

Автор ер.
К 54

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В. Ломоносова

Аспирант КНЯЗЕВ В.А.

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СПОСОБА ПОПУТНОГО АЭРОМЕХАНИЧЕСКОГО
СЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ
ВНУТРИЦЕХОВОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

175. 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 - 1969

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В. Ломоносова

Аспирант КНЯЗЕВ В.А.

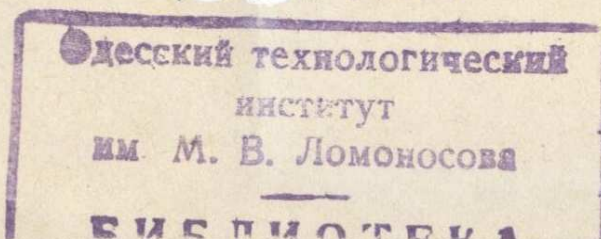
ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ
СПОСОБА ПОПУТНОГО АЭРОМЕХАНИЧЕСКОГО
СЕПАРИРОВАНИЯ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ В УСЛОВИЯХ
ВНУТРИЦЕХОВОГО ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

175. 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 - 1969

V. O. 01700



Работа выполнена на кафедре промышленной вентиляции, гидравлики и насосов Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова.

Научные руководители:

доктор технических наук, профессор А.М. Дзядзио,
кандидат технических наук, доцент Г.Ф. Костюк.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор П.Н. Платонов,
профессор Л.И. Котляр.

Автореферат разослан „20“ МАЯ 1969 г.

Защита состоится „20“ июня 1969 г. на заседании Ученого Совета Одесского технологического института имени М. В. Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Просим отзывы в двух экземплярах направлять по адресу:

г. Одесса, ГСП-510, ул.Свердлова, 112, Технологический институт имени М.В. Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Л.ЗАПОРОЖЕЦ

Лашар

ВВЕДЕНИЕ

В течение последних 10-15 лет на предприятиях по хранению и переработке зерна осуществляется в широких масштабах внедрение внутрицехового пневматического транспорта.

Внедрение пневмотранспорта рассматривается как важный этап в автоматизации предприятий, как один из основных приемов реконструкции, позволяющий высвободить до 25% производственной площади для размещения нового оборудования.

Внутрицеховой пневмотранспорт обладает большими преимуществами перед механическим, несмотря на повышенный удельный расход электроэнергии.

В результате внедрения пневмотранспорта улучшаются условия труда и санитарное состояние предприятий, устраняется диспропорция в возможности роста производственных мощностей основных отделений мельниц. Кроме того, перемещаемые объемы воздуха используются для попутного осуществления таких технологических операций как сепарирование, сушка, охлаждение продукта, аспирация оборудования и т.д.

Рациональное использование перемещаемых объемов воздуха для целей сепарирования зерна и продуктов его размола способствует совершенствованию технологического процесса переработки зерна и является одним из перспективных путей снижения энергоемкости предприятий, оснащенных пневмотранспортом.

Однако внедрение внутрицехового пневмотранспорта в зерноочистительных отделениях мельниц отстает вследствие недостаточной технологической эффективности существующих пневмосепараторов. Основной причиной этого является малоэффективный, в условиях пневмотранспорта, способ сепарирования, положенный в их основу.

Созданные в последние годы конструкции пневмосепараторов по существу являются модификациями первых моделей ОТИ-1 и ЗПА-5 и не способствуют решению данного вопроса.

Изложенное указывает на необходимость изыскания более эффективного способа пневмосепарирования зерна, отвечающего условиям работы пневмотранспорта в зерноочистительных отделениях мельниц и обеспечивающего достаточную степень очистки зерна пшеницы от аэродинамически легких примесей.

Работа написана на 220 стр. машинописного текста, состоит из введения, пяти глав, общих выводов, списка литературы и приложений, содержит 165 иллюстраций.

Глава 1. Состояние вопроса

1. В связи с внедрением на мельницах внутрицехового пневмотранспорта, создано много конструкций зерновых пневмосепараторов.

Анализ принципиальных схем пневмосепараторов показывает, что в основу их положен широко распространенный способ сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале. Этот способ имеет свои характерные особенности, в связи с чем дает хорошие результаты только при больших расходах воздуха.

Основными особенностями способа сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале являются неравномерная разрыхленность и многослойность зерновой струи, создающие неравномерное поле сепарирующих скоростей воздуха и неблагоприятные условия для выделения частиц аэродинамически легкой примеси из нижних слоев. В результате этого сепарирование происходит не по всей ширине воздушного канала, а, в основном, в средней части его, в связи с чем способ сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале требует обеспечения соответствующей (оптимальной) ширины воздушного канала, а, следовательно, большого расхода воздуха.

Исследованием процесса сепарирования в воздушных каналах занимались В.С.Пальцев, М.Н. Летошнев, А.Я. Малис, И.П. Безручкин и другие авторы, которые установили характер зерновой струи и основные факторы, влияющие на процесс сепарирования зерна. В частности, В.С. Пальцев установил, что

технологическая эффективность процесса в вертикальных каналах пропорциональна количеству расходуемого воздуха, что с увеличением зерновой нагрузки происходит сжатие воздушного потока. В.С. Пальцев впервые экспериментально установил зависимость скорости воздушного потока в канале от аэродинамических свойств сепарируемого материала, геометрических размеров канала, нагрузки и начальной скорости зерна, поступающего в канал. М.Н. Летошнев рассматривал сепарирование зерна в воздушном канале как пневматическое транспортирование частиц и впервые предложил в качестве показателя его удельный расход воздуха на кг очищенного зерна.

А.Я. Малис, исследуя процесс сепарирования в вертикальном воздушном канале при помощи высокоскоростной киносъемки, установил влияние величины и направления начальной скорости сепарируемых частиц, влияние геометрических размеров канала на технологическую эффективность сепарирования зерна, а также исследовал аэродинамическое поле скоростей в воздушном канале.

Ряд авторов (М.А. Дементьев; И.П. Безручкин, В.Я. Гиршон и другие), исследуя движение зерновых продуктов в воздушном канале, определили их аэродинамические свойства. Например, М.А. Дементьев впервые применил обдувку моделей зерна пшеницы в аэродинамической трубе, определил скорости витания V_s и коэффициенты сопротивления K некоторых зерновых продуктов. И.П. Безручкин сопоставил три метода определения V_s и K и установил, что коэффициент K зависит от турбулентности потока.

Исследуя аэродинамические свойства зерновых материалов, находящихся в стесненных условиях, А.М. Дзядзио, Г.Ф. Костюк, А.С. Кеммер и другие установили эмпирические зависимости V_s от симплекса d/D (где d, D - диаметры частиц и канала) и от концентрации частиц K .

