

Авторефер
Б

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. Ломоносова

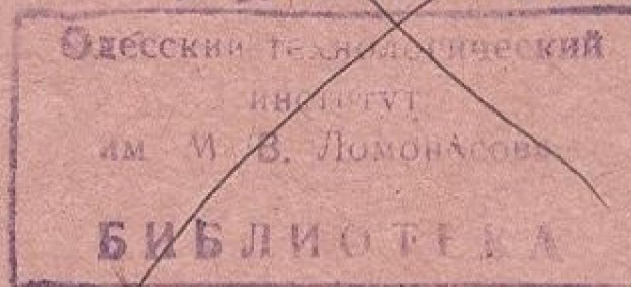
На правах рукописи

В. И. БОРОДАЙ

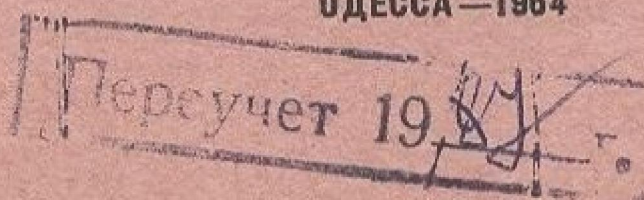
**ОЧИСТКА ЗЕРНА БРОСКОМ
В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ**
(пневмоинерционная очистка зерна)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук



ОДЕССА — 1964



Автореферат

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
У С С Р

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. М. В. Ломоносова

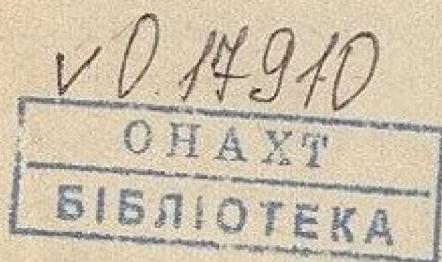
На правах рукописи

В. И. БОРОДАЙ

**ОЧИСТКА ЗЕРНА БРОСКОМ
В ВОЗДУШНУЮ СРЕДУ**
(пневмоинерционная очистка зерна)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации, представленной на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Работа выполнена в Новочеркасском механико-технологическом техникуме за период 1954 — 1963 гг.

Одесский технологический институт им. М. В. Ломоносова направляет Вам автореферат диссертации старшего преподавателя кафедры теоретической механики ордена Трудового Красного Знамени Новочеркасского политехнического института им. С. Орджоникидзе Бородая В. И., выполненной на тему: «Очистка зерна броском в воздушную среду (пневмоинерционная очистка зерна)», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Защита диссертации намечается на _____ 1964 г.

Ваши отзывы и замечания в 2-х экземплярах просим направлять по адресу: г. Одесса, ул. Свердлова, 112, Одесский Технологический институт.

Ученый секретарь Совета, доцент (ЯКОВЕНКО В. А.).

Цель настоящей работы — поиск интенсивных и эффективных способов очистки зерна воздухом. Многолетняя практика эксплуатации воздушно-ситовых и пневмосепараторов и специальные исследования их работы показали, что эффективность этих зерноочистительных машин невысока и в среднем составляет 35 — 50% за один пропуск. С другой стороны, исследования М. Н. Летошнева, И. П. Безручкина, В. Я. Гиршсона и др. убеждают, что, используя различие аэродинамических свойств зерна основных культур и характерных для них сорняков, можно добиться высокой эффективности их сепарации воздухом.

Разрыв между возможностями воздушной сепарации и ее действительной эффективностью свидетельствует, что воздух, как рабочий орган зерноочистительных машин, используется далеко не в полной мере. Следствием такого положения является то, что предприятия системы хлебопродуктов еще не имеют зерноочистительных машин, отвечающих современным требованиям. Отсюда ясно, что одним из путей повышения эффективности работы зерноочистительных машин является путь поисков эффективных способов очистки и сортирования зерновых масс воздухом.

КРИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СОВРЕМЕННЫХ СПОСОБОВ ОЧИСТКИ ЗЕРНА ВОЗДУХОМ

Выполнению настоящей работы предшествовало изучение отечественных и зарубежных литературных источников по исследуемому вопросу за период 1900 — 1963 гг. Обзор этих источников позволяет установить следующие способы очистки зерна воздухом: противотока, поперечного потока, аэромеханической флотации, аэрокинетический и пневмоинерционный.

По способу противотока зерно и сепарирующая струя воздуха в вертикальном канале движутся навстречу друг другу. Скорость встречи зерна с воздухом не превышает 4,5 —

6,0 м/сек. Данный способ применяется в отечественных и зарубежных сепараторах и аспираторах.

По способу поперечного потока падающее зерно и воздушный поток встречаются под углом 90° . Этот способ используется в сортировках «Триумф», «Кускута» и в машинах каскадного типа, в которых скорость встречи зерна и воздушного потока может изменяться от 4,5 до 7,5 м/сек.

Способ аэромеханической флотации применяется в пневмосортировальных столах и др. машинах в нашей стране и за рубежом. Сущность способа: зерновая масса, попадая на колеблющееся сито, расслаивается по удельному весу ее компонентов. Этот процесс происходит быстрее и точнее при продувке сквозь слой продукта (снизу вверх) воздушного потока. Машины, работающие по способу аэромеханической флотации, показали невысокую эффективность, так как расслоить зерновую массу по удельному весу можно, но точно разделить эти слои весьма трудно.

