очень незначительных пределах и в среднем равен 0,33. Можно предполо-

литель, что он зависит от фрикционных свойств транспортируемого материала и трубы. Коэффициент n определяется крупностью частиц и находится из выражения

$$n = 1 - 4,5 \frac{d_3}{D} \quad (11)$$

После подстановки соответствующих значений m и n в уравнение (9) коэффициент Q определяется как

$$Q = 0,33 + \left(1 - 4,5 \frac{d_3}{D} \right) e^{-\frac{89l}{v^2}}, \quad (12)$$

а расчетное уравнение (5) для нахождения величин скорости одиночных частиц зернистого материала по длине трубопровода будет иметь вид

$$V_{н0} = V - \left[0,33 + \left(1 - 4,5 \frac{d_3}{D} \right) e^{-\frac{89l}{v^2}} \right] V_{sr} \quad (13)$$

Обработав опытные данные в координатах $\left[A = \frac{V_{н0}}{V_{sr}} ; \left(\frac{V}{\gamma_M - \gamma} \right)^{0,7} m^{0,75} \left(\frac{D}{d_3} \right) \left(\frac{V_{sr}}{V} \right)^3 \right]$ и решая уравнение кривой (рис. 2), находим выражение для определения коэффициента A в следующем виде

$$A = 1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_M - \gamma} \right)^{1,4} m^{1,5} \left(\frac{D}{d_3} \right)^2 \left(\frac{V_{sr}}{V} \right)^6 \quad (14)$$

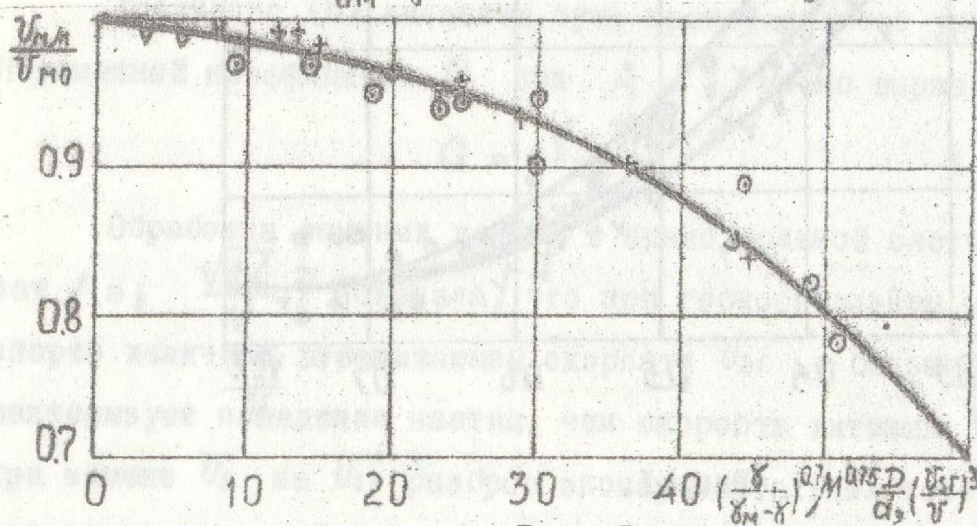


Рис. 2.

○ - пшеница, + - соя, ∇ - шары.

Окончательно уравнение (7) для определения скорости зернистого материала при горизонтальном пневмотранспорте с учетом выражений (13) и (14) можно записать

$$V_{\text{мр}} = \left[1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_{\text{н}} - \gamma} \right)^{1,1} \mu^{1,5} \left(\frac{D}{d_2} \right)^2 \left(\frac{V_{\text{сг}}}{V} \right)^6 \right] \times \left\{ V - \left[0,33 + \left(1 - 4,5 \frac{d_2}{D} \right) e^{\frac{89L}{V^2}} \right] V_{\text{сг}} \right\} \quad (15)$$

Как видно из уравнения (15) скорость движения частицы непрерывно растет и достигает своего максимального значения на длине $L \rightarrow \infty$, но интенсивность роста $V_{\text{м}}$ не постоянна. Однако практически после определенной длины L_c скорость материала можно считать постоянной. Поэтому говорить о длине разгонного участка имеет смысл только с учетом определенной степени разгона

$$L = \frac{V_{\text{м}}}{V_{\text{мmax}}} \quad (16)$$

где

$$V_{\text{мmax}} = 1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_{\text{н}} - \gamma} \right)^{1,4} \mu^{1,5} \left(\frac{D}{d_2} \right)^2 \left(\frac{V_{\text{сг}}}{V} \right)^6 (V - 0,33 V_{\text{сг}})$$