Таким образом, способ сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале исследован достаточно полно, что позволяет оценить его возможности и решить вопрос о соответствии его условиям внутрицехового пневмотранспорта.

2. Проведенные исследования показывают, что способ сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале вполне оправдывает себя в условиях механического внутрицехового транспорта, что подтверждается практикой (таблица 1).

Таблица 1

Основные показатели воздушных сепараторов

Марка машины	Е, %	G, т/час	Q, м ³ /час	Q/G, м ³ /т на один канал
--------------	------	----------	------------------------	---

I. Пневмосепараторы

ОТИ	40	5	1000 - 1200	200 - 240
ЗПА-5	40	5	1000 - 1300	200 - 260
ЗПА-10	40	10	2000 - 2800	200 - 280
ВЩМК	43 - 55	8	1600 - 1800	200 - 225
БПС-5	50 - 55	5	1250 - 1400	250 - 280

II. Воздушно-ситовые сепараторы

ЗСМ-2,5		2,5	900 - 1000	360 - 400
ЗСМ-5	65 - 70	5	1500	300
ЗСМ-10		10	4000 - 5000	400 - 500
ПДП-10		10	2700 - 4900	270 - 490

III. Аспирационные колонки

с двукратной продувкой	70 - 84	1	720	360
		2	1800	450
		2 - 3	4200	700 - 1050

Созданные конструкции зерновых пневмосепараторов отличаются между собой по принципу и кратности продувания зерна воздухом, конструктивным оформлением основных узлов и способами подачи двухфазного потока, отделения от него

воздуха, способами торможения зернового материала, регулирования скорости воздушного потока в канале и т.д.

3. Процесс разделения зерновой смеси, осуществляемый в пневмосепараторах с помощью транспортирующих объемов воздуха, происходит после окончания транспортной операции, в связи с чем характеризуется небольшим расходом воздуха (200 - 280 м³/час) на тонну очищаемого зерна и сравнительно низкой технологической эффективностью (40-55%) очистки зерна.

По данным В.С. Пальцева, на очистку тонны зерна (в вертикальном канале воздушно-ситового сепаратора) требуется 700-1100 м³/час воздуха. При этом эффективность очистки зерна составляет 65-70%.

ГИ Промзернопроект, А.Я. Соколов рекомендуют для воздушно-ситовых сепараторов расходовать 600-900 м³/час воздуха на тонну очищаемого зерна.

По данным Н.Г. Гладкова для аспирационных колонок требуется в час (на тонну очищаемого зерна) 1200-1500 м³/час воздуха.

Следовательно, пневмосепараторы расходуют в 2-3 раза меньше воздуха, чем другие воздушные сепараторы. В связи с этим, способ сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале не оправдывает себя в условиях пневмотранспорта, поскольку при транспортирующих объемах воздуха не обеспечивается необходимая для производства эффективность очистки зерна.

Дальнейшие конструктивные модификации пневмосепараторов, основанные на способе сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале, не смогут сколько-нибудь значительно повысить технологическую эффективность сепарирования зерна.

4. Наряду со способом сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале, на практике применяется еще один способ, осуществляемый в дисковых сепараторах. Этот способ характеризуется тонким, разрыхленным зерновым слоем, создаваемым вращающимся диском-разбрасывателем, что обеспечивает высокую эффективность очистки зерна. Однако этот способ сепарирования зерна характеризуется высокой энергоемкостью и при пневмотранспорте не применяется.

Итак, в условиях внутрицехового пневмотранспорта процесс пневмосепарирования зерна осуществляется при относительно низких удельных расходах воздуха. По известным причинам не представляется возможным увеличить расход воздуха на тонну очищаемого зерна, как, например, это возможно в других воздушных сепараторах. Повышение технологической эффективности сепарирования зерна при помощи транспортирующих объемов воздуха, определяемых условиями пневмотранспорта, возможно только за счет рационального использования воздуха, на основе другого более совершенного способа сепарирования. Разработке и исследованию такого способа сепарирования посвящена реферируемая работа.

Глава II. Способ аэромеханического сепарирования зерна в условиях внутрицехового пневмотранспорта

1. В условиях пневмотранспорта двухфазный поток в материалопроводе представляет собой разрыхленную в объеме зерновую массу, в которой расстояния между зерновками достаточно велики для свободного выделения частиц аэродинамически легкой примеси, например, путем предварительного отвода транспортирующего воздуха и последующего пропуска его поперек зерновой струи. Возможно также видоизменение формы двухфазного потока в другую, более удобную для осуществления процесса сепарирования зерна. Следовательно, при внутрицеховом пневмотранспорте имеются благоприятные условия для осуществления процесса пневмосепарирования зерна. В этом случае, условия, аналогичные имеющимся в дисковых сепараторах, могут быть достигнуты за счет энергии движущегося в материалопроводе зерна.

Выбранный способ аэромеханического сепарирования зерна (рис. 1) осуществляется в конце материалопровода, попутно, без прерывания транспортной операции.

Способ состоит в предварительном разделении (отверстия 2) и торможении (сопло 3) двухфазного потока, в преобразовании формы зернового потока (экран 4) и в последующем пропуске отделенного воздуха через кинематическую зерновую решетку (КЗР, 5), образуемую экраном.

Таким образом, транспортируемый поток зерновой смеси посредством экрана преобразуется в малослойную кинематическую поверхность, способствующую свободному пропуску частиц аэродинамически легкой примеси через межзерновое пространство.

Разработанный способ сепарирования зерна, в сравнении с существующим, отличается относительно равномерной разрыхленностью и малослойностью зерновой решетки и, кроме того, позволяет осуществить процесс без разгрузочной емкости и питающего устройства.

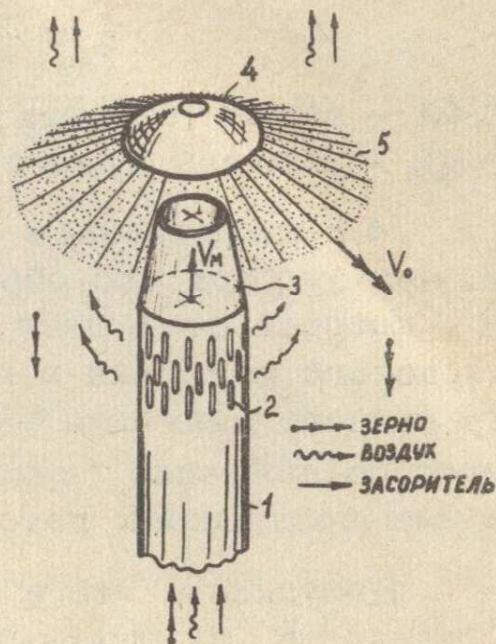


Рис. 1.

2. Толщина зернового слоя КЗР является фактором, влияющим на технологическую эффективность сепарирования зерна. Рассматривая движение зерновок вдоль образующей КЗР, при средней скорости V_0 и зерновой нагрузке G_0 кг/сек на метр дуги экрана, определяем время полета зерновки, количество зерен, одновременно находящихся в полете, а также толщину зернового слоя КЗР:

$$\eta = 2 \frac{ab}{A} \cdot \frac{G_0}{V_0} \cdot \frac{d}{(d + D_0)}, \quad (1)$$

где a, b — длина, ширина зерновки, мм;
 A — вес 1000 зерен, г;
 d, D_0 — диаметры оснований КЗР, мм.

3. Принимая во внимание, что наиболее высокие результаты сепарирования зерновых смесей достигаются при $\eta \leq 1$, когда создаются благоприятные условия для выделения крупных частиц аэродинамически легкой примеси, разрыхленность зернового слоя (плотность КЗР) можно характеризо-

вать коэффициентом живого сечения КЗР

$$\xi = \frac{\omega_0}{\omega} = 1 - \eta, \quad (2)$$

где ω — общая площадь КЗР, м²;

ω_0 — площадь живого сечения КЗР, м².

4. Рассматриваем частицу аэродинамически легкой примеси, движущуюся по образующей КЗР, как материальную точку M , которая совершает сложное движение, состоящее из относительного движения в подвижной системе координат $Mx'y'$ и переносного движения вместе с этой системой. При этом за переносное движение принимаем равномерное поступательное движение воздушного потока.

Допускаем, что в зоне сепарирования воздушный поток является ламинарным и характеризуется постоянной скоростью u , что существует также равномерный воздушный поток (V_c) в межзерновом пространстве КЗР.

Принимая во внимание, что система находится под действием сил инерции ($m \frac{dv'}{dt}$), тяжести (G) и аэродинамического сопротивления (R'), составляем дифференциальные уравнения движения частицы M :

$$m \frac{dv'_x}{dt} = G \sin \alpha + R'_x; \quad m \frac{dv'_y}{dt} = G \cos \alpha - R'_y \quad (3)$$

Полагаем, что сила $R' = k S \frac{\rho (V'_2)^2}{2}$ направлена противоположно относительной скорости V'_2 , определяемой из треугольника скоростей. $\vec{V}'_2 = \vec{V}' - \vec{V}_c$, где \vec{V}' — абсолютная скорость движения частицы M .

Подставив во второе уравнение (3) значения R' , V'_2 (и углов δ , β в треугольнике скоростей), вводя некоторые дополнительные условия, в результате преобразования получим зависимость для сепарирующей скорости V_c .

Принимая во внимание, что

$$V_c = Q/\omega_0 = Q/\omega \xi, \quad (4)$$

и учитывая соотношение (2), окончательно находим выражение для определения количества воздуха, расходуемого для сепарации

рирования зерновой смеси:

$$Q = \frac{(V_s')^2 \cos \alpha}{V_0 \sin \psi} \cdot \frac{2 \omega (1 - \pi)}{\sqrt{c^2 - 2c \cos \psi + 1}}, \quad (5)$$

где V_s' — скорость витания засорителя, м/сек;

α — угол наклона образующей КЗР, град;

ψ — угол наклона вектора V_c к образующей КЗР, град;

$$c = V_c / V_0.$$

5. Основываясь на зависимостях (1), (5) и на анализе пневмосепарирующих устройств, выдвигаем следующую рабочую гипотезу.

Технологическая эффективность разделения зерновой смеси (по способу попутного аэромеханического сепарирования зерна пшеницы в конце материалопровода пневмотранспорта) зависит от конструктивных параметров головки пневмосепаратора (d, D_0, α, ψ), от величины зерновой нагрузки G_0 и средней скорости движения зерновок в зоне сепарирования (V_0), определяющих плотность КЗР, от количества расходуемого воздуха (Q) и общей площади КЗР (ω), характеризующих интенсивность продувания КЗР, а также от физических свойств компонентов зерновой смеси (V_s, V_s', A, a, b).

6. Основной задачей экспериментального исследования являлась проверка рабочей гипотезы (применительно к разработанному способу аэромеханического сепарирования зерна) путем определения влияния основных факторов на технологическую эффективность сепарирования зерна пшеницы и выявления некоторых эмпирических зависимостей и конструктивных параметров, необходимых для расчета пневмосепараторов.

Объем экспериментального исследования определялся следующим кругом вопросов.

А. Выявление оптимальных конструктивных параметров пневмосепаратора, обеспечивающих наиболее высокие технологические показатели процесса сепарирования зерна.

Б. Определение технологических показателей исследуемого способа сепарирования зерна пшеницы в зависимости от численных значений величин, которые характеризуют основные факторы, влияющие на процесс.

В. Определение расчетной зависимости для вычисления вероятных значений технологической эффективности пневмосепарирования зерна пшеницы.

Г. Определение аэродинамического сопротивления и энергоемкости пневмосепаратора.

Д. Производственные испытания опытных образцов пневмосепараторов.

Е. Разработка метода расчета пневмосепараторов.

Глава I^{II}. Методика экспериментального исследования

1. Экспериментальное исследование проводилось на пневмотранспортной установке, состоящей из вертикального материалопровода ($\phi = 0,1$; $L = 7,2$ м), пневмосепаратора, двух вентиляторов, циклона и соответствующих шлюзовых затворов, бункеров и других устройств.

Экспериментальный пневмосепаратор (рис. 2), помимо корпуса (1, 2) и упомянутых деталей головки (рис. 1), содержит воронку (7), предназначенную для изменения общей площади КЗР (ω).

2. Производительность пневмосепаратора определялась на основании данных действительного выхода фракций. Настройка установки на заданную величину G осуществлялась с помощью микроманометра и соответствующего тарировочного графика.

3. Скорости витания зерна V_s и засорителей V_s' определялись при помощи порционного пневматического классификатора ОТИ. Величина навески (зерно - 100 г, засоритель - 20 г) и время продувания (1 мин) определялись применительно к витанию в свободных условиях. Скорость воздуха в вертикальной трубе $\phi 0,1$ м изменялась с интервалом в 0,5 м/сек.

4. Средняя скорость движения воздуха в материалопроводе (V) определялась методом измерения статического давления за входным раструбом пневмоприемника. С целью устранения присоса воздуха через бункер над задвижкой

пневмоприемника был создан зерновой затвор высотой 1,8 м.

5. Фактический расход воздуха в зоне сепарирования (с учетом присоса через шлюзовую затвор) определялся с помощью тарировочного гарфика значений Q , найденных способом исследования поля скоростей за пневмосепаратором.

6. Аэродинамическое сопротивление пневмосепаратора (H) вычислялось на основании фактического расхода воздуха Q , проходящего через КЗР, скорости воздуха V , а

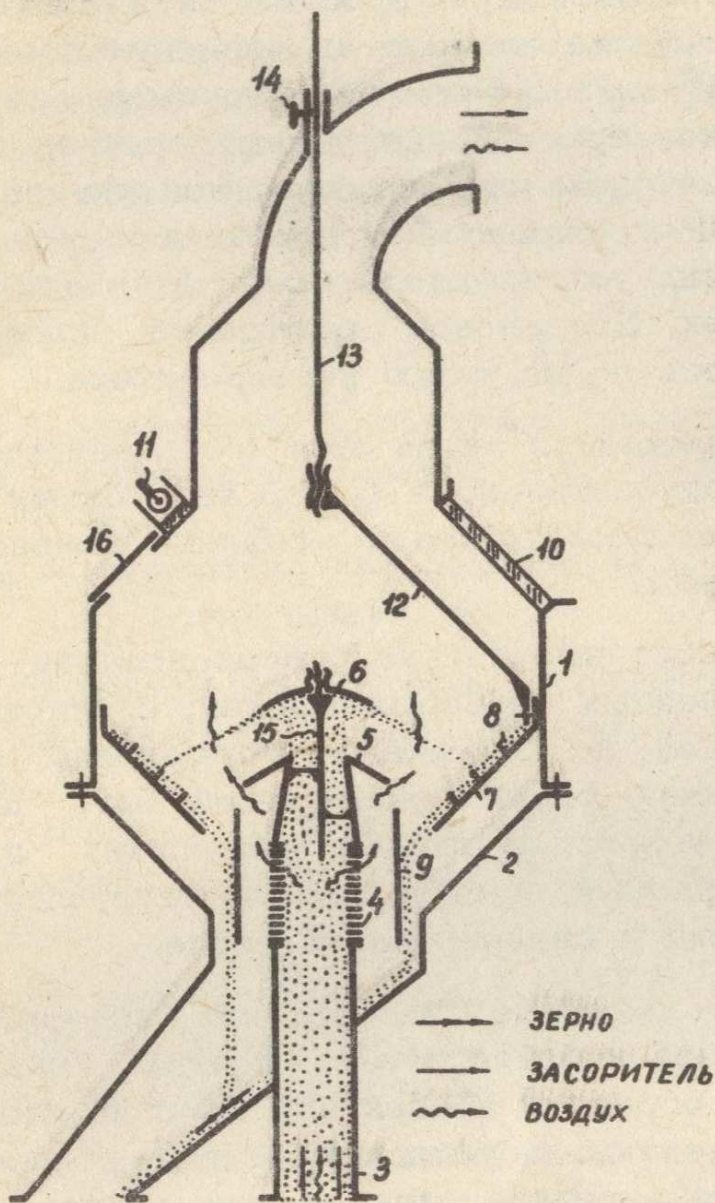


Рис. 2.

также разности статических давлений $\Delta H_{ст}$ до и после пневмосепаратора.

Аэродинамическое сопротивление КЗР (H_3) характеризовалось разностью $H - H_0$, где H_0 - аэродинамическое сопротивление пневмосепаратора при работе на чистом воздухе (при $G_0 = 0$).

7. В условиях исследуемого способа сепарирования зерна средняя скорость движения зерновок в зоне сепарирования, определяемая, в основном, скоростью движения воздуха в материалопроводе, лучше характеризует зерновую смесь, чем начальная скорость. В связи с этим сепарируемые зерновые смеси характеризовались средней скоростью зерновок (V_0), которая определялась методом высокоскоростной киносъемки. Киносъемка участка КЗР производилась с помощью кинокамеры СКС-1 при следующих условиях: $G - 1,5; 3; 5; 6$ т/час ; $V - 20; 24; 28$ м/сек. Покадровая дешифровка полученных киноплёнок производилась с помощью кинопроектора.

8. Степень повреждения зерна пневмосепаратором оценивалась увеличением относительного содержания битых зерен. В этом случае определялась отдельно степень повреждения зерна шлюзовым затвором.

9. В основу экспериментального исследования был положен метод искусственных зерновых смесей, с однократным применением засорителей, не содержащих нормальных и битых зерен пшеницы. Применение таких засорителей было продиктовано специфическими условиями пневмотранспорта: дроблением и шелушением зерновых продуктов, сопутствующим процессам транспортирования и сепарирования зерна.

Известно, что применение засорителей, содержащих в своем составе нормальное и битое зерно пшеницы, связано с техническим анализом образцов засорителя на относительное содержание этих компонентов. В условиях метода искусственных зерновых смесей технический анализ, как показал В. С. Пальцев, неприемлем, вследствие расхождения фактических и результативных данных. Кроме того, технический анализ образцов сыпучей смеси не позволяет выявить в составе битого зерна относительное содержание частиц, отделяемых воздухом.

Подготовка зерновых смесей (100 кг) заключалась в перемешивании небольших порций зерна пшеницы (10 кг) с соответствующим количеством засорителя.

Перед смешиванием зерно пшениц (Одесская-3, Манитоба-3) очищалось от засорителей. Очистка партии зерна про-

изводилась с помощью экспериментального пневмосепаратора.

10. Исследование вопроса о критерии оценки технологической эффективности процесса аэромеханического сепарирования зерна пшеницы в условиях пневмотранспорта показывает, что обобщенный показатель E_2 ($E_2 = \eta_{22} - \eta_{12}$) равен частному показателю извлечения засорителя в легкую фракцию (η_{22}), так как показатель извлечения зерна в легкую фракцию (η_{12}) практически равен нулю. В связи с этим, оценка сепарирующей способности пневмосепаратора производилась по формуле:

$$E = \frac{A_1}{A - A_2} \quad (6)$$

где A - количество засорителя, смешиваемого с зерном, кг;
 A_1 - количество засорителя, выделяемого за время опыта, кг;
 A_2 - количество засорителя, выделяемого за период до и после опыта, кг.

Качественная оценка (чистота процесса, Z) производилась по относительному содержанию нормального зерна в отходах.

