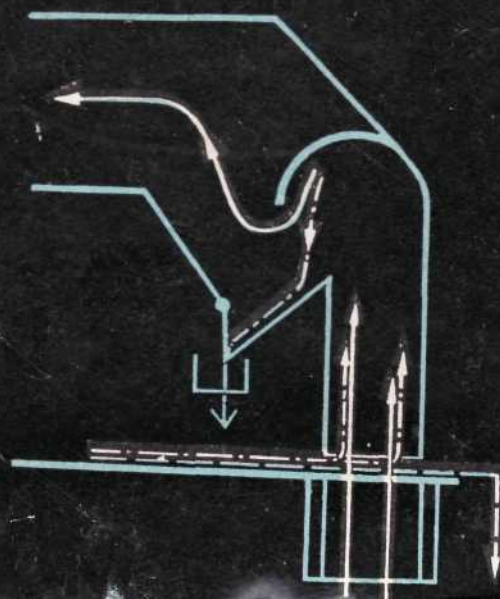


МАШИНЫ

**ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА
ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ**

*А. Я. Малис
А. Р. Демидов*



А. Я. МАЛИС и А. Р. ДЕМИДОВ

М-1

МАШИНЫ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА
ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ



Научный
абонемент



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

Москва 1962

В книге изложены некоторые элементы теории процесса сепарирования зерновых смесей, результаты экспериментальных исследований основных рабочих органов и узлов машин для очистки зерна воздушным потоком, приведено описание конструкций, даны методы расчета и испытания этих машин.

Книга предназначена для инженерно-технических работников, занятых конструированием или модернизацией, изготовлением и эксплуатацией машин для очистки зерна воздушным потоком.

Рецензент канд. техн. наук И. Е. Кожуховский

*Редакция литературы по тракторному и сельскохозяйственному
машиностроению*

Зав. редакцией инж. Е. И. НЕЛЮБОВА

ПРЕДИСЛОВИЕ

В процессах послеуборочной обработки зерна, осуществляемой на колхозных, совхозных токах и хлебоприемных пунктах, а также при дальнейшей обработке зерна на мельницах и крупозаводах очистка его от примесей занимает значительное место и имеет большое народнохозяйственное значение.

Удаление из зерна семян сорных растений, обрывков их стеблей, обмолоченных колосков и других примесей органического и неорганического происхождения значительно повышает товарную ценность зерна, улучшает его семенные качества и стойкость при хранении.

Многочисленные исследования, посвященные изучению факторов, влияющих на стойкость зерна при его хранении, показывают, что влажность семян сорняков и других органических примесей, как правило, в два и более раза превосходит влажность зерен основной культуры свежесобранного зерна. Жизнедеятельность этих примесей также значительно выше, так, интенсивность дыхания семян сорных растений в 2,7—2,9 раза больше, чем зерен пшеницы, при одинаковой их влажности.

Наличие сорняков, щуплых и битых зерен и других органических примесей в свежесобранной зерновой массе обуславливает интенсивное дыхание, сопровождаемое теплообразованием, которое в сочетании с плохой теплопроводностью зерна приводит к его само-согреванию и порче.

Наличие примесей в зерне, особенно сыром и влажном, ухудшает сыпучесть зерна и осложняет его сушку в наиболее распространенных сушилках шахтного типа.

Наличие в зерне соломистых примесей нередко является причиной загорания зерна в сушилках.

В процессах переработки зерна в муку и крупу очистка зерна от примесей также занимает весьма важное место, так как из недостаточно тщательно очищенного зерна нельзя получить муку или крупу надлежащего качества.

Для семенного зерна очистка его в сочетании с последующим сортированием зерна по добротности является основной операцией, обеспечивающей получение высококачественных семян для посева.

Таким образом, удаление из зерновой массы примесей является одной из важнейших задач в процессах послеуборочной обработки зерна и дальнейшей его переработки в пищевые продукты.

Методы очистки или сортирования зерновых смесей на фракции основаны главным образом на различии физико-механических свойств их частиц. В процессах очистки и сортирования зерна в основном используется различие в следующих физико-механических свойствах частиц: размерах, аэродинамических свойствах, состоянии поверхности, форме, абсолютном и удельном весах частиц.

Для очистки или сортирования частиц по их аэродинамическим свойствам применяется продувка зерна потоком воздуха.

Применяя только этот способ очистки зерна, можно удалить 50 % и более всех примесей, содержащихся в зерне.

Машины для очистки зерна воздушным потоком носят название воздушных сепараторов.

В технической литературе приведено много данных, касающихся описания принципа работы и конструкции воздушных сепараторов, а также данных об аэродинамических свойствах компонентов зерновых смесей. Но почти не имеется сведений, необходимых для расчета и конструирования воздушных сепараторов, и критериев оценки эффективности их работы, не дается методика проведения аэродинамических и технологических испытаний этих машин.

В настоящей работе авторы, пытаясь восполнить указанный пробел, приводят накопленные ими материалы по теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса пневмосепарирования и методы расчета, проектирования и испытания воздушных сепараторов, необходимые при конструировании машин для очистки зерна воздушным потоком.

Книга состоит из семи разделов. Разделы: «Аэродинамические свойства компонентов зерновой смеси», «Устройство и классификация воздушных сепараторов», «Воздухоочистители» и «Вентиляторы», а также первая часть — «Элементы теории движения частиц материала в вертикальном пневмосепарирующем канале» раздела «Пневмосепарирующие каналы» написаны А. Я. Малисом.

Раздел «Пневмосепарирующие каналы» (кроме первой части) и разделы «Машины для очистки зерна воздушным потоком» и «Испытание воздушных сепараторов» написаны совместно А. Я. Малисом и А. Р. Демидовым. Предисловие написано А. Р. Демидовым.

АЭРОДИНАМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КОМПОНЕНТОВ ЗЕРНОВОЙ СМЕСИ

Сортирование и очистка зерновых смесей воздушным потоком основаны на способности частиц смеси оказывать различное противодействие воздушной среде при их относительном движении в зависимости от физических свойств частиц. Эти физические свойства называются аэродинамическими свойствами частиц зерновой смеси, а соответствующая реакция со стороны воздушной среды — сопротивлением среды.

Выражение для определения силы сопротивления R среды впервые дано Ньютоном применительно к неподвижной плоской пластине, установленной в движущейся вязкой среде.

Для тел различной формы силу сопротивления R определяют

$$R = kF\rho v^2, \quad (1)$$

где k — коэффициент сопротивления, зависящий от формы тела, состояния его поверхности и режима потока, характеризующегося числом Рейнольдса;

F — миделево сечение тела (площадь проекции тела на плоскость, нормальную к вектору относительной скорости v) в м^2 ;

ρ — плотность воздуха в $\text{кг}\cdot\text{сек}^2/\text{м}^4$;

v — относительная скорость тела в $\text{м}/\text{сек}$.

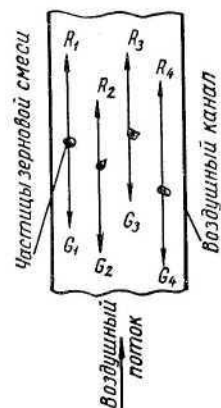
Кроме силы сопротивления R , направленной в сторону, противоположную вектору относительной скорости, в воздушной среде на тело действует сила тяжести G , направленная вниз.

Для упрощения предположим, что относительные скорости частиц, находящихся в воздушном потоке, направлены вниз, тогда силы сопротивления будут направлены вверх. В этом случае (фиг. 1) направление движения частиц зависит от величины сил R и G ; если $\frac{R}{G} < 1$, то частица будет двигаться вниз, если $\frac{R}{G} > 1$, то частица

будет двигаться вверх, и если $\frac{R}{G} = 1$, то частица должна находиться в равновесии. Благодаря противоположным направлениям движения частиц становится возможным их разделение.

Так упрощенно выглядит схема процесса сепарирования частиц зерновой сыпучей смеси в вертикальном, восходящем потоке воздуха,

Обычно сепарирование зерновых смесей производится с целью выделения из этой смеси различных примесей, засоряющих зерно. Приступая к очистке или сортированию зерновой смеси, следует в первую очередь решить вопрос, возможно ли сепарирование данной смеси на требуемые фракции при помощи воздушного потока. Судить о возможности разделения зерновой смеси воздушным потоком можно по величине отношения $\frac{R}{G}$, которая при заданной относительной скорости v для частиц разделяемых фракций должна быть различной. В связи с этим необходимо



Фиг. 1. Упрощенная схема процесса сепарирования зерновой смеси воздушным потоком.

определить величину силы сопротивления R и силы тяжести G для различных частиц. Определение силы тяжести не вызывает особых трудностей, а непосредственное определение величины R возможно лишь путем сложных экспериментов, неприемлемых для практических целей.

Для расчета величины R по формуле (1) необходимо знать миделево сечение каждой частицы, определить которое трудно, так как частицы имеют разнообразную и при этом неправильную форму, а их положение относительно оси воздушного потока неизвестно, так как оно непрерывно меняется. Поэтому о возможности разделения зерновой смеси судят не по различию отношений $\frac{R}{G}$, а по другому показателю, называемому *скоростью витания* частицы.

Скорость витания c частицы — это такая относительная скорость, при которой частица находится в потоке во взвешенном состоянии

($\frac{R}{G} = 1$). Различие скоростей витания частиц свидетельствует о том, что при данной относительной скорости величины $\frac{R}{G}$ частиц, подлежащих разделению, различны и, следовательно, процесс сепарирования возможен.

Скорость витания c , равную скорости воздушного потока, можно определить из выражения

$$R = kFqc^2 = G. \quad (2)$$

Скорость воздушного потока равна относительной скорости частицы, так как частица по условию неподвижна. Из уравнения (2) определяем скорость витания

$$c = \sqrt{\frac{G}{kFq}}.$$

Вычисление скорости витания по этой формуле затруднено по тем же причинам, по которым затруднено определение силы сопротивления.

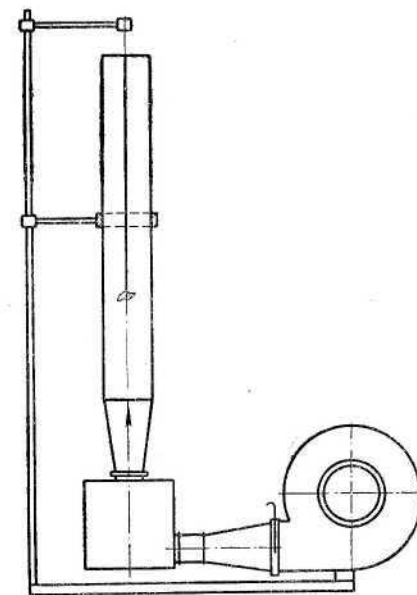
Практически скорости витания частиц определяют относительно просто и точно. Для этого достаточно поместить частицу в вертикальный восходящий воздушный поток и довести его скорость до такой величины, при которой частица окажется в потоке во взвешенном состоянии. Указанное состояние частицы будет свидетельствовать о том, что сила сопротивления стала равной силе тяжести частицы, а соответствующая скорость воздушного потока и будет искомым скоростью витания.

Известно несколько способов определения скоростей витания. Первый заключается в том, что частицы на тонкой нити опускают в вертикальную цилиндрическую или коническую трубу, в которую снизу вентилятором нагнетается воздух (фиг. 2). Увеличивая постепенно количество воздуха, вводимого в трубу, доводят скорость воздушного потока в ней до величины, при которой частица приходит во взвешенное состояние. Соответствующая этому состоянию частицы средняя скорость воздуха в трубе принимается за скорость витания частицы.

Этим способом обычно определяют скорости витания частиц продолговатой формы, фиксируя их в трубе в двух положениях: продольной осью вдоль и поперек потока.

Указанным положениям соответствуют максимальное и минимальное значения скорости витания.

Второй способ определения скорости витания состоит в том, что в вертикальный восходящий воздушный поток в конической трубе помещают частицу материала, которая имеет возможность свободно витать в этом потоке (фиг. 3). Скорость воздушного потока в конической трубе будет различной (наибольшей в нижней части трубы и наименьшей в верхней ее части), поэтому частица, помещенная в коническую трубу, будет перемещаться по высоте трубы до того сечения, в котором скорость воздушного потока равна скорости витания частицы. На этом уровне она должна остаться во взвешенном состоянии. Однако практическое определение скорости витания в конической трубе при свободном витании показывает, что частица, достигнув указанного сечения трубы, не остается взвешенной, а совершает колебательные движения вверх и вниз по отношению к этому сечению, которые связаны с вращением частицы в потоке и изменением ее миделева сечения.



Фиг. 2. Схема прибора с цилиндрической трубой для определения скорости витания.

Для определения скорости витания частицы измеряют пределы ее колебаний по высоте, а затем по количеству воздуха, поступающего в трубу, и площадям двух сечений трубы, между которыми происходят колебания частицы, вычисляют соответствующие скорости воздушного потока. Среднее этих двух значений принимается как средняя скорость витания.

В обоих описанных случаях вертикальные трубы изготовляют из прозрачного материала, позволяющего наблюдать за частицей и производить соответствующие измерения.

В табл. 1 приведены величины минимальной $c_{\min}$ и максимальной $c_{\max}$ скоростей витания зерен трех продовольственных культур [5], измеренные в конической трубе при двух фиксированных положениях зерен.

В табл. 2 даны скорости витания зерен разных культур, измеренные в конической трубе при свободном витании зерен [11].

Минимальное и максимальное значения скоростей витания, приведенные в таблице, относятся к различным зернам каждой культуры.

Помимо описанных выше способов определения скоростей витания, для оценки возможности сепарирования зерновых смесей воздушным потоком производят разделение компонентов зерновой смеси на классы. Процесс

классификации заключается в следующем. Некоторое количество зерен исследуемой культуры помещают в вертикальную цилиндрическую трубу классификатора, перекрытую в нижней части сеткой.

Таблица 1

Скорости витания зерен разных культур
(измеренные в конической трубе
при двух фиксированных положениях зерен) в м/сек

Культура	$c_{\min}$	$c_{\max}$
Пшеница	4,3	14,4
Ячмень	2,7	8,6
Овес	2,3	8,4

Первоначальную скорость воздушного потока в трубе устанавливают такой, при которой лишь отдельные зерна из совокупности всех частиц, лежащих на сетке, поднимаются и уносятся из трубы. Это,

Таблица 2

Скорости витания зерен разных культур в м/сек
(измеренные в конической трубе при свободном витании зерен)

Культура	$c_{\min}$	$c_{\max}$	Культура	$c_{\min}$	$c_{\max}$
Пшеница	8,9	11,5	Конопля	7,9	11,1
Рожь	8,4	9,9	Подсолнух	7,3	8,4
Ячмень	8,4	10,8	Чечевица	8,3	9,7
Овес	8,1	9,1	Вика	12,2	17,0
Горох	15,5	17,5	Соя	17,2	20,1
Просо	9,8	11,8	Кукуруза	12,5	14,0

очевидно, будут зерна, имеющие минимальную скорость витания, меньшую установленной скорости воздушного потока.

Затем последовательно увеличивают скорость воздушного потока на величину, составляющую классовой промежуток. При каждом увеличении скорости воздушного потока часть зерен будет подниматься с сетки и уноситься из трубы; это зерна, скорости витания которых находятся в интервале между значениями скоростей воздуха смежных классов. Зерна, унесенные из трубы при одинаковой скорости воздушного потока, составляют один класс. Скорость воздушного потока увеличивают до тех пор, пока все зерна будут унесены из трубы классификатора.

В результате классификации все количество зерен исследуемой культуры разбивают на группы зерен, относящихся к различным классам. В пределах одного класса частицы обладают близкими значениями скоростей витания. Время, необходимое для уноса всех зерен данного класса, устанавливают экспериментальным путем.

Если результаты классификации всех компонентов зерновой смеси расположить в таблице или на графике в виде вариационной кривой, то можно определить, разделима ли эта смесь при помощи воздушного потока.

Табл. 3 [10] содержит результаты воздушной классификации нормальных, битых и щуплых зерен пшеницы, ржи и ячменя, а также семян некоторых растений, засоряющих указанные культуры. Эти данные получены при обработке каждого класса на воздушном классификаторе ВИМ в течение 5 мин.

Рассмотрим результаты классификации пшеницы. Как видно из табл. 3, при скоростях воздушного потока до 6,5 м/сек выноса зерен пшеницы из трубы классификатора не происходило. Это значит, что образец не содержит зерен, скорость витания которых была бы менее 6,5 м/сек. После обработки образца при скорости воздушного потока 6,9 м/сек вес его уменьшился на 0,1%. Это означает, что указанное количество частиц унесено из трубы.

Все выделенные зерна условно отнесены к одному классу, скорость витания зерен которого находится в пределах 6,5—6,9 м/сек.

Результаты классификации зерен

Скорости воздушного потока в м/сек	Основные культуры				Зерновая примесь										
	Озимая пшеница «украинка»	Рожь	Ячмень	Овес	Битые			Щуплые			Пырей ползучий	Гречишка выюнная с плодовой пленкой	Гречишка выюнная без плодовой пленки	Ярутка полевая	
					Озимая пшеница «украинка»	Рожь	Ячмень	Озимая пшеница «украинка»	Рожь	Ячмень					
2,6— 3,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,60	—	—	—	
3,2— 3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,50	0,02	—	—	
3,6— 4,2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,95	0,78	7,87	0,36	0,39	2,64
4,2— 4,6	—	—	—	—	—	—	—	0,83	1,50	1,45	31,80	1,14	0,95	7,07	
4,6— 5,0	—	—	—	0,32	0,87	0,26	—	2,83	4,03	3,85	31,50	2,81	1,80	27,10	
5,0— 5,5	—	—	—	—	—	—	—	4,80	10,95	10,92	16,33	6,41	4,14	41,30	
5,5— 6,0	—	0,1	—	5,04	4,60	4,34	1,52	22,50	19,32	19,22	9,13	17,21	9,23	13,06	
6,0— 6,5	—	—	—	—	—	—	—	25,90	26,45	25,45	1,27	28,75	20,22	8,83	
6,5— 6,9	0,1	2,0	1,8	31,90	28,40	29,0	6,96	21,66	17,35	22,40	—	28,93	33,42	—	
6,9— 7,4	—	—	—	—	—	—	—	17,66	13,07	13,78	—	10,95	20,96	—	
7,4— 7,8	2,8	13,4	9,2	43,80	39,40	40,98	29,58	3,82	4,63	2 15	—	3,15	6,37	—	
7,8— 8,2	—	—	—	—	—	—	—	—	1,75	—	—	0,27	2,50	—	
8,2— 8,6	13,6	31,5	37,1	16,36	19,80	21,82	46,18	—	—	—	—	—	0,02	—	
8,6— 9,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
9,0— 9,3	27,5	30,5	32,3	2,58	5,90	3,60	12,72	—	—	—	—	—	—	—	
9,3— 9,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
9,7—10,0	31,6	15,8	15,2	—	1,03	—	2,58	—	—	—	—	—	—	—	
10,0—10,6	14,8	6,2	4,4	—	—	—	0,46	—	—	—	—	—	—	—	
10,6—10,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
10,9—11,1	7,2	0,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11,1—11,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
11,4—11,6	2,4	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
Всего в %	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

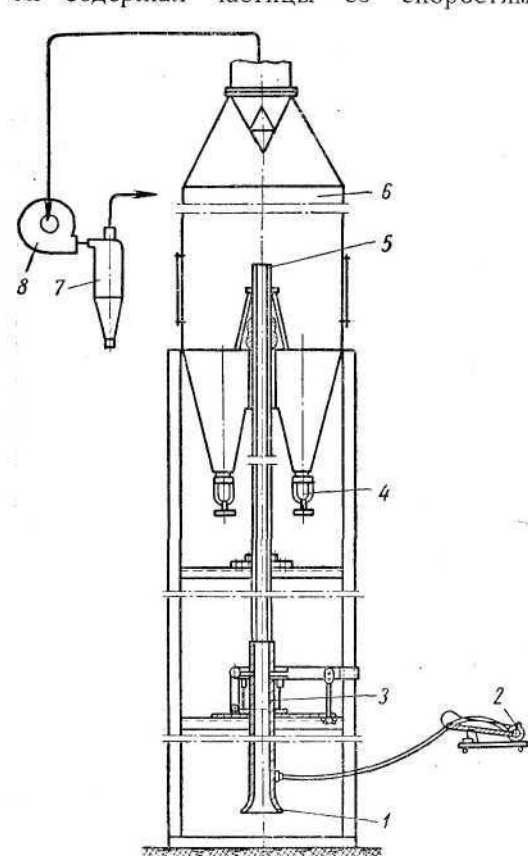
Таблица 3

различных культур и некоторых примесей (полученные на классификаторе ВИМ)

Семена сорных растений														
Липучка	Сияк обыкновенный	Рыжик	Молодой обыкновенный	Выюн полевой	Овсян обыкновенный	Овсян южный	Горчица полевая	Неселя метельчатая	Прицепник	Желтушник ястребиночелюстный	Горичет летний	Куколь	Подмаренник	Спорынья
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
4,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
26,10	1,70	2,60	1,30	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
45,70	1,20	4,10	4,20	0,80	0,18	0,20	—	—	—	—	—	—	0,20	0,03
20,10	4,30	24,50	4,60	—	—	—	0,40	1,20	0,90	—	—	—	—	0,32
2,20	17,60	42,80	15,70	4,0	2,44	3,85	5,30	7,75	5,80	4,30	0,70	—	4,40	2,27
1,60	36,60	21,90	18,80	—	—	—	13,10	28,80	33,70	28,20	—	—	—	7,90
—	30,20	4,10	15,90	17,60	18,45	24,60	27,70	31,85	28,80	39,90	4,40	0,57	25,50	25,50
—	8,40	—	20,50	—	—	—	25,15	16,70	24,70	20,20	—	—	—	26,93
—	—	—	11,30	21,30	36,87	31,55	13,75	8,30	4,20	5,10	26,55	4,40	36,27	18,90
—	—	—	7,70	—	—	—	8,55	4,30	1,90	2,30	—	—	—	11,39
—	—	—	—	27,90	30,05	29,05	6,05	1,10	—	—	47,85	23,83	20,63	5,74
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,90
—	—	—	—	17,40	9,54	7,45	—	—	—	—	14,80	29,20	7,10	0,12
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	8,70	1,61	3,30	—	—	—	—	4,45	31,63	5,90	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,70	0,72	—	—	—	—	—	1,25	6,04	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	0,60	0,14	—	—	—	—	—	—	2,40	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,93	—	—
100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

При последующем увеличении скорости воздушного потока до 7,8 м/сек вес исходного образца уменьшился еще на 2,8%.

При скорости воздушного потока, равной 11,6 м/сек, все зерна были вынесены из трубы. В результате классификации образца выявили с достаточной для практических целей точностью, что он содержал частицы со скоростями витания 6,5—11,6 м/сек.



Фиг. 4. Воздушный классификатор ВНИИЗ.

Образец помещают в кассету 3 и продувают воздухом, который всасывается вентилятором 8; классификация происходит в цилиндрической трубе 5. Частицы, унесенные из трубы, осаждаются в камере 6 и собираются в сборниках 4. Мелкие частицы осаждаются в циклоне 7. Расход воздуха определяют по показаниям микрометра 2, который соединен со специальным коллектором 1.

В табл. 4 [9] приведены значения скоростей витания зерен пшеницы, ржи, ячменя и овса, а также некоторых семян сорных растений, определенные на классификаторе ВНИИЗ.

Таблица 4

Скорости витания семян различных культур в м/сек
(определенные на классификаторе ВНИИЗ)

Культура	$c_{\min}$	$c_{\max}$	Культура	$c_{\min}$	$c_{\max}$
Пшеница озимая мягкая	4,3	8,9	Горчак	3,1	5,8
Рожь	3,8	7,7	Вьюнок	3,8	8,1
Ячмень	4,9	7,7	Гречиха вьюнковая	2,6	6,5
Овес	4,5	7,3	Куколь	4,5	8,1
Костер	3,1	5,8	Гречиха татарская	3,1	8,1
Пырей	2,5	4,7	Репница	3,5	6,3
Подмаренник	5,8	8,1	Щетинник	2,3	6,5
Прицепник	3,5	7,3	Вика	4,7	10,8
Спорынья	4,5	8,9	Конопля	3,4	7,3
Редька дикая	3,5	8,1	Вязель	3,1	5,0
Свербига	5,2	8,9	Плевел	4,3	9,3
Василек	2,6	6,7			

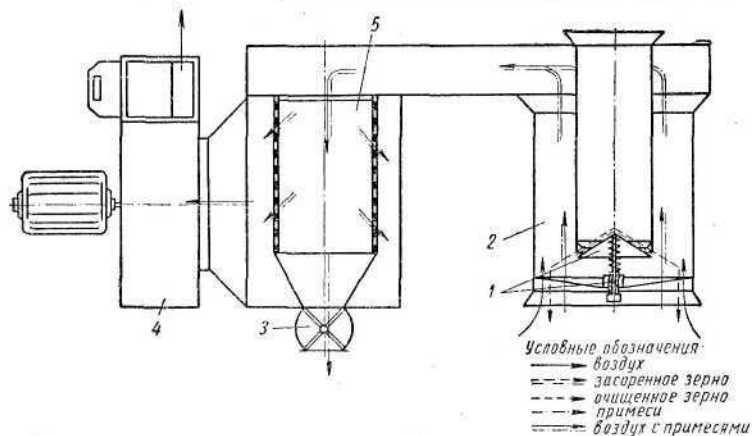
Если сравнить значения скоростей витания зерен одной культуры, приведенные в табл. 2—4, то обнаружится их значительная разница. Это объясняется тем, что для проведения каждого опыта использовали зерна различных сортов, типов и подтипов, выращенные в различных почвенно-климатических условиях и имеющие различные физические свойства: размер, удельный вес, выполненность, влажность, состояние поверхности и др.

Опубликованные в литературе данные о скоростях витания зернового материала не сопровождаются его характеристикой, поэтому приведенные в табл. 2—4 данные могут служить лишь для определения ориентировочных скоростей витания. Если необходимо знать более точные значения скоростей витания, то они могут быть определены в каждом конкретном случае одним из описанных ранее методов.

УСТРОЙСТВО И КЛАССИФИКАЦИЯ ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Воздушный сепаратор, являющийся машиной для обработки зерновых смесей воздушным потоком, обычно состоит (фиг. 5) из питающего устройства 1, пневмосепарирующего канала 2, устройства для очистки воздуха после сепарации 3 и вентилятора 4.

Принцип его работы сводится к следующему. Зерно из питающего устройства 1 вытекает в вертикальный канал 2, в котором оно про-

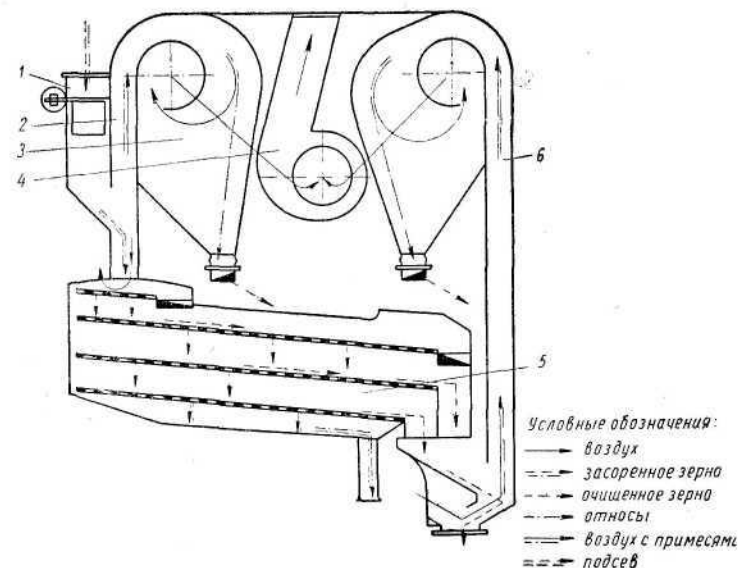


Фиг. 5. Схема воздушного сепаратора.

дувается восходящим воздушным потоком. При этом из зерна выделяются примеси, отличающиеся аэродинамическими свойствами. Воздух вместе с примесями поступает в воздухоочиститель. Здесь происходит отделение примесей от воздуха, которые удаляются из машины через шлюзовой затвор 3; воздух же с помощью вентилятора направляется в атмосферу.

Широкое распространение имеют также комбинированные воздушно-ситовые сепараторы, в которых для очистки зерна помимо воздушносепарирующего устройства имеются также сита, служащие для разделения частиц зерновой смеси по толщине и ширине, а иногда и триеры, разделяющие частицы по длине.

На схеме (фиг. 6) показан комбинированный воздушно-ситовой сепаратор. В машинах, сделанных по этой схеме, зерно через питающее устройство 1 самотеком поступает в вертикальный пневмосепарирующий канал 2 первой продувки. В канале зерно продувается восходящим воздушным потоком, после чего направляется на сита 5. Пройдя очистку на ситах, зерно поступает в канал второй продувки 6, в котором вторично очищается воздушным потоком. Из каждого пневмосепарирующего канала воздух поступает в воздухоочистительное устройство (осадочную камеру) 3, затем в вентилятор 4. Послед-



Фиг. 6. Схема воздушно-ситового сепаратора.

ний нагнетает воздух в пылеотделитель, в котором происходит его повторная очистка. Отходы, осажденные в камерах, удаляются из машины специальными механизмами или приспособлениями, которые должны герметизировать место выпуска зерна.

В последнее время созданы воздушные сепараторы, в которых имеется одно или несколько сит для удаления из зерна крупных примесей. Зерно в этих сепараторах очищается сначала с помощью сит, затем воздушным потоком.

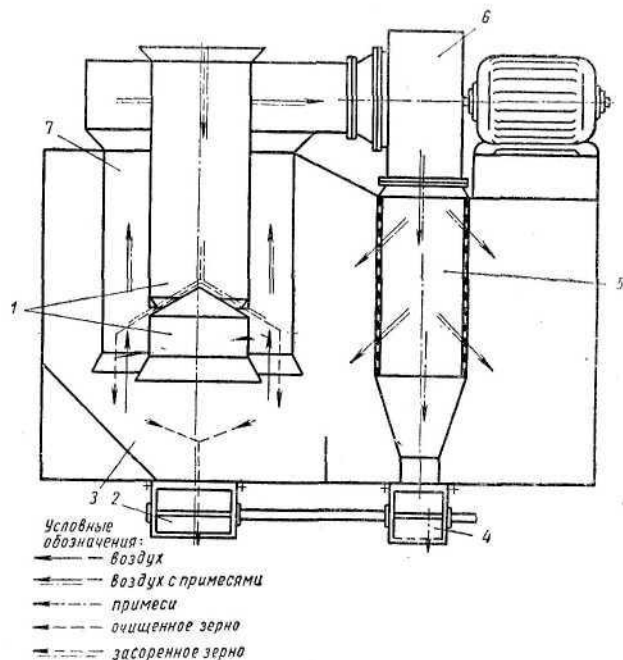
Это особенно важно при очистке свежесобранного зерна, поступающего в сепаратор из-под комбайна, так как предупреждает засорение питающих устройств пневмосепарирующих каналов.

Применение воздушно-ситовых сепараторов, имеющих, помимо сит для отбора крупных примесей, также подсевные сита, предназначенные для выделения мелких примесей, позволяет более экономно использовать производственную площадь предприятий. Вместе с тем, соединение в одной машине воздушносепарирующего и ситового

рабочих органов затрудняет возможность применения одного из них отдельно, когда по условиям технологического процесса возникает такая необходимость.

По способу поступления воздуха воздушные сепараторы разделяются на два типа.

К первому относятся машины, в которые воздух всасывается вентилятором, в каналах и камерах этих машин давление будет ниже атмосферного (разрежение). Сепараторы, схемы которых рассмотрены ранее, относятся к этому типу (фиг. 5 и 6),



Фиг. 7. Схема воздушного сепаратора с замкнутой системой циркуляции воздуха.

Ко второму — машины, в которых воздух нагнетается вентилятором (см. фиг. 40), в каналах и камерах этих машин давление выше атмосферного.

Процесс очистки зерна не зависит от того, работает ли сепаратор под разрежением или при избыточном давлении. Выбор сепаратора соответствующего типа диктуется удобствами компоновки отдельных узлов машины, условиями вывода зерна и подачи воздуха, а также другими, главным образом конструктивными факторами.

Воздушные сепараторы имеют разомкнутую или замкнутую систему циркуляции воздуха; иногда их называют машинами с замкнутым и разомкнутым циклами воздуха.

Машины, схемы которых рассмотрены выше, имеют разомкнутую систему циркуляции воздуха. При такой системе отработавший воздух, после осаждения из него примесей и очистки его от пыли, удаляется в атмосферу, для очистки зерна он повторно не используется. В машинах с замкнутой системой циркуляции воздуха один и тот же объем воздуха непрерывно циркулирует внутри машины. На фиг. 7 показана схема воздушного сепаратора с замкнутой системой циркуляции воздуха. Зерно через питающее устройство 1 подается в кольцевой канал 7, образуемый concentрично установленными цилиндрами. В кольцевом канале зерно продувается воздушным потоком. Воздух пронизывает струю зерна и всасывается вентилятором 6, который затем через воздухоочиститель 5 вновь нагнетает его в пневмосепарирующий канал. В воздухоочистителе 5 отделяются наиболее крупные и тяжелые частицы, а мелкие и легкие вместе с воздухом циркулируют по замкнутой системе воздухопроводов. По данным проведенных опытов количество пыли, взвешенной в воздухе, с течением времени не увеличивается.

Очищенное зерно собирается в нижней части камеры 3 и выводится из машины с помощью шлюзового затвора 2. Осажденные примеси собираются и выводятся из машины с помощью шлюзового затвора 4.

Существенным достоинством воздушных сепараторов с замкнутой системой циркуляции воздуха является то, что с их применением резко снижается воздухообмен в производственных помещениях, в которых они установлены.

Следует напомнить, что кратность воздухообмена в производственных помещениях, в которых работают зерноочистительные машины, иногда превышает 10—12 раз в час. При таком воздухообмене затруднено отопление этих помещений, кроме того, возникают сквозняки, вызывающие простудные заболевания обслуживающего персонала. Поэтому особое значение приобретает применение системы замкнутой циркуляции воздуха в машинах, предназначенных для работы в закрытых отапливаемых производственных помещениях.

Как видно из рассмотрения схем воздушных сепараторов, каждая машина этого типа состоит из следующих основных частей: питающего устройства, пневмосепарирующего канала, воздухоочистителя, состоящего из одного или нескольких последовательно действующих аппаратов для осаждения примесей и очистки воздуха от пыли, и вентилятора.

ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИЕ КАНАЛЫ

ЭЛЕМЕНТЫ ТЕОРИИ ДВИЖЕНИЯ ЧАСТИЦ МАТЕРИАЛА В ВЕРТИКАЛЬНОМ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩЕМ КАНАЛЕ

Ранее была приведена упрощенная схема процесса сепарирования зерновых смесей воздушным потоком. Согласно этой схеме на каждую частицу, находящуюся в воздушном потоке, действуют две вертикальные, взаимно противоположные силы: сила тяжести G и сила сопротивления R . В зависимости от соотношения величин этих сил каждая частица движется в соответствующем направлении (вверх или вниз), таким образом происходит разделение частиц.

Такая схема предполагает, что частицы помещены в канал, имея первоначальную скорость, равную нулю, а их траектории¹ представляют собой прямые линии, направленные вверх или вниз из точек первоначального положения частиц.

В действительности частицы не помещают в канал с первоначальной нулевой скоростью, а они поступают в него из питающего устройства с некоторой скоростью, характеризуемой величиной и направлением.

Воздушный поток имеет неодинаковую скорость в горизонтальном сечении канала. Зерновая смесь поступает в канал не единичными, изолированными одно от другого зернами, а многослойной струей, и примеси, прежде чем отделиться от зерна, должны перейти в верхний слой сепарируемого материала. Поэтому траектории частиц не являются прямыми линиями, направленными вверх и вниз из точек первоначального положения частиц, а представляют сложные кривые, имеющие начало в месте поступления зерна в канал.

Пока нет возможности построить указанные траектории аналитическим путем с учетом всех факторов, влияющих на движение частиц. Невозможно, например, учесть влияние ударов частиц одна о другую, увеличение скорости воздушного потока в межзерновом пространстве и др.

Однако, если в первом приближении рассмотреть движение частиц сепарируемого материала, предположив, что воздушный поток равномерен по сечению канала, частицы не взаимодействуют

одна с другой и не меняют своего положения по отношению к оси воздушного потока, то представляется возможным аналитическим путем определить траектории сепарируемых частиц, их скорости и ускорения. Знание же этих величин позволяет получить правильное представление о процессе сепарирования сыпучей зерновой смеси и тех факторах, которые влияют на его эффективность.

Абсолютное движение частицы в воздушном канале можно считать составленным из относительного движения частицы в воздушном потоке и переносного движения ее вместе с потоком, тогда абсолютная скорость $\vec{w}$ частицы равна:

$$\vec{w} = \vec{v} + \vec{u},$$

где v — относительная скорость частицы;
 u — скорость частицы при переносном движении (скорость воздушного потока).

В рассматриваемом процессе скорость воздушного потока задана по величине и направлению. Движение воздушного потока принято нами равномерным, прямолинейным и направленным вертикально вверх.

Следовательно, скорость, ускорение и траекторию частицы в абсолютном движении можно рассчитать, если мы определим соответствующие величины в относительном движении. Для этого составим дифференциальное уравнение относительного движения частицы в подвижной, прямоугольной системе координат, полагая ее движущейся вместе с потоком. За начало координат принимаем место входа частицы в воздушный поток (фиг. 8):

$$mx'' = -R \cos \alpha; \quad (3)$$

$$my'' = mg - R \sin \alpha. \quad (4)$$

Для случая витания частицы в вертикальном восходящем воздушном потоке напомним значение силы R согласно уравнению (2):

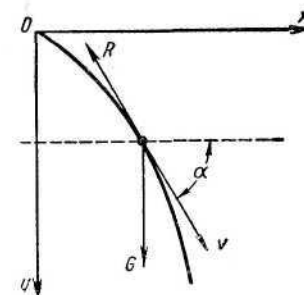
$$R = k_0 F c^2 = mg,$$

откуда

$$k_0 F = \frac{mg}{c^2},$$

тогда

$$R = \frac{mg}{c^2} v^2. \quad (5)$$



Фиг. 8. Схема сил, действующих на частицу в воздушном потоке.

¹ Под траекторией частицы подразумевается траектория ее центра тяжести.

Подставляя в уравнения (3) и (4) вместо R его значение из выражения (5) и сокращая обе части уравнений на m , получаем

$$x'' = -\frac{g}{c^2} v^2 \cos \alpha; \quad (6)$$

$$y'' = g - \frac{g}{c^2} v^2 \sin \alpha. \quad (7)$$

Учитывая, что

$$x'_t = v \cos \alpha; \quad y'_t = v \sin \alpha$$

и положив $x'_t = v_x$; $y'_t = v_y$, заменим систему двух дифференциальных уравнений второго порядка системой четырех дифференциальных уравнений первого порядка:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_x}{dt} &= -\frac{g}{c^2} v v_x; \\ \frac{dv_y}{dt} &= g - \frac{g}{c^2} v v_y; \\ \frac{dx}{dt} &= v_x; \\ \frac{dy}{dt} &= v_y, \end{aligned} \right\} \quad (8)$$

где

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_y^2}.$$

Воспользуемся для решения дифференциальных уравнений (6) и (7) методом, принятым во внешней баллистике для решения подобных уравнений (метод Эйлера).

Составляем предварительно систему дифференциальных уравнений относительного движения частицы при аргументе α . Для этого подставляем в первые два уравнения системы (8) значения $v_x = v \cos \alpha$; $v_y = v \sin \alpha$, тогда

$$\begin{aligned} \frac{d}{dt} (v \cos \alpha) &= -\frac{g}{c^2} v^2 \cos \alpha; \\ \frac{d}{dt} (v \sin \alpha) &= g - \frac{g}{c^2} v^2 \sin \alpha; \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} \cos \alpha \frac{dv}{dt} - v \sin \alpha \frac{d\alpha}{dt} &= -\frac{g}{c^2} v^2 \cos \alpha; \\ \sin \alpha \frac{dv}{dt} + v \cos \alpha \frac{d\alpha}{dt} &= g - \frac{g}{c^2} v^2 \sin \alpha. \end{aligned}$$

Умножая обе части первого уравнения на $\sin \alpha$, а второго на $\cos \alpha$ и вычитая соответствующие части первого уравнения из второго, получаем

$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{g \cos \alpha}{v}; \quad (9)$$

напишем первое уравнение системы (8) и уравнение (9):

$$\frac{dv_x}{dt} = -\frac{g}{c^2} v v_x;$$

$$\frac{d\alpha}{dt} = g \frac{\cos \alpha}{v}.$$

Деля почленно первое уравнение на второе и подставляя $\frac{v_x}{\cos \alpha}$ вместо v , получаем

$$\frac{dv_x}{d\alpha} = -\frac{v_x^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\cos^3 \alpha}. \quad (10)$$

Исходя из уравнения (9), напишем

$$\frac{dt}{d\alpha} = \frac{v}{g \cos \alpha} = \frac{v_x}{g} \frac{1}{\cos^2 \alpha}.$$

Далее

$$\frac{dx}{d\alpha} = \frac{dx}{dt} \cdot \frac{dt}{d\alpha} = \frac{v_x v}{g \cos \alpha} = \frac{v_x^2}{g} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}$$

и

$$\frac{dy}{d\alpha} = \frac{dy}{dx} \cdot \frac{dx}{d\alpha} = \frac{v_x^2}{g} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos^2 \alpha}.$$

Окончательно получаем при аргументе α

$$\left. \begin{aligned} \frac{dv_x}{d\alpha} &= -\frac{v_x^3}{c^2} \cdot \frac{1}{\cos^3 \alpha}; \\ \frac{dx}{d\alpha} &= \frac{v_x^2}{g} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}; \\ \frac{dy}{d\alpha} &= \frac{v_x^2}{g} \cdot \frac{\operatorname{tg} \alpha}{\cos^2 \alpha}; \\ \frac{dt}{d\alpha} &= \frac{v_x}{g} \cdot \frac{1}{\cos^2 \alpha}. \end{aligned} \right\} \quad (11)$$

Первое уравнение системы (11) представляет собой уравнение годографа. Интегрируя это уравнение в пределах от точки начала движения до произвольной точки траектории, получаем

$$\int_{v_{x0}}^{v_x} \frac{dv_x}{v_x^3} = -\frac{1}{c^2} \int_{\alpha_0}^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^3 \alpha};$$

обозначив

$$\int_0^{\alpha} \frac{d\alpha}{\cos^3 \alpha} = \frac{1}{2} \left[\frac{\sin \alpha}{\cos^2 \alpha} + \ln \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\alpha}{2} \right) \right] \text{ через } \xi(\alpha)$$

напишем

$$-\frac{1}{2v_x^2} + \frac{1}{2v_{x_0}^2} = -\frac{1}{c^2} [\xi(\alpha) - \xi(\alpha_0)],$$

$$\frac{1}{v_x^2} = \frac{1}{v_{x_0}^2} + \frac{2}{c^2} [\xi(\alpha) - \xi(\alpha_0)] = \frac{2}{c^2} \left[\frac{c^2}{2v_{x_0}^2} - \xi(\alpha_0) + \xi(\alpha) \right].$$

обозначив $\frac{c^2}{2v_{x_0}^2} - \xi(\alpha_0) = \xi(\alpha_A)$, где $\xi(\alpha_A)$ — постоянное число,

зависящее от начальных условий, получаем

$$\frac{1}{v_x^2} = \frac{2}{c^2} [\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha)];$$

$$v_x^2 = \frac{c^2}{2[\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha)]}. \quad (12)$$

Полученная зависимость вида $v_x = f(\alpha)$ дает возможность для каждой точки траектории, заданной углом α , определить значение горизонтальной составляющей скорости v .

Значение самой скорости находим непосредственно из выражения $v = \frac{v_x}{\cos \alpha}$.

Для определения остальных элементов траектории полученное выражение $v_x = f(\alpha)$ надо подставить в остальные дифференциальные уравнения системы (11) и их проинтегрировать.

Полученные при этом интегралы не могут быть определены в конечном виде, и поэтому вместо приближенного интегрирования воспользуемся более простым способом нахождения остальных элементов траектории.

Первоначально находим выражение для длины дуги s , для чего составляем дифференциальное уравнение длины дуги

$$\frac{ds}{d\alpha} = \frac{ds}{dt} \cdot \frac{dt}{d\alpha} = v \cdot \frac{v_x}{g \cos^2 \alpha} = \frac{v_x^2}{g \cos^3 \alpha}.$$

Согласно уравнению (10) напишем

$$\frac{d\alpha}{\cos^3 \alpha} = -c^2 \frac{dv_x}{v_x^3},$$

следовательно,

$$ds = -\frac{c^2}{g} \cdot \frac{dv_x}{v_x}.$$

Интегрируя это выражение в пределах от точки начала движения до произвольной точки траектории, получаем

$$s = -\frac{c^2}{g} \ln \frac{v_x}{v_{x_0}} = \frac{c^2}{g} \ln \frac{v_{x_0}}{v_x} = \frac{c^2}{2g} \ln \left(\frac{v_{x_0}}{v_x} \right)^2$$

или, на основании уравнения (12),

$$s = \frac{c^2}{2g} \ln \left\{ \frac{2v_{x_0}^2}{c^2} [\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha)] \right\}. \quad (13)$$

Уравнение (13) дает возможность для любой точки траектории, заданной углом α , вычислить величину s .

Для вычисления элементов траектории x ; y ; t воспользуемся зависимостями

$$dx = \cos \alpha ds;$$

$$dy = \sin \alpha ds;$$

$$dt = \frac{ds}{v}.$$

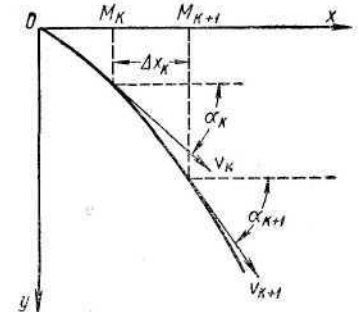
Далее рядом точек $M_1, M_2, \dots, M_k$ разбьем траекторию на дуги (фиг. 9) так, чтобы от точки к точке величины α и v изменялись мало.

Для участка дуги, ограниченного точками M_k и M_{k+1} , получаем

$$\int_{x_k}^{x_{k+1}} dx = \int_{s_k}^{s_{k+1}} \cos \alpha ds,$$

$$\int_{y_k}^{y_{k+1}} dy = \int_{s_k}^{s_{k+1}} \sin \alpha ds;$$

$$\int_{t_k}^{t_{k+1}} dt = \int_{s_k}^{s_{k+1}} \frac{ds}{v}.$$



Фиг. 9. Траектория частицы, разбитая на дуги.

Беря средние значения величин $\cos \alpha$; $\sin \alpha$ и $\frac{1}{v}$, получаем

$$\Delta x_k = (\cos \alpha_{cp})_k \Delta s_k;$$

$$\Delta y_k = (\sin \alpha_{cp})_k \Delta s_k;$$

$$\Delta t_k = \left(\frac{1}{v_{cp}} \right)_k \Delta s_k.$$

Так как точки на траектории выбраны достаточно близко одна от другой, принимаем

$$(\cos \alpha_{cp})_k = \cos \frac{\alpha_k + \alpha_{k+1}}{2};$$

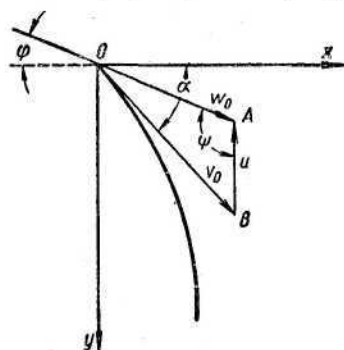
$$(\sin \alpha_{cp})_k = \sin \frac{\alpha_k + \alpha_{k+1}}{2};$$

$$v_{cp} = \frac{v_k + v_{k+1}}{2}.$$

Приращение Δs_k находим:

$$\Delta s_k = s_{k+1} - s_k = \frac{c^2}{2g} \ln \frac{\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha_{k+1})}{\xi(\alpha_A) + \xi(\alpha_k)}. \quad (14)$$

Имея возможность для любого участка дуги траектории вычислить приращения Δx , Δy и Δt , мы можем найти элементы точки m траектории, суммируя эти приращения:



Фиг. 10. Схема скоростей в начальной точке.

$$x_m = \sum_0^{m-1} \Delta x_k; \quad y_m = \sum_0^{m-1} \Delta y_k; \quad t_m = \sum_0^{m-1} \Delta t_k.$$

Таким образом, для всякой точки траектории, заданной углом α , можно вычислить все элементы траектории частицы при относительном движении, что позволяет построить траекторию частицы и при абсолютном движении.

Зная, что переносное движение определяется уравнениями $u_x = 0$; $x_u = 0$; $u_y = -u$; $y_u = -ut$, напомним для абсолютного движения частицы $w_x = v_x$; $w_y = v_y - u$; $w = \sqrt{w_x^2 + w_y^2}$;

$$x_w = x_v; \quad y_w = y_v - ut.$$

Рассмотрим пример построения траектории частицы при абсолютном движении. Для этого определим начальные данные, соответствующие моменту входа частицы в канал ($t = 0$).

Абсолютная скорость w_0 частицы в момент входа ее в канал может быть определена как скорость ее при выходе из приспособления, питающего канал зерном. Эта скорость может быть рассчитана или измерена, а поэтому предполагается известной по величине и направлению. Зная также скорость переносного движения, равную скорости воздушного потока, определяем из треугольника AOB (фиг. 10) начальную относительную скорость v_0 :

$$v_0 = \sqrt{w_0^2 + u^2 - 2wu \cos \psi}.$$

Направление скорости w_0 определяется углом φ (фиг. 10), который обычно известен, тогда

$$\psi = \frac{\pi}{2} + \varphi.$$

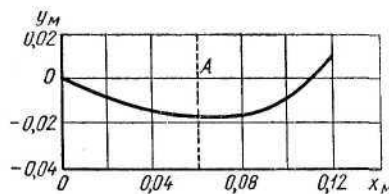
Угол α определяем из равенства

$$\sin \alpha_0 = \frac{v_0^2 + u^2 - w_0^2}{2v_0u}.$$

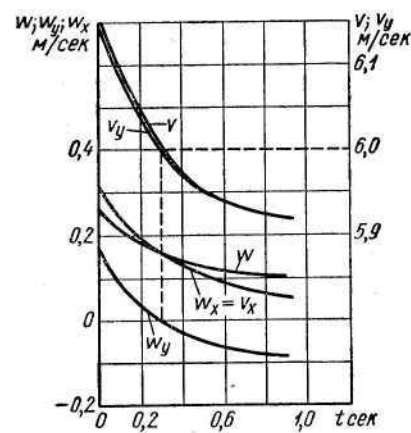
Значения $x_0 = 0$ и $y_0 = 0$ определяются выбором начала координат в начале движения.

Пусть $w_0 = 0,3$ м/сек; $\varphi = 30^\circ$; $u = 6,0$ м/сек и $c = 5,9$ м/сек; тогда $v_0 = 6,16$ м/сек; $\alpha_0 = 87^\circ 35'$; $v_{0x} = 0,26$ м/сек.

На основании этих данных и результатов вычислений (табл. 5 и 6) строим траекторию частицы (фиг. 11) и графики (фиг. 12), определяющие функциональную зависимость скоростей v и w и их проекций на оси x и y от времени t .



Фиг. 11. Траектория частицы.



Фиг. 12. Зависимость относительной и абсолютной скоростей от времени.

Анализ траектории (фиг. 12) и данных, приведенных в табл. 5 и 6, показывает, что частица вначале движется вниз до того момента, пока проекция относительной скорости v_y на ось y станет равной скорости u воздушного потока.

В рассматриваемом примере это соответствует $t = 0,281$ сек. при $v_y = u = 6,0$ м/сек (обозначено на траектории фиг. 11 и графиках фиг. 12 вертикальной штриховой линией). В этот момент вертикальная составляющая абсолютной скорости $w_y = 0$, частица заторможена, взвешена в вертикальном восходящем воздушном потоке и начинает движение вверх по восходящей ветви траектории.

При этом абсолютная скорость $w \rightarrow 0$, $1 = u - c$, составляющие абсолютной скорости $w_x \rightarrow 0$ и $w_y \rightarrow -0,1 = c - u$, относительная скорость $v \rightarrow 5,9 = c$, а ее составляющие $v_x \rightarrow 0$ и $v_y \rightarrow 5,9 = c$.

Таблица 5

Относительные скорости частиц при $\omega_0 = 0,3$ м/сек;
 $\varphi = 30^\circ$; $u = 6,0$ м/сек; $c = 5,9$ м/сек

α	v в м/сек	v_x в м/сек	v_y в м/сек	x в м	y в м	t в сек.
87°35'	6,160	0,2600	6,1540	0	0	0
87°44'	6,126	0,2427	6,1210	0,01	0,2445	0,03986
87°53'	6,096	0,2255	6,0910	0,02	0,5057	0,08259
88°02'	6,069	0,2084	6,0650	0,03	0,7840	0,12869
88°11'	6,042	0,1913	6,0380	0,04	1,0872	0,17874
88°20'	6,019	0,1743	6,0165	0,05	1,4174	0,23347
88°30'	5,998	0,1574	5,9959	0,06	1,7801	0,29380
88°39'	5,978	0,1405	5,9763	0,07	2,1827	0,36098
88°49'	5,963	0,1237	5,9617	0,08	2,6365	0,43673
88°58'	5,948	0,1069	5,9470	0,09	3,1554	0,52353
89°08'	5,934	0,0901	5,9333	0,10	3,7606	0,62514
89°17'	5,925	0,0734	5,9244	0,11	4,4886	0,74750
89°27'	5,922	0,0567	5,9217	0,12	5,4053	0,90255

Таблица 6

Абсолютные скорости частиц при $\omega_0 = 0,3$ м/сек;
 $\varphi = 30^\circ$; $u = 6,0$ м/сек; $c = 5,9$ м/сек

x_{ω} в м	y_{ω} в м	ω_x в м/сек	ω_y в м/сек	ω в м/сек
0	0	0,2600	0,1545	0,3000
0,01	0,0054	0,2427	0,1212	0,2713
0,02	0,0102	0,2255	0,0918	0,2433
0,03	0,0119	0,2084	0,0654	0,2186
0,04	0,0148	0,1913	0,0390	0,1952
0,05	0,0166	0,1743	0,0165	0,1749
0,06	0,0173	0,1574	-0,0041	0,1575
0,07	0,0168	0,1405	-0,0237	0,1425
0,08	0,0161	0,1237	-0,0883	0,1292
0,09	0,0142	0,1069	-0,0530	0,1191
0,10	0,0398	0,0901	-0,0668	0,1118
0,11	0,0036	0,0734	-0,0755	0,1053
0,12	-0,0100	0,0567	—	—

Указанные закономерности остаются справедливыми при любых значениях начальных данных ω_0 ; φ ; u ; c .

Траектории частиц в воздушном канале можно разделить на три группы, соответствующие следующим условиям:

1) $c < u$, в этом случае траектории частиц имеют характер кривой, представленной на фиг. 11;

2) $c = u$, траектории частиц имеют нисходящую ветвь до момента $v_y = u = c$, после чего движение будет происходить по прямой горизонтальной линии;

3) $c > u$, частица непрерывно движется по нисходящей траектории.

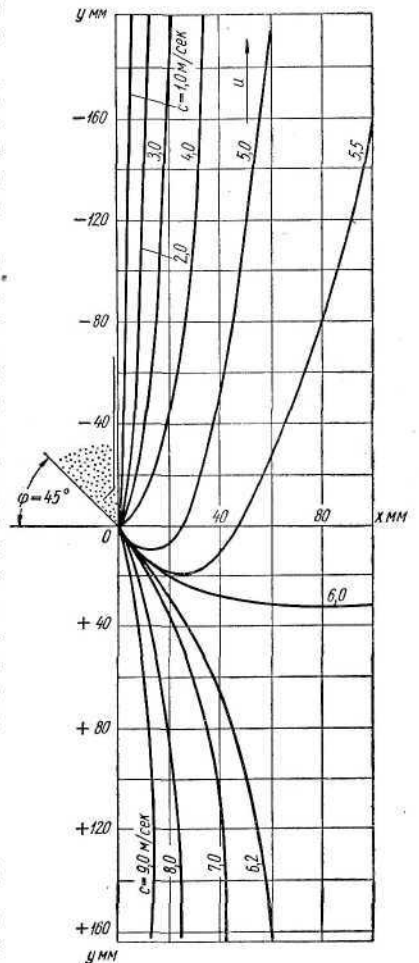
На фиг. 13 показаны траектории частиц, имеющих различные скорости витания; траектории построены описанным методом и дают приближенное представление о процессе сепарирования частиц материала.

При общепринятом в настоящее время способе подачи материала в канал все частицы вначале движутся под некоторым углом вниз. Затем те из них (примеси), скорости витания которых меньше скорости воздушного потока, изменяют направление и движутся вверх, достигая осадочного устройства, в котором происходит их выделение из воздушного потока. Остальные частицы (нормальное зерно) непрерывно движутся вниз и выводятся из канала. Траектории, а также величины скоростей и ускорений частиц непосредственно влияют на эффективность и четкость процесса очистки зерна воздушным потоком.

ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ОЧИСТКИ ЗЕРНА ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

Экспериментальные и теоретические исследования процесса очистки зерна воздушным потоком, а также практика эксплуатации воздушных сепараторов позволили установить, что к числу основных факторов, влияющих на эффективность процесса очистки зерна воздушным потоком, относятся следующие:

- степень различия скоростей витания зерен очищаемой культуры и примесей;
- величина удельной зерновой нагрузки q ;
- размеры пневмосепарирующего канала: ширина B и высота H_1 ;
- начальная скорость частиц сепарируемого материала ω_0 ;



Фиг. 13. Траектории частиц, имеющих различные скорости витания при $\omega_0 = 0,3$ м/сек; $u = 6,0$ м/сек; $\varphi = 45^\circ$.

Таблица 8

Аэродинамическая характеристика примесей
(количество материала, выносимого из классификатора, в % от общего веса)

Фракция	Скорость воздушного потока в м/сек								
	0—1	1—2	2—3	3—4	4—5	5—6	6—7	7—8	8—9
Битое зерно . . .	—	—	5,0	50,0	30,0	15,0	—	—	—
Щуплое зерно . .	2,9	—	3,6	51,0	39,6	2,9	—	—	—
Семена сорных растений . . .	4,9	0,9	4,9	51,3	31,4	0,9	0,9	2,9	1,9
Сорные примеси органические	5,0	5,0	65,0	20,0	5,0	—	—	—	—

Степень различия скоростей витания зерен очищаемой культуры и примесей

Ранее было установлено, что различие скоростей витания зерен очищаемой культуры и примесей является признаком возможности их разделения воздушным потоком.

В приборах для определения скоростей витания воздействию воздушного потока подвергаются отдельные частицы, движение которых не стеснено другими компонентами зерновой смеси, а в воздушных классификаторах образцы продуваются воздушным потоком в течение длительного времени, достаточного для выноса всех частиц данного класса.

Частицы зерновой смеси, находящиеся в пневмосепарирующем канале, перемещаются под воздействием воздушного потока в стесненных условиях зерновой струи и в течение очень короткого времени (доли секунды). Поэтому эффект очистки в пневмосепарирующем

Таблица 9

**Зависимость эффекта очистки зерна в пневмосепарирующем канале
от степени различия скоростей витания компонентов зерновой смеси**

Зерно	Скорость витания зерен в м/сек	Примеси		Эффект очистки в %
		скорость ви- тания в м/сек менее	объемный вес в г/л	
Пшеница	6—12	3,0	214	94,2
»	6—12	3,5	248	94,1
»	6—12	4,0	298	93,8
»	6—12	4,5	320	90,2
»	6—12	5,0	417	80,5
»	6—12	6,0	465	63,5

канале зависит от степени различия скоростей витания разделяемых частиц: чем меньше скорости витания примесей отличаются от скоростей витания зерен очищаемой культуры, тем ниже эффект очистки (табл. 9).

- д) величина средней скорости воздушного потока;
е) равномерность воздушного потока в пневмосепарирующих каналах.

Рассмотрим влияние каждого из указанных факторов на эффективность процесса очистки зерна, а также методику расчета вертикальных пневмосепарирующих каналов.

Прежде чем перейти к изложению существа вопроса, следует пояснить значение употребляемых далее понятий: «эффект очистки» и «четкость сепарирования».

Эффект очистки η представляет собой отношение веса примесей, выделенных из зерна, к весу примесей в исходной зерновой смеси, которые могут быть выделены воздушным потоком,

$$\eta = \frac{A - aA}{B} \%,$$

где A — вес отходов в кг;

a — количество нормального зерна в отходах в % от веса отходов;

B — вес примесей в исходной зерновой смеси, которые могут быть выделены воздушным потоком, в кг.

При определении эффекта очистки зерна количество выделенных примесей очень часто относят к общему количеству их, содержащемуся в исходной смеси, независимо от того, могут ли все содержащиеся в зерне примеси быть выделены данным рабочим органом (ситам, воздушным потоком и др.).

Такой способ определения эффекта очистки неправилен, так как он не учитывает физических свойств примесей, содержащихся в очищаемой зерновой смеси. Например, нельзя определять эффект очистки зерна воздушным потоком по отношению к примесям, которые не отличаются от основного зерна аэродинамическими свойствами.

Важным показателем, характеризующим качественную сторону процесса очистки, является четкость сепарирования.

Под четкостью сепарирования понимается количество нормального зерна в отходах, выраженное в % от веса отходов. Этот показатель входит в приведенную выше формулу для определения эффекта очистки, однако он не ставит величину эффекта очистки в зависимость от четкости сепарирования. Поэтому величина четкости сепарирования будет указываться отдельно, как дополнительный показатель качественной стороны процесса очистки.

Результаты экспериментальных исследований, изложенные в настоящем разделе, получены при очистке пшеницы, содержащей 2% примесей, отделяемых воздушным потоком.

Таблица 7

Качественная характеристика примесей

Фракция	Количество в % (от веса)
Битое зерно	27,5
Щуплое зерно	29,1
Семена сорных растений	22,0
Сорные примеси органические	20,9
Нормальное зерно	0,5
Примечание. Объемный вес примесей равен 400 г/л.	

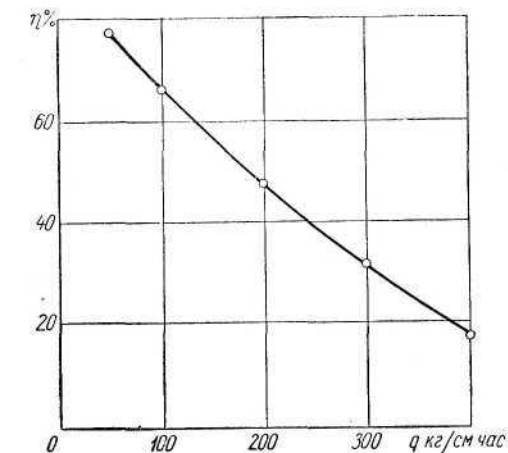
В табл. 7 и 8 приведены качественная и аэродинамическая характеристика этих примесей.

Очистка пшеницы производилась в пневмосепарирующем канале шириной 100 мм при зерновой нагрузке $q = 100 \text{ кг/см. час}$ и средней скорости воздушного потока $5,4 \text{ м/сек}$; количество нормального зерна в отходах при этом составляло 2% от веса отходов.

Величина удельной зерновой нагрузки

Под величиной удельной зерновой нагрузки q пневмосепарирующего канала понимается количество зерна, приходящееся в единицу времени на единицу длины пневмосепарирующего канала (кг/см. час).

На графике фиг. 14 приведена зависимость эффекта очистки η пшеницы в вертикальном пневмосепарирующем канале от величины удельной нагрузки q . Согласно этой зависимости с увеличением удельной зерновой нагрузки уменьшается эффект очистки. Последнее объясняется тем, что с увеличением удельной нагрузки увеличивается толщина слоя материала, поступающего в пневмосепарирующий канал, следовательно, ухудшаются условия выделения частиц примесей, находящихся



Фиг. 14. Зависимость эффекта очистки η зерна от удельной нагрузки q при $B = 150 \text{ мм}$; $\omega_0 = 0,3 \text{ м/сек}$; $u = 5,5 \text{ м/сек}$; $H_1 = 800 \text{ мм}$.

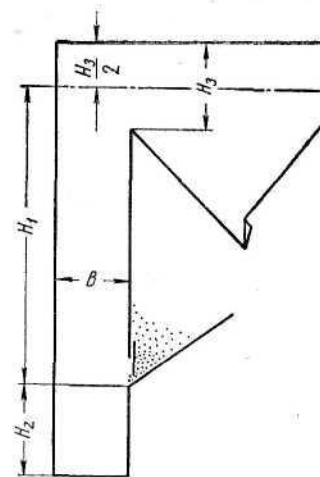
в нижних слоях зерновой струи. Толщина слоя материала зависит не только от удельной нагрузки, но также и от начальной скорости частиц материала при вступлении их в канал и объемного веса материала. Если принять начальную скорость частиц и объемный вес материала постоянными, то величина удельной нагрузки полностью определяет толщину слоя.

Размеры пневмосепарирующего канала

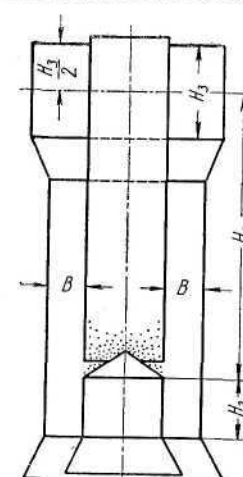
Пневмосепарирующий канал характеризуется шириной B , расстоянием между продольными стенками прямоугольных каналов (фиг. 15) или стенками концентрично расположенных цилиндров кольцевых каналов (фиг. 16) и высотой H_1 верхней части канала, расстоянием от места поступления зерна в канал до поворота в осадочное устройство.

На графиках (фиг. 17) приведены зависимости эффекта очистки от величины B для разных значений q при постоянном значении четкости сепарирования (количество нормального зерна в отходах не превышало 2% от веса отходов) и прочих равных условиях.

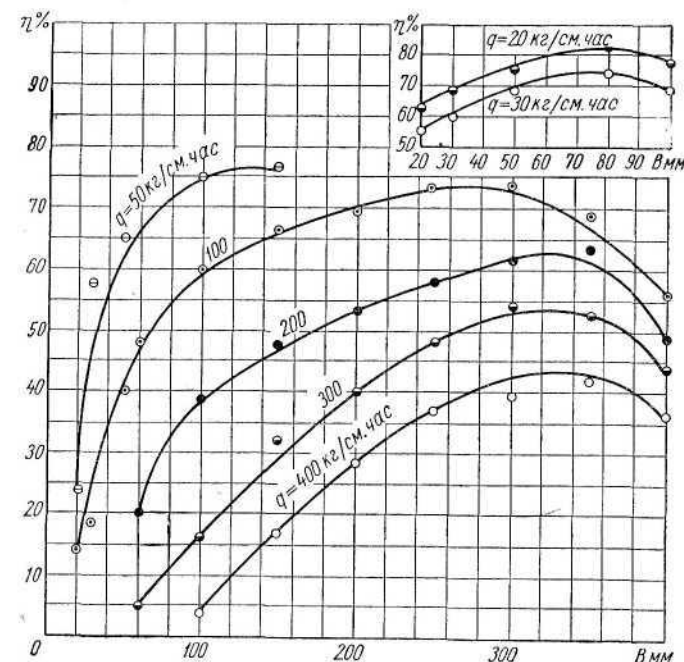
Из этих графиков можно установить следующую зависимость между эффектом очистки и шириной канала: по мере увеличения



Фиг. 15. Размеры прямоугольного пневмосепарирующего канала.



Фиг. 16. Размеры кольцевого пневмосепарирующего канала.



Фиг. 17. Зависимость эффекта очистки η зерна от ширины B канала при $H_1 = 800 \text{ мм}$; $\omega_0 = 0,3 \text{ м/сек}$; $\varphi = 36^\circ$.

ширины канала эффект очистки возрастает и при некотором оптимальном значении ширины он достигает максимального значения. Дальнейшее увеличение ширины канала вызывает снижение эффекта очистки.

Оптимальную ширину канала находят в зависимости от зерновой нагрузки. Так, при зерновой нагрузке $20\text{--}30 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ эта величина равна 80 мм , при нагрузке $50 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ — 130 мм и т. д.

Указанное изменение эффекта очистки связано с временем воздействия воздушного потока на частицы зерновой струи и четкостью сепарирования.

Воздушный поток воздействует на каждую частицу зерновой струи во время ее движения от внутренней стенки к наружной стенке канала. Следовательно, чем больше ширина канала (расстояние от внутренней до наружной стенки канала), тем более длительно воздействует воздушный поток на частицы зерновой струи. Увеличение времени воздействия воздушного потока на частицы зерновой струи способствует повышению эффекта очистки, так как при этом большее количество примесей, расположенных в различных слоях зерновой струи, успевает перейти в ее верхний слой и выделиться из зерна.

Но опытами установлено, что при увеличении ширины канала и сохранении постоянной величины средней скорости воздушного потока увеличивается содержание нормального зерна в отходах, ухудшается четкость сепарирования.

Для сохранения необходимой четкости сепарирования приходится с увеличением ширины канала снижать скорость воздушного потока, а последнее приводит к ухудшению эффекта очистки.

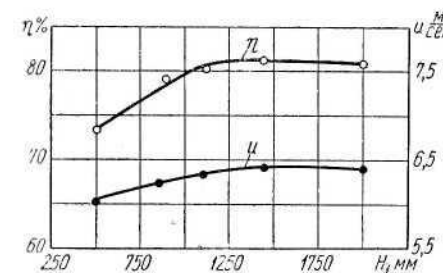
Таким образом, указанные факторы оказывают противоположное воздействие на эффект очистки: увеличение ширины канала — положительное, а снижение скорости воздушного потока, необходимое для сохранения установленной четкости сепарирования, — отрицательное. В зависимости от того, какой из этих факторов оказывает большее влияние, и происходит увеличение или уменьшение абсолютной величины эффекта очистки.

Графики фиг. 17 позволяют определить ширину пневмосепарирующего канала в зависимости от удельной нагрузки и требуемого эффекта очистки. Например, если для пневматического сепаратора производительностью 10 т/час выбрана зерновая нагрузка $100 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$, а величина эффекта очистки должна быть не менее 60% , то ширина канала должна быть равной 100 мм .

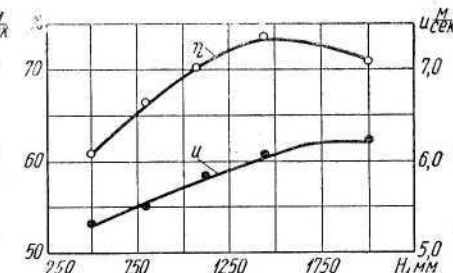
Существенное значение для процесса сепарирования имеет высота H_1 верхней части канала.

Так 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 в зависимости от их преимущественной ориентировки относительно оси воздушного потока.

Исследования аэродинамических свойств отдельных зерен в зависимости от их ориентировки в воздушном потоке, проведенные проф. В. Я. Гиршсоном [5], показывают, что скорость витания самых крупных и тяжелых зерен пшеницы с абсолютным весом до 50 мг изменяется от 4 м/сек при расположении зерна продольной осью поперек воздушного потока до $13\text{--}16 \text{ м/сек}$ при расположении зерна продольной осью вдоль воздушного потока. Аналогичные данные получены и другими исследователями. Поэтому в воздушном потоке, скорость движения которого равна $5\text{--}6 \text{ м/сек}$, а при неравномерном потоке в отдельных местах еще выше, даже самые тяжелые зерна пшеницы могут двигаться вверх по каналу, если они при своем



Фиг. 18. Зависимость эффекта очистки η зерна от высоты H_1 верхней части канала при зерновой нагрузке $q = 50 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ и ширине канала $B = 130 \text{ мм}$.



Фиг. 19. Зависимость эффекта очистки η зерна от высоты H_1 верхней части канала при зерновой нагрузке $q = 100 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ и ширине канала $B = 130 \text{ мм}$.

непрерывном вращении располагаются продольной осью преимущественно поперек воздушного потока, так как при таком положении зерен скорость воздушного потока превышает их скорость витания. Наблюдение процессов, происходящих в канале во время очистки зерна, показывает, что большая часть отраженных от наружной стенки канала зерен, относящихся к основной культуре сепарируемого материала, получает суммарное перемещение вниз и вновь попадает в струю зерна.

Некоторые зерна уносятся достаточно далеко вверх по каналу, и те из них, которые достигают поворота в осадительное устройство, попадают в него и смешиваются с отходами.

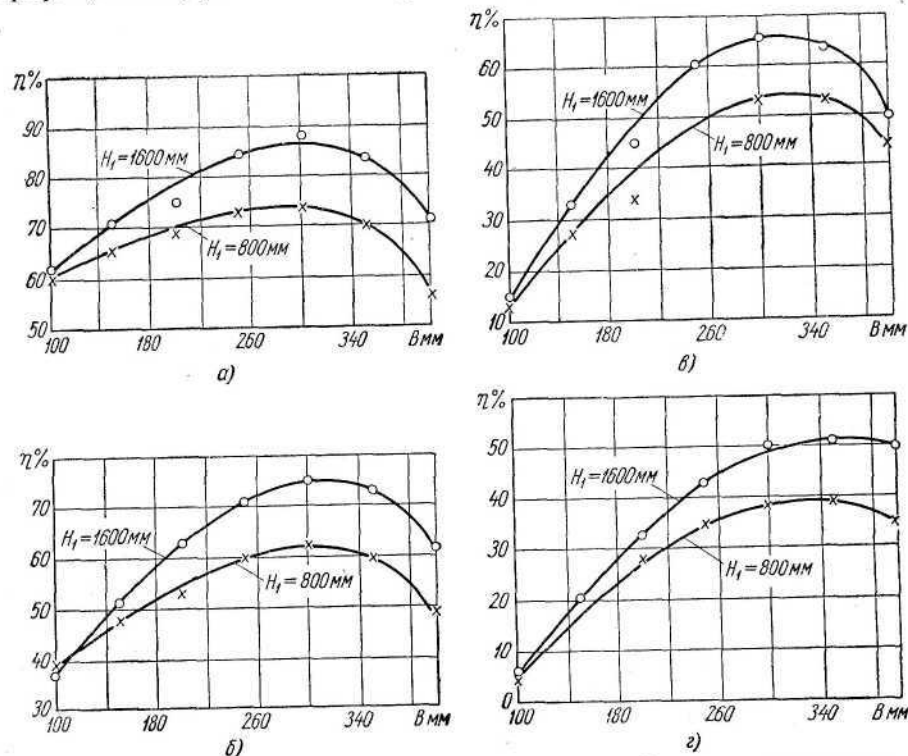
Наибольшее количество зерен витает в канале в непосредственной близости к зерновой струе на расстоянии $300\text{--}400 \text{ мм}$, выше число витающих в воздушном потоке зерен уменьшается.

Следовательно, с увеличением высоты верхней части канала можно достичь повышения четкости сепарирования, т. е. уменьшения количества нормального зерна в отходах. Это позволяет увеличить скорость воздушного потока, следовательно, повысить эффект очистки.

На графиках фиг. 18, 19 приведены зависимости между эффектом очистки η , высотой H_1 верхней части канала и скоростью u воздушного потока, а на графиках фиг. 20 — изменение эффекта

очистки в зависимости от ширины B канала и зерновой нагрузки q при значениях высоты верхней части канала $H_1 = 800$ мм и $H_1 = 1600$ мм.

Из этих графиков видно, что с увеличением высоты канала в пределах до 1500 мм происходит повышение эффекта очистки (фиг. 18 и 19), причем чем больше ширина канала, тем значительнее величина приращения эффекта очистки (фиг. 20, а, б, в, г).



Фиг. 20. Зависимость эффекта очистки η зерна от ширины B канала при высоте его верхней части $H_1 = 800$ мм и $H_1 = 1600$ мм для разной удельной зерновой нагрузки:

а — $q = 100$ кг/см·час; б — $q = 200$ кг/см·час;
в — $q = 300$ кг/см·час; г — $q = 400$ кг/см·час.

Данные, приведенные на графиках фиг. 18—20, получены при одной и той же четкости сепарирования.

На основании проведенных исследований можно дать следующие рекомендации при выборе размеров пневмосепарирующих каналов:

а) при удельной зерновой нагрузке 50 кг/см·час и более высоту верхней части канала не следует делать менее 800 мм;

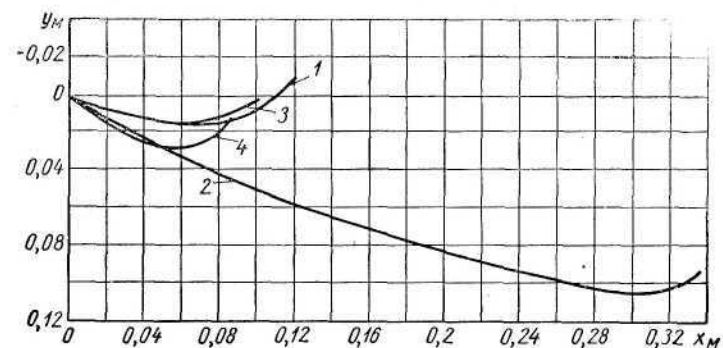
б) если по условиям компоновки машины имеется возможность сделать высоту верхней части канала более 800 мм, то следует использовать эту возможность;

в) величина приращения эффекта очистки для тех случаев, когда высота H_1 будет более 800 мм, может быть определена по графикам (фиг. 20) путем соответствующего интерполирования.

Нижняя часть канала служит для подвода воздуха к зерновой струе; ее высота и конструкция оказывают влияние на поле скоростей воздушного потока. Поэтому вопрос о выборе высоты и о конструкции нижней части канала будет рассмотрен в одном из последующих разделов.

Начальная скорость частиц сепарируемого материала

Для выявления влияния начальной скорости частиц сепарируемого материала на процесс пневмосепарации рассмотрим вначале поведение в канале одной частицы при двух различных значениях



Фиг. 21. Траектории частицы со скоростью вращения $\omega = 5,9$ м/сек при различных параметрах:

1 — $\omega_0 = 0,3$ м/сек; $\varphi = 30^\circ$; $u = 6,0$ м/сек;
2 — $\omega_0 = 1,0$ м/сек; $\varphi = 30^\circ$; $u = 6,0$ м/сек;
3 — $\omega_0 = 1,0$ м/сек; $\varphi = 30^\circ$; $u = 7,6$ м/сек;
4 — $\omega_0 = 0,3$ м/сек; $\varphi = 45^\circ$; $u = 6,0$ м/сек.

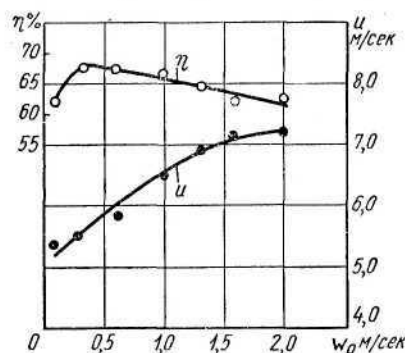
ее начальной скорости ω_0 . Предполагаем, что указанная частица относится к числу примесей и должна быть удалена от зерновой смеси.

Обратимся для этого к графикам фиг. 21, представляющим собой траектории одной и той же частицы, кривые 1 и 2 графиков построены при различной начальной скорости $\omega_0 = 0,3$ м/сек и $\omega_0 = 1,0$ м/сек, но при одной и той же скорости воздушного потока $u = 6,0$ м/сек. Кривая 3 построена при $\omega_0 = 1,0$ м/сек и скорости воздушного потока $u = 7,6$ м/сек.

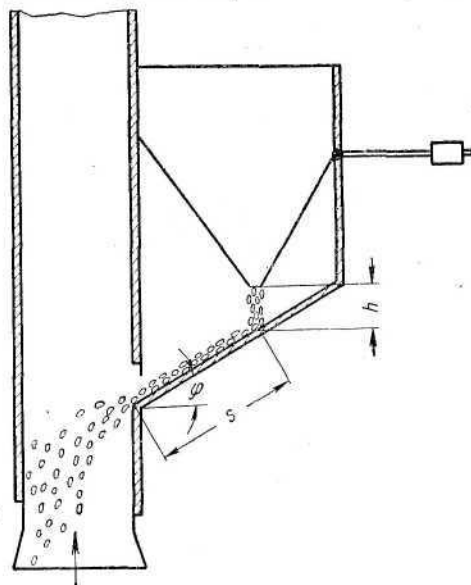
При общепринятом в настоящее время способе подачи материала в канал, под некоторым углом вниз, все частицы, в том числе и рассматриваемая частица примеси, будут двигаться вначале по нисходящей ветви своей траектории. Однако для того, чтобы частица попала в осадитель примесей, расположенный в верхней части канала, она должна изменить направление движения, начать движение по восходящей ветви траектории. При этом, если она даже достигнет

наружной стенки канала, то будет отражена от нее вверх и суммарное ее перемещение продолжится в этом направлении. Если же частица при движении по нисходящей ветви траектории ударится о наружную стенку, то она будет отражена вниз и условия ее выделения значительно ухудшатся.

Рассматривая кривые 1 и 2 графиков (фиг. 21), можно заключить следующее: для того, чтобы наружная стенка не пересекала нисходящей ветви траектории частицы, ее понадобится удалить по горизонтали от начала траектории, т. е. от внутренней стенки канала, на величину не менее чем 60 мм при $\omega_0 = 0,3$ м/сек и на величину не менее 300 мм при $\omega_0 = 1,0$ м/сек.



Фиг. 22. Зависимость эффекта η очистки зерна от начальной скорости ω_0 частиц при разной скорости u воздушного потока.



Фиг. 23. Схема поступления зерна в пневмосепарирующий канал.

Это значит, что во втором случае понадобится подавать в канал в 5 раз больше воздуха, чем в первом случае.

Можно, однако, добиться того, чтобы начало восходящей ветви траектории в обоих случаях было удалено от начала траектории на одну и ту же величину, равную 60 мм.

Для этого необходимо при $\omega_0 = 1,0$ м/сек увеличить скорость u воздушного потока до 7,6 м/сек (фиг. 21, кривая 3), что приведет к увеличению расхода воздуха на 27%.

Таким образом, увеличение начальной скорости частиц сепарируемого материала связано с увеличением ширины пневмосепарирующего канала или при постоянной ширине с увеличением скорости воздушного потока. И то и другое вызывает увеличение расхода воздуха, следовательно, является нежелательным.

Результаты экспериментальной проверки зависимости эффекта η очистки зерна от начальной скорости ω_0 сепарируемого материала показаны на графике фиг. 22.

Графики (фиг. 22) показывают, что оптимальной величиной начальной скорости следует считать $\omega_0 = 0,3$ м/сек.

Если скорость ω_0 больше или меньше указанной величины, то происходит снижение эффекта очистки. При этом, когда $\omega_0 > 0,3$ м/сек, эффект очистки снижается, несмотря на то, что скорость u воздушного потока больше, чем при оптимальном значении ω_0 . Последнее подтверждает выводы, сделанные на основе анализа траекторий частицы, о том, что при увеличении начальной скорости частиц сепарируемого материала для сохранения постоянного эффекта очистки требуется повышение скорости воздушного потока.

В опытах можно еще больше увеличить скорость воздушного потока и добиться того, что эффект очистки при любом значении ω_0 в пределах, указанных на графике (фиг. 22), был не меньше, чем при $\omega_0 = 0,3$ м/сек. Однако при этом повысилось бы количество нормального зерна в отходах, т. е. ухудшилась бы четкость сепарирования.

Опыты, результаты которых даны на графике фиг. 22, проведены при одной четкости сепарирования, находящейся в пределах существующих норм.

Экспериментальная проверка влияния направления начальной скорости частиц сепарируемого материала на эффект очистки, произведенная при постоянной начальной скорости ω_0 , равной 0,3 м/сек, и зерновой нагрузке 100 кг/см·час (табл. 10), позволила установить, что при этой величине начальной скорости частиц сепарируемого материала изменение направления начальной скорости частиц (изменение угла установки скатной плоскости) в пределах 30—70° не вызывает существенных изменений эффекта очистки и не требует для поддержания постоянного эффекта очистки изменения скорости воздушного потока.

Таблица 10

Зависимость эффекта очистки зерна от угла установки скатной плоскости

Угол установки скатной плоскости в град.	Средняя скорость воздушного потока в м/сек	Эффект очистки в %
30	5,5	67,0
35	5,55	67,0
40	5,5	69,0
45	5,5	68,0
70	5,6	70,0

Изложенное ранее показывает, что при проектировании и эксплуатации воздушных сепараторов следует учитывать влияние на эффективность процесса очистки зерна величины начальной скорости частиц сепарируемого материала (скорости входа частиц зерновой

струи в пневмосепарирующий канал), которая должна быть около 0,3 м/сек.

Величина ω_0 зависит от высоты h свободного падения зерна на скатную плоскость (фиг. 23), пути s движения зерна по ней, угла наклона φ плоскости к горизонту и коэффициента трения f сепарируемого материала о материал скатной плоскости. Приближенное значение скорости ω_0 определяем:

$$\omega_0 = \sqrt{2gs(\sin \varphi - f \cos \varphi) + v_0^2},$$

где

$$v_0 = \sin \varphi \sqrt{2gh}.$$

Анализ существующих конструкций питающих устройств воздушных и воздушно-ситовых сепараторов показывает, что в ряде питающих устройств влиянию скорости ω_0 на эффективность процесса пневмосепарации не придавали должного значения (табл. 11).

Таблица 11

Начальные скорости ω_0 зерна
в сепараторах различных конструкций

Сепаратор	h в мм	s в мм	φ в град.	ω_0 в м/сек
ЗС-3	100	200	37	1,2
ПОП-5	0	70	45	0,7
ЗС-5	60	200	37	1,1
ПДП-10	0	70	45	0,7
ЗСП-10	0	80	37	0,6
ЗА-40	0	25	37	0,3

Средняя скорость воздушного потока

Эффект очистки и четкость сепарирования, при всех прочих равных условиях, находятся в прямой зависимости от средней скорости воздушного потока в канале. Эта зависимость характеризуется данными, приведенными в табл. 12, полученными экспериментальным путем при очистке пшеницы.

Таблица 12

Зависимость эффекта очистки и четкости сепарирования
от средней скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале

Средняя скорость воздушного потока в м/сек	Эффект очистки в %	Количество нормального зерна в отходах в % (от веса отходов)	Средняя скорость воздушного потока в м/сек	Эффект очистки в %	Количество нормального зерна в отходах в % (от веса отходов)
4,4	25,3	0,54	5,2	52,7	5,30
4,7	37,0	1,25	5,7	68,2	22,00
4,9	44,8	1,65	6,1	88,0	26,00

Из табл. 12 видно, что по мере увеличения средней скорости воздушного потока возрастает эффект очистки, но увеличение скорости воздушного потока сопровождается повышением уноса нормального зерна в отходы.

Эффект очистки с повышением средней скорости воздушного потока увеличивается до известного предела, который в данном случае не был достигнут. Когда скорость воздушного потока превосходит указанный предел, зерно в канале переходит в «кипящее» состояние, при котором условия выделения примесей ухудшаются, а унос нормального зерна в отходы резко возрастает.

Предельная скорость воздушного потока зависит от начальной скорости частиц сепарируемого материала, зерновой нагрузки, ширины канала и равномерности воздушного потока, при $\omega_0 = 0,3$ м/сек она равна 6,5—8,5 м/сек. Меньшее из указанных значений предельной скорости относится к зерновым нагрузкам больше 200 кг/см·час, а большее — к зерновым нагрузкам 50—200 кг/см·час.

Расчетная скорость воздушного потока должна быть несколько меньше предельной, и при ее выборе следует учитывать допустимую в данных условиях норму содержания зерна в отходах (табл. 12).

Равномерность воздушного потока в пневмосепарирующих каналах

Исследование процесса сепарирования зерна в пневмосепарирующих каналах показывает, что эффективность этого процесса в значительной степени зависит от равномерности воздушного потока.

Под равномерностью потока понимаем степень различия скоростей воздушного потока в отдельных точках поперечного сечения пневмосепарирующего канала.

Обычно равномерность потока характеризуется графически полем скоростей этого потока. Однако этой характеристики недостаточно, когда нужно сравнивать равномерность различных потоков или одного потока при различных условиях и, следовательно, нужен какой-либо объективный показатель равномерности. Поэтому при определении неравномерности в описанных ниже опытах пользовались одним из методов вариационной статистики, позволяющей численно оценивать степень равномерности потока по коэффициенту вариации Φ :

$$\Phi = \frac{\sigma}{u_{cp}} 100 \%,$$

где σ — среднее квадратическое отклонение скоростей в отдельных точках от средней скорости воздушного потока в м/сек;

u_{cp} — средняя скорость воздушного потока в канале в м/сек.

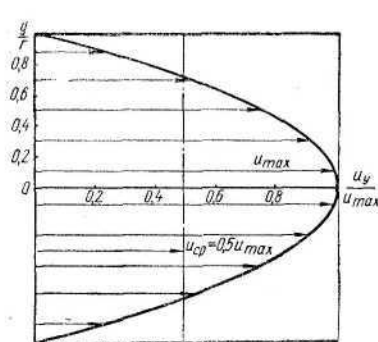
Коэффициент вариации является показателем степени отклонения скоростей потока в отдельных точках поперечного сечения канала от средней скорости в этом сечении.

Чем больше коэффициент вариации, тем больше отклоняются значения скоростей в отдельных точках от средней скорости и, сле-

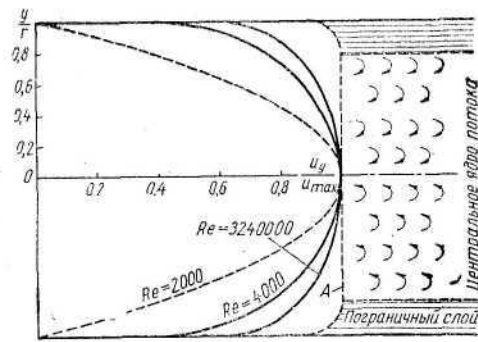
довательно, тем больше неравномерность потока. Коэффициент вариации, равный нулю, характеризует поток при его полной равномерности; поле скоростей такого потока представляет собой прямую линию.

На равномерность воздушного потока влияют несколько факторов, одним из них является режим воздушного потока, зависящий от вязкости воздуха, его скорости и размеров воздухопроводящего канала.

С изменением сочетания указанных величин меняются режим воздушного потока и его равномерность. При относительно небольших



Фиг. 24. Поле скоростей ламинарного потока.



Фиг. 25. Поле скоростей турбулентного потока.

скоростях воздушного потока и малых размерах сечения канала наблюдается параллельно-струйчатый (ламинарный) поток, поле скоростей которого представляет собой параболу (фиг. 24). Ламинарный поток отличается значительной неравномерностью; средняя скорость потока равна половине его максимальной скорости. В остальных случаях наблюдается вихревой (турбулентный) поток (фиг. 25), который состоит из сравнительно тонкого пограничного слоя и ядра потока. В пограничном слое движение воздушного потока имеет характер ламинарного потока, в ядре потока движение вихревое, в результате этого происходит перемешивание слоев воздуха и выравнивание его скоростей. Турбулентный поток отличается большей равномерностью по сравнению с ламинарным.

Зная среднюю скорость воздушного потока u_{cp} , диаметр воздухопровода D и коэффициент кинематической вязкости ν , определяем характер потока, пользуясь критерием Рейнольдса Re :

$$Re = \frac{u_{cp} D}{\nu},$$

где u_{cp} — средняя скорость воздушного потока в м/сек;
 D — диаметр воздухопровода в м;
 ν — коэффициент кинематической вязкости в м²/сек.

Для стандартного воздуха, характеризуемого следующими показателями: температурой +20° С, барометрическим давлением 760 мм рт. ст., относительной влажностью 50 %, критерий Рейнольдса выражаем

$$Re = \frac{uD}{\nu} = \frac{uD}{15 \cdot 10^{-6}} = 66\,666\, uD \approx 67\,000\, uD.$$

Напишем критерий Рейнольдса применительно к воздухопроводам различной формы:

$$Re = \frac{u R_z}{\nu},$$

где R_z — гидравлический радиус воздухопровода.

Гидравлический радиус вычисляем по формуле

$$R_z = \frac{F}{p} \text{ м},$$

где F — площадь поперечного сечения воздухопровода в м²;

p — периметр воздухопровода в м.

Как показывают многочисленные опыты, величина $Re = 2320$ характеризует границу между ламинарной и турбулентной формами потока. При $Re < 2320$ поток является ламинарным, при $Re > 2320$ в большинстве случаев наблюдается турбулентный поток.

Поле скоростей турбулентного потока зависит от степени его турбулентности; с повышением турбулентности потока (увеличением Re) поле скоростей в центральной части выравнивается (фиг. 25).

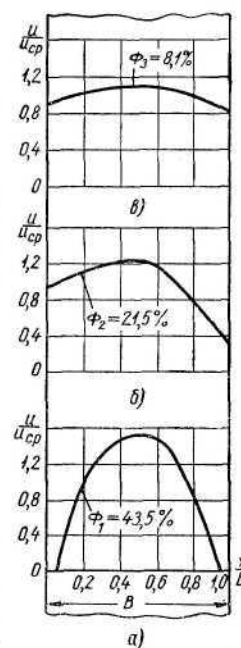
Воздушный поток в пневмосепарирующих каналах, как правило, является турбулентным.

Равномерность воздушного потока определяется также близостью тех или иных фасонных частей воздухопроводов; вблизи от входа в воздухопровод поле скоростей зависит от конструкции входного отверстия.

На графиках фиг. 26 показаны три поля скоростей воздушного потока в прямоугольном пневмосепарирующем канале шириной $B = 130$ мм.

Канал, изготовленный из деревянных щитов толщиной 20 мм, имеет входное отверстие прямоугольной формы без коллектора.

Скорости воздушного потока измерены на различной высоте от входа в канал; во время измерений зерно в канал не поступало.

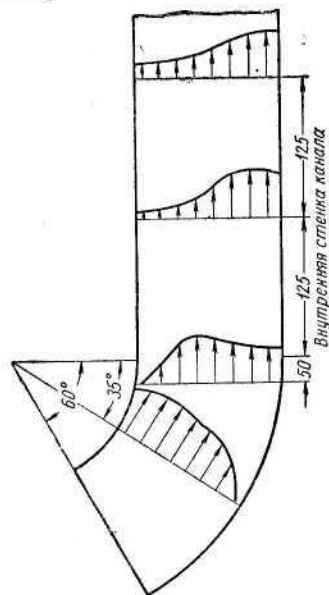


Фиг. 26. Поля скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале, измеренные на разной высоте H от ввода в канал:

а — $H = 100$ мм;
 б — $H = 200$ мм;
 в — $H = 400$ мм.

Из рассмотрения полей скоростей (фиг. 26) можно заключить, что в начале воздухопровода (на высоте 100 мм от входа) поле характеризуется значительной неравномерностью ($\Phi_1 = 43,5\%$, фиг. 26, а), которая по мере удаления от входа в канал уменьшается ($\Phi_2 = 21,5\%$, фиг. 26, б и $\Phi_3 = 8,1\%$, фиг. 26, в).

Существенное влияние на поле скоростей оказывает наличие у воздухопровода колена или отвода, особенно, если они расположены перед сечением, в котором производится измерение скоростей.



Фиг. 27. Поля скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале, имеющем отвод при входе.

На схеме фиг. 27 показано изменение полей скоростей в пневмосепарирующем канале, измеренных на различном расстоянии от начала отвода, изогнутого под углом 60° .

В пневмосепарирующих каналах к перечисленным факторам, влияющим на равномерность воздушного потока, добавляется еще один — движущееся в канале зерно.

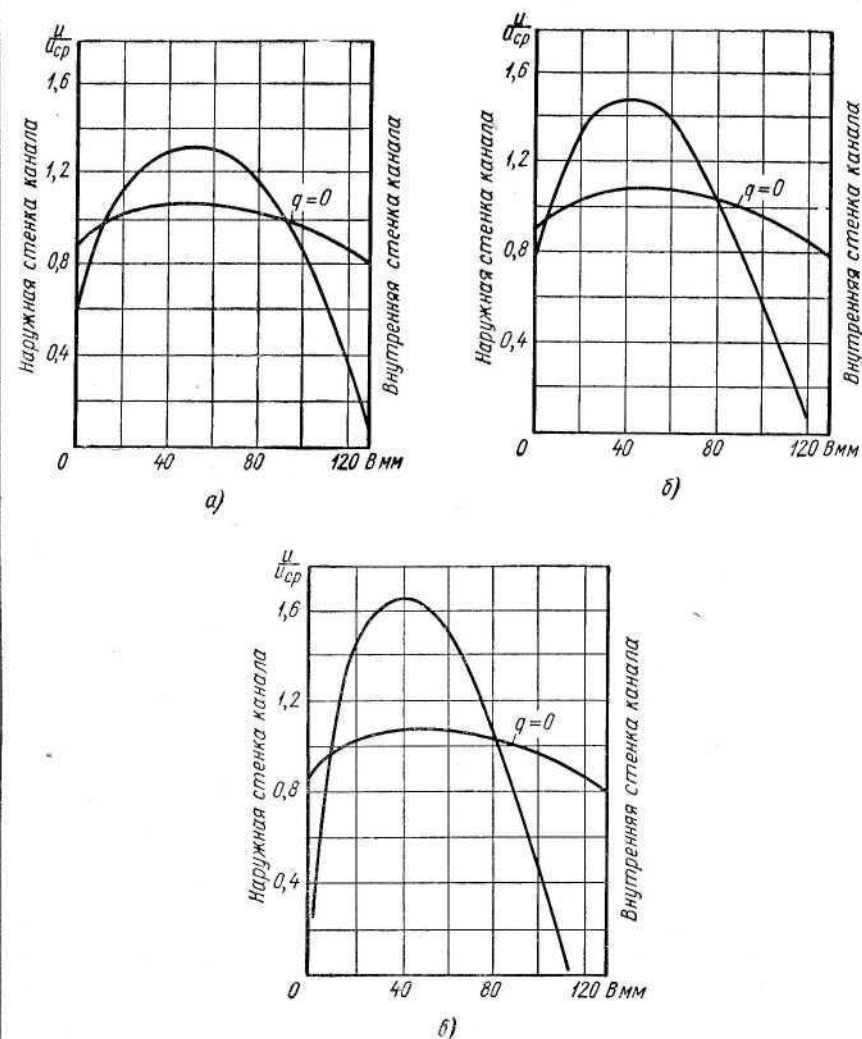
На графике фиг. 28 изображены поля скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале шириной 130 мм при отсутствии в нем зерна ($q = 0$) и во время очистки при различных значениях зерновой нагрузки, показывающие, как изменяются скорости по ширине канала.

Как видно из графиков, поступление зерна в канал в значительной степени изменяет поле скоростей: происходит резкое уменьшение скоростей у внутренней стенки, несколько меньшее у наружной стенки, а в центральной части канала скорости увеличиваются.

Чем больше зерновая нагрузка, тем более резко снижаются скорости у стенок канала, особенно у внутренней стенки, следовательно, тем больше неравномерность поля скоростей. По мере увеличения зерновой нагрузки коэффициент вариации поля скоростей по ширине канала увеличивается (табл. 13). Это свидетельствует об ухудшении равномерности потока.

По длине канала изменение поля скоростей носит обратный характер: с вводом зерна в канал коэффициент вариации уменьшается, наблюдается выравнивание поля скоростей. Последнее происходит при условии, что толщина зернового потока равномерна по длине канала.

Рассмотрим причины, вызывающие изменение поля скоростей воздушного потока по поперечному сечению канала при поступлении в него зерновой струи,



Фиг. 28. Поле скоростей воздушного потока в пневмосепарирующем канале при различной зерновой нагрузке:

а — $q = 50 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$; б — $q = 100 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$;
в — $q = 200 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$.

Имея различные аэродинамические свойства, зерна сепарируемого материала движутся по различным траекториям, образуя веерообразную струю переменной, по ширине канала, скважности.

Таблица 13

Коэффициенты вариации Φ поля скоростей
в пневмосепарирующем канале
при различной зерновой нагрузке

q в кг/см·час	Φ в %	
	по ширине канала	по длине канала
0	8,1	20,2
50	32,5	—
100	44,7	0
200	56,5	4,7

На схеме фиг. 29 показана зерновая струя при нагрузке 100 кг/см·час, средней скорости воздуха 6,0 м/сек в канале шириной 100 мм.

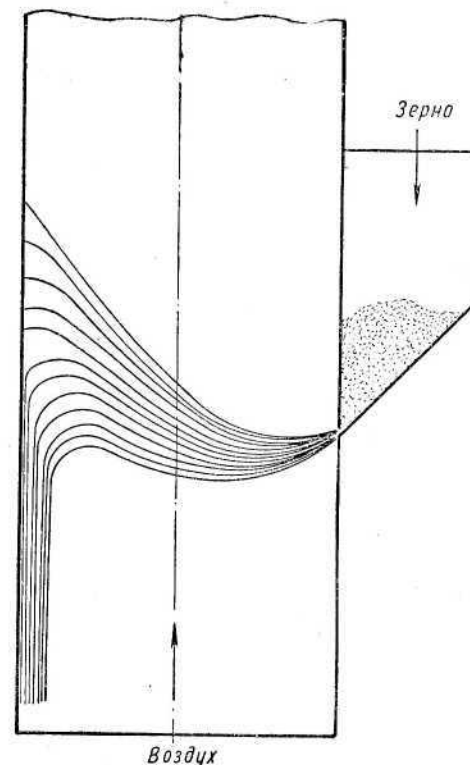
Наименьшую скважность (наибольшую плотность) зерновая струя имеет у внутренней стенки канала в момент входа. Далее по мере продвижения ее к наружной стенке канала скважность зерновой струи увеличивается. После удара о наружную стенку основная масса зерна движется вниз, образуя у наружной стенки плотный слой, имеющий при большой зерновой нагрузке (100—200 кг/см·час) толщину 20 мм.

В связи с различной скважностью зерновой струи сопротивление ее неодинаково по ширине канала: оно имеет наименьшую величину в центральной части и увеличивается по направлению к стенкам канала. В результате этого статическое давление воздушного потока у стенок перед зерновой струей возрастает, а в центральной части падает. Появляется градиент давления, имеющий направление от стенок к центральной части канала. Соответственно изменяются и скорости воздушного потока, которые (по уравнению Бернулли) получают максимальное значение в центральной части и уменьшаются по направлению к стенкам канала. Более резко снижение скорости происходит по направлению к внутренней стенке.

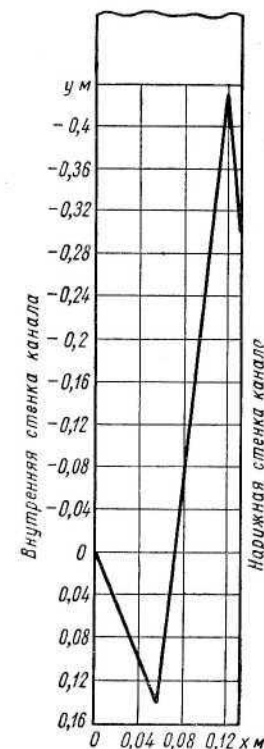
Отмеченное ранее выравнивание поля скоростей по длине канала произошло в связи с равномерным распределением зерна вдоль канала. Однако питающие устройства большинства сепараторов не обеспечивают равномерной подачи зерна по длине канала. Это приводит к нарушению равномерности воздушного потока и по длине канала.

Рассмотрим значение степени равномерности воздушного потока для процесса сепарирования на примере движения частицы в неравномерном воздушном потоке, поле скоростей которого приведено на графике фиг. 28 ($q = 50$ кг/см·час).

Пусть начальными данными движения частицы будут $\omega_0 = 0,3$ м/сек, $\varphi = 30^\circ$, скорость витания частицы $c = 5,9$ м/сек, а средняя скорость воздушного потока $u_{cp} = 6$ м/сек, тогда траектория



Фиг. 29. Зерновая струя в пневмосепарирующем канале.



Фиг. 30. Траектория частицы в неравномерном воздушном потоке.

частицы, вычисленная по методу, описанному ранее, будет иметь вид, показанный на фиг. 30. В табл. 14 приведены величины абсолютной скорости этой частицы и ее проекции на оси x и y .

Данные табл. 14 показывают, что вначале частица движется вниз не замедленно, как это имеет место при равномерном воздушном потоке, а ускоренно за счет увеличения вертикальной составляющей скорости, и скорость ее на расстоянии 32 мм от внутренней стенки достигает величины 0,73 м/сек. Происходит это вследствие того, что скорости воздушного потока здесь меньше скорости витания частицы. Далее частица попадает в полосу воздушного потока,

где скорости потока значительно превышают скорость витания частицы. Последняя быстро теряет приобретенную ею скорость, меняет направление движения и начинает двигаться вверх по каналу. На некотором расстоянии от наружной стенки частица вновь попадает

Таблица 14

Абсолютные скорости частицы при ее движении в канале

Расстояние от начала координат по оси x в м	w в м/сек	w_x в м/сек	w_y в м/сек	Расстояние от начала координат по оси x в м	w в м/сек	w_x в м/сек	w_y в м/сек
0,000	0,300	0,2584	0,150	0,096	1,323	0,0776	-1,320
0,016	0,730	0,2495	0,684	0,112	0,832	0,0533	-0,830
0,032	0,736	0,2079	0,706	0,118	0,244	0,0462	-0,243
0,048	0,339	0,1690	0,294	0,124	0,293	0,0385	0,292
0,064	0,387	0,1370	-0,362	0,130	—	0,0299	—
0,080	0,429	0,1009	-1,424				

в полосу скоростей воздуха ниже скорости витания зерна и поэтому, вновь меняя направление движения, движется вниз, попадает в поток сепарируемого материала и выносится с ним из канала.

Таким образом, частица, пересекая канал шириной 130 мм при средней скорости воздушного потока в нем, превышающей скорость витания, не будет выделена лишь вследствие неравномерности воздушного потока.

Анализ движения частицы проведен без учета увеличения скорости воздушного потока в межзерновом пространстве струи сепарируемого материала, ударов частиц одна о другую и некоторых других факторов ввиду сложности и неизученности этих явлений. Поэтому в реальных условиях траектории частиц отличаются от построенной, особенно в начальный момент движения.

Однако проведенный анализ облегчает понимание явлений, происходящих в пневмосепарирующем канале. Наблюдения за процессом сепарирования и скоростная съемка этого процесса показывают, что при неравномерном воздушном потоке действительно наблюдается выпадение уже выделенных из зерна частиц как у наружной, так и у внутренней стенок канала, где скорости воздушного потока ниже средней величины.

Наличие же повышенных скоростей воздуха в центральной части канала приводит к увеличению уноса в отделитель примесей нормальных зерен.

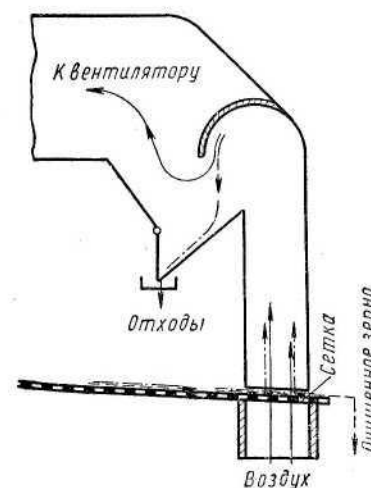
Следовательно, неравномерность воздушного потока вызывает ухудшение эффекта и четкости сепарирования и является отрицательным явлением.

Основным средством для выравнивания поля скоростей по длине канала, как уже указывалось раньше, является равномерное распределение зерна по длине канала. Такое распределение должен обеспечивать питающий механизм канала.

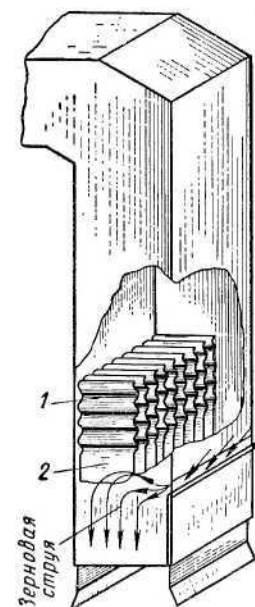
Для выравнивания поля скоростей по ширине канала требуется применение специальных устройств. Этой же цели следует подчинить конструкцию нижней части канала, по которой воздушный поток подводится к зерновой струе.

Известным способом выравнивания воздушного потока в воздухопроводах является установка в них сеток.

Делали попытки выравнивать воздушный поток при помощи сеток и в пневмосепарирующих каналах. Для этой цели в канале на уровне поступления зерна устанавливали сетку, по которой зерно перемещалось от внутренней к наружной стенке канала (фиг. 31). Однако практика показала, что такой способ выравнивания не дает удовлетворительного результата.



Фиг. 31. Схема пневмосепарирующего канала с сеткой для выравнивания поля скоростей воздушного потока.



Фиг. 32. Пневмосепарирующий канал с решеткой из гофрированных пластин для выравнивания поля скоростей воздушного потока:

1 — гофры; 2 — гладкая часть пластины.

Для выравнивания воздушного потока в пневмосепарирующих каналах успешно применяются решетки, состоящие из гофрированных пластин, которые устанавливаются в канале над зерновой струей в непосредственной близости от нее.

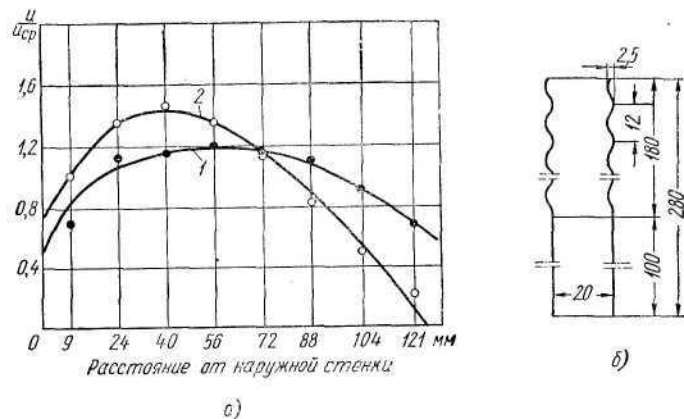
Решетка оказывает дополнительное сопротивление воздушному потоку; установленная над той частью зерновой струи, которая имеет наибольшую скважность, она выравнивает сопротивление струи по ширине канала, предупреждая изменение поля скоростей.

На фиг. 32 показана выравнивающая решетка, состоящая из гофрированных пластин. Каждая пластина состоит из двух частей:

гофрированной и гладкой. Решетку устанавливают в канале таким образом, чтобы гофрированная часть пластин оказалась над зерновой струей на расстоянии 10—20 мм. Гладкая часть пластин пересекается зерновой струей.

Размеры каждой пластины: высоту h ее гофрированной части, ширину b , шаг (расстояние между пластинами) c и размеры каждого гофра: высоту k и шаг t выбирают в зависимости от характера поля скоростей и степени его неравномерности.

Отсутствие метода расчета решеток приводит к необходимости производить выбор указанных размеров экспериментальным путем.



Фиг. 33. Поля скоростей в пневмосепарирующем канале с решеткой № 1:

a — поля скоростей; b — размеры решетки; 1 — с решеткой ($\Phi = 20\%$); 2 — без решетки ($\Phi = 41,2\%$).

Рассмотрим результаты испытаний нескольких решеток, предназначенных для выравнивания поля скоростей в пневмосепарирующем канале шириной 130 мм при зерновой нагрузке 100 кг/см·час.

Испытывали решетки с высотой гофра k , равной 2,5; 4 и 10 мм, шагом гофра t , равным 12; 20 и 33 мм, и шагом c пластин, равным 20 и 40 мм. Высота гофрированной части решетки во всех случаях была равна 180 мм, а ширина решетки $b = \frac{2}{3} B$ (где B — ширина канала).

Высоту h выбирали исходя из конструктивных соображений, а ширину b — исходя из характера поля скоростей, которое подлежало выравниванию.

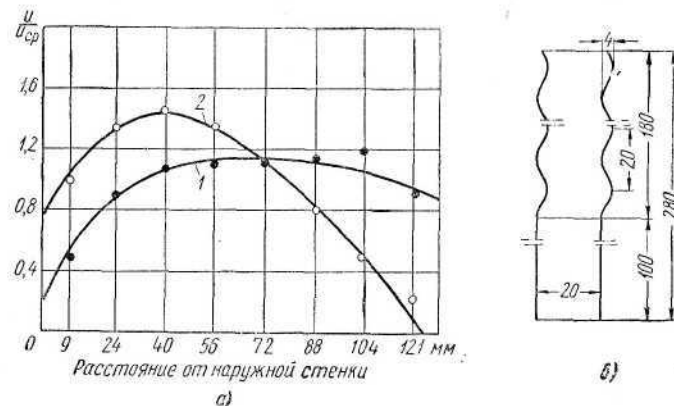
Результаты опытов приведены на графиках фиг. 33—37. На каждом графике показаны кривые, представляющие собой поля скоростей в пневмосепарирующем канале без решетки и при наличии решетки в канале.

Рассмотрим последовательно действие каждой решетки.

Решетка № 1 (фиг. 33) состоит из пластин с мелким невысоким гофром ($k = 2,5$ мм, $t = 12$ мм). Шаг пластин c равен 20 мм.

Решетка улучшает выравнивание поля скоростей.

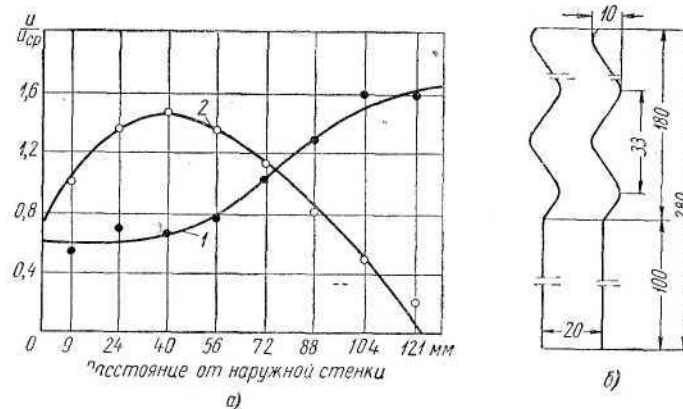
Однако неравномерность его остается еще значительной и характеризуется коэффициентом вариации $\Phi = 20\%$. Для сравнения ука-



Фиг. 34. Поля скоростей в пневмосепарирующем канале с решеткой № 2:

a — поля скоростей; b — размеры решетки; 1 — с решеткой ($\Phi = 21,2\%$); 2 — без решетки ($\Phi = 41,2\%$).

жем, что при отсутствии в канале зерна поле скоростей характеризовалось коэффициентом вариации $\Phi = 8,2\%$, а при очистке зерна и отсутствии решетки коэффициентом $\Phi = 41,2\%$.

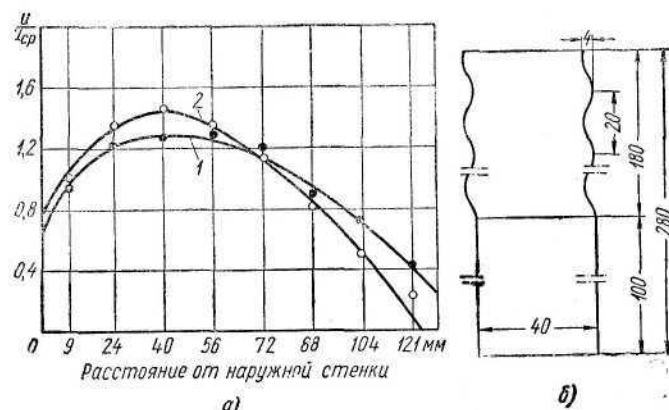


Фиг. 35. Поля скоростей в пневмосепарирующем канале с решеткой № 3:

a — поля скоростей; b — размеры решетки; 1 — с решеткой ($\Phi = 40\%$); 2 — без решетки ($\Phi = 41,2\%$).

Решетка № 2 (см. фиг. 34) выполнена из пластин с более крупным гофром ($k = 4$ мм; $t = 20$ мм). Шаг пластин равен 20 мм, как у решетки № 1.

Под воздействием этой решетки поле скоростей у внутренней стенки выравнивается, но зато наблюдается падение скоростей у наружной стенки.

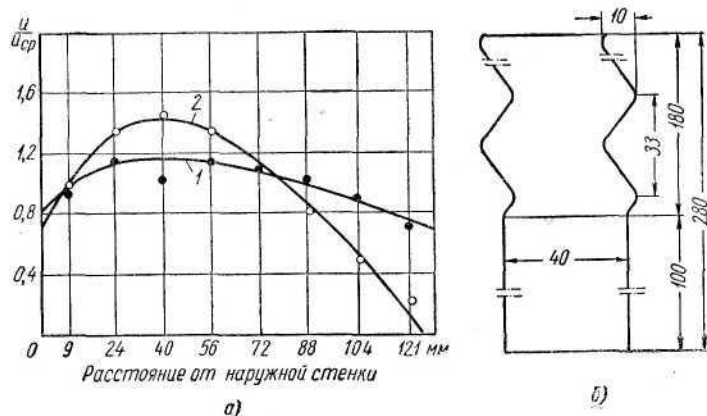


Фиг. 36. Поля скоростей в пневмосепарирующем канале с решеткой № 4:

a — поля скоростей; *b* — размеры решетки;
1 — с решеткой ($\Phi = 28,4\%$); 2 — без решетки ($\Phi = 41,2\%$).

Коэффициент вариации Φ поля скоростей при этой решетке равен $21,2\%$.

Решетка № 3 (фиг. 35) имеет пластины с крупным гофром ($k = 10$ мм; $t = 33$ мм). Шаг пластин по-прежнему равен 20 мм.



Фиг. 37. Поля скоростей в пневмосепарирующем канале с решеткой № 5:

a — поля скоростей; *b* — размеры решетки;
1 — с решеткой ($\Phi = 4,8\%$); 2 — без решетки ($\Phi = 41,2\%$).

Эта решетка оказывает столь сильное воздействие на поле скоростей, что при выходе из нее поле оказывается «перевернутым»,

т. е. искривленным в противоположную сторону по сравнению с полем, полученным без решетки. Коэффициент вариации поля скоростей становится равным 40% .

Следует заметить, что решетки № 1 и № 2 также оказывают «перевертывающее» действие на поле скоростей, но меньшее, чем решетка № 3.

Решетка № 4 (фиг. 36) отличается от решетки № 2 шагом s пластин, который у решетки № 4 равен 40 мм.

В связи с увеличением шага пластин выравнивающий эффект этой решетки несколько ухудшился: коэффициент вариации поля скоростей стал равным $28,4\%$ по сравнению с коэффициентом вариации, равным $21,2\%$ у решетки № 2.

Решетка № 5 (фиг. 37) имеет такие же гофры, как решетка № 3, и отличается от последней шагом пластин, который равен 40 мм.

Применение решетки № 5 дает наилучший эффект выравнивания поля скоростей. Коэффициент вариации поля скоростей при этом равен $4,8\%$, что может быть признано достаточно высоким показателем равномерности воздушного потока.

Если сравнить первые три решетки, которые отличаются друг от друга размерами гофров, то окажется, что при шаге пластин, равном 20 мм, увеличение размеров гофров ухудшает выравнивающий эффект (табл. 15).

Таблица 15

Коэффициент Φ вариации поля скоростей
для решеток с шагом пластин $s = 20$ мм
в зависимости от размеров гофров

№ решетки	Размеры гофров в мм		Φ в %
	k	t	
1	2,5	12	20,0
2	4	20	21,2
3	10	33	40,0

Сравнение последних двух решеток (табл. 16) показывает, что при шаге пластин $s = 40$ мм не наблюдается явления «перевертывания» поля, выравнивание поля достигается за счет увеличения скоростей у внутренней стенки и их снижения в центральной части канала. При этом не происходит снижения скоростей у наружной стенки, как это наблюдалось у первых трех решеток.

Применяя пластины с шагом, равным 40 мм, можно, изменяя размеры гофров, достичь удовлетворительного эффекта выравнивания поля.

Мы рассмотрели частный случай подбора решетки для канала шириной 130 мм при зерновой нагрузке 100 кг/см·час. Однако отсюда следует, что при нагрузках 100 кг/см·час и более не следует выбирать пластины с шагом менее 40 мм, а размеры гофров меньше, чем в решетке № 5.

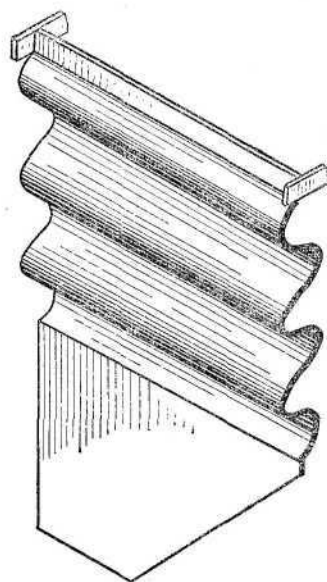
Наилучшим образом подбор выравнивающих решеток может быть произведен экспериментальным путем с помощью макета пневмосепарирующего канала.

Таблица 16

Коэффициент Φ вариации поля скоростей
для решеток с шагом пластин $s = 40$ мм
в зависимости от размеров гофров

№ решетки	Размеры гофров в мм		Φ в %
	k	t	
4	4	20	28,4
5	10	33	4,8

Опыт применения решеток с пластинами, не имеющими гладкой части, показал, что при этом под решеткой, расположенной выше зерна, накапливаются соломистые примеси, длина которых больше шага пластин. Для их отделения от решеток приходится время от времени выключать вентилятор. При наличии у пластин гладкой части указанного явления не наблюдается. Объясняется это тем, что при входе соломистых примесей в промежутки между пластинами часть из них задерживается у передней кромки пластин и остается в той части канала, которая не заполнена решеткой, и поэтому беспрепятственно уносится воздухом.



Фиг. 38. Пластина выравнивающей решетки со скошенной нижней частью.

Примеси, которые проникают в промежутки между пластинами, выделяются воздухом или уносятся вместе с зерном.

Нижняя гладкая часть пластин может быть скошена, как показано на фиг. 38. Высоту гладкой части пластины принимают равной 120—150 мм.

Некоторое выравнивание поля скоростей может быть достигнуто, если нижняя часть канала будет выполнена в виде отвода с небольшим прямым участком, следующим за ним. Отвод должен быть обращен наружной (выпуклой) стороной к внутренней стенке канала.

При входе в отвод под действием центробежных сил увеличивается статическое давление воздушного потока у наружной стенки отвода. В результате увеличения статического давления в этом месте происходит снижение динамического давления и соответственно скорости

воздушного потока; у внутренней стенки отвода происходит уменьшение статического давления, которое сопровождается увеличением скорости воздушного потока. Обратная картина наблюдается при выходе из отвода в прямой участок. Изменение поля скоростей можно проследить по схеме фиг. 27, на которой изображен пневмосепарирующий канал с отводом; силы инерции, вызывающие деформацию поля скоростей в прямом участке этого канала после отвода, действуют в направлении, противоположном градиенту давления, возникающему вследствие различной скважности зерна. Если эти силы совместить в одной плоскости, то можно добиться уменьшения или полного устранения явления деформации поля скоростей.

Радиус кривизны отвода и высота прямого участка, следующего за ним, могут быть определены лишь экспериментально в зависимости от ширины канала, зерновой нагрузки и др. Для каналов шириной 100—200 мм можно рекомендовать высоту прямого участка равной 130—180 мм, а радиус кривизны отвода равным $1,5B$ (где B — ширина канала). Угол поворота отвода не должен препятствовать выводу зерна из канала. Вместо плавного отвода может быть применено колено с острыми кромками.

Из изложенного следует, что размеры и конструкция нижней части канала должны благоприятствовать выравниванию поля скоростей воздушного потока.

ФОРМА И КОНСТРУКЦИЯ ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИХ КАНАЛОВ

В существующих воздушных сепараторах встречаются пневмосепарирующие каналы трех форм: прямоугольной, цилиндрической и кольцевой.

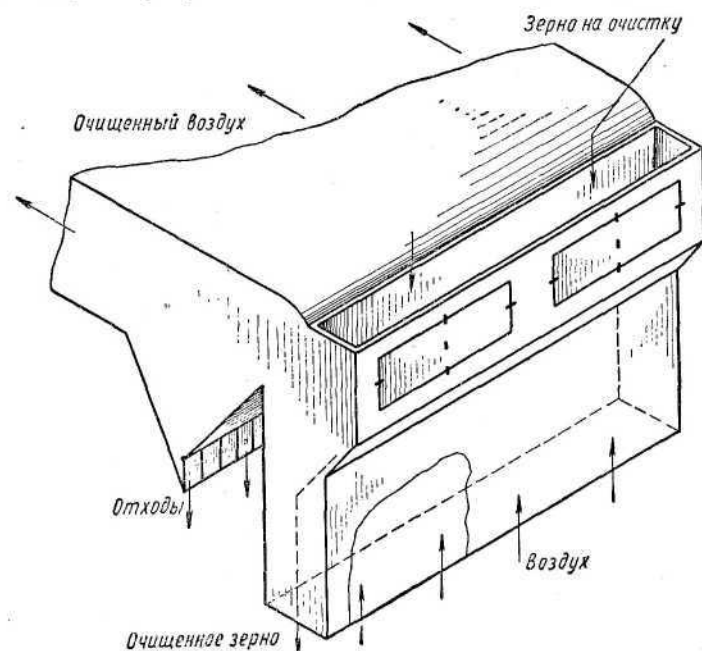
Пневмосепарирующие каналы прямоугольной формы (фиг. 39) преобладают в современных машинах, схема такого канала рассмотрена в разделе «Общее устройство и классификация воздушных сепараторов» при описании воздушно-ситового сепаратора.

Примером пневмосепарирующего канала цилиндрической формы может служить воздушный сепаратор, схема которого изображена на фиг. 40. Канал представляет собой вертикальную цилиндрическую трубу 4, нижнее отверстие которой с помощью диффузора 2 соединяется с вентилятором 1. На выходном отверстии диффузора установлена проволочная сетка 10. Зерно по лотку 9 поступает на сетку; перемещаясь по сетке, оно продувается воздушным потоком и выводится из канала по лотку 3.

В верхней части машины помещена осадочная камера 6 цилиндрической формы, расположенная концентрично каналу. Внутри осадочной камеры над верхним отверстием канала установлен конус 7, который отклоняет воздушный поток к стенкам камеры. Наиболее тяжелые примеси выпадают в нижнюю часть камеры 6, из которой они выводятся по лотку 5. Воздух удаляется из машины через отверстие 8.

Схема и общий вид кольцевого пневмосепарирующего канала конструкции ВНИИЗ показаны на фиг. 41 и 42.

Кольцевой канал (фиг. 41) образуется двумя вертикальными концентрично расположенными цилиндрами: внутренним 1 и наружным 2. Нижнее отверстие внутреннего цилиндра закрыто коническим клапаном 5, который удерживается в закрытом положении пружиной 3, действующей на клапан с помощью рычага 4. Верхняя часть 6 наружного цилиндра имеет несколько больший диаметр, чем остальной цилиндр. Образующееся в верхней части расширение (коллек-



Фиг. 39. Пневмосепарирующий канал прямоугольной формы.

тор) способствует равномерному распределению воздуха по окружности канала.

Очистка зерна в канале происходит следующим образом. Зерно поступает во внутренний цилиндр и накапливается в нем до тех пор, пока его вес станет достаточным для того, чтобы преодолеть предварительное натяжение пружины 3 и опустить клапан. После открытия клапана зерно по окружности внутреннего цилиндра слоем равномерной толщины вытекает в кольцевой канал.

В дальнейшем клапан работает автоматически: чем больше подача зерна, тем ниже опускается клапан, пропуская большее количество зерна. После прекращения подачи клапан закрывается, удерживая во внутреннем цилиндре некоторое количество зерна. Образующийся во внутреннем цилиндре зерновой затвор препятствует подосу воздуха в канал из внутреннего цилиндра и способствует равномерному распределению зерна по окружности канала,

В кольцевом канале зерно продувается вертикальным восходящим потоком воздуха, затем выводится через нижнюю открытую часть канала, а воздух через отверстие в верхней части наружного цилиндра направляется в осадитель примесей. Прежде чем производить сравнительную оценку описанных конструкций пневмосепарирующих каналов, укажем условия, которым должна удовлетворять их конструкция:

а) непрерывность и равномерность толщины слоя зерна по всей длине канала;

б) выравненное поле скоростей воздушного потока по поперечному сечению канала;

в) одинаковые условия сепарирования всего поступающего в канал зерна;

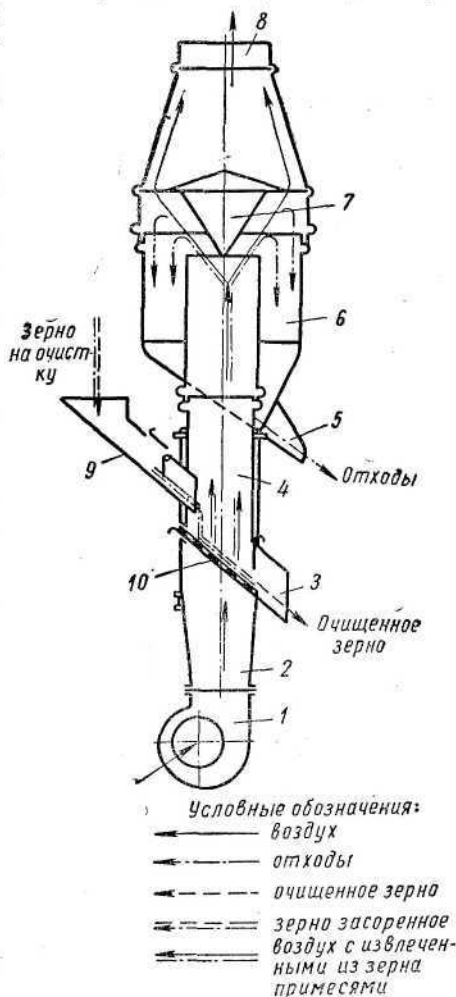
г) удобство регулирования производительности;

д) минимальные габариты;

е) удобство компоновки с остальными узлами сепаратора (воздухоочистителем и вентилятором).

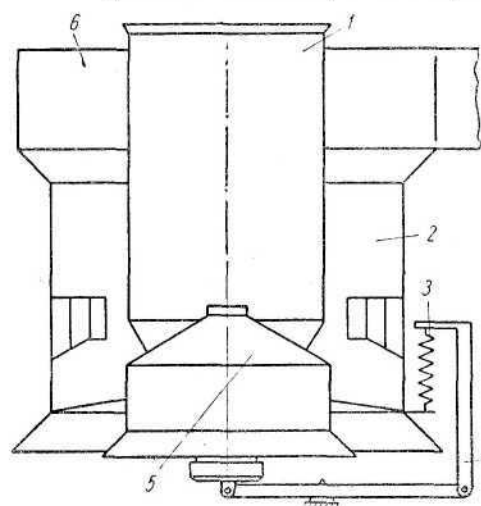
Для каналов прямоугольной формы очень трудно выполнить многие из перечисленных условий.

Трудно равномерно распределить зерно по длине прямоугольных каналов, особенно в машинах с большой производительностью, у которых длина пневмосепарирующих каналов достигает нескольких метров. В углах прямоугольных каналов создаются застойные, непродуваемые зоны, в которых скорость воздушного потока равна нулю, и, следовательно, часть зерна, проходящего в этих местах, не подвергается очистке. В прямоугольных каналах существующих конструкций не достигается герметичность в местах подачи зерна, вследствие чего происходит подсос воздуха, снижающий эффект очистки. Это особенно касается каналов второй продувки воздушно-ситовых сепараторов.



Фиг. 40. Схема воздушного сепаратора с цилиндрическим пневмосепарирующим каналом.

Существенный недостаток имеют каналы цилиндрической формы, в которых зерно, перемещаясь по наклонной сетке, проходит различный путь. Зерна, расположенные ближе к оси потока, проходят наибольший путь, они наиболее длительное время находятся под воздействием воздушного потока. Остальные частицы проходят более короткий путь, который уменьшается по мере удаления частицы от оси канала. Поэтому в каналах цилиндрической формы создаются различные условия очистки, зависящие от того, в каком месте зерно пересекает канал.



Фиг. 41. Схема кольцевого пневмосепарирующего канала конструкции ВНИИЗ.

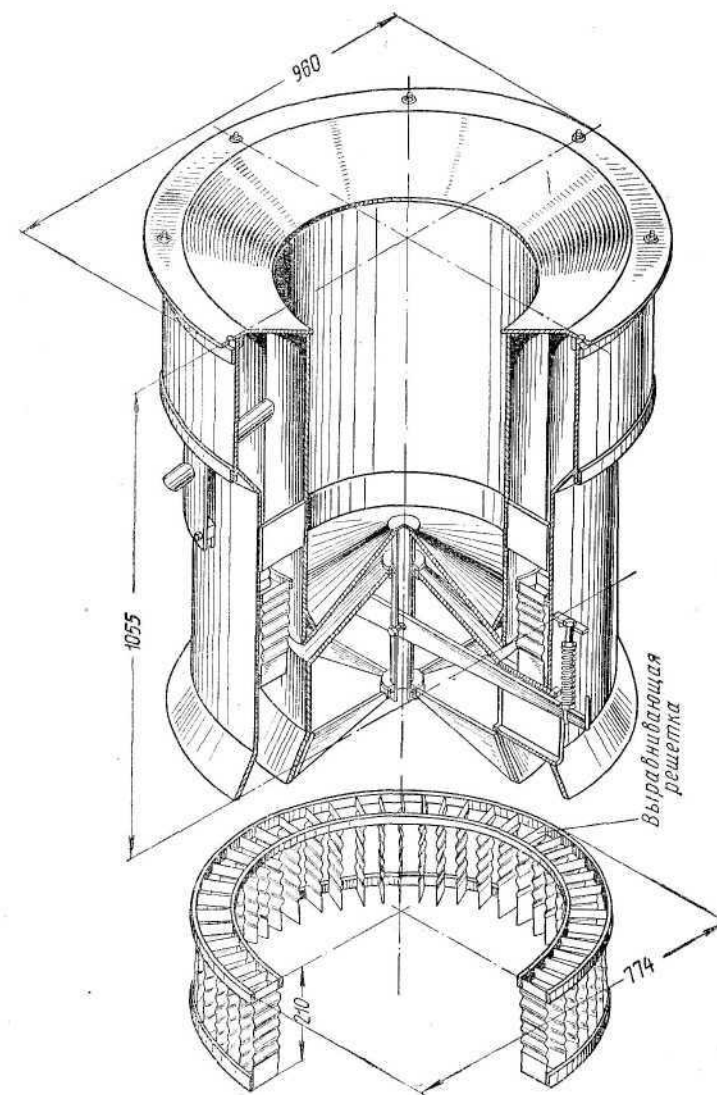
Наиболее полно удовлетворяют указанным выше условиям каналы кольцевой формы. В каналах такой формы можно сравнительно простыми средствами достичь равномерного распределения зерна и выравненного поля скоростей воздушного потока. В них легко достигается автоматическое изменение подачи зерна и соблюдение условий герметичности. Каналы кольцевой формы отличаются меньшими габаритами, их удобно компоновать с остальными узлами сепаратора.

При выборе формы канала следует учитывать и некоторые другие условия. Например, если проектируют воздушно-ситовый сепаратор небольшой производительности, у которого длина канала не превышает 500—700 мм, и зерно из канала поступает на сито, то прямоугольная форма пневмосепарирующего канала может оказаться предпочтительной. В этом случае не потребуется устройства для распределения зерна по ширине сита; прямоугольный канал обеспечит равномерную загрузку сита, а распределение зерна по длине самого канала не вызовет каких-либо затруднений.

Расчет и выбор размеров пневмосепарирующих каналов

Допустим, что поставлена задача сконструировать пневмосепарирующее устройство для очистки пшеницы производительностью $G = 20 \text{ т/час}$, с эффектом очистки не менее 50% и четкостью сепарирования, определяемой содержанием нормального зерна в отходах не выше 10% от их веса.

Для конструирования пневмосепарирующего канала этого, а также любого другого устройства необходимо определить следующие величины: длину L приемного фронта канала; ширину B канала;



Фиг. 42. Общий вид кольцевого пневмосепарирующего канала конструкции ВНИИЗ.

среднюю скорость u_{cp} воздушного потока в канале; общий расход Q воздуха в канале; высоту H_1 верхней части канала (расстояние от входа зерна в канал до перехода в устройство для очистки воздуха от примесей); высоту H_2 нижней части канала (от места входа воздуха в канал до входа в него зерна); длину s площадки разгона зерна перед вступлением его в канал; потерю давления H_k в канале.

Учитывая, что заданный эффект очистки η должен быть не ниже 50%, для расчетов принимает величину $\eta = 60\%$.

Согласно графику (см. фиг. 17), значение $\eta = 60\%$ может быть получено в каналах с различной шириной при различной зерновой нагрузке q .

1. Если $q_1 = 50 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ и $B_1 = 50 \text{ мм}$, то $L_1 = \frac{G}{q} = \frac{20\,000}{50} = 400 \text{ см}$ и $F_1 = B_1 L_1 = 0,05 \cdot 4 = 0,2 \text{ м}^2$.

2. Если $q_2 = 100 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ и $B_2 = 100 \text{ мм}$, то $L_2 = \frac{G}{q} = \frac{20\,000}{100} = 200 \text{ см}$ и $F_2 = B_2 L_2 = 0,1 \cdot 2 = 0,2 \text{ м}^2$.

3. Если $q_3 = 200 \text{ кг/см} \cdot \text{час}$ и $B_3 = 280 \text{ мм}$, то $L_3 = \frac{G}{q} = \frac{20\,000}{200} = 100 \text{ см}$ и $F_3 = B_3 L_3 = 0,28 \cdot 1 = 0,28 \text{ м}^2$.

Следовательно, по энергоемкости третий вариант наименее выгоден, так как в данном случае $F_3 > F_2 = F_1$ и, следовательно, расход воздуха будет наибольшим.

Остановившись на первых двух вариантах и принимая кольцевую форму канала, найдем его размеры.

Определим диаметры наружного D_n и внутреннего D_v цилиндров каналов:

$$D_{n1} = \frac{L_1}{\pi} + B_1 = \frac{400}{3,14} + 5 = 132 \text{ см};$$

$$D_{n2} = \frac{L_2}{\pi} + B_2 = \frac{200}{3,14} + 10 = 74 \text{ см};$$

$$D_{v1} = D_{n1} - 2B_1 = 132 - 10 = 122 \text{ см};$$

$$D_{v2} = D_{n2} - 2B_2 = 74 - 20 = 54 \text{ см}.$$

Сравнение расчетных размеров каналов показывает, что размеры канала второго варианта меньше размеров канала первого варианта. Поэтому останавливаемся на канале второго варианта и определяем остальные его размеры.

Принимаем $H_1 = 800 \text{ мм}$ и $H_2 = 150 \text{ мм}$. Так как нами принят канал кольцевой формы и отсос воздуха из него будет односторонним, необходимо верхнюю часть канала выполнить так, как это показано на чертеже фиг. 41.

Размеры верхней, расширенной части канала, должны отвечать следующим соотношениям: диаметр $D_p = 1,25 \div 1,5 D_n$; высота $H_p = 0,25 H_1$.

Принимаем $D_p = 1,25 \times 74,0 = 92,5 \text{ см}$ и $H_p = 0,25 \times 80 = 20 \text{ см}$.

Приняв угол наклона образующей конуса клапана к горизонту $\varphi = 40^\circ$ и задавшись величиной скорости зерна при входе в канал $w_0 = 0,3 \text{ м/сек}$, определяем, исходя из формулы

$$w_0 = \sqrt{2gs (\sin \varphi - f \cos \varphi) + v_0^2},$$

длину пути зерна по коническому клапану до входа его в канал.

Зная, что в нашем случае $v_0 = 0$, и принимая $f = 0,5$, получаем

$$s = \frac{w_0^2}{2g (\sin \varphi - f \cos \varphi)} = \frac{0,3^2}{2 \cdot 9,81 (\sin 40^\circ - 0,5 \cos 40^\circ)} = 0,02 \text{ м}.$$

Определение расхода воздуха в пневмосепарирующих каналах и их сопротивления

Определяем расход воздуха в канале $Q = u_{cp} \cdot F \cdot 3600$.

Среднюю скорость воздушного потока u_{cp} выбираем, пользуясь табл. 12.

Для того, чтобы содержание нормального зерна в отходах не превышало 10% от веса отходов, а эффект очистки был не менее 50%, скорость u_{cp} должна быть равной 5,5 м/сек, тогда $Q = 5,5 \cdot 0,2 \cdot 3600 = 3960 \text{ м}^3/\text{час}$.

Потеря давления H_k в кольцевых пневмосепарирующих каналах складывается из следующих элементов:

- потери давления ΔH_k в канале,
- потери давления ΔH_s в зерновой струе;
- потери давления ΔH_p в выравнивающей решетке

$$H_k = \Delta H_k + \Delta H_s + \Delta H_p.$$

В результате опытов установлено, что с достаточной для практики точностью можно определить величины ΔH_k и ΔH_s по следующим формулам:

$$\Delta H_k = 0,1 u_k^2; \quad \Delta H_s = 0,13 \frac{q u_k^2}{B},$$

где u_k — средняя скорость воздушного потока в канале в м/сек.

Величина ΔH_p зависит от конструкции решетки, ее размеров, размеров гофров, шага пластин и др. и может быть определена экс-

периментальным путем в каждом отдельном случае. Потеря давления в выравнивающих решетках (см. фиг. 37), применяемых в зерноочистительных машинах конструкции ВНИИЗ (ЗА-40; ВО-40; ПЗС-10; ЗС-100) при средней скорости воздушного потока в канале $u_k = 5,0 \div 6,0$ м/сек, находится в пределах $3\text{--}5$ кг/м².

Таким образом, потерю давления в кольцевых пневмосепарирующих каналах определяем:

$$H_k = 0,1u_k^2 + 0,13 \frac{qu_k^2}{B} + \Delta H_p = 0,1 \cdot 5,5^2 + 0,13 \frac{100 \cdot 5,5^2}{100} + 5 = 11,9 \text{ кг/м}^2.$$

ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛИ

В воздушном потоке, прошедшем через зерновую струю, находятся во взвешенном состоянии частицы, выделенные из зерновой смеси. Эти частицы необходимо отделить от воздушного потока, собрать и удалить из машины. Задача осложняется тем, что воздух содержит относительно крупные частицы (щуплые и битые зерна основной культуры, семена сорных растений, частицы соломы), выделение которых не представляет значительных трудностей, и тонкодисперсную пыль, для отделения которой требуется применение наиболее совершенных пылеотделителей.

Поэтому в большинстве случаев воздухоочистители зерновых сепараторов имеют двухступенчатую схему: в первой ступени отделяются тяжелые и крупные частицы, во второй ступени воздух очищается от пыли.

Для осаждения примесей в первой ступени очистки применяют осадочные камеры, циклоны и сетчатые инерционные отделители, для очистки воздуха от пыли во второй ступени — всасывающие и нагнетательные матерчатые фильтры, наиболее совершенные циклоны и инерционные жалюзийные пылеотделители.

ОСАДОЧНЫЕ КАМЕРЫ

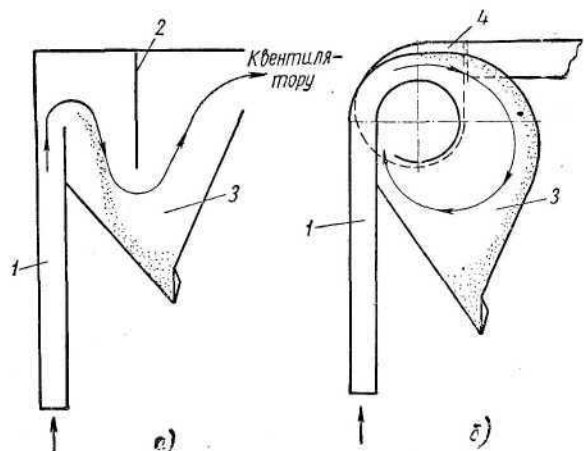
Осадочная камера (фиг. 43) представляет собой емкость, в которой скорость воздушного потока снижается до $1\text{--}2$ м/сек. Вследствие снижения скорости воздушного потока силы сопротивления, действующие на частицы, становятся меньше, чем силы тяжести, и поэтому они опускаются в нижнюю часть камеры, имеющую приспособление для вывода осажденных частиц из машины.

Улучшению осаждения частиц способствуют форма и конструкция осадочной камеры, благодаря которым воздух внутри камеры резко изменяет направление движения, а возникающие при этом силы инерции способствуют осаждению частиц.

Из применяемых в настоящее время осадочных камер можно отметить осадочные камеры двух конструкций. В камере первой конструкции (фиг. 43, а) для изменