

Автор еф.  
К 45

Министерство высшего и среднего специального  
образования У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

КОЦУБА Василий Петрович

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА  
НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПНЕВОТРАНСПОРТА ЗЕРНА

(Специальность 05.02.14. Машины и агрегаты  
пищевой промышленности)

Диссертация написана на русском языке

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1973

Министерство высшего и среднего специального  
образования У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ  
ИМЕНИ М. В. ЛОМОНОСОВА

На правах рукописи

КОЦУБА Василий Петрович

ВЛИЯНИЕ ФОРМЫ ПОПЕРЕЧНОГО СЕЧЕНИЯ ТРУБОПРОВОДА  
НА ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ И ЭНЕРГОЕМКОСТЬ  
ГОРИЗОНТАЛЬНОГО ПНЕВМОТРАНСПОРТА ЗЕРНА

(Специальность 05.02.14. Машины и агрегаты  
пищевой промышленности)

Диссертация написана на русском языке

Период 1984 г.

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

VO 12121

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

Одесса - 1973

Работа выполнена на кафедре "Машины и аппараты пищевых производств" Алтайского политехнического института имени И.И.Ползунова.

Научные руководители

- доктор технических наук, профессор А.М.Дзядзио;
- кандидат технических наук, доцент А.С.Кеимер.

Официальные оппоненты

- доктор технических наук, профессор М.П.Калинушкин;
- кандидат технических наук, доцент Г.Ф.Костюк.

Ведущее учреждение - Украинский филиал ВНИИ комбикормов.

Защита диссертации состоится "25" мая 1973 г. на заседании Ученого совета Одесского технологического института пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "19" марта 1973 г.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах направить по адресу: 270039, г.Одесса, ГСП-5Ю, ул.Свердлова, 112 Одесский технологический институт пищевой промышленности им. М.В.Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Ученый секретарь совета

/Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ/

На современном этапе экономического развития нашей страны, как подчеркнуто в решениях XXIV съезда КПСС, значительно возрастает роль тех отраслей народного хозяйства, которые призваны обслуживать процесс основного производства. В числе этих отраслей прежде всего находится всякого рода транспорт. Его надежность, долговечность, гибкость, экономичность в большой мере определяют дальнейший рост эффективности всей экономики.

Девятым пятилетним планом развития народного хозяйства намечается решение многих задач, требующих дальнейшего роста и совершенствования всех видов транспорта и, в том числе, транспорта порошковых, зернистых, волокнистых и кусковых материалов. Перемещение таких материалов в настоящее время во многих случаях с успехом осуществляется пневматическим транспортом.

Практика показала, что пневматический транспорт, наряду с неоспоримыми преимуществами имеет некоторые недостатки. Главным из них является сравнительно высокий расход энергии.

Благодаря тщательным исследованиям А.М.Дзядзио, М.П.Калинушкина, А.С.Кеммера, В.С.Пальцева, З.А.Успенского, В.А.Шваба, Г.Вельшофа и многих других в настоящее время имеются законченные методики расчета и определены режимы, обеспечивающие минимальный расход энергии на пневмотранспорт как в вертикальных, так и в горизонтальных круглых трубах.

Однако, как показали теоретические исследования Латипова К.Ш., круглая форма горизонтального транспортного трубопровода не позволяет оптимально использовать энергию транспортирующей среды. Поэтому некоторые исследователи пневмотранспорта (Г.Вельшоф, М.П.Калинушкин, А.М.Корн) отдадут предпочтение некруглым профилям. Однако рекомендации по выбору формы поперечного сечения материалопроводов, приведенные в работах этих исследователей, противоречивы.

Экспериментальная работа И-Б.В.Линартаса указывает на перспективность применения некруглых трубопроводов для пневмотранспорта пылевидного фрезерного торфа. Однако она совершенно не затрагивает вопрос пневмотранспорта зерновых и зернистых материалов в трубопроводах различного профиля.