Помимо E , Z в качестве обобщающих критериев, оценивающих процесс сепарирования зерна, были приняты следующие:

- для оценки пропускной способности пневмосепаратора - производительность (G , кг/сек) и зерновая нагрузка на метр дуги экрана (G_0 , кг/сек.м);

- для аэродинамической оценки - удельный расход воздуха на 1 м^2 общей площади КЗР (Q_0 , $\text{м}^3/\text{сек.м}^2$);

- для энергетической оценки - коэффициент экономичности ($K_3 = E/QH$, сек/кгм).

11. Для заготовки засорителей использовались аспирационные отходы воздушно-ситовых сепараторов, которые предварительно очищались от пыли, нормального и битого зерна. Засорители заготавливались партиями, в зависимости от количества опытов в серии, и каждой партии засорителя присваивался соответствующий номер. В качестве засорителей применялись также лузга проса, подсолнечника и отруби (крупные).

12. Продолжительность проведения каждого опыта была разделена на три периода (до, после опыта, во время опыта). Это позволило учитывать фракции, выделяемые в период установившегося движения двухфазного потока.

13. Фракции, выделяемые из циклона, подвергались сортированию, в процессе которого определялось содержание засорителя, мучки, битого и нормального зерна пшеницы.

14. Технологическая эффективность опытных образцов пневмосепараторов определялась при помощи лабораторного пневмосепаратора, содержащего в своей основе кольцевой пневмосепарирующий канал. Оценка технологической эффективности сепарирования зерна производилась по количеству выделяемого засорителя из образцов зерна, взятых до и после пневмосепаратора.

15. Обработка экспериментальных данных состояла в определении эмпирических зависимостей между результатами и факториальными параметрами на основе теории подобия и размерности.

Математико-статистическая обработка результатов наблюдений опыта сводилась к вычислению статистических характеристик различных порядков, характеризующих вероятные значения параметров, а также точность проведенного исследования ($P = 3,9 - 10,8\%$).

С целью выявления закона распределения случайной величины E , была проведена контрольная серия из 26 равнозначных опытов. Оценка полученного эмпирического распределения, произведенная с помощью критерия согласия Б. С. Ястремского, указала на существование нормального закона распределения величины E .

Минимально-возможный объем выборки, найденный с помощью распределения Стьюдента, составил $n_{min} = 4$.

16. Программой исследования предусматривалось проведение опытов при таких условиях:

- а) общая площадь КЗР $\omega - 0,100; 0,133; 0,171; 0,214 \text{ м}^2$;
- б) скорость воздуха в материалопроводе $V - 20; 22; 24; 26; 28; 30; 32 \text{ м/сек}$;

в) производительность материалопровода G — 0,28–3,06 кг/сек (1 – 11 т/час) по 5–10 опытов;

г) засоренность зерновой смеси ϵ — 1,2 и 3%.

Программа включала технологические и аэродинамические исследования, а также определение средней скорости движения зерновок в зоне сепарирования.

Глава 1У. Результаты экспериментальных исследований

1. Исследование влияния формы и размеров основных элементов пневмосепаратора на технологическую эффективность сепарирования зерна пшеницы показало, что высота перфорированного патрубка (рис. 1, 2), конусность сошла, форма экрана и его расстояние до сошла являются основными конструктивными параметрами, влияющими на форму КЗР, на количество отделяемого от двухфазного потока воздуха, а, следовательно, на технологические показатели сепарирования зерна. В процессе исследования были найдены наиболее рациональные конструктивные параметры, обеспечивающие высокие показатели разделения зерновых смесей. Исследованием установлено, что высота воздушного канала не влияет на эффективность сепарирования зерна, если скорость воздуха в канале достаточна для транспортирования выделенных отосов.

2. Установлено, что плотность КЗР (ω_0), определяемая величинами G_0 , V_0 , значительно влияет на показатель E технологической эффективности сепарирования зерна. С увеличением G_0 (до 4,2 кг/сек·м) происходит уменьшение ω_0 , а, следовательно, увеличение V_c и E (рис. 3). При $G_0 > 4,2$ кг/сек·м, вследствие малой величины межзерновых расстояний КЗР, происходит уменьшение E и увеличение четкости Z . Последнее объясняется выхватыванием отдельных зерновок из КЗР, вследствие больших значений V_c . В этом случае высота воздушного канала h становится фактором, влияющим на величину Z .

3. Изменение V_c и соответственно E возможно также путем изменения расхода воздуха Q .

В процессе исследования изменение величины Q производилось только путем изменения скорости V , так как

величина V определяет не только расход воздуха Q , но и среднюю скорость зерновок V_0 .

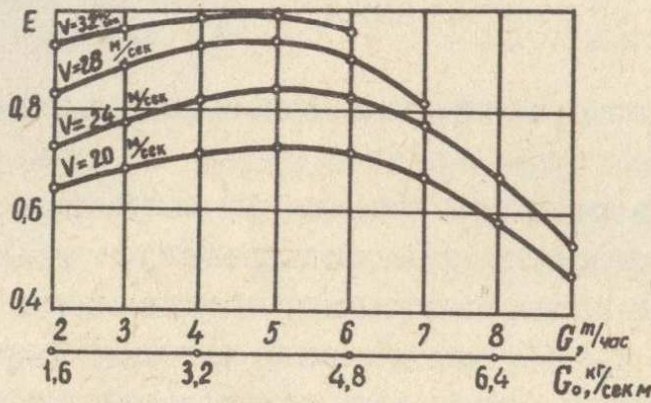


Рис. 3.

При большой плотности КЗР увеличение скорости V (а, следовательно, Q) нецелесообразно. В этом случае важное значение имеют физические свойства засорителя, в частности, размеры частиц.

Исследованием установлено, что при $G_0 > 4,82$ кг/сек.м нежелательно работать при больших скоростях V , так как при этом резко уменьшается показатель E .

4. Исследование зависимости между величинами E , ω показало (рис. 4), что фактор ω влияет на показатель E . В результате изменения величины ω происходит изменение удельного расхода воздуха на единицу

Исследование зависимости $E = f(V, G)$, проведенное при разных значениях ω , показало, что величина Q влияет на показатель E , однако не во всех случаях увеличение Q способствует росту показателя E .

