

Автор ер.
Р41

МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Переучет 1987

К.Р. РЕПП

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
КОЛЕН И ОТВОДОВ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ ЗЕРНА
И ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ

(специальность 05175. Машины и аппараты
пищевой промышленности)

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

Одесса - 1971

**МИНИСТЕРСТВО
ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР**

К.Р. РЕП

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СОПРОТИВЛЕНИЙ
КОЛЕН И ОТВОДОВ ПРИ ПНЕВМОТРАНСПОРТЕ ЗЕРНА
И ЗЕРНИСТЫХ МАТЕРИАЛОВ**

**(специальность 05175. Машины и аппараты
пищевой промышленности)**

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

v011914
**Одесский технологический
институт пищевой про мыш-
ленности им. В. Ломоносова
БИБЛИОТЕКА**

ОНАХТ 29.05.12
Исследование гидравл



v011914

Одесса - 1971

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

Научные руководители:
доктор технических наук, профессор А.М. ДЗЯДЗИО,
кандидат технических наук, доцент А.С.КЕММЕР.

Официальные оппоненты:
доктор технических наук, профессор П.Н. ПЛАТОНОВ,
кандидат технических наук, доцент Г.Ф.КОСТЮК.

Ведущее учреждение - Украинский филиал Всесоюзного научно-исследовательского института комбикормов.

Защита диссертации состоится
"28" декабря 1972 г.

на заседании Учёного Совета Одесского технологического института пищевой промышленности им.М.В.Ломоносова.

Автореферат разослан "27" декабря 1971 г.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах направлять по адресу:
270039 г.Одесса, ул.Свердлова, 112, Технологический институт пищевой промышленности им.М.В.Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА - Д.А.Запорожец

Директивы XXIV съезда Коммунистической партии Советского Союза по пятилетнему плану на 1971-1975 годы предусматривают дальнейшее широкое внедрение в народное хозяйство всех новейших достижений науки и техники, завершение комплексной механизации и автоматизации трудоемких процессов, оздоровление условий труда и повышение его производительности, большое внимание уделяют и совершенствованию всех видов транспорта, в том числе транспорта сыпучих и кусковых материалов, одним из наиболее прогрессивных способов которого сейчас является пневматический транспорт.

Если по пневмотранспорту сыпучих материалов в прямолинейных участках материалопроводов имеются к настоящему времени весьма тщательно и хорошо поставленные исследования А.М. Дзядзио, В.С. Пальцева, В.А.Шваба, А.С.Кеммера, Б.И.Браунштейна, О.М.Тодеса, Г.Вельшофа, В.А.Штаннарда и многих других, широко обобщающие рассматриваемые вопросы и дающие конкретные инженерные методы их решения, то в применении к движению сыпучих через повороты материалопроводов подобных выводов сделать пока нельзя. Между тем, повороты (отводы и колена) являются неременной и часто очень существенной составной частью большинства пневмоустановок, ощутимо влияющих на энергетику и на процесс пневмотранспорта в целом.

Обзор более 25 интересных экспериментальных, теоретических и экспериментально-теоретических исследований поворотов потока при пневмотранспорте (К.И. Страховича, А.О.Спиваковского, В.М.Пономарева, Л.М.Горцакаляна, В.А.Успенского, Б.Н. Лобаева, Г.Вельшофа, Г.Зеглера, Ф.Г.Зуева, Я.Урбана, А.И.Карпова, М.Марковского, Гото Кейси, А.Хэйга, Г.Вейднера и многих других), проведенный во введении и первой главе диссертации, показал, что многие вопросы методики конкретных инженерных расчетов сопротивлений и энергетики колен и

отводов при движении через них аэросмесей изучены пока еще далеко не полностью и не поддаются должному обобщению. Некоторые исследования выполнены при сравнительно узком диапазоне переменных, влияющих на процесс транспортирования аэросмесей в поворотах. Имеются работы, дающие прямо противоположные рекомендации по влиянию на гидравлические сопротивления при поворотах таких параметров, как плавность закругления, положение в пространстве. И, наконец, сопротивления одних и тех же отводов, подсчитанные по данным различных авторов для одних и тех же условий транспортирования, отличаются друг от друга в 2-3 и более раз.