Поэтому цель настоящего исследования - выявить влияние формы поперечного сечения трубопровода на гидравлические сопротивления, "завальные" скорости и энергоемкость горизонтального пневмотранспорта зерновых материалов.

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав и выводов.

В первой главе приведен краткий обзор и анализ литературных данных по пневмо- и гидротранспорту в трубопроводах различной формы поперечного сечения.

Проведенный обзор показывает, что основное внимание исследователей пневмотранспорта уделено гидравлическому расчету круглых материалопроводов и для этого расчета в литературе имеются необходимые данные.

Исследований движения гидро- и аэросмесей в трубах некруглого сечения очень мало.

Исследование гидравлических сопротивлений при пневмотранспорте в трубопроводах различной формы поперечного сечения <sup>провел</sup> И-Б.В.Линартас. Он исследовал материалопроводы прямоугольного, треугольного и круглого сечения. Однако опыты им проводились при очень низких весовых концентрациях ( $\mu < 1$ ) на одном пылевидном материале и только на участке установившегося движения. Поэтому расчетные зависимости и рекомендаций названной работы не могут быть обобщены на пневмотранспорт других сыпучих материалов.

Считая, что применение некруглых трубопроводов будет способствовать снижению энергоемкости при горизонтальном пневмотранспор-

те зерна, учитывая малую изученность этого вопроса и противоречивость рекомендаций по выбору формы поперечного сечения материалопровода, в настоящей работе поставлены следующие основные задачи:

- экспериментальное исследование гидравлических сопротивлений при горизонтальном пневмотранспорте зерна в трубопроводах различной формы поперечного сечения с целью получения расчетных зависимостей для определения потерь давления;

- экспериментальное исследование влияния профиля трубопровода на "завальную" скорость с целью получения расчетных зависимостей для определения границ завалов;

- исследование удельной энергоемкости материалопроводов с целью выявления рациональной формы трубопровода для горизонтального пневмотранспорта зерна.

Во второй главе изложены вопросы аналитического определения потерь давления в прямых горизонтальных материалопроводах и определения критических скоростей воздуха при пневмотранспорте крупнозернистых материалов.

На основании известного принципа наложения гидравлических сопротивлений потери давления при движении аэросмеси  $H_{см}$  по горизонтальным трубам рассматриваются как сумма потерь давления, возникающих в приемнике  $H_{пр}$ , при перемещении чистого воздуха  $H$ , при сообщении частицам материала конечной скорости  $H_p$  и при перемещении материала в потоке воздуха  $H_m$ , т.е.

$$H_{см} = H_{пр} + H + H_p + H_m = \xi_{пр} H_0 + \lambda \frac{L}{D} H_0 + \beta \mu H_0 + \lambda_m \frac{L}{D} \mu H_0 \quad (I)$$

При движении аэросмеси в некруглых трубах в качестве характерного линейного размера принят учетверенный гидравлический радиус  $4 R_r$ .

Известно, что для круглых труб коэффициент сопротивления для каждого типа приемников является величиной постоянной, а коэффици-

ент гидравлического сопротивления  $\lambda$  зависит от числа Рейнольдса и относительной шероховатости.

Экспериментальными исследованиями необходимо определить влияние профиля трубопровода на коэффициенты  $\zeta_{пр}$  и  $\lambda$ .

Величины коэффициента сопротивления  $\lambda_m$  и коэффициента разгона  $\beta$  для некруглых материалопроводов по аналогии с работами А.М. Дзядзио можно представить как функцию нескольких критериев, вводя в уравнение условный фактор формы трубопровода  $\phi$ . Для условий наших опытов эти уравнения будут представлены следующими функциональными зависимостями:

$$\lambda_m = f(R_e, Re_{вир}, \frac{4R_r}{d_s}, \phi) \quad (2)$$

$$\beta = f(F_r, Re_{вир}, \frac{4R_r}{d_s}, \phi) \quad (3)$$

Таким образом, наряду с основной задачей исследования по выявлению рациональной формы трубопровода для пневмотранспорта зерна, необходимо установить также степень влияния формы поперечного сечения материалопровода на коэффициенты  $\lambda_m$  и  $\beta$ .