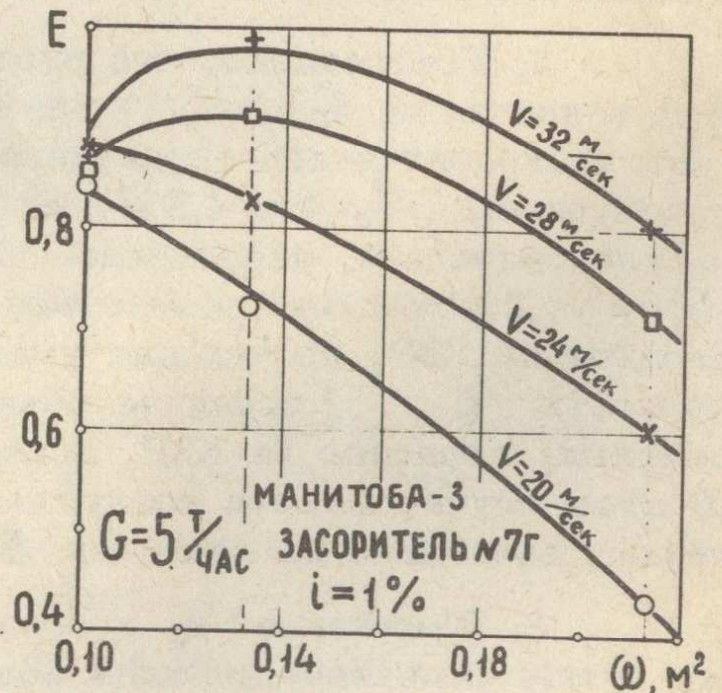


Рис. 4.

общей площади КЗР. Увеличение параметра $Q_0 = Q/\omega$, характеризующего интенсивность продувания КЗР, способствует повышению V_c и E .

Степень изменения показателя $E = f(\omega, V)$ зависит от скорости воздуха V . При скоростях $V \geq 28$ м/сек уменьшение ω приводит не только к меньшей степени увеличения показателя E , но возможна также обратная зависимость, т.е. уменьшение ω приводит к уменьшению E .

5. Пневмосепарирование зерновых смесей ($i = 1\%$; $\omega = 0,1$ м²; $V = 24$ м/сек), составленных из пшеницы Манитоба-3 и некоторых засорителей, показало, что величина E зависит, в основном, от скорости витания V_s' , формы и размеров частиц засорителя. На изменение E влияют также скорость витания V_s и вес 1000 зерен пшеницы. С увеличением V_s и A показатель E возрастает, т.е. чем крупнее зерно пшеницы, тем выше технологический эффект сепарирования.

6. Исследование показало, что такие факторы как засоренность зерновой смеси i и коэффициент весовой концентрации K также влияют на показатель технологической эффективности E . Так, например, с увеличением i показатель E уменьшается.

7. Повреждение зерна пшениц пневмосепаратором, выражаемое увеличением относительного содержания битых зерен, колеблется в пределах 0,35–0,50% за один пропуск зерна, где верхний предел относится к более мелкому зерну пшеницы Манитоба-3.

8. Средние скорости движения зерновок пшениц в зоне сепарирования (V_0), в исследованном интервале параметров C , V , V_s , A изменяются в пределах 2–3 м/сек и зависят от численных значений этих параметров. Скорость V_0 влияет на плотность КЗР, а, следовательно, на показатель E . Между V_0 и средней скоростью движения зерна в конце материалопровода (V_m) существует зависимость: $V_0 = \delta V_m$, где $\delta = 0,2$ – коэффициент торможения зерна соплом и экраном, зависящий от конструкции головки пневмосепаратора.

9. Обработка экспериментальных данных на основе

теории подобия и размерности приводит к семейству кривых (рис. 5), описываемых с достаточной степенью точности, урав-

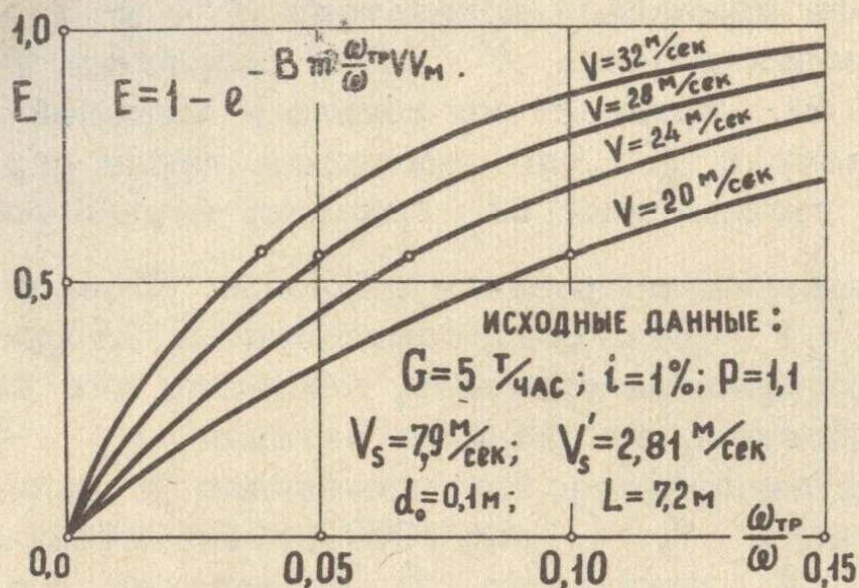


Рис. 5.

нением кинетики аэромеханического сепарирования:

$$E = 1 - e^{-2,15 P m \frac{\omega_{TP}}{\omega} V V_0} \quad (7)$$

где $P = Q/Q_m$ — коэффициент, учитывающий присос воздуха до КЗР;

ω_{TP} — площадь сечения материалопровода, m^2 ;

m — аэродинамическая характеристика зерновой смеси, $сек^2/m^2$;

$$m = \frac{V_s - V_s'}{V_s \cdot (V_s')^2 \cdot 0,82} \quad (8)$$

Исследование показывает (рис. 5, 6), что параметр $\frac{\omega_{TP}}{\omega}$ влияет на технологические показатели E , Z . В пределах значений V , G , применяемых при пневмотранспорте пшениц, величина $\frac{\omega_{TP}}{\omega} = 0,1$ обеспечивает выполнение требований ($Z \leq 2\%$) технологии производства. В связи с этим уравнение (7) можно переписать в таком виде