Аэрокинетический способ базируется на различии кинетической энергии частиц зерновой массы, движущихся в воздушном потоке. Данный способ применяется в большинстве пневмосепараторов у нас и за рубежом. Сущность способа: зерновая масса в состоянии аэрозоля движется по материалопроводу вверх, а при входе в пневмосепаратор воздух резко меняет направление, захватывая с собой легкие ее частицы. Тяжелые частицы, обладающие большей кинетической энергией, продолжают двигаться вверх и оседают в специальной камере. Эффективность пневмосепараторов в среднем составляет 40%. В пневмотранспортных продуктопроводах легкие частицы зерновой массы движутся гораздо быстрее тяжелых. Вследствие этого, разность их кинетических энергий в зоне сепарирования небольшая. Так в основном объясняется низкий технологический эффект работы пневмосепараторов.

Сущность пневмоинерционного способа заключается в том, что зерновая масса механическими средствами выбрасывается в неподвижный воздух или в движущийся поток воздуха и под действием сопротивления неподвижной воздушной среды или давления движущегося потока воздуха подвергается рассортированию на фракции по аэродинамическим свойствам. Зерновая масса движется под действием сил инерции, а основными сепарирующими силами являются силы сопротивления (или давления) воздушной среды. Производственное

применение данного способа сепарации зерна следует отнести к 1933 г., когда П. Н. Платоновым был предложен зернопульт. В последние годы А. А. Кукибный провел исследования по отсевиванию зерновых смесей броском зернопультом в неподвижную воздушную среду под углом к горизонту и пришел к выводу, что на площади падения зерновой массы не получается четкого ее разделения на фракции по аэродинамическим свойствам. Кроме того, А. А. Кукибный нашел, что зернопульт выбрасывает зерновую массу с различной скоростью, под разными углами и с вращением. Зернопульт способен выбрасывать зерновую массу в воздух со скоростью до 16 м/сек.

Обзор литературы по очистке зерна воздухом дает возможность сделать следующие выводы: 1) очистка зерна воздухом противотоком и поперечным потоком дает низкий эффект, так как при этом применяются малые скорости встречи зерна и воздуха в зоне сепарирования, а последняя имеет незначительные размеры; 2) при использовании способа аэромеханической флотации в современных зерноочистительных машинах не решен вопрос точного разделения фракций зерновой массы по удельному весу; 3) аэрокинетический способ, применяемый в большинстве пневмосепараторов, связанных с пневмотранспортными сетями, не позволяет получить эффективного разделения зерновой массы по разности кинетической энергии ее компонентов, так как в зону сепарирования легкие частицы поступают с большой скоростью, а тяжелые — с малой; 4) пневмоинерционный способ допускает более высокие скорости встречи зерновой массы с воздухом, имеет значительный путь воздействия воздушной среды на частицы зерновой массы в полете, но в современном виде дает низкий эффект сепарации (25—30%).

Анализ недостатков современных способов очистки зерна воздухом позволил сформулировать более эффективный способ: 1) относительная скорость встречи зерна с воздухом должна быть высокой; 2) все компоненты зерновой массы перед встречей с воздушной средой (или воздушным потоком) должны иметь одинаковую скорость и одно и то же направление движения; 3) путь воздействия воздушной среды (или воздушного потока) на зерновую массу в зоне сепарирования должен быть по возможности большим.

Пневмоинерционный способ очистки зерна ближе других отвечает требованиям сформулированного способа.

Бросок зерновой массы в воздушную среду с одинаковой скоростью всех ее компонентов и под одним и тем же углом к горизонту условимся называть идеальным. Как известно, зернопульт по принципу работы не может осуществить идеального броска.

В наших исследованиях для броска зерновой массы в воздух изберем лопастные машины с горизонтальной осью вращения, теория и конструктивные расчеты которых по существу еще не разработаны.

Так как сепарация броском в воздушную среду является единством двух неразрывно связанных процессов—броска зерновой массы и полета ее в воздухе, — изучим вопросы теории этих процессов и проведем необходимые эксперименты.

Т Е О Р И Я ТЕОРИЯ ЛОПАСТНЫХ МАШИН С ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ОСЬЮ ВРАЩЕНИЯ

Движение зерна вдоль лопасти (к нее наружной кромке является относительным, а вращение вместе с лопастью вокруг оси — переносным. Обозначим относительную скорость зерна — v_r ; переносную — v_e ; абсолютную — v_a . Зерно на лопасти, находясь в относительном поступательном движении, будет вращаться вокруг своей главной оси инерции.

Дифференциальное уравнение движения зерна в относительном движении:

$$m \frac{d^2 r}{dt^2} = F_u^e + P \sin \alpha - T, \quad (1)$$

где $F_u^e = m\omega^2 r$ — переносная сила инерции; $P = mg$ — вес зерна; $T = f(F_u^k - mg \cos \alpha)$ — сила трения зерна о лопасть; $F_u^k = 2m\omega \frac{dr}{dt}$ — кориолисова сила инерции; m — масса зерна; ω — угловая скорость лопасти; r — радиус вращения зерна на лопасти; f — коэффициент трения зерна о лопасть; α — угол поворота лопасти от начала движения по ней зерна до сброса в дуговом измерении; r_0 — радиус обечайки барабана, на которой крепятся лопасти ($r = r_0 + h$, где h — высота лопасти).

Дифференциальное уравнение вращательного движения зерна по лопасти:

$$J_c \frac{d\Omega}{dt} = T_a - M_k \quad (2)$$

$T_a = af(F_u^k - mg \cos \alpha)$ — момент силы трения относительно главной оси инерции зерна (сообщает вращение); $M_k = k(F_u^k - mg \cos \alpha)$ — момент силы, прижимающей зерно к лопасти, относительно той же оси (препятствует вращению); a — средний радиус сечения зерна, перпендикулярного главной оси инерции, вокруг которой происходит вращение; k — размер, характеризующий неправильность формы поперечного сечения зерна (равен половине разности большего и меньшего размеров); $J_c = m r_u^2$ — момент инерции зерна относительно главной оси; r_u — радиус инерции; Ω — угловая скорость вращения зерна.

Решая дифференциальные уравнения (1, 2), получим:

1. Закон пути зерна по лопасти в относительном движении

$$r = r_0 e^{-tg\varphi \cdot \alpha} [\sin\varphi \cdot \text{sh}(\sec\varphi \cdot \alpha) + \text{ch}(\sec\varphi \cdot \alpha)], \quad (3)$$

где φ — угол трения зерна о лопасть.

2. Закон относительной скорости:

$$v_r = \omega r_0 \cdot \cos\varphi e^{-tg\varphi \cdot \alpha} \cdot \text{sh}(\sec\varphi \cdot \alpha) \quad (4)$$

3. Закон угловой скорости зерна при движении по лопасти:

$$\Omega = \frac{2\omega(af - k)}{r_u^2} \left[(r - r_0) - \frac{g}{2\omega^2} \sin^2 \alpha \right] \quad (5)$$

Пользуясь формулой (5), рассчитываем угловую скорость зерен, сбрасываемых лопастями в воздух.

Уравнение (1) и формулы, из него вытекающие, верны не только для отдельного зерна, но и для совокупности зерен, движущихся по лопасти, как постоянной, так и переменной массы.

Теория движения зерна по лопасти позволила исследовать процесс сброса его с лопастей в воздух. Лопастями барабана захватывают зерно, подаваемое из ковша, и перемещают его к концу деки, где происходит сброс. То зерно, которое находилось у края наружной кромки, лопасти, мгновенно сбрасы-

вается в воздух и летит в направлении касательной к окружности, описываемой лопастью в точке начала сброса. Зерно, находившееся у внутренней кромки лопасти в момент начала сброса, прежде, чем сойти с лопасти, должно пройти путь, равный ее высоте: $h = r - r_0$. За это время лопасть повернется на угол α , а ее наружная кромка опишет дугу $\alpha(r_0 + h)$.

Таким образом, сброс зерна с лопастей в воздух не является мгновенным процессом. Угол α , на который поворачивается лопасть в процессе сброса называется углом сброса.

Зерно, находившееся в момент начала сброса у наружной кромки лопасти, имеет абсолютную скорость $v_a = v_e$, так как $v_r = 0$. Зерно же, которое прошло в процессе сброса всю высоту лопасти (h) и приобрело относительную скорость (v_r), сбрасывается в воздух со скоростью v_a , равной геометрической сумме скоростей v_r и v_e . Отсюда ясно, что в начале сброса зерна в воздух скорость его v_e , а в конце — $\sqrt{v_e^2 + v_r^2}$;

Угол между v_a и v_e в конце сброса назовем α_1 . Он равен:

$$\alpha_1 = \arccos \frac{(1 + \sin \varphi) + (1 - \sin \varphi)e^{-2\sec \varphi \cdot \alpha}}{\sqrt{2[(1 + \sin \varphi) + (1 - \sin \varphi)e^{-4\sec \varphi \cdot \alpha}]}} \quad (6)$$

Угол рассеивания при сбросе зерна с лопастей находим из формулы:

$$\theta_1 = \alpha - \alpha_1 \quad (7)$$

Из формул (6, 7) ясно, что малым углам сброса соответствуют малые углы рассеивания, а также малые различия между скоростями v_e и v_a . В момент начала сброса: $\alpha = 0$; $v_e = v_a$; $\alpha_1 = 0$; $\theta_1 = 0$.

Теория лопастных машин с горизонтальной осью вращения показывает, что эти машины: 1. Допускают неравномерность скорости сброса зерна в воздух, равную $v_a - v_e$. 2. Выбрасывают зерно в воздух под различными углами к горизонту, $\theta_0 \div \theta_0 + \theta_1$. 3. Сообщают зерну вращение, интенсивность которого зависит от высоты лопастей, угловой скорости их вращения и физических параметров зерна.

Найдем способ сокращения углов рассеивания, разности в скоростях сброса и во вращательных скоростях зерна. Для этого запишем формулу (3) в следующем виде:

$$\frac{h}{r_0} = e^{-tg \varphi \cdot \alpha} [\sin \varphi \cdot \operatorname{sh}(\sec \varphi \cdot \alpha) + \operatorname{ch}(\sec \varphi \cdot \alpha)] - 1 \quad (8)$$

Из формулы (8) ясно, что величина φ является постоянной для данной конструкции машины, а угол сброса зависит только от отношения $\frac{h}{r_0}$. Следовательно, уменьшая $\frac{h}{r_0}$, можно сократить α , θ_1 , разность $v_a - v_e$, Ω и приблизить к идеальному бросок зерна в воздух.

Исследование процесса захвата зерна лопастным барабаном, движения его по деке и процесса сброса в воздух позволило теоретически найти потребную мощность для привода лопастных машин.

$$N = \frac{Q v_e^2}{3600} \left(\frac{a + \beta f_1}{\eta_1 \eta_2} + 0,5 \right) \text{ квт}, \quad (9)$$

где Q — производительность машины, $t/\text{час}$; v_e — окружная скорость наружных кромок лопастей, $m/\text{сек}$; $a = \left[\frac{1}{\cos \psi} - f_1 \ln \operatorname{tg} \left(45^\circ + \frac{\psi}{2} \right) - 1 \right]$ — постоянная величина, зависящая от конструкции питающих устройств машины; ψ — угол захвата машины ($40 - 50^\circ$); β — центральный угол лопастного барабана, противостоящий деке ($160 - 180^\circ$); f_1 — коэффициент трения зерна по деке и в зоне захвата; η_1 и η_2 — к. п. д. привода и подшипников.

Количество лопастей на барабане определяется по формуле:

$$n_2 = \frac{(5 \div 7) \pi}{\alpha} \quad (10)$$

$\pi = 3,14$; α — угол сброса в дуговом измерении.

Чем больше лопастей, тем сброс зерна в воздух плавнее, каждое зерно лучше оmyвается воздухом и эффект сепарации выше.

Производительность лопастных машин определяется по формуле:

$$Q = 3600 a_1 h v_e \gamma K_3 K_0, \text{ т/час}, \quad (11)$$

где a_1 — длина лопастного барабана, m ; γ — объемный вес зерна, t/m^3 ; K_3 — коэффициент заполнения объема между лопастями; K_0 — коэффициент, учитывающий объем лопастей ($K_0 = 0,8$).

Теория позволяет определять основные механические и эксплуатационные параметры лопастных машин, необходимые для проектирования и производственного использования.

ТЕОРИЯ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА В ВОЗДУХЕ

Силу сопротивления движению частицы в воздушной среде выражают формулой: $R = C\rho Fv^2$, где C — коэффициент сопротивления; ρ — плотность воздуха; F — миделево сечение зерна. По данным А. В. Панченко коэффициент сопротивления (C) по квадратичному закону для значений R_c в пределах от 500 до 100000 является постоянной величиной. В наших исследованиях значения R_c находятся в пределах 1000 — 20000. Следовательно, коэффициенты сопротивления воздуха для исследуемых частиц зерновой массы можно считать постоянными.

Опыты показывают, что вращение зерна в полете не оказывает значительного влияния на характер траектории его в воздухе. Поэтому в наших исследованиях вращением зерна в полете пренебрегаем.

Решение дифференциальных уравнений движения отдельного зерна, брошенного под углом к горизонту, дает закон его пути по траектории:

$$S = \frac{2,3026}{2K} \lg \left[p - \eta \left(\frac{\sin \Theta}{\cos^2 \Theta} + \operatorname{Intg} \left(45^\circ + \frac{\Theta}{2} \right) \right) \right], \quad (12)$$

где $K = \frac{C\rho F}{m}$ — аэродинамический параметр зерна; Θ — угол между вектором скорости v и осью X ;

$$p = 1 + \frac{K}{g} v_0^2 \cos^2 \Theta_0 \left[\frac{\sin \Theta_0}{\cos^2 \Theta_0} + \operatorname{Intg} \left(45^\circ + \frac{\Theta_0}{2} \right) \right]; \quad \eta = \frac{K}{g} v_0^2 \cos^2 \Theta_0,$$

v_0 — начальная скорость броска зерна в воздух; Θ_0 — угол броска; 2,3026 — модуль перевода десятичных логарифмов в натуральные; g — ускорение силы тяжести; S — путь зерна.

Закон скорости полета: $v = v_0 \frac{\cos \Theta_0}{\cos \Theta} e^{-KS}$.. (13), где e — неперово число.

При бросковой сепарации зерна имеем дело не с полетом одного зерна, а с полетом зерновой струи, при котором зерна взаимодействуют друг с другом. Основные факторы, влияю-

шие на полет зерна в воздухе: зерна выбрасываются с различием в скоростях и рассеиванием; имеет место вращение зерна; прерывность зерновой струи; изменение плотности зерновой струи в полете и др. Перечисленные факторы зависят от работы бросковой машины. Изучив эти факторы, мы сможем активно влиять на их течение, добиваясь изменения в нужную сторону.

Аэродинамические свойства зерновой массы (форма, размер, состояние поверхности, масса частиц и др.) являются объективными показателями и изменять их мы не можем. Эти свойства в силу разнородности зерновой массы могут колебаться в довольно широких пределах. Самые легковесные зерна данной культуры имеют максимальный параметр K_{\max} . Такие зерна ограничивают траекторию струи снизу. Для зерен с меньшим параметром K траектории полета в воздухе ложатся выше. Зерна с минимальным параметром ограничивают траекторию струи сверху. Таким образом, параметр K для каждой культуры зерна имеет широкие границы: $K_{\max} - K_{\min}$. Средний параметр K характеризует свойства большинства зерен данной культуры.

Траектория струи зерновой массы имеет «слоистое» строение. Она состоит из множества поверхностей, проходящих через кривые траекторий, построенных по формуле (12).

Горизонтальное расширение зерновой струи характеризуется углом раскрытия 2δ . Плотность зерновой струи по мере удаления от фронта вылета снижается и вероятность столкновений зерен в полете падает.