Выражение для определения длины разгонного участка с заданной степенью разгона может быть получено из уравнения (16) с учетом уравнения (15) в следующем виде:

$$L_p = \frac{V^2}{89} \ln \frac{\left(1 - 4,5 \frac{d_2}{D} \right) V_{\text{сг}}}{(1 - L) (V - 0,33 V_{\text{сг}})} \quad (17)$$

В каждом конкретном случае, в зависимости от степени точности расчета величину коэффициента L можно брать различной и получать соответствующие длины разгонного участка. Уравнение (17) хорошо описывает опытные данные при $L = 0,98$. имея уравнение (15), позволяющее определять скорость материала в заданном сечении по длине трубопровода, после предварительного дифференцирования его, путем интегрирования диффе-

ренциальной функции по l в пределе $l \rightarrow 0$, найдем зависимость для определения средней скорости материала на заданном участке от начала движения в следующем виде:

$$U_{\text{ср}} = \left[1 - \left(\frac{\gamma}{\gamma_m - \gamma} \right)^{1,4} \mu^{1,5} \left(\frac{D}{d_3} \right)^2 \left(\frac{v_{sr}}{v} \right)^6 \right] \times \left\{ v - \left[0,33 + \left(1 - 4,5 \frac{d_3}{D} \right) \left(1 - e^{-\frac{8gl}{v^2}} \right) \frac{v^2}{8gl} \right] v_{sr} \right\} \quad (18)$$

Уравнения (13) и (15) описывают экспериментальные данные при скорости воздушного потока, обеспечивающего движение частиц во взвешенном состоянии, т.е. при пневмотранспорте без заиливания. Движение же одиночной частицы возможно и при гораздо меньших скоростях воздушного потока. Нижний предел скорости, при которой происходит транспорт массы материала без заиливания, назовем критической скоростью $U_{кр}$. Величина $U_{кр}$ будет тем больше, чем выше производительность пневмоустановки.

Выражение для расчета критической скорости в зависимости от нагрузки найдем из уравнения (15), приравняв U_m нулю

$$U_{кр} = \left(\frac{\gamma}{\gamma_m - \gamma} \right)^{0,186} \left(\frac{G_m}{\omega \gamma} \right)^{0,2} \left(\frac{D}{d_3} \right)^{0,266} v_{sr}^{0,8} \quad (19)$$

Для проверки уравнения (19) были проведены специальные опыты по определению скорости, при которой происходило частичное оседание материала на дно трубопровода. Значения $U_{кр}$, вычисленные для конкретных случаев, имеют хорошую сходимость с экспериментальными данными (Таблица 2). Опыты проведены с пшеницей на трубе 75 мм.

Таблица 2.

γ кг/м ³	1,32			1,25					
G_m кг/с	1,035	1,99	2,28	0,667	0,675	1,22	1,57	2,09	2,34
$U_{кр}$ экс м/с	13,9	16,7	18	13,6	14,5	15,2	17	16,8	18
$U_{кр}$ расч м/с	15,3	17,4	17,9	14,2	14,3	16	16,7	17,6	18,1

Скорость воздушного потока, найденную по уравнению (19) можно рекомендовать в качестве рабочей в том случае, если обеспечивается равномерная загрузка пневмосети и трасса пневмопровода имеет не сложную конфигурацию. Кроме того следует учитывать изменение плотности несущей среды в процессе эксплуатации и неоднородность гранулометрического состава твердой фазы.

Учитывая вышесказанное, рабочую скорость мы рекомендуем определять из выражения

$$V_{\text{min}} = (1,2 + 1,25) V_{\text{кр}} \quad (20)$$

Минимальная рабочая скорость V_{min} , определенная по выражению (20), обеспечивает такое распределение частиц твердой фазы по сечению трубопровода, при котором создаются достаточные условия для надежного транспортирования без заиливания в случае неизбежного изменения расчетных величин в процессе эксплуатации.

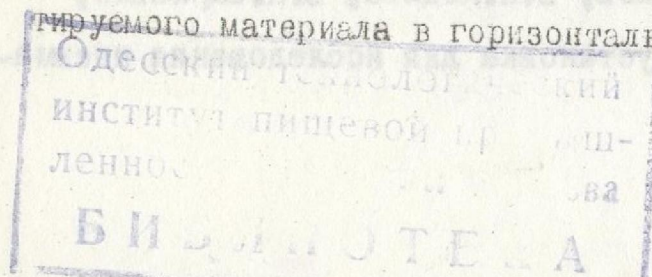
Рекомендуемые для практических расчетов соответствующих величин уравнения (13), (15), (17), (18), (19), (20) достаточно хорошо подтверждаются опытными данными как наших исследований, так и данными ряда авторов (Г. Вельшоф, И. Гастерштадт, М. А. Дементьев, Е. А. Михарев, Г. Зеглер, С. Е. Сакс, О. Адам), полученными на других установках и материалах.

