

Автор ер.

М 19

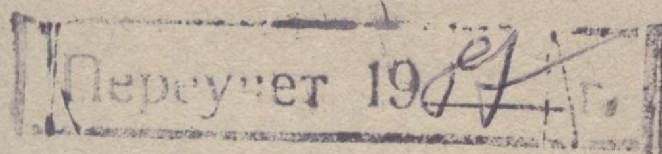
МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СОЮЗА ССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. И. В. СТАЛИНА

С41
М

На правах рукописи

Инж. А. Я. МАЛИС

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНЫХ КАНАЛОВ ЗЕРНОВЫХ СЕПАРАТОРОВ

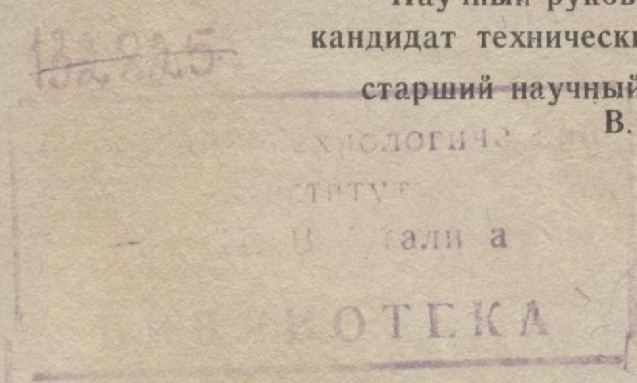


Автореферат

диссертации, представленной
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

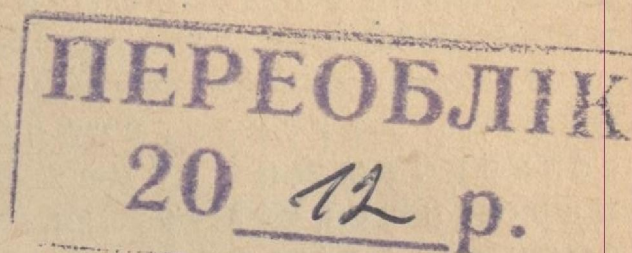
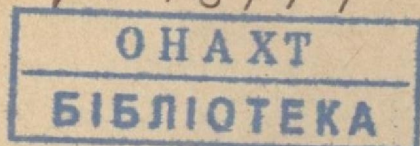
Научный руководитель —
кандидат технических наук

старший научный сотрудник
В. С. ПАЛЬЦЕВ



МОСКВА 1954 г.

✓ 018114



ВВЕДЕНИЕ

Победа колхозного строя в нашей стране, оснащение сельского хозяйства разнообразной современной техникой и применение в сельскохозяйственном производстве достижений передовой агрономической науки обеспечивают непрерывный рост производства зерна в Советском Союзе.

Сентябрьский и февральско-мартовский Пленумы ЦК КПСС наметили ряд мер по дальнейшему увеличению производства и заготовок зерна.

Своевременная и высококачественная очистка всего производимого и заготавливаемого зерна невозможна без дальнейшего повышения эффективности и производительности зерноочистительных машин. Последнее же наилучшим образом может быть выполнено на основе исследований процессов зерноочистки.

Настоящая работа посвящена исследованию воздушной части зернового сепаратора — одной из основных зерноочистительных машин заготовительных пунктов, элеваторов и мельниц.

Главными, рабочими, органами воздушной части сепаратора являются два вертикальных канала. Их размеры и конструкция определяют эффект работы воздушной части сепаратора, расход энергии на очистку и габариты машины.

Вычисление размеров этих каналов при конструировании сепараторов не производится, так как в настоящее время не существует теории воздушной сепарации сыпучих смесей, которая позволила бы аналитическим путем установить размеры воздушносепарирующих каналов, скорость воздушного потока и ожидаемый эффект сепарации.

Из-за отсутствия метода расчета размеры и конструкция существующих воздушносепарирующих каналов выбраны, в известной мере, произвольно, или подчинены конструктивным соображениям.

Так, ширина¹ каналов существующих сепараторов колеблется от 60 до 200 мм, а высота верхней части (выше места поступления

¹ Меньший размер поперечного сечения канала

зерна) — от 250 до 1000 мм для каналов первой продувки и от 950 до 2100 мм для каналов второй продувки.

Весьма различны также высота и конструкция нижней части каналов (ниже места поступления зерна) и начальная скорость зерна в момент входа его в воздушный канал (от 0,1 до 1,5 м/сек.).

Вышеизложенное определило задачу настоящей работы, которая заключается в исследовании вертикальных воздушно-сепарирующих каналов с целью определения размеров и конструкции последних, обеспечивающих оптимальные условия очистки зерна.

Работа проводилась автором во Всесоюзном научно-исследовательском институте зерна Министерства заготовок (ВНИИЗ) в период 1951—1953 гг.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗДУШНОСЕПАРИРУЮЩИХ КАНАЛОВ

В соответствии с задачей исследования изучению подверглись следующие вопросы:

1) Движение частиц сепарируемого материала в вертикальном воздушносепарирующем канале.

2) Значение для процесса очистки:

а) величины и направления начальной скорости частиц сепарируемого материала;

б) равномерности воздушного потока;

в) ширины канала и зерновой нагрузки;

г) высоты верхней и нижней частей канала.

Для указанных целей построена экспериментальная установка и разработана методика исследования.

1. Экспериментальная установка

Экспериментальная установка представляла собой макет воздушной части сепаратора с каналом, размеры которого можно было изменять в пределах, перекрывающих аналогичные размеры в существующих конструкциях сепараторов.

2. Методика исследования

Принятая методика исследования характеризуется следующими основными условиями:

а) Определение эффективности работы сепаратора производилось по формуле:

$$\eta = \frac{A - A \frac{q_1}{q}}{Q \times} 100,$$

где

- η — эффективность сепаратора в %;
- A — вес отходов;
- q_1 — содержание зерна в отходах (в долях единицы);
- q — содержание зерна в исходной зерновой смеси (в долях единицы);
- Q — вес исходной зерновой смеси;
- x — содержание отделимых примесей в исходной зерновой смеси (в долях единицы).

Определение эффективности сепаратора по указанной формуле, в отличие от определений по другим формулам, ставит эффективность сепаратора в зависимость от количества годного зерна, выделяемого последним вместе с примесями, т. е. учитывает не только количественную, но также и качественную сторону процесса сепарации.

б) Для определения эффективности сепаратора необходимо знать качество исходной зерновой смеси, отходов и очищенного зерна, т. е. определить содержание зерен основной культуры и примесей в каждом из этих продуктов.

Отсутствие надежных методов определения засоренности зерновой массы заставило нас отказаться от проведения опытов с зерновой смесью естественной засоренности, как это практикуется во многих случаях при испытании зерноочистительных машин, и применить искусственную зерновую смесь из заведомо чистой пшеницы и характерных для нее, отделимых по принципу различия аэродинамических свойств, примесей.

Применение искусственной зерновой смеси исключает возможность ошибок при определении эффективности сепаратора, позволяет обеспечить одинаковый для всех опытов состав исходной зерновой смеси и дает возможность составлять последнюю с различным, заранее заданным количеством и качеством примесей.

в) Во всех опытах поддерживался одинаковый воздушный режим.

г) Измерение начальной скорости частиц сепарируемого материала производили при помощи скоростной киносъемки движущегося зерна при входе его в канал.

3. Движение частиц сепарируемого материала в вертикальном воздушносепарирующем канале.

Процессы, происходящие в канале, связаны с неравномерностью воздушного потока, взаимным влиянием пересекающих друг друга потоков зерна и воздуха, изменением ориентировки отдельных частиц по отношению к воздушному потоку, ударами одна о другую частиц сепарируемого материала и другими явлениями. Совокупность этих факторов значительно усложняет исследование. Поэтому в теоретической части, в качестве первого приближения было

рассмотрено движение отдельной частицы, в предположении, что она не подвергается какому-либо воздействию со стороны других частиц, находящихся в канале, что воздушный поток равномерен по всему сечению канала и что ориентировка частицы сепарируемого материала по отношению к воздушному потоку во время ее движения в канале не изменяется.

Абсолютное движение частицы в воздушном канале можно считать составленным из относительного движения в воздушном потоке и переносного движения вместе с потоком.

В рассматриваемом процессе скорость воздушного потока задана по величине и направлению.

Движение это принято нами равномерным, прямолинейным и направленным вертикально вверх.

Следовательно, определение скорости, ускорения и траектории частицы в абсолютном движении становится возможным, если определить указанные величины в относительном движении.

Дифференциальное уравнение относительного движения частицы в прямоугольной системе координат имеет следующий вид:

$$x'' = - \frac{g}{c^2} V^2 \cos a,$$

$$y'' = g - \frac{g}{c^2} V^2 \sin a,$$

где x, y — координаты частицы;

V — относительная скорость;

c — скорость витания частицы;

a — угол, составленный касательной к траектории с горизонтом;

g — ускорение силы тяжести.

Задача построения траектории частицы в относительном движении аналогична основной задаче внешней баллистики — построению траектории центра массы артиллерийского снаряда. Это позволило воспользоваться для решения уравнений движения частицы сепарируемого материала методом решения основной задачи внешней баллистики (метод численного интегрирования).

Анализ траекторий и графиков, определяющих функциональную зависимость скоростей и ускорений частицы от времени, показал, что частица, подлежащая выделению из зерновой струи, вначале движется вниз по нисходящей ветви траектории до того момента, когда проекция относительной скорости на ось « y » станет равной скорости воздушного потока. В этот момент вертикальная составляю-

щая абсолютной скорости $W_y = 0$, частица заторможена, взвешена в вертикальном восходящем воздушном потоке, и начинает движение вверх по восходящей ветви траектории. При этом, если $t \rightarrow \infty$, то абсолютная скорость $W \rightarrow u - c$ (где u — скорость воздушного потока), ее составляющие $W_x \rightarrow 0$ и $W_y \rightarrow (c - u)$, относительная скорость $V \rightarrow c$, а ее составляющие $V_x \rightarrow 0$ и $V_y \rightarrow c$.

Указанные закономерности остаются справедливыми для любых начальных данных движения частицы, а именно — начальной скорости частицы W_0 , угла, составленного скатной плоскостью с горизонтом σ , определяющего направление начальной скорости частицы, скорости воздушного потока u и скорости витания частицы c .

Для принятого в существующих сепараторах способа подачи зерновой смеси в канал — вниз, под некоторым острым углом к горизонтали, траектории частиц по их характеру можно разделить на три группы, соответствующие следующим условиям:

1) $c < u$, в этом случае траектории частиц имеют нисходящую ветвь до момента, когда $V_y = u$, а затем движение будет происходить по восходящей ветви траектории;

2) $c = u$, траектории частиц имеют нисходящую ветвь до момента, когда $V_y = u = c$, после чего движение происходит по прямой горизонтальной линии;

3) $c > u$, частицы движутся по нисходящей траектории.

Траектории частиц резко изменяются даже при незначительных с практической точки зрения изменениях начальных данных.

4. Влияние величины и направления начальной скорости частиц сепарируемого материала на процесс очистки

Анализ траектории одной и той же частицы примеси при различной начальной скорости ее показал, что если предположить размеры канала (его ширину и высоту нижней части) неограниченными, то выделение частицы не зависит от величины и направления начальной скорости последней.

Однако практически ширина и высота нижней части канала не могут быть неограниченными.

В целях обеспечения минимального расхода энергии на очистку и наименьших габаритов канала его ширина и высота должны быть минимальными, а это, как показано ниже, может иметь место при минимальной начальной скорости частиц сепарируемого материала.

Аналитическое рассмотрение вопроса и наблюдение процесса очистки показали, что минимальная ширина канала, необходимая для выделения из зерновой смеси всех примесей, равна расстоянию по горизонтали от начала координат до начала восходящей ветви траектории частицы — примеси с максимальной скоростью витания. Расстояние же от начала координат до начала восходящей вет-

ви траектории частицы тем больше, чем больше начальная скорость ее.

Так, если движение частицы определяется данными $\sigma = 30^\circ$; $u = 6,0$ м/сек.; $C = 5,9$ м/сек., а W_0 в одном случае равно $0,3$ м/сек., а в другом — $1,0$ м/сек., то в первом случае частица пролетит по горизонтали до момента начала подъема ее вверх 60 мм, а во втором случае — 300 мм.

Следовательно, чем больше начальная скорость частицы, тем больше должна быть ширина канала. Увеличение ширины канала, как известно, вызывает при постоянной величине скорости воздуха, пропорциональное увеличение количества воздуха, протекающего в канале в единицу времени, что в свою очередь вызывает увеличение удельного расхода энергии на очистку и увеличение габаритов всех частей воздушносепарирующего агрегата.

Рассмотрен также другой случай, когда ширина канала ограничена и задана. В этом случае оказалось, что чем больше начальная скорость частицы, тем больше должна быть скорость воздушного потока, необходимая для уноса частицы в осадительное устройство.

Увеличение скорости воздушного потока также означает увеличение расхода воздуха и расхода энергии на очистку.

Последний вывод подвергся экспериментальной проверке в канале шириной 130 мм при угле установки скатной плоскости $\sigma = 45^\circ$ и зерновой нагрузке 100 кг/см в час.

Полученные результаты приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1.

№№ п/п.	Начальная скорость W_0 м/сек.	Скорость воздушного потока u м/сек.	Эффект очистки η %
1	0,1	5,3	62,0
2	0,3	5,5	67,0
3	0,6	5,8	67,0
4	1,0	6,5	67,0
5	1,3	6,9	64,0
6	1,6	7,1	62,0
7	2,0	7,2	62,0

Данные испытаний согласуются с вышеизложенным и позволяют сделать следующее заключение.

1. Чем меньше начальная скорость частиц сепарируемого материала, тем меньшая скорость воздушного потока требуется для выделения примесей.

2. При начальной скорости менее 0,3 м/сек. и свыше 1,0 м/сек. эффект очистки несколько уменьшается. Это происходит, как мы полагаем, при скорости менее 0,3 м/сек. вследствие значительного уплотнения зерновой струи, а при скорости свыше 1,0 м/сек.—вследствие значительного сокращения времени воздействия воздушного потока на частицы сепарируемого материала.

3. Начальная скорость частиц сепарируемого материала порядка 0,3 м/сек. обеспечивает получение максимального эффекта очистки при минимальной скорости воздуха, что позволяет считать эту величину оптимальной.

Экспериментальная проверка влияния направления начальной скорости частиц сепарируемого материала на процесс очистки показала, что если начальная скорость равна величине порядка 0,3 м/сек., то изменение угла установки скатной плоскости в пределах от 30 до 70° не вызывает изменений эффекта очистки и скорости воздушного потока.

5. Влияние равномерности воздушного потока на процесс очистки

Поле скоростей воздушного потока в канале зависит от конструкции и размеров канала, количества протекающего воздуха, от движущегося в канале сепарируемого материала и некоторых других факторов.

В настоящем разделе работы рассматриваются вопросы о влиянии сепарируемого материала на поле скоростей воздушного потока и о значении равномерности воздушного потока по горизонтальному сечению канала для процесса очистки.

Выяснение указанных вопросов позволяет правильно выбрать размеры и конструкцию нижней части канала.

Вопрос о влиянии сепарируемого материала на равномерность воздушного потока по горизонтальному сечению канала рассматривался ранее в ряде исследований только с точки зрения значения равномерного распределения зерна по длине¹ канала.

Настоящее исследование показало, что движущееся в канале зерно, даже в том случае, когда оно равномерно распределено по длине канала, оказывает значительное влияние на равномерность воздушного потока.

Последнее происходит вследствие того, что частицы сепарируемого материала движутся в канале по различным траекториям и образуют веероподобную струю переменной по ширине канала плотности. Наибольшую плотность зерновая струя имеет у внутренней стенки канала, в момент входа в канал, далее, по мере движения к противоположной—наружной стенке, плотность струи уменьшается.

¹) Большой размер поперечного сечения.

После удара о наружную стенку основная масса зерна движется вниз, образуя у наружной стенки плотный слой, занимающий при зерновой нагрузке 100—200 кг/см в час до 20 мм ширины канала.

Различная по ширине канала плотность зерновой струи определяет различное газовое сопротивление ее и соответствующее распределение воздуха.