Поскольку во все расчетные уравнения для определения гидравлических сопротивлений и энергоемкости пневматического транспорта в качестве основной определяющей величины входит скорость воздуха  $V$ , то в настоящей работе рассмотрен также вопрос критической скорости воздуха, под которой понимается случай, когда сила веса  $G$  транспортируемой частицы равна подъемной силе  $\Pi$ , действующей на частицу со стороны потока.

Подъемная сила  $\Pi$  рассматривается как сумма сил, возникающих в результате вращения сферической частицы в горизонтальном воздушном потоке (рис. I, а) и в результате неравномерного распределения скоростей воздуха по сечению трубопровода (рис. I, б).

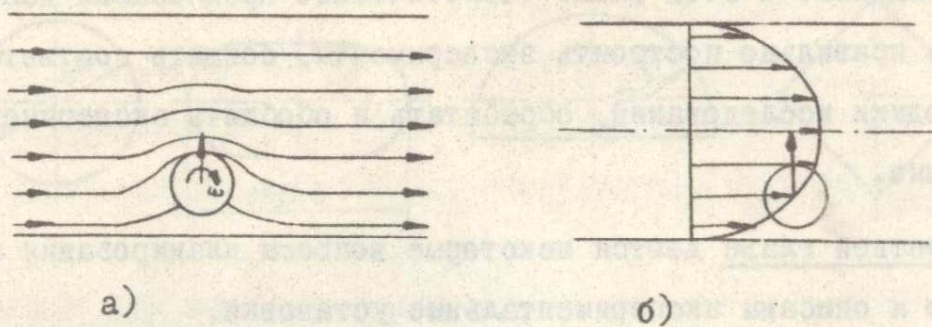


Рис. 1. Виды обтекания, создающие подъемную силу.

Используя законы аэродинамики и приравнивая подъемную силу  $\Pi$  силе веса сферической частицы, после необходимых преобразований получается аналитическое уравнение для определения критической скорости воздуха в круглой трубе:

$$V = V_{кр} = \frac{\rho \psi^2 V_{внт}^2 k + \frac{\rho_m d g}{3}}{\sqrt{\frac{\lambda}{8}} \rho \psi V_{внт} k \left[ A + \frac{B}{2} \lg \left( \frac{y^2 - z^2 \cdot V_*^2}{y^2 \cdot V_*^2} \right) \frac{\partial d}{\partial R} \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{z}{R}} \right) \right]} \quad (4)$$

Уравнение (4) трансцендентно относительно  $V$ , так как в правой части его  $V_*$  и  $\lambda$  также зависят от скорости  $V$ . Для решения такого уравнения можно применить графический метод или метод последовательных приближений с применением ЭВМ.





Экспериментальные значения критической скорости получаются на 15-23% меньше, полученных по формуле (4) для тех же условий. Это можно объяснить отклонением шара, применяемого в опытах от идеальной сферы, которое способствует более раннему отрыву шара от дна круглой трубы.

Необходимо отметить, что уравнение (4) не универсальное. Оно не учитывает влияния концентрации аэросмеси и формы поперечного сечения трубопровода на критическую скорость воздуха. Установить степень влияния указанных факторов на критическую скорость воздуха можно с помощью экспериментальных исследований.

Приведенные в этой главе теоретические предпосылки дали возможность правильно построить эксперименты, создать соответствующие методики исследований, обработать и обобщить экспериментальные данные.

В третьей главе даются некоторые вопросы планирования экспериментов и описаны экспериментальные установки.

Экспериментальные исследования проведены на специально созданной на территории Барнаульского мелькомбината натурной установке производственного типа.