Поэтому целью настоящего исследования является не только установление обобщенных критериальных зависимостей, определяющих гидравлические сопротивления и энергетику при движении аэросмесей в поворотах потоков, но и главным образом, получение конкретных обоснованных практических инженерных уравнений и методик для расчета сопротивлений колен и отводов при пневмотранспорте зерновых и зернистых материалов в возможно более широком диапазоне изменения переменных (применительно к обычному транспорту частиц во взвешенном состоянии при весовых концентрациях до 10).

Решению этой основной задачи в работе способствовало, помимо определенных теоретических исследований, широкое применение теории подобия как к постановке и методикам экспериментов, так и к обработке и обобщению теоретических данных. Вся обработка и обобщение экспериментов проведены чисто аналитическим путем с помощью ЭЦВМ "Минск-14" и "Минск-22", при этом графические построения использовались лишь в качестве вспомогательных. На этих же машинах решались аналитические уравнения для определения потерь давления в поворотах. Эти обстоятельства (в известной степени) повышают достоверность полученных в работе выводов и рекомендаций.

Вторая глава диссертации посвящена аналитическому определению потерь давления при движении аэросмесей через отводы, состоящих из сопротивления собственно отводов и потерь на разгон материалов в следующих за ними прямолинейных участках материалопроводов.

Анализ литературных и экспериментальных данных показал, что при выводе уравнений движения вполне допустимо считать, что основная доля потерь давления при движении аэросмесей через повороты приходится на потери на разгон материала в прямолинейных участках материалопроводов за отводами; сопротивление же собственно отводов сравнимо с сопротивлением обычных прямолинейных участков; что в прямолинейных участках до и после отводов материал сравнительно равномерно распределен по сечению материалопровода и центр массы его совпадает с осью симметрии трубы.

Помимо этого можно также считать, что материал в отводе до соприкосновения с его стенкой движется практически прямолинейно а так как коэффициент восстановления для зерновых материалов менее единицы (например для пшеницы он равен $0,35 \pm 0,4$) то, как показал анализ, угол отражения таков, что после удара о стенку отвода частицы практически не отскакивают от стенки, а перемещаются вдоль ее. В дальнейшем же частицы материала участвуют в двух движениях: переносном-вдоль дуги отвода и относительном-по дуге трубы под действием следующих сил:

центробежных переносного и относительного движений, аэродинамического сопротивления, тяжести, кориолисова ускорения и сил сопротивления.

С учетом этого получена система дифференциальных уравнений, описывающих движение материала в отводе, независимо от его положения в пространстве. Решение этой системы уравнений дает значения скорости материала на выходе из отвода. Полные потери давле-

ний в отводе и на разгон материала за ним до скорости установившегося движения определяются по выражению:

$$H = \left[\left(\zeta_0 + \lambda_0 \frac{L}{D} \right) + \mu \frac{w}{v} \left(1 + \frac{w_{\text{вых}}^2}{w^2} \right) \right] \frac{\rho v^2}{2} \quad (1)$$

Разность этих потерь и потерь по длине отвода дает дополнительные потери в отводе.

Обработка полученных в диссертации основных уравнений методами теории подобия приводит к обобщенной критериальной зависимости не только для $H_{\text{см}}$, но и для $\zeta_{\text{см}}$ и ζ_m для плавно изогнутых отводов

$$\zeta_m = f \left(\frac{R}{D}; \frac{D}{d_s}; \frac{\rho_m}{\rho}; f_m; Re \right. \\ \left. Fr; \kappa; Re_{\text{sum}} \right) \quad (2)$$

Для секционных сварных поворотов в это уравнение дополнительно входит величина n - число секций.

Эти зависимости дали возможность правильно построить эксперимент, создать соответствующие методики исследований, обработать и обобщить экспериментальные данные.

Массовые эксперименты проведены на специально созданной на территории Барнаульского машиностроительного завода натурной установке полупроизводственного типа, описанной в третьей главе. Материалопроводы установки смонтированы из цельнотянутых стальных труб с плавно загнутыми отводами $R/D = 6$ для труб диаметром 99,8 мм и 154,6 мм; $R/D = 0,2, 4, 6, 8$ и 10 и секционными, с $n = 1+7$ при $R/D = 6$ для труб диаметром 74,8 мм. Через каждый метр длины трубопровода установлены мерные шайбы, соединенные полиэтиленовыми трубками с батарейным микроманометром для фиксации изменения статического давления по длине этого материалопровода, что в конечном итоге дает возможность получить истери давления в его участках. Трубы имеют горизонтальные и вертикальные прямолинейные участки, соединенные между собой отводами. Транспортируемый материал подается из вибрационного пи-