$$E = 1 - e^{-0,043 P m V V_m} \quad (9)$$

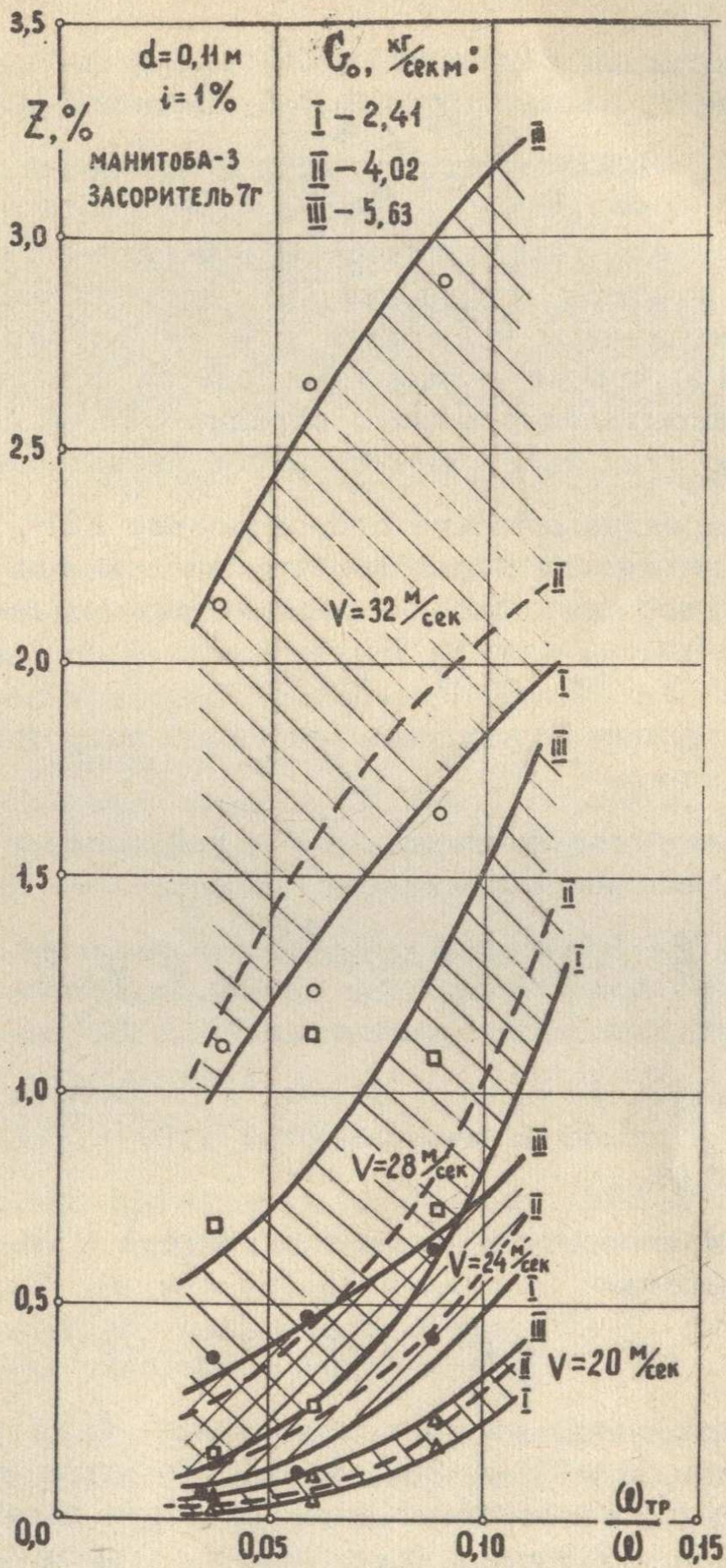


Рис. 6.

При этом входящая в уравнение (9) скорость V_M определяется по формуле, рекомендуемой В.С. Пальцевым и Б.М. Максимчуком ($V_M = 0,225 \frac{G^{0,07} L^{0,25}}{V_s^{0,2} d_0^{0,917}} V$).

Показатель технологической эффективности E ; вычисленный с помощью уравнения (9), применительно к условиям производственных испытаний ($G = 5$ т/час; $V = 25$ м/сек), составляет 61%, что не намного расходится с результатами ($E = 65\%$) испытаний опытного образца ОТИ-2 (модель 1), созданного по типу экспериментального пневмосепаратора.

10. Аэродинамическое сопротивление КЗР, выражающее потерю энергии потока в результате прохождения его через разрыхленный зерновой слой, определяется зависимостью:

$$H_3 = \beta Q, \text{ кг/м}^2, \quad (10)$$

где β — коэффициент аэродинамического сопротивления КЗР, кг.сек/м⁵.

Значение коэффициента β , найденное с учетом влияния i , составляет:

$$\beta = (0,4 + 16\omega) i^{0,2} \frac{G}{\omega V_0 \gamma_M} 10^4, \quad (11)$$

где γ_M — удельный вес зерна пшеницы, кг/м³.

Расхождения опытных данных и вероятных значений H_3 , вычисленных с помощью зависимостей (10) и (11), находятся в пределах 15,3%.

11. Энергоемкость пневмосепаратора ОТИ-2 определяется зависимостью

$$N = \beta Q^2 + \epsilon Q^3, \text{ кгм/сек.} \quad (12)$$

Сопоставление численных значений N и K_3 для пневмосепараторов ОТИ-2, ЗПА-5, БПС-5, показывает, что энергоемкость и коэффициент экономичности пневмосепаратора ОТИ-2 в 2,0 — 2,5 раза ниже, чем у пневмосепараторов, применяемых в промышленности.

12. Метод расчета пневмосепараторов ОТИ-2 построен

на определении конструктивных параметров ω , d , основных размеров и вычисления вероятных значений V_0 , H , E .

Для определения ω , d рекомендуются зависимости: $\omega = 10 \omega_{тр}$; $d = G/\pi G_0$, где $G_0 = 2,4 - 4,0$ кг/сек·м.

Принимая во внимание характер зависимости $E = f(G)$ (рис. 3), рекомендуется при расчете исходить из значений G , взятых на 20% выше заданного. Это обеспечит стабильный режим сепарирования при перегрузках пневмосепаратора.

Глава У. Внедрение результатов исследования в практику

Результаты экспериментального исследования способа попутного аэромеханического сепарирования зерна позволили разработать четыре конструкции опытно-промышленных образцов пневмосепараторов производительностью 5-10 т/час.

В отличие от экспериментального пневмосепаратора (рис. 2), опытные образцы ОТИ-2 (модели 2, 3, 4) были дополнены устройством для изменения скорости воздушного потока над КЗР и обводным воздухопроводом.

Конструкция пневмосепаратора ОТИ-2 (модель 4) отличается способом изменения технологической эффективности E . В этой модели ОТИ-2 изменение величины ω осуществляется путем перемещения экрана по вертикали. При этом воронка пневмосепаратора закреплена неподвижно и служит его днищем.

Опытно-промышленные образцы ОТИ-2 (модели 1, 2) испытывались в зерноочистительном отделении Одесского мельзавода № 18, где устанавливались поочередно вместо демонтированного пневмосепаратора ЗПА-5. Испытания проводились при $V = 24 - 26$ м/сек; $Q = 800 - 1000$ м³/час.

Производственные испытания опытных образцов ОТИ-2 показали среднюю технологическую эффективность сепарирования зерна пшеницы в пределах 65-87%, а также хорошую износостойкость основных деталей пневмосепараторов.