Для выявления влияния формы поперечного сечения трубопровода на гидравлические сопротивления и энергетику при пневмотранспорте изготовлены четыре различных профиля: круглый (  ), полукруглый (  ), полуовальный (  ) и квадратный (  ) одинакового гидравлического радиуса ( $4R_r = 104$  мм). Дополнительно изготовленный круглый трубопровод диаметром 114 мм имел одинаковую площадь поперечного сечения с полуовальным трубопроводом. Все трубы изготовлены из листовой стали длиной по 20 метров каждого профиля.

Для выявления влияния высоты и площади дна трубопровода на гидравлические сопротивления и "завальные" скорости каждый некруглый материалопровод испытан дважды при различной ориентации главных полуосей сечения (рис.2).

Опыты проведены на четырех зерновых материалах: просе, пшенице, сое мелкой и крупной, при скоростях витания  $V_{\text{вит}}$  от 7 до 12 м/сек, эквивалентных диаметрах частиц  $d_e$  от 2 до 6 мм и примерно одинаковых объемных весах. При этом в широком интервале изменялись скорости транспортирующего воздуха  $V$  и нагрузка.

В этой же главе описана установка для определения скоростей витания.

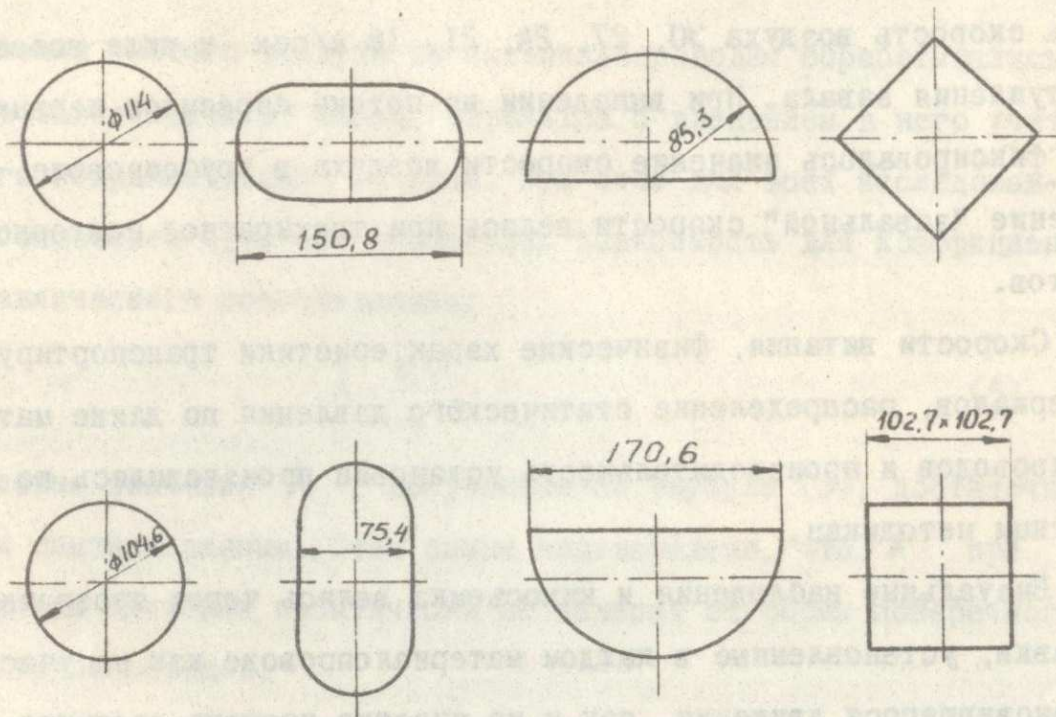


Рис. 2. Исследование формы поперечного сечения материалопровода.

В четвертой главе описаны методики проведения экспериментов.

Измерения гидравлических радиусов трубопроводов производились объемным способом, а для контроля шероховатости стенок труб был применен метод слепков.