Наибольшее количество воздуха протекает в центральной полосе канала, где плотность зерновой струи наименьшая, и наименьшее количество воздуха протекает у наружной и внутренней стенок, где плотность зерновой струи наибольшая.

Установлено также, что с увеличением зерновой нагрузки равномерность воздушного потока ухудшается.

Анализ траектории частицы в неравномерном воздушном потоке и экспериментальные данные позволили установить, что неравномерность воздушного потока по ширине канала является причиной значительного снижения эффекта и четкости сепарирования.

Последнее определило необходимость изыскания способов выравнивания воздушного потока. В результате соответствующих исследований разработана конструкция нижней части канала и конструкция выравнивающей решетки, которые позволяют в различной степени, в зависимости от зерновой нагрузки, выравнивать воздушный поток.

Экспериментальная проверка эффективности указанных конструкций производилась в канале шириной 130 мм при двух значениях зерновой нагрузки 50 и 100 кг/см в час.

Проверка эта показала, что благодаря выравниванию воздушного потока эффект очистки повысился при зерновой нагрузке 50 кг/см в час от 80% до 96%, а при зерновой нагрузке 100 кг/см в час от 66% до 82%.

При нагрузке 50 кг/см в час, кроме того, в пять раз снизилось количество нормального зерна в отходах.

Следует также отметить, что увеличение эффекта очистки произошло за счет наиболее трудноотделимых частиц, близких по своим аэродинамическим свойствам к зерну.

6. Значение для процесса очистки высоты верхней части канала

После удара о наружную стенку канала некоторые зерна основной культуры сепарируемого материала отражаются от нее и, попадая в воздушный поток выше струи зерна, витают в нем некоторое время, непрерывно поднимаясь и опускаясь.

Наблюдение процессов, происходящих при очистке зерна, позволило выявить, что большая часть отраженных от наружной стенки

зерен пшеницы получает суммарное перемещение вниз и вновь попадает в струю зерна. Некоторые же зерна заносятся достаточно высоко по каналу, а те из них, которые достигают поворота в осадительное устройство, попадают в него и смешиваются с отходами.

Наибольшее количество зерен витает в канале в непосредственной близости к зерновой струе (300—400 мм), выше число витающих зерен уменьшается. Последнее позволило нам предположить, что с увеличением высоты верхней части канала должно уменьшиться количество нормального зерна, попадающего в отходы (повысится четкость сепарирования).

Повышение четкости сепарирования позволяет, соблюдая установленную норму содержания зерна в отходах, производить очистку зерна при большей скорости воздушного потока. Повышение же скорости воздушного потока способствует улучшению эффекта очистки.

Соответствующие опыты, проведенные при двух величинах зерновой нагрузки (50 и 100 кг/см в час), подтвердили указанное предположение о целесообразности увеличения высоты верхней части канала, однако, лишь в следующих пределах — до 800 мм при зерновой нагрузке 50 кг/см в час и до 1400 мм при зерновой нагрузке 100 кг/см в час.

7. Значение для процесса очистки ширины канала и зерновой нагрузки

В предыдущих разделах было указано, что для определения ширины канала необходимо построить траекторию частицы-примеси, имеющей максимальную скорость витания, и определить расстояние по горизонтали от начала координат до начала восходящей ветви траектории.

Такой способ определения ширины канала предполагает свободное движение примесей, независимое от других частиц сепарируемого материала, с момента вступления в воздушный поток.

Зерновые сепараторы на заготовительных пунктах, элеваторах и мельницах работают при зерновой нагрузке свыше 50 кг/см в час. При такой нагрузке струя зерна в канале многослойная и концентрация частиц в воздушном потоке такова, что лишь примеси, находящиеся в верхнем слое, могут с момента входа в канал свободно отделяться от зерновой струи. Все прочие примеси, находящиеся в нижних слоях зерновой струи, должны перейти в верхний слой прежде, чем они получат возможность отделиться от зерновой струи.

Последнее обстоятельство обуславливает необходимость увеличения ширины канала сверх расчетной минимальной величины.

Кроме того, условия сепарации осложняются еще рядом факторов, влияние которых на процесс очистки не поддается учету.