Полученные уравнения могут быть использованы в практических расчетах в диапазоне изменения диаметра трубопроводов 60 + 200 мм, размера частиц 3,6 + 10 мм при скоростях воздушного потока $V_{\text{кр}} \leq V \leq 30$ м/с, при нагрузке на материалопровод 45 + 160 кг/с. м².

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

На основании проведенных экспериментальных исследований получены следующие результаты:

I. Экспериментально подтверждено, что скорость транспортируемого материала в горизонтальных материалопроводах всегда



с. в. 12283

больше, чем в вертикальных.

2. Экспериментально показано, что с достаточной степенью точности, по скорости одиночной частицы, измеренной методом радиоактивных индикаторов, можно говорить о скорости массы транспортируемого материала.

3. Установлено, что твердые частицы испытывают ускорение на всем пути своего движения. С учетом интенсивности роста по длине понятие об участке разгона следует считать условным.

4. Получено расчетное уравнение (15) для определения скорости зернистого материала в заданном сечении по длине трубопровода с учетом ряда факторов, влияющих на процесс пневмотранспортирования.

5. Найдена зависимость для определения средней скорости частиц материала на любом участке от начала движения (18).

6. Предложена расчетная формула для определения длины разгонного участка с наперед заданной степенью разгона (17).

7. Получена формула (19) для расчета скорости воздушного потока, обеспечивающего транспорт без заиливания.

8. Уравнение для расчета $U_{нсп}$ (18) дает возможность определять время пребывания материала в трубопроводе, что важно при совмещении транспорта с процессом нагрева, сушки и охлаждения продукта.

9. Полученные в результате исследований расчетные зависимости (13), (15), (17), (18), (19), (20) могут быть применены при инженерных расчетах горизонтального пневмотранспорта.

Основное содержание диссертации
отражено в следующих публикациях:

1. А.С.Кеммер, Ю.И.Бурдаков, В.И.Коцюба, В.А.Зарницын,
К.Р.Репп "Экспериментальная установка для исследования пневма-

тического транспорта". Материалы научной конференции "Физико-химические основы и технология переработки химического и пищевого сырья и полупродуктов", Барнаул, 1970.

2. Ю.А.Бурдаков, Г.А.Васильева, В.А.Зарницын, К.Р.Репп "Методика испытания пневмоустановок" (Тезисы докладов научно-практической конференции "Механизация и автоматизация погрузо-разгрузочных работ") Барнаул, 1971.

3. Г.Ф.Костюк, В.А.Зарницын "Скорость движения зернового материала и минимальная скорость воздуха при горизонтальном пневмотранспорте", Изв. ВУЗов "Пищевая технология", №6, 1973.

Результаты работы докладывались на

1. научной конференции Алтайского политехнического института им. И.И.Ползунова, Барнаул, 1970,

2. научно-практической конференции "Механизация и автоматизация погрузо-разгрузочных работ" Барнаул, 1971,

БР 00282 12.02.74 г. Формат 60 x 84 1/16
Объем 1,25 п.л. Заказ № 525 Тираж 200 экз.
Городская типография управления по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли Одесского облисполкома.

г. Одесса, Ленина, 49

Буквенные обозначения

A - коэффициент, характеризующий влияние концентрации на скорость частиц материала.

D - внутренний диаметр трубопровода, м

K - коэффициент скольжения,

d_3 - эквивалентный диаметр частицы, м

g - ускорение свободного падения, м/с²

G_m - производительность пневмосети, кг/с

L - длина пневмопровода, м

- длина разгонного участка, м

γ, γ_m - объемный вес воздуха и транспортируемого материала, кг/м³

t - время, с

U - средняя по сечению трубопровода скорость воздуха, м/с

U_m - скорость частиц материала, м/с

$U_{\text{ср}}$ - средняя скорость частиц на участке от начала движения, м/с

U_{min} - минимальная рабочая скорость воздуха, м/с

$U_{\text{кр}}$ - критическая скорость, соответствующая транспорту без заиливания, м/с

$U_{\text{од}}$ - скорость одиночной частицы, м/с

$U_{\text{мр}}$ - осредненная скорость массы материала, м/с

U_s - скорость витания, м/с

$U_{\text{вз}}$ - взвешивающая скорость, м/с

μ - коэффициент весовой концентрации

λ - коэффициент, характеризующий степень разгона частиц

ω - площадь поперечного сечения трубопровода, м².