Результаты испытаний позволили осуществить в 1967г. перевод мельзавода № 18 на новые пневмосепараторы ОТИ-2 (модель 2), которые работают без ремонта более 20 месяцев.

Сопоставление созданных конструкций ОТИ-2 и промышленных пневмосепараторов ЗПА-5 и БПС-5 показывает, что новые пневмосепараторы, созданные на разработанном способе аэромеханического сепарирования зерна, по основным технико-экономическим показателям превосходят пневмосепараторы, применяемые на предприятиях по переработке зерна.

Основные выводы и рекомендации

1. Разработан и предложен новый способ попутного аэромеханического сепарирования зерна, более соответствующий условиям работы внутрицехового пневмотранспорта и обеспечивающий высокие технико-экономические показатели, в сравнении со способом сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале.

2. Технологическая эффективность способа попутного аэромеханического сепарирования зерна пшеницы характеризуется уравнением кинетики пневмосепарирования

$$E = 1 - e^{-2,15 \rho m \frac{\omega_{TP}}{\omega} V V_0}$$

Максимальная технологическая эффективность и четкость сепарирования до 2%, как показали исследования, достигается при $\frac{\omega_{TP}}{\omega} = 0,1$.

Приведенное уравнение кинетики сепарирования может быть рекомендовано для вычисления вероятных значений E .

3. Средние скорости движения зерновок пшеницы в зоне сепарирования в пределах исследованных величин V , G_0 значительно влияют на технологический показатель E .

Значения V_0 зависят от средней скорости движения зерна в конце материалопровода (V_M), а также от конструктивных параметров головки пневмосепаратора. При этом $V_0 = \delta V_M$, где δ - коэффициент торможения зерна соплом и экраном. Для разработанной конструкции головки пневмосепаратора $\delta = 0,2$.

4. Разработаны, конструктивно оформлены и защищены авторскими свидетельствами пневмосепараторы ОТИ-2, осно-

важные на способе попутного аэромеханического сепарирования зерна пшеницы.

Производственно-технологические испытания опытной серии ОТИ-2 и эксплуатация пневмосепараторов в течение двух лет на Одесском мельзаводе № 18 подтверждают результаты проведенных исследований.

Пневмосепараторы ОТИ-2 малогабаритны, характеризуются относительно высокой технологической эффективностью, небольшой металлоемкостью и другими преимуществами перед пневмосепараторами, применяемыми в промышленности.

5. Аэродинамическое сопротивление пневмосепаратора ОТИ-2, при работе его в пневмотранспортной сети, характеризуется уравнением:

$$N = \epsilon Q^2 + \beta Q, \text{ кг/м}^2;$$

где первый член выражает сопротивление пневмосепаратора при работе на чистом воздухе, второй — аэродинамическое сопротивление кинематической зерновой решетки.

6. Установлено, что энергоемкость пневмосепаратора ОТИ-2, определяемая по формуле $N = \epsilon Q^2 + \beta Q$ кгм/сек, в 2,0 — 2,5 раза ниже энергоемкости пневмосепараторов ЗПА-5 и БПС-5, основанных на способе сепарирования зерна в вертикальном воздушном канале.

7. Экран пневмосепаратора ОТИ-2 увеличивает дробление зерна на 0,35 — 0,50%. При этом верхний предел относится к более мелкому зерну пшеницы.

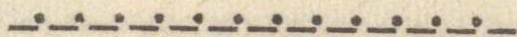
8. Разработан метод расчета пневмосепараторов ОТИ-2, позволяющий определить его основные размеры, а также вероятные значения технологической эффективности и аэродинамического сопротивления.

9. Метод расчета может быть использован в практике проектирования пневмосепараторов.

10. Предварительные данные, полученные в результате поискового исследования, указывают на возможность приме-

нения пневмосепараторов ОТИ-2 для сепарирования ошелушенных крупяных культур и продуктов размола зерна. В последнем случае представляется возможным значительно снизить необходимую просеивающую поверхность первых драных систем.

Для производственной проверки пневмосепаратора ОТИ-2 в указанных условиях необходимы дополнительные исследования.



Основное содержание диссертационной работы опубликовано в статьях, тезисах докладов и сообщений, а также в описаниях изобретений к авторским свидетельствам:

1. Исследование способа пневмотранспортного сепарирования зерновых продуктов. Тезисы докладов XXVIII научной конференции Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова, Одесса, 1966.

2. Пневматический сепаратор для сыпучих материалов. Авторское свидетельство № 188828, класс 50 d , 7/01. Бюллетень „Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки“, № 22, М., 1966.

3. Способ сепарации сыпучих материалов при их пневматическом транспортировании. Авторское свидетельство № 189674, класс 50 d , 7/01. Бюллетень „Изобретения, промышленные образцы, товарные знаки“, № 24, М., 1966.

4. Способ попутного пневмосепарирования сыпучих материалов при пневмотранспорте. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР (пищевая промышленность), вып. 2, Киев, 1967.

5. Пневматический сепаратор ОТИ-2-5. Реферативная информация о законченных научно-исследовательских работах в вузах УССР (пищевая промышленность), вып. 2, Киев, 1967.

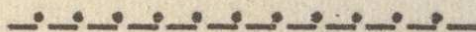
6. Исследование способа попутного сепарирования сыпучих материалов в условиях пневматического транспортирования. Материалы Всесоюзной межвузовской научной конференции по процессам в дисперсных сквозных потоках. Одесса, 1967.

7. Воздушный сепаратор для внутрицехового пневмотранспорта. „Мукомольно-элеваторная промышленность“, № 2, 1968.

8. Аэромеханическое сепарирование зерна пшеницы в условиях внутрицехового пневмотранспорта. Известия вузов СССР, „Пищевая технология“, № 4, 127, 1968.

9. Пневмотранспортный воздушный сепаратор для зерна. Решение о выдаче авторского свидетельства от 30.IX.1968 г. (заявка № 1198119/28-13, класс 50 d , 7/01, с приоритетом от 20.XI.1967 г.).

Результаты исследования докладывались на научных конференциях Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова: XXII (апрель 1965 г.), XXIII (февраль 1966 г.), XXIX (май 1967 г.), а также на первой Всесоюзной межвузовской научной конференции по процессам в дисперсных сквозных потоках (подсекция: Пневматический транспорт, сентябрь 1967 г.).



БР 04157 Подписано к печати 6/У-1969 г. Объем 1,4 печ.л.
Уч.изд.л. 1,5 Заказ № 87 Тираж 180 экз. 1969 год

Лаборатория фотомеханической печати ОТИ
имени М.В. Ломоносова, г. Одесса, ул. Свердлова, 112