Скорость воздуха в пневмотранспортных трубопроводах устанавливалась по эталонным входным коллекторам, выточенным по лемнискате.

Измерение поля скоростей и крутки потока в трубопроводах различной формы поперечного сечения производилось с помощью тарированных пневмометрической трубки и пятиканального шарового зонда.

Измерения распределения продукта по высоте поперечного сечения материалопроводов осуществлялось с помощью специальной четырехсекционной ловушки.

Основные опыты как на чистом воздухе, так и на каждой производительности велись по обычной методике. При этом устанавлива-

лась скорость воздуха 30, 27, 24, 21, 18 м/сек. и ниже вплоть до наступления завала. При выпадении из потока аэросмеси первых частиц фиксировалось значение скорости воздуха в трубопроводе. Определение "завальной" скорости велось при трехкратной повторности опытов.

Скорости витания, физические характеристики транспортируемых материалов, распределение статического давления по длине материалопроводов и производительность установки производились по известным методикам.

Визуальные наблюдения и киносъемка велись через прозрачные вставки, установленные в каждом материалопроводе как на участке установившегося движения, так и на участке разгона продукта.

Перед проведением экспериментов установка тщательно герметизировалась.

В пятой главе описана методика обработки экспериментальных данных с получением конкретных зависимостей для расчета потерь давления и "завальной" скорости.

Вся обработка и обобщение опытных данных проведены чисто аналитическим путем на ЭЦВМ "Минск-22" с помощью вспомогательных графических построений и с использованием метода наименьших квадратов и метода средних.

Обработкой опытных данных по потерям давления в приемниках установлено, что коэффициент сопротивления приемников типа "тройник" не зависит от формы поперечного сечения и практически одинаковый для круглых и некруглых труб.

Измерение шероховатости стенок труб и последующие расчеты показали, что все основные опыты проводились в области гидравлически гладких труб. Поэтому экспериментальные данные, полученные







при движении чистого воздуха по материалопроводам обрабатывались только в зависимости от числа Рейнольдса с введением в него учет-веренного гидравлического радиуса. При этом для всех исследован-ных трубопроводов получена обобщенная зависимость для коэффициен-та гидравлического сопротивления:

$$\lambda = \frac{0,13}{Re^{0,17}} \quad (5)$$

Числовые значения  $\lambda$ , полученные по формуле (5), достаточно близки к опытным данным. Этим самым подтверждено, что  $\lambda$  при турбулентном движении практически не зависит от формы поперечного сечения трубопроводов.

При исследовании функционального уравнения (3) с помощью эк-спериментальных данных зависимости коэффициента разгона  $\beta$  от формы поперечного сечения трубопровода не обнаружено. Поэтому дальнейшая обработка опытных данных для коэффициента  $\beta$  проводи-лась по функциональной зависимости

$$\beta = f(F_r, Re_{\text{внт}}, \frac{4R_r}{d_3}) \quad (6)$$

Анализ экспериментальных данных при установившемся движении аэросмеси показал, что наибольшее сопротивление при прочих равных условиях имеет квадратный трубопровод, наименьшее - полуovalный (на крупных продуктах) и круглый (на мелких продуктах). При ско-ростях воздуха, близких к завалу, несколько меньшие потери давле-ния имеют некруглые материалопроводы с плоским дном (  ,  ,  ) по сравнению с материалопроводами с неплоским дном (  ,  ,  ).

Однако уже при скоростях воздуха, начиная с 30 м/сек и выше, ориентация в пространстве главных полуосей трубопроводов практи-

чески не влияет на гидравлические сопротивления при пневмотранспорте зерновых материалов.

Так как коэффициент сопротивления при движении материала в потоке воздуха  $\lambda_m$  оказался существенно зависимым от формы поперечного сечения материалопровода, то окончательная обработка опытных данных проводилась по уравнению (2).

Графический анализ функций (2) и (6) в логарифмических координатах показал, что они могут быть описаны степенными уравнениями.