В зерновой массе, как правило, наблюдаются симметричные отклонения различных признаков от средних (крупность, абсолютный вес, взвешивающие скорости). Расположение зерновой массы на площади падения очень близко к симметричному.

Положим, что зерно засорено сорняком, параметр которого $K_{1\max} - K_{1\min}$, а параметр зерна $K_{2\max} - K_{2\min}$. Если $K_{2\max} < K_{1\min}$, возможно полное разделение зерна и сорняка броском в воздушную среду; при $K_{2\max} = K_{1\min}$ — не будет четкой границы между легковесным зерном основной культуры и тяжеловесными зернами сорняка; $K_{2\max} = K_{1\max}$ — разделение невозможно.

Из сказанного видно, что аэродинамический параметр K является определяющим в очистке зерна броском в воздушную среду.

Теория движения одного зерна, брошенного под углом в воздух, позволяет изучить полет всей зерновой струи, содержащей зерновую массу во всем разнообразии аэродинамических свойствах ее компонентов.

Если зерновую струю, выбрасываемую лопастной машиной, вентилировать вертикальной или наклонной воздушной струей (сверху вниз) с целью улавливания легких и пылевых частиц, то вентилирующий поток отклоняет траекторию зерновой струи.

Решая дифференциальные уравнения движения зерна в вертикальном потоке воздуха, получим формулу

$$X_{\max} = \frac{1}{K} \left[\ln \left(1 + \frac{v_{x0}}{u_x} \right) - \frac{1}{1 + \frac{u_x}{v_{x0}}} \right], \quad (14)$$

по которой найдем путь полета зерна в потоке воздуха по оси X от фронта вылета до места всасывания в вентиляционный канал. $u_x = u \sin \alpha$; $v_{x0} = v_0 \cos \theta_0$; α — угол между вертикалью и направлением воздушной струи; u — скорость вентилирующей струи воздуха.

Теория полета зерна, брошенного под углом в воздушный поток, отражает движение зерновой массы под действием сил инерции, лобового сопротивления и давления воздушного потока, направленного сверху вниз. Сочетание лобового сопротивления с давлением воздушного потока дает возможность интенсифицировать процесс воздушной сепарации зерна. Воздушный поток, пересекающий зерновую струю, значительно увеличивает относительную скорость встречи зерновой массы с воздухом, что повысит эффект пневмоинерционного сепарирования.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для экспериментальных работ использованы установки открытого типа, у которых $r_0 = 200$ мм; $a_1 = 220$ мм; $h = 15$ мм, $n_2 = 25$ и 50 шт.

Работа установок. Зерно подается на ловушечное сито, где отделяются грубые примеси, а затем в питающий ковш. Из ковша зерно следует на лопасти броскового барабана, которые выбрасывают его в воздух. При вылете струя зерновой

массы интенсивно продувается воздушным потоком, засасывающим из нее легкие примеси, пыль, амбарных вредителей и пр. Воздух с примесями поступает в пылеприемник, а затем в фильтр для очистки.

Для исследования эффективности очистки зерна броском в вертикальный воздушный поток изготовлена установка закрытого типа, состоящая из следующих частей: грубой очистки зерна, броскового механизма, пневмоинерционной камеры и вентиляционных устройств.

Работа установки. Зерно подается через ковш на сито для грубой очистки, а затем на бросковый механизм, который выбрасывает зерновую массу тонкой струей в пневмоинерционную камеру, где продувается сильным вертикальным (или наклонным) потоком воздуха (сверху вниз), засасываемым через вентиляционные окна в верхней части камеры. Тяжелое зерно хорошо сопротивляется в полете воздействию воздушного потока и попадает в бункер для чистого зерна, откуда выводится через клапан. Легкие частицы зерновой массы засасываются в вентиляционный канал и выбрасываются вентилятором в фильтр. Щуплые зерна, тяжелые сорняки, битое зерно и прочие фракции зерновой массы, не захваченные воздухом в вентиляционный канал, попадают в бункер для годных отходов и выводятся через клапан. Бункеры пневмоинерционной камеры снабжены поворотными клапанами для регулирования деления очищаемого зерна на фракции. Тыльная сторона камеры обшита прорезиненной лентой для смягчения ударов зерна о стенку. Установка позволяет регулировать скорость броска зерна в камеру (10 : 20 м/сек), угол броска (30 — 60°), скорость вертикального потока воздуха (0 ÷ 12 м/сек), направление и место продувки зерновой струи воздухом и положение клапанов бункеров, улавливающих зерновые фракции. Установка имеет практически неограниченные возможности в создании различных режимов сепарирования зерна.

ЦЕЛЬ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ РАБОТ

1. Проверка выводов теории лопастных бросковых машин.
2. Определение аэродинамических параметров основных зерновых культур.

3. Исследование эффективности бросковой очистки зерна без применения вентиляции и с применением вентиляции при выбросе его из машины.

4. Выяснение возможности и целесообразности применения очистки зерна броском в условиях предприятий системы хлебопродуктов.

5. Изучение работы лопастных машин и полета зерна в воздухе с помощью скоростной киносъемки.

6. Выяснение возможности эффективной очистки зерна повышенной влажности (св. 19%) и засоренности (10% и более), а также зерна, засоренного овсюгом и галькой. Такие опыты дадут возможность судить о целесообразности применения исследуемого способа очистки в условиях целинных и залежных земель.

7. Выявление эффективности очистки отходов пшеницы и ячменя.

8. Исследование способа очистки зерна броском в вертикальный воздушный поток с целью определения его эффективности и возможности использования для создания зерноочистительных машин.

В соответствии с целью работ проведено 7 серий опытов, охвативших 657 опытов. Кроме того, были проведены киносъемки работы лопастного барабана, вентилирующего канала и движения зерна в воздухе. Частота киносъемок 3 — 4 тыс. кадров в секунду.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБОБЩЕНИЕ ОПЫТОВ

1. Опыты по исследованию работы лопастных машин. При малых нагрузках лопасти работают не полной своей высотой, а лишь наружными концами. По мере увеличения нагрузки возрастает их рабочая высота, которую обозначим h_r . Отсюда ясно, что, уменьшая загрузку лопастей, мы сокращаем отношение $\frac{h_r}{r_0}$ и приближаем к идеальному бросок зерна в воздух. Для наших опытов $\frac{h_r}{r_0}$ колебалось от 0,022 до 0,075 в зависимости от загрузки лопастей от 0,146 до 2,270 т/см.час. Разница между расчетными углами сброса и рассеивания и опытными не превышает $0,5^\circ$.

Опытным путем выведена и проверена расчетом зависимость между производительностью бросковой машины, угла-

ми сброса и углами рассеивания. С увеличением производительности растут углы сброса и углы рассеивания, что с технологической точки зрения нежелательно. Например, при загрузке $1,3 \text{ т/см. час}$ и $K_3=0,25$, $-\alpha=18^\circ$; $\Theta_1=3^\circ$; $\alpha_1=15^\circ$.

Разница в скоростях сброса зерна с лопастей при малых загрузках равна: $v_a - v_e = 0,012 v_e$; при средних — $0,031 v_e$; при максимальных — $0,045 v_e$. Такие небольшие различия в скоростях сброса зерна с лопастей и незначительные углы рассеивания дают основание ожидать высокого эффекта очистки зерна броском в воздух. В практических расчетах можно считать, что вся зерновая масса выбрасывается с одинаковой скоростью v_0 , равной окружной скорости лопастей v_e .

При движении по лопасти каждого зерна в отдельности вращение его происходит, как правило, вокруг продольной оси инерции (принцип наименьшего действия). При средних и больших загрузках с вращением выбрасываются только те зерна, которые примыкают к лопасти и сбрасываются в воздух в конце процесса сброса. Направление вращения — обратное вращению лопастного барабана.

Опытные данные потребной мощности для привода лопастных машин отличаются от расчетных в среднем на $1,5 - 3,0\%$. На основе опытных данных разработан график, показывающий зависимость между энергоемкостью в кВтч/т и скоростью броска.

Обработка кинолент показала близкое соответствие наблюдаемых и расчетных угловых скоростей вращения зерна. Плотность зерновой струи по фронту вылета неравномерна: максимальная — в нижней части фронта; минимальная — в верхней. Средняя плотность струи равна половине максимальной.

Теория лопастных машин и опыты первой серии позволили разработать графики, по которым можно, не прибегая к трудоемким расчетам, определять нужные параметры лопастных машин.

В процессе опытов повреждения зерна на лопастях не имели места.

Все теоретические положения о лопастных машинах получили полное опытное подтверждение.

2. Опыты по определению аэродинамических параметров зерна. Наблюдения и замеры не показали заметных изменений размеров траекторий зерновых струй в связи с изменением

метеорологических условий, при которых производились опыты. Обработка данных опытов позволила определить параметры $K_{max} - K_{min}$ и коэффициенты сопротивления $C_{max} - C_{min}$ для зерна проса, пшеницы, ржи, ячменя и овса, а также для сорняков: куколя, овсюга, гречишки, сурепы, рыжика и др. Разработаны температурные поправки для K и C . Это дает возможность использовать формулы (12, 13, 14) для практических расчетов: строить траектории полета зерна в воздухе при конструировании зерноочистительных машин, графики изменения скорости зерна в полете, решать вопросы о возможности воздушного сепарирования зерна от различных сорняков и примесей.

Угол раскрытия зерновой струи по горизонтали (2σ) для зерна исследуемых культур при угле броска 30° , примерно, равен $8 - 12^\circ$; при угле броска $45^\circ - 10 - 14^\circ$. Меньшие углы раскрытия соответствуют малым загрузкам лопастей.

Угловая скорость вращения зерен в полете колеблется в широких пределах. Более интенсивно вращаются зерна, сбрасываемые с лопастей последними. Они вылетают из машины в верхней части фронта вылета. Число оборотов, примерно, совпадает с числом оборотов, вычисленным по формуле (5).

Как оценить влияние вращения зерна на траекторию его полета в воздухе? Во-первых, отношение вращательной скорости зерна к поступательной в полете в наших опытах незначительно, $0,05 - 0,07$. Следовательно, вращательное движение здесь относительно мало и не окажет заметного влияния на траекторию полета зерна. Во-вторых, аэродинамические свойства зерна даже одной культуры очень разнообразны и в полете получается довольно рассеянная струя. Судить о влиянии вращения зерен на траекторию такой струи не представляется возможным.

3. Опыты по исследованию эффективности очистки зерна броском в воздушную среду.