тателя, производительность которого можно менять в широких пределах, в горизонтальную часть материалопровода и транспортируется до отделителя. Отделенный от воздуха материал поступает снова в питатель либо на весы. Собранные в один блок два прямолинейных участка диаметром 74,8 мм и длиной 8 и 10 м, соединенные между собой отводом $R/D = 6$ могут менять свое положение в пространстве. Во время проведения экспериментов в последнем случае одна ветвь находится постоянно в горизонтальном положении, а другая опускается (или поднимается) от горизонтального положения до вертикального. Эксперименты проведены на просе, пшенице, сое (мелкой и крупной), четырех видах капроновых шариков различной плотности в широком интервале изменения скоростей транспортирующего воздуха, которые устанавливались с помощью аэродинамического стенда, смонтированного в разьеме воздуховодов за отделителем. Он представляет из себя полый цилиндр диаметром 800 мм, сваренный из листовой стали, внутри которого устанавливается съемный коллектор. Диаметр коллектора равен внутреннему диаметру материалопровода.

В этой же главе описана установка для определения скоростей витания.

В четвертой главе описаны методики проведения экспериментов.

Скорости воздуха в материалопроводах устанавливались от 18 до 36 м/сек с шагом 3 м/сек по специальным графикам, построенным при тарировке аэродинамического стенда, по оси абсцисс которых откладывались значения статических давлений ($H_{\text{см}}$) в стенде, а по оси ординат - разность статических давлений в стенде и коллекторе. Тарирование велось при герметично закрытом питающем самотеке по коллектору, установленному на входе в трубопровод. Статическое давление в стенде, при постоянной скорости воздуха в материалопроводе, менялись с помощью задвижки, установленной перед отделителем.

Производительность установки в широких пределах устанавливалась с помощью специального питателя. Для ее определения по три-четыре раза в течении эксперимента на одном транспортируемом материале, он подавался на взвешивание на медицинские весы. Время подачи продукта на весы засекалось электросекундомером.

Скорости витания и физические характеристики транспортируемых материалов определялись по общепринятым методикам.

Перед проведением экспериментов установка тщательно герметизировалась. Для проверки герметичности фланцевых соединений материаловодов и приваренных к ним шайб, закрывались питающие самостоки и входные коллекторы труб и включались вентиляторы установки. По мере открывания регулирующей задвижки уровень жидкости в батарейном микроманометре поднимался и, если течи в шайбах не было, то во всех трубках уровень жидкости был одинаков. Если же были нарушения герметичности, то наблюдалось понижение уровня жидкости в трубках, соединенных с мерными шайбами вблизи этого места. Места течи находились и тщательно заделывались.

После этого проводилась тарировка аэродинамического стенда, на основании которой строились тарировочные графики.

Затем опыты проводились в следующем порядке:

в бункер над питателем загружался заранее подготовленный исследуемый материал и включались вентиляторы;

винтовой регулировочной задвижкой с помощью тарировочного графика устанавливалась скорость воздуха в материаловоде 36 м/сек, ставилась соответствующая индексация на панель батарейного микроманометра и его показания фотографировались; затем устанавливались скорости воздуха 33, 30, 27, 24, 21, 18 м/сек. и при каждой из них трижды проводилось фотографирование;

после опытов на чистом воздухе скорость в трубе снова доводилась до 36 м/сек и устанавливалась некоторая минимальная производительность;

После каждой такой группы опытов сравнивались между собой замеры производительности: при наличии существенных расхождений (более 5%) группа опытов анулировалась и повторялась снова.

Подобные циклы опытов, составляющие в сумме одну серию на данном продукте, следовали друг за другом при все увеличивающейся нагрузке до момента наступления завала. После этого опыты прекращались, материал сепарировался. Установка снова проверялась на герметичность. Затем эксперименты велись на другом продукте или на другом материаловоде.

Объем экспериментальных исследований сопротивлений колен и отводов был определен, исходя из условий необходимости получения суммы опытных данных, подтверждающих обобщенную зависимость (2). На основании проведенных поисковых экспериментов было установлено количество необходимых опытов при движении чистого воздуха и аэросмеси. Всего было проведено 2000 экспериментов.