Поэтому определение оптимальной ширины канала при различной зерновой нагрузке может быть произведено лишь экспериментальным путем.

При зерновой нагрузке 50 кг/см в час

Таблица 2

№№ п/п.	Ширина канала в мм	Предельная скорость воз- душного потока в м/сек.	Эффект очистки в %	Содержание нормального зер- на в отходах в % от веса отходов
1	70	6,6	81,0	0,00
2	100	6,8	89,0	0,10
3	130	7,1	96,0	0,20
4	170	7,0	95,0	0,75
5	200	7,0	95,0	5,80

При зерновой нагрузке 100 кг/см в час

Таблица 3

№№ п/п.	Ширина канала в мм	Предельная скорость воз- душного потока в м/сек.	Эффект очистки в %	Содержание нормального зерна в отходах в % от веса отходов
1	70	5,6	48,5	0,00
2	100	6,0	72,0	0,14
3	130	6,3	82,0	1,00
4	170	6,2	87,2	3,80
5	200	6,3	93,0	4,50

Таблица 4

При зерновой нагрузке 200 кг/см в час

№№ п/п.	Ширина канала в мм	Предельная скорость воз- душного потока в м/сек.	Эффект очистки в %	Содержание нормаль- ного зерна в отходах в % от веса отходов
1	70	3,9	11,0	0,0
2	100	5,0	26,5	0,0
3	130	5,4	51,0	2,3
4	170	5,6	69,0	4,3
5	200	5,6	71,0	5,9

Для указанной цели были проведены опыты при трех значениях зерновой нагрузки 50 кг/см в час (табл. 2), 100 кг/см в час (табл. 3) и 200 кг/см в час (табл. 4), при оптимальной начальной скорости $W_0 = 0,3$ м/сек с применением устройств, выравнивающих воздушный поток. Скорость воздушного потока в канале должна была поддерживаться на уровне, обеспечивающем получение максимального эффекта очистки.

Предварительно было установлено, что для данной ширины канала и зерновой нагрузки существует предельная скорость воздушного потока, с дальнейшим увеличением, которой весь процесс очистки нарушается и зерно приходит в хаотическое бурлящее состояние. Предельной скорости воздуха соответствует максимальный эффект очистки.

Поэтому при последовательном увеличении ширины канала скорость воздушного потока каждый раз доводилась до предельной величины.

Полученные результаты позволяют сделать следующее заключение:

1. При зерновой нагрузке, употребляемой в практике зерноочистки, ширина канала определяет время воздействия воздушного потока на струю зерна. Чем больше ширина канала, тем более длительно воздействие воздушного потока на струю зерна.
2. Чем больше зерновая нагрузка, тем более длительное воздействие воздушного потока на струю зерна требуется для выделения примесей. Следовательно, чем больше зерновая нагрузка, тем больше должна быть ширина канала для достижения одного и того же эффекта очистки.
3. Увеличение ширины канала, одновременно с повышением эффекта очистки, вызывает увеличение количества нормального зерна, попадающего в отходы.
4. При зерновой нагрузке 50—100 кг/см в час наилучший эффект очистки при допустимом содержании нормального зерна в отходах (2% от веса отходов) может быть получен в канале шириной 130 мм.
5. При зерновой нагрузке 200 кг/см в час невозможно получить удовлетворительный эффект очистки при допустимом содержании нормального зерна в отходах.

З а к л ю ч е н и е

Проведенные теоретические и экспериментальные исследования позволили:

1. Выявить некоторые закономерности движения частиц сепарируемого материала в вертикальном воздушном канале.

2. Определить зависимость процесса очистки зерна от начальной скорости частиц сепарируемого материала, ширины канала, высоты его верхней и нижней части и зерновой нагрузки, а также получить оптимальные значения указанных величин.

3. Установить значение равномерности воздушного потока в канале для процесса очистки, разработать и опробовать приспособление для выравнивания воздушного потока.

4. Разработать предложения по повышению эффективности сепараторов СП-4, ЗС-5, ПДП-10 и ПОП-5.

5. Разработать новую схему воздушного сепаратора, которая принята для проектируемого во ВНИИЗ'е передвижного 40-тонного агрегата.