А. Очистка зерна броском без вентиляции. Эффект сепарации при скоростях броска $12 - 20$ м/сек и углах броска $30 - 37^\circ$ для зерна тяжелых культур равен $90 - 94\%$. Для углов 45° эффект сепарации несколько ниже. Такие результаты получаем при загрузках лопастей $1,3 - 1,5$ т/час на 1 см длины барабана. При снижении загрузки до $0,8 - 1,0$ т/см. час эффект очистки повышается на $6 - 8\%$. Если загрузку повысить до $1,5 - 2,0$ т/см. час, имеем снижение эффекта на $6 -$

8%. С увеличением скорости броска четкость сепарирования зерновой массы на площади падения улучшается. При скорости броска 12 м/сек количество годного зерна в отходах доходит 10% от веса отходов; при 20 м/сек — 2%.

Контроль отходов, полученных от бросковой сепарации зерна, производим повторной очисткой, но при загрузках 0,4 — 0,5 т/см. час.

Скоростные киносъемки показали, что при загрузках 0,4 — 0,5 т/см. час соударения зерен в момент вылета практически отсутствуют.

С увеличением загрузки лопастей сверх 1,5 т/см. час четкость сепарации снижается, так как плотность зерновой струи значительна и сопротивление воздушной среды преодолевает не каждое зерно в отдельности, а вся струя в целом.

Энергоемкость бросковой машины — 0,17 — 0,20 квтч/т.

Запыленность воздуха во время работы бросковой машины без вентиляции 35 — 40 мг/м³.

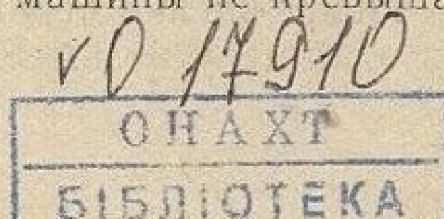
Б. Очистка зерна броском в воздух с применением вентиляции. Эффект очистки для зерна тяжелых культур 90 — 94% по сорной и 88—90% по зерновой примеси. Более низкие результаты характерны для скорости броска 12 м/сек и скорости вентилярующей струи 5 м/сек; для $v_0 = 15$ м/сек и $u = 7$ м/сек имеем более высокие результаты. Угол броска 45° дает хороший эффект в сочетании с $v_0 = 12—15$ м/сек и $u = 5 — 7$ м/сек при загрузке лопастного барабана 1,3 — 1,5 т/см. час. При снижении загрузки до 0,8 — 1,0 т/см. час. эффект очистки повышается на 4 — 5%.

Влажность зерна в пределах 12 — 18% на эффект очистки влияния не оказывает.

На основе формулы (14) разработаны графики, связывающие скорость броска v_0 , угол броска θ_0 , скорость вентилярующей струи u , параметр K примесей, которые надо выделить, и длину вентиляционного канала X . По этим графикам можно выбирать режим очистки зерна с применением вентиляции.

В вентиляционных отходах годного зерна нет. Содержание нормального зерна в отходах, осаждающихся на площади падения, не превышает 2 — 5%. Контрольное сепарирование отходов дает полное выделение из них нормального зерна.

Запыленность воздуха при работе машины не превышает 5 — 8 мг/м³.



Общая энергоемкость при очистке зерна с применением вентиляции 0,22 — 0,30 квтч/т.

Натура пшеницы после очистки броском повышается на 60 — 80 г/л по сравнению с натурой до очистки.

Опыты показали, что вентилирующая струя воздуха интенсифицирует процесс сепарации зерна броском в воздушную среду. Она способствует более четкой сепарации.

В. Очистка зерна повышенной влажности и засоренности, с примесями гальки и овсюга. Эффективность сепарации для пшеницы — 85—92% по сорной примеси и 77 — 88% по зерновой. Для ячменя соответственно 80 — 88% и 74—84%. Более высокий эффект характерен для $v_0 = 15$ м/сек; $u = 7$ м/сек; $\alpha = 20^\circ$; $\theta_0 = 45^\circ$. Эффект очистки пшеницы от овсюга — 86—91,7%; ячменя — 84—90%. Для зерна с влажностью более 25% скорость броска надлежит принимать не более 12 м/сек. Загрузка лопастей не должна превышать 0,8 — 1,0 т/см. час. Зерно пшеницы и ячменя практически полностью очищается от гальки — 95—97% (размеры гальки более 3-х мм).

Г. Очистка отходов и сметок. Скорость броска при очистке ветровых отходов сепараторов (и при контроле отходов бросковых машин) необходимо выбирать 12 — 15 м/сек, а скорость вентилирующей струи — 7 м/сек при $\alpha = 20^\circ$. Эффект отделения органического сора и легких сорняков составил в среднем 95%, а по зерновой примеси — 94%. При этом достигалось полное выделение из отходов нормального и полезного зерна в виде ценных отходов. Зерновые сметки эффективно сепарируются броском в воздушную среду. Режим сепарирования для них тот же, что и для отходов.

Д. Результаты работы установки закрытого типа (пневмоинерционного сепаратора). Эффект работы установки: для пшеницы — 90 — 92% по сорной примеси и 75 — 85% по зерновой, при сепарации от характерных для нее примесей; для пшеничных отходов — 95% по сорной примеси и 75 — 78% по зерновой, при очистке их с целью выделения нормального зерна; для ячменя — 84—86% по сорной примеси и 65—72% по зерновой; для кукурузы в зерне — 95% по сорной примеси. Режим сепарации: $v_0 = 15$ м/сек; $\theta_0 = 45^\circ$, $u = 10$ м/сек; $\alpha = 20^\circ$. Немного ниже эффект работы при режиме: $v_0 = 12$ м/сек; $\theta_0 = 45^\circ$; $u = 8$ м/сек; $\alpha = 20^\circ$.