Обработка экспериментальных данных по таким уравнениям была проведена с помощью наименьших квадратов с последующим решением полученной системы уравнений способом Гаусса на ЭЦВМ "Минск-22". В результате для всех исследованных материалопроводов получена одна формула для расчета коэффициента разгона:

$$\beta = 2,98 \cdot 10^{-6} F_r^{0,21} Re_{\text{внт}}^{0,8} \left( \frac{4Rr}{d_2} \right)^{1,66} \quad (7)$$

Для расчета коэффициента  $\lambda_m$  для круглых труб получена формула вида:

$$\lambda_m = 6,1 \cdot 10^{-4} Re^{-0,7} Re_{\text{внт}}^{0,92} \left( \frac{D}{d_2} \right)^{1,09} \quad (8)$$

Для каждого некруглого материалопровода получена своя формула. Однако благодаря введению условного коэффициента формы трубопровода получена общая для всех исследованных некруглых трубопроводов формула:

$$\lambda_m = 0,29 Re^{-0,6} Re_{\text{внт}}^{0,26} \left( \frac{4Rr}{d_2} \right)^{0,52} \phi^{0,71} \quad (9)$$

Условный коэффициент формы  $\phi$  введен на основании анализа наших экспериментальных данных и данных других авторов и пред-

ставляют собой безразмерный критерий, составленный по площади, вписанной в поперечное сечение окружности  $F_{вл}$ , площади сечения материалопровода  $F$ , диаметру описанной вокруг сечения окружности  $D_{оп}$  и эквивалентному по площади сечения диаметру  $D_э$ :

$$\phi = \frac{F_{вл} \cdot D_{оп}}{F \cdot D_э} \quad (10)$$

Значения  $\beta$  и  $\lambda_m$ , рассчитанные по формулам и полученные экспериментально, имеют вполне удовлетворительную сходимость (расхождения не превышают  $\pm 10\%$ ).

Выражения (7), (8) и (9) справедливы в пределах изменения параметров:

$$\frac{4R_r}{d_э} = 16 \div 45; \quad R_{e_{вир}} = 1000 \div 5500; \quad R_e = 10^5 (1,0 \div 2,1);$$

$$\mu \leq 7; \quad \phi = 0,5 \div 1,0$$

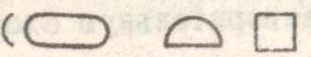
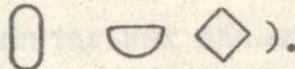
С целью облегчения расчета потерь давления в полуовальных материалопроводах по формулам (5), (7) и (9) в работе дается расчетная таблица.

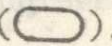
Для выяснения причин различия в выражениях (8) и (9) проведены специальные исследования в круглом и квадратном материалопроводах.

Исследованием по определению скорости и распределения по высоте поперечного сечения транспортируемых частиц обнаружены явления, указывающие на существование некоторого различия в характере движения крупных и мелких частиц в материалопроводах круглого и квадратного профиля.

При исследовании поля скоростей и крутки потока подтверждено существование вторичных течений в углах квадратной трубы. Однако из-за своей малости эти течения не могут существенно повлиять на

характер движения крупнозернистых частиц в трубопроводе. Вопрос этот, по-видимому, потребует в дальнейшем постановки специальных экспериментально-теоретических исследований.

Исследование границ завалов показало, что "завальная" скорость воздуха зависит от формы поперечного сечения трубопровода и ориентации главных его полуосей в пространстве, а также от производительности и аэродинамических свойств транспортируемых частиц. Меньшие "завальные" скорости имеют некруглые трубопроводы с плоским дном (  ) по сравнению с этими же трубами при неплоском дне (  ).

Наиболее стабильное транспортирование допускает полуовальный трубопровод с горизонтальным расположением большей полуоси (  ). По сравнению с круглым материалопроводом "критическая", а значит и минимальная надежно транспортирующая скорость воздуха может быть существенно снижена. Это подтверждает правильность предположений Вельшофа Г. и Вохмянина Н.С. о том, что при большей площади основания и меньшей высоте поперечного сечения трубопровода стабильное транспортирование наступает раньше.