В пятой главе описана методика обработки экспериментальных данных.

Представив потери давления в повороте и на участках разгона за ним в виде суммы, потерь давления по длине его при движении смеси Н_{тр} и дополнительных потерь при движении воздуха Н_о и материала Н_м

$$H = H_{mp} + H_m + H_o$$

на основании уравнений Д. Бернулли и уравнения Дарси-Вейсбаха для чистого воздуха, найдем

$$\zeta_o = \frac{(\Delta H_{cm_{2-1}} - \Delta H_{a_{2-1}}) - (R_1 \rho_1 + R_2 \rho_2)}{H_{a_2}} \quad (3)$$

Как показал анализ распределения статических давлений по длине прямолинейных участков трубопроводов достаточно большой длины, зависимость $H_{cm} = f(p)$ для них представляет наклонную прямую линию,

для любой точки которой можно записать:

$$H_{cm_i} = R_i \ell_i + C_1 \quad \text{для участка до отвода (4)}$$

$$H_{cm_n} = R_2 \ell_n + C_2 \quad \text{для участка за отводом (5)}$$

где ℓ_i — расстояние от начала трубы до i точки замера H_{cm} участка до отвода, а ℓ_n — до n точки участка за отводом.

Решив системы уравнений для участков до отвода и за ним найдем значения R_1 и R_2 и свободных членов C_1 и C_2 . Имея решения уравнений (4) и (5), можно также определить значения статических давлений в сечениях 1 и 2 участков с установившемся движением до отвода и за ним, причем выбор расстояния от поворота до сечения не играет никакой роли. Фактически отыскивается разность высот двух точек, принадлежащих прямым (4) и (5) и получающихся пересечением их с прямой, проведенной на расстоянии ℓ , равном длине от входа трубы до середины выпрямленного поворота. В этом случае уравнение (4) примет вид:

$$\zeta_0 = \frac{(R_2 - R_1) + (C_2 - C_1) - \Delta H_{2-1}}{H_{2-1}} \quad (6)$$

Аналогичное рассмотрение этого вопроса в случае движения смеси дает такое же уравнение для коэффициента дополнительных сопротивлений поворота при движении смеси ζ_{cm} .

Имея величины ζ_{cm} и μ для всех серий опытов для данного материала, можно найти, что функция $\zeta_{cm} = f(\mu)$ является линейной, описывается уравнением вида

$$\zeta_{cm} = a\mu + b \quad (7)$$

Такая зависимость указывает на отсутствие влияния скорости потока на ζ_{cm} . Решив группу подобных уравнений для каждого материала методом наименьших квадратов, найдем значения b и a , пред-

ставляющие из себя коэффициент дополнительного сопротивления поворота при движении чистого воздуха ζ_0 и материала ζ_m .

При исследовании обобщенного критериального уравнения (2) с помощью экспериментальных данных зависимости коэффициента сопротивления ζ_{cm} от Re и Fz обнаружено не было и поэтому дальнейшая обработка экспериментальных данных проводилась по более простому выражению:

$$\zeta_m = f\left(\frac{R}{D}; \frac{D}{d_s}; \frac{\rho_m}{\rho}; f_m; \alpha; Re_{sum}\right) \quad (8)$$

Проведение обобщений по результатам экспериментов упрощается, если перейти к методу, часто применяемому при расчетах сопротивлений прямолинейных участков с помощью коэффициента K :

$$K = \frac{\zeta_m}{\zeta_0} \quad (9)$$

Для K из уравнений (2), (8) и (9), имеем для плавно изогнутых отводов

$$K = f\left(\frac{R}{D}; \frac{D}{d_s}; \frac{\rho_m}{\rho}; f_m; \alpha; Re_{sum}\right) \quad (10)$$

Для сварных секционных поворотов в уравнение входит n .