Повреждения зерна в момент выброса в пневмоинерционную камеру не имеет места. Оптимальная нагрузка на ло-

пастной барабан при очистке зерна тяжелых культур — 0,8—1,2 *т/см. час*, в среднем 1,0 *т/см. час*; при очистке зерна легко-весных культур 0,6 — 0,8 *т/см. час*; при очистке зерновых отходов 0,2 — 0,3 *т/см. час*.

Недостаток экспериментальной установки состоит в том, что пневмоинерционная камера не имеет устройств для улавливания гальки, а вентиляционные каналы не имеют уловителя зерна, случайно унесенного воздухом.

Энергоемкость пневмоинерционной установки складывается из потребной мощности для броска зерна и создания вертикального потока воздуха и составляет 0,3 — 0,4 *квтч/т*.

Натура пшеницы после очистки повышается на 50 — 60 *г/л*.

Выбор режимов вентилирования пневмоинерционной установки производится по графикам, построенным по формуле (14).

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ

На основе исследований лопастных машин и изучения эффективности очистки зерна броском в воздушную среду разработаны конструктивные параметры и даны схемы зерно-очистительных машин для производственного использования.

1. Лопастная бросковая машина открытого типа рассчитана на 50 *т/час* производительности при коэффициенте загрузки 0,20. Полная установленная мощность электродвигателей 17 *квт*; удельная потребная мощность 0,34 *квт/т*. Площадь сита для грубой очистки — 2,0 *м²*. Вес — 1 *т*. Машина может быть использована для очистки зерна на площадках хлебоприемных пунктов и токах колхозов и совхозов.

2. Лопастная машина закрытого типа (пневмоинерционный сепаратор) рассчитана на производительность 100 *т/час* тяжелого зерна. Часовой расход воздуха — 36 *тыс. м³*. Общая установленная мощность электродвигателей — 34 *квт*. Машина может быть использована на передвижной и стационарной работе на предприятиях системы хлебопродуктов, в колхозах и совхозах.

3. Разработаны вопросы организации работы по очистке зерна на хлебоприемных пунктах и перерабатывающих предприятиях и проект подготовки зерна к помолу с применением пневмоинерционного сепаратора для мельницы с суточной переработкой 350 *т* зерна.

4. Приведены экономические расчеты по применению пневмоинерционного способа очистки зерна.

А. Использование пневмоинерционного сепаратора на мельницах для подготовки зерна к помолу даст сокращение состава машин подготовительного отделения на 11 единиц и экономию капитальных вложений на 12 тыс. руб. при строительстве мельницы с суточной переработкой 350 т зерна. Переоборудование действующих мельниц даст снижение себестоимости на 1 тонну условной продукции 0,26%. Срок окупаемости капитальных затрат составит всего полгода.

Б. Применение пневмоинерционного сепаратора на хлебоприемных пунктах сократит прямые издержки по очистке зерна, примерно, в 12 раз по сравнению с существующими сепараторами, а производительность труда рабочих возрастет в 6 раз.

В. Использование пневмоинерционного сепаратора на элеваторах снизит прямые расходы по очистке зерна почти втрое по сравнению с современными воздушно-ситовыми сепараторами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Обзор современных способов очистки зерна воздухом дал основание для выбора эффективного пневмоинерционного способа, который явился предметом исследования в данной работе.

2. Теоретический анализ работы лопастных машин позволил найти направление поисков осуществления броска зерна в воздух, близкого к идеальному. Такой бросок положен в основу пневмоинерционного способа очистки зерна. Опытные исследования подтвердили правильность выводов теории лопастных машин.

3. Теория полета зерновой струи в воздушной среде и в вертикальном потоке воздуха послужила базой для опытного исследования аэродинамических параметров и коэффициентов сопротивления основных культур зерна и сорняков, которые используются для определения эффективности пневмоинерционной сепарации зерна и расчетов при конструировании пневмоинерционных сепараторов.

4. Опыты по исследованию эффективности очистки зерна броском в неподвижную воздушную среду и в вертикальную струю воздуха показали, что данный способ является значительно эффективнее по сравнению с современными способами,

так как в нем применены большие относительные скорости встречи зерновой массы с воздухом в сочетании с броском последней, близким к идеальному.

5. Теоретические и опытные исследования пневмоинерционного способа очистки зерна позволили разработать параметры и схемы зерноочистительных машин открытого и закрытого типов для производственного использования.

6. Экономические расчеты и организационные соображения указывают на целесообразность применения пневмоинерционного способа очистки зерна на предприятиях системы хлебопродуктов.

Содержание диссертационной работы было доложено на кафедрах Одесского Технологического института им. М. В. Ломоносова в 1956 и 1962 гг.

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Бородай В. И. «Очистка зерна на лопастных машинах», журнал «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 7, 1961 г.
 2. Бородай В. И. «Некоторые вопросы теории лопастных питателей с горизонтальной осью вращения», журнал «Известия высших учебных заведений» Пищевая технология, № 4, 1963 г.
 3. Бородай В. И. «Некоторые вопросы очистки зерна воздухом» журнал «Известия высших учебных заведений» Пищевая технология, № 4, 1964 г.
-