Обработкой опытных данных получена расчетная формула для определения "завальной" скорости воздуха в полуовальном материалопроводе:

$$V_3 = 6,5 V_{\text{виг}}^{0,21} G_m^{0,25} \quad (\text{II})$$

В формуле (II) значение производительности пневмоустановки  $G_m$  берется в т/час.

В шестой главе рассмотрены вопросы практического применения полуовальных материалопроводов для горизонтального пневмотранспорта зерновых материалов. Показана целесообразность замены обычных труб полуовальными.

Сравнительный расчет показывает, что при одинаковой площади поперечного сечения удельная энергоемкость полуовального материалопровода снижается по сравнению с круглым трубопроводом на  $10\pm 33\%$ . Такое снижение эксплуатационных затрат позволяет в сравнительно короткий срок окупить несколько большие первоначальные затраты на изготовление полуовальной трубы.

Технико-экономические расчеты, проведенные на примере конкретных пневмосетей Барнаульского мелькомбината, показали экономическую эффективность применения полуовальных трубопроводов. Так, для двух пневмосетей отходов окупаемости капитальных затрат составит меньше одного года.

Установка полуовальных трубопроводов на горизонтальных участках пневмосети, подающей мелкое зерно из мельниц в элеватор на Барнаульском мелькомбинате, позволила повысить производительность сети на  $20\%$  и улучшить стабильность её работы. Годовой экономический эффект от внедрения полуовальных труб в одной пневмосети составляет 469 рублей.

#### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

Комплексные экспериментальные исследования на натуральных установках полупроизводственного типа и математическая обработка большого числа опытов с применением теории подобия и ЭЦВМ позволили сделать ряд обобщающих выводов.

Основной итог исследования заключается в том, что впервые в применении к пневматическому транспорту зерновых материалов найдена рациональная форма поперечного сечения трубопровода и получены расчетные зависимости для определения потерь давления в горизонтальных трубопроводах различного профиля.

Приведенные зависимости (5), (7), (9) и (II) можно рекомендовать для практических инженерных расчетов, так как они надежно подтверждаются экспериментами в широком диапазоне изменения переменных, определяющих процесс транспортирования.

Что касается частных выводов, то они заключаются в следующем:

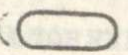
1. На основе анализа экспериментальных данных по потерям давления в приемниках установлено, что коэффициент сопротивления горизонтальных приемников типа "тройник" не зависит от формы поперечного сечения и является величиной постоянной.

2. В результате опытов на "чистом" воздухе получена общая для всех исследованных трубопроводов (круглого, полукруглого, квадратного и полуовального) формула (5) для коэффициента гидравлического сопротивления  $\lambda$ .

3. Экспериментальным исследованием установлено, что коэффициент сопротивления при движении материала, в отличие от коэффициента разгона, существенно зависит от формы поперечного сечения трубопровода.

4. В результате обработки большого числа экспериментальных данных по пневмотранспорту зерновых материалов (соя крупной и мелкой, пшеницы и проса) впервые получены расчетные формулы для определения коэффициента разгона  $\beta$  и коэффициента сопротивления  $\lambda_m$  для трубопроводов различного профиля.

5. На основе опытов по определению границ завалов установлено, что "завальная" скорость зависит от формы поперечного сечения трубопровода, ориентации сечения в пространстве, производительности установки и аэродинамических свойств транспортируемых частиц.

Впервые получена расчетная формула для определения "завальной" скорости в полуовальном (  ) трубопроводе.

6. Экспериментальные исследования показали, что при горизонтальном пневмотранспорте зерновых материалов энергия транспортирующего воздуха лучше используется в трубопроводах, имеющих большую площадь основания.