Графический анализ функции (10) в логарифмических и полудогарифмических координатах показал, что для плавно изогнутых отводов, выходной участок которых меняет свое положение от горизонтального до вертикального, она может быть описана уравнением вида:

$$K = a \left(\frac{R}{D}\right)^{x_1} \left(\frac{D}{d_s}\right)^{x_2} \left(\frac{\rho_m}{\rho}\right)^{x_3} f_m^{x_4} e^{x_5 \beta} Re_{sum}^{x_6} \quad (11)$$

Обработка экспериментальных данных по этим уравнениям была проведена с помощью метода наименьших квадратов с последующим решением полученной системы уравнений способом Гаусса на ЭЦМ

"Минск-22". В результате для плавно загнутых отводов, выходной участок которых поднят к горизонту на угол β , а входной горизонтален, получено:

$$K = A e^{0.36\beta} \quad (12)$$

$$\text{где } A = e^{0.06 \frac{R}{D}} \left(\frac{D}{d_3} \right)^{0.51} \left(\frac{P_m}{P} \right)^{-0.01} f_m^{-0.25} Re_{sum}^{-0.23} \quad (13)$$

величина постоянная для всех видов поворотов.

Для сварных секционных колен:

$$K = 0.57 [(1 - e^{-0.2n}) + 1,1] A e^{0.36\beta} \quad (14)$$

Для плавно изогнутых поворотов выходной участок которых горизонтален, а входной опущен на угол φ :

$$K = A e^{0.8\varphi} \quad (15)$$

а для сварных секционных отводов в этом случае

$$K = 0.57 [(1 - e^{-0.2n}) + 1,1] A e^{0.8\varphi} \quad (16)$$

Для облегчения вычислений по полученным выражениям (12) и (15) построены специальные номограммы, которые вместе с этими уравнениями рекомендуются для практических инженерных расчетов сопротивлений поворотов, так как они надежно подтверждаются всей массой опытных данных в пределах изменений переменных:

$$\frac{R}{D} = 0 + 10, \text{ числа секций } n \text{ от } 1 \text{ до } 7,$$

$$D = 74 + 160 \text{ мм}, \quad d_3 = 2,3 - 10 \text{ мм},$$

$$P_m/P = 900 + 1900,$$

$$f_m = 0,14 + 0,6,$$

$$Re_{sum} = 1200 - 14000,$$

углов наклона плоскости отвода φ и β от 0 до 90° и чисел

$$Re = 9 \cdot 10^4 - 3,7 \cdot 10^5 \text{ при } \mu - \text{ до } 10$$

Значения K (а также и коэффициента дополнительных сопротивлений при движении материала), рассчитанные по формулам и полученные

экспериментально, имеют вполне удовлетворительную сходимость (для K расхождения не превышают 10%).

Значения ζ_m , рассчитанных по аналитическим выражениям с помощью ЭЦМ "Минск-22", также имеют удовлетворительную сходимость с значениями ζ_m , полученными по эмпирическим выражениям, но только для плавно изогнутых отводов, расположенных в горизонтальной плоскости. По мере изменения угла наклона любой из ветвей до отвода или за ним сходимость резко ухудшается. Объяснить это обстоятельство только изменением составляющей силы тяжести в полученных уравнениях движения материала в отводе по мере изменения угла наклона плоскости поворота не представляется возможным, так как эта сила не оказывает значительного влияния на скорость материала в отводе. Повидимому существует определенное взаимное влияние друг на друга процессов, происходящих в отводах и прямолинейных участках, наиболее резко проявляющихся, если отводы расположены в вертикальной плоскости (особенно при вертикальном входе смеси). Некоторым подтверждением этому может послужить тот факт, что потери давления на единицу длины прямолинейных участков при движении материала до отвода R_{m1} и за ним R_{m2} сравнительно мало отличаются друг от друга, если отводы расположены в горизонтальной плоскости. Если же опускать входной участок отвода до вертикального положения, оставляя выходной участок горизонтальным, то наряду со значительным ростом R_{m1} наблюдается и не менее значительный рост R_{m2} . В то же время при подъеме выходного участка отвода до вертикального положения (при горизонтальном положении входного) при весьма значительном росте R_{m2} увеличения R_{m1} не существенно.

Это предположение, конечно, нуждается в более детальной проверке как в теоретическом, так и в экспериментальном отношениях.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ

Постановка значительного числа опытов на натуральных установках полупроизводственного типа в соответствии с выведенными с применением теории подобия критериальными зависимостями и аналитическая обработка опытных данных по ним, позволили сделать ряд обобщающих выводов, касающихся сопротивлений колен и отводов при пневмотранспорте.

Основной итог исследования заключается в том, что впервые в применении к пневматическому транспортированию в поворотах получены обобщенные критериальные уравнения для определения коэффициентов сопротивления как плавно изогнутых, так и секционных сварных отводов в весьма широком диапазоне изменения переменных. По уравнениям построены номограммы, рекомендуемые для практических расчетов потерь давления в отводах.

Что касается частных определений и выводов, то они заключаются в следующем:

1. В исследовании применена более обоснованная методика проведения экспериментов и обработки данных, отличающаяся от применяемых ранее тем, что потери давления в поворотах и их коэффициенты сопротивления, как на чистом воздухе, так и при движении аэросмеси определялись не просто по перепаду давления в отводе, а на основе анализа распределения давлений в достаточно длинных прямолинейных участках труб до и после поворота, причем вся обработка опытных данных и их обобщение проводилась чисто аналитически, с помощью критериальных уравнений на ЭЦМ.

2. Установлено, что влияние плотности транспортируемых материалов на сопротивление поворотов не существенно.

3. Получены величины коэффициентов сопротивлений поворотов при движении чистого воздуха в цельнотянутых трубах. Наиболее приемлемыми следует считать отводы с плавностью закругления

$m = 2 + 6$, так как при $m < 2$ коэффициент сопротивления значительно увеличивается, а при $m > 6$ уменьшается, но очень мало.

4. Для пневмоустановок наиболее экономичными являются отводы с $m = 4 + 8$. При m больше 8 наблюдается значительное уменьшение коэффициентов сопротивлений поворотов при движении смеси, а для отводов с $m < 4$ коэффициент $\xi_{см}$ растёт значительно.

5. Впервые установлено влияние угла наклона плоскости отвода к горизонту на его коэффициент сопротивления. Минимальное сопротивление имеют отводы, расположенные в горизонтальной плоскости. При расположении поворота в горизонтальной плоскости по мере поворота входного участка вниз или выходного вверх, коэффициент сопротивления при движении аэросмеси увеличивается, причем в первом случае значительно интенсивнее. Влияние изменения положения отводов в пространстве на величину коэффициента сопротивления при движении чистого воздуха не обнаружено.

6. С увеличением числа $Re_{отв}$ при прочих равных условиях сопротивление отвода уменьшается; увеличение отношения D/d , приводит к росту сопротивления отвода.

7. Изменение режима транспортирования в пределах $Re = 9 \cdot 10^4 - 3,7 \cdot 10^5$ на величину коэффициента сопротивления поворота при движении материала ξ_m не оказывает заметного влияния.

8. Как при движении чистого воздуха так и аэросмеси с увеличением числа секций сопротивление отводов уменьшается, асимптотически приближаясь к сопротивлению плавно изогнутых отводов с тем же значением R/d . Поэтому плавно изогнутые отводы предпочтительнее.

9. Удовлетворительная сходимость величин коэффициентов сопротивления при движении материала для горизонтально расположенных отводов, полученных экспериментально и рассчитанных по аналитическим выражениям, показывает, что эти уравнения достаточно удачно отражают физику процесса. Эта сходимость для не горизонтально распо-

ложенных отводов не подтверждаются, что говорит о необходимости дальнейших более полных исследований процессов физики, происходящих в отводах при пневмотранспорте.

Ю. Однако полученные в работе зависимости и номограммы вполне можно рекомендовать для практических инженерных расчетов сопротивления колен и отводов при пневмотранспорте зерновых и зернистых материалов, так как они надежно подтверждаются экспериментом в весьма широком диапазоне изменения переменных, определяющих процесс транспортирования.

II. Проведенный краткий анализ энергоемкости различных типов поворотов, позволил определить наиболее выгодные условия их работы.

ОСНОВНЫЕ БУКВЕННЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

- U - средняя по сечению трубопровода скорость воздуха,
- W_i - скорость частиц материала в прямолинейных участках материалопроводов за отводом,
- $w_{вых}$ - скорость выхода частицы из отвода,
- R - радиус закругления отвода, взятый по оси симметрии трубы,
- D - внутренний диаметр трубы,
- $\zeta_a, \zeta_{см} и \zeta_m$ - коэффициенты дополнительных сопротивлений отвода при движении воздуха, смеси и материала с $\mu=1$
- μ - коэффициент весовой концентрации,
- α - угол характеризующий положение плоскости отвода в пространстве,
- $\alpha=\beta$ - угол подъема выходного прямолинейного участка отвода,
- $\alpha=\varphi$ - угол наклона входного прямолинейного участка отвода,
- $m = R/D$ - плавность закругления отвода,
- n - число секций в сварном секционном повороте,
- H - полные потери давления в поворотах,
- $H_{пр}$ - потери давления по длине поворота при движении смеси.