7. В результате анализа удельной энергоемкости выявлено, что наиболее рациональным для горизонтального пневмотранспорта зерновых материалов является полуовальный материалопровод, позволяющий снизить эксплуатационные затраты на 10-33%.

8. Использование рекомендаций настоящей работы при внедрении полуовального материалопровода на Барнаульском мелькомбинате повысило на 20% производительность пневмосети мелкого зерна и улучшило стабильность её работы. Экономический эффект от внедрения составил 469 рублей в год.

#### БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$A, B$  - постоянные коэффициенты:  $A = 55$ ;  $B = 5,75$ ;

$\alpha, \varphi$  - коэффициенты пропорциональности;

$D, R$  - диаметр и радиус трубы;

$d, r$  - диаметр и радиус частицы;

$g$  - ускорение силы тяжести;

$F_r$  - критерий Фруда;

$H_d$  - динамическое давление потока;

$k$  - коэффициент, учитывающий отличие шаровой частицы от цилиндра;

$L$  - длина трубопровода;

$Re_{\text{вит}}$  - критерий Рейнольдса, базирующийся на скорости витания;

$V_*$  - "динамическая" скорость потока;

✓ 12121 17

- $y$  - текущая координата;  
 $K$  - константа эксперимента;  
 $\rho, \rho_m$  - плотность воздуха и транспортируемого материала;  
 $\nu$  - кинематическая вязкость воздуха;  
 $\mu$  - коэффициент весовой концентрации аэросмеси.

Основные результаты данной работы доложены на:

1. Конференции молодых ученых Алтая, посвященной 50-летию ВЛКСМ "Молодежь, наука, созидание", 1968.
2. Научной конференции профессоров, преподавателей, сотрудников и аспирантов Алтайского политехнического института имени И.И.Ползунова по итогам работы за 1968-69 годы, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина.
3. Всесоюзной конференции по специальным вопросам гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред в НИИПММ при Томском государственном университете, 1971.
4. Кафедре "Теплотехника, гидравлика и промвентиляция" Херсонского филиала ОТИП, 1972.
5. Семинаре кафедры аэромеханики и лаборатории аэродинамики и теплообмена НИИПММ при Томском государственном университете, 1972.

По теме диссертации опубликованы следующие работы:

1. Бурдаков Ю.И., Коцуба В.П., Шелудько Н.Н. Методика совместной тарировки коллекторов установки витания. Материалы научной конференции. Химия и химическая технология, Барнаул, 1967.
2. Бурдаков Ю.И., Коцуба В.П., Шелудько Н.Н. Анализ работы пневмотранспортных установок для отходов на некоторых хлебопри-

емных пунктах Алтая. Материалы научной конференции. Химия и химическая технология, Барнаул, 1967.

3. Кеммер А.С., Коцюба В.П. Измерение шероховатости материаловопроводов пневмотранспорта. Труды Алтайского политехнического института им.И.И.Ползунова, вып.8 "Химия и химическая технология", Барнаул, 1970.

4. Кеммер А.С., Бурдаков Ю.И., Зарницын В.А., Коцюба В.П., Рпп К.Р. Экспериментальная установка для исследования пневматического транспорта. Материалы научной конференции "Физико-химические основы и технология переработки химического и пищевого сырья и полуфабрикатов." Барнаул, 1970.

5. Кеммер А.С., Коцюба В.П. Об энергетике пневматического транспорта зерновых материалов в трубах различных поперечных сечений. Материалы конференции "Специальные вопросы гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред". Томск, 1971.

6. Кеммер А.С., Коцюба В.П. Гидравлические сопротивления труб некруглого поперечного сечения при движении чистого воздуха. Труды Алтайского политехнического института им.И.И.Ползунова, вып.17, Барнаул, 1972.

7. Коцюба В.П. О пневматическом транспорте зернистых материалов в горизонтальных трубах различных форм поперечного сечения. Труды Алтайского политехнического института им.И.И.Ползунова, вып.17, Барнаул, 1972.