$H_a и H_m$ - дополнительные потери давления при движении чистого воздуха и материала,

$\Delta H_{ст2-1} и \Delta H_{д2-1}$ - разность статических $H_{ст2}$ и $H_{ст1}$ и динамических $H_{д2}$ и $H_{д1}$ давлений для двух сечений трубопровода,

$R_1 и R_2; R_m, и R_{m2}$ - потери давления на единице длины трубопровода при движении чистого воздуха и материала в прямолинейных участках до поворота и за ним,

$Re = \frac{v \cdot D}{\nu}$ - критерий Рейнольдса, базирующийся на ν ,

$Re_{lum} = \frac{w_{lum} d_3}{\nu}$ - критерий Рейнольдса, базирующийся на скорости витания,

$Fz = \frac{v^2}{gD}$ - критерий Фруда,

d_3 - эквивалентный диаметр частиц материала,

ν - кинематический коэффициент вязкости воздуха.

$\rho_a и \rho_m$ - плотность воздуха и транспортируемого материала,

f_m - коэффициент трения между транспортируемым материалом и стеной трубы.

Основные результаты данной работы доложены на конференции молодых ученых Алтая, посвященной 50-летию ВЛКСМ "Молодежь, наука, созидание" в 1968г., на научной конференции профессоров, преподавателей, сотрудников и аспирантов по итогам работы за 1968-1969 годы, посвященной 100-летию со дня рождения В.И. Ленина, в 1970 г. на кафедре прикладной аэромеханики Томского госуниверситета, на заседании технического совещания при главном инженере института "Тоснииисибпромзернопроект", на конференции по специальным вопросам гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред в НИИПММ в 1971г. (г.Томск) и опубликованы в работах:

I. Репп К.Р., Кеммер А.С. Об оценке гидравлических сопротивлений поворотов потока при пневмотранспорте. Материалы конференции молодых ученых Алтая. / в печати /.

✓ 011914

2. Кеммер А.С., Бурдаков Ю.И., Коцюба В.П., Зарницын В.А., Репп К.Р. Экспериментальная установка для исследования пневматического транспорта. Физико-химические основы технологии переработки химического, пищевого сырья и полупродуктов. Алтайское краевое правление ВХО им.Д.И. Менделеева, Алтайский политехнический институт им. И.И. Ползунова. / Материалы научной конференции / Барнаул, 1970г.

3. Репп К.Р. О сопротивлении отводов из цельнотянутых труб. Физико-химические основы технологии переработки химического, пищевого сырья и полупродуктов. Алтайское краевое правление ВХО им. Д.И. Менделеева, Алтайский политехнический институт им.И.И. Ползунова. / Материалы научной конференции / Барнаул, 1970г.

4. Репп К.Р., Кеммер А.С. О гидравлических сопротивлениях отводов при пневмотранспорте. Известия Высших учебных заведений "Пищевая технология", 1971., № 6.

5. Репп К.Р. Исследование гидравлических сопротивлений колен и отводов при пневмотранспорте зерна и зернистых материалов. Материалы конференции "Специальные вопросы гидромеханики и газовой динамики двухфазных сред", Томск, 1971г.

6. Репп К.Р. Определение опытных коэффициентов для расчета дополнительных сопротивлений отводов при пневмотранспорте. Алтайский межотраслевой территориальный центр научно-технической информации и пропаганды. Информационный листок № 241-71, 1971г.

7. Бурдаков Ю.И., Репп К.Р., Соколов А.Н. Применение ЭВМ для обработки данных при исследовании пневмотранспорта. Труды Алтайского политехнического института им.И.И. Ползунова. Химия, технология и процессы химических и пищевых производств. Выпуск 17, Барнаул / в печати /.

Константин Рудольфович Репп
Исследование гидравлических сопротивлений колен и отводов
при пневмотранспорте зерна и зернистых материалов

Технический редактор В.Карпова
Корректор А.Голубицких

АГ 00797 Подписано к печати 16.XII.1971г. Формат 60x84/16.
Печ.л. 1,25. Уч.-изд.л.1. Бумага писчая. Тираж 230 экз.

АЦНТИ Р-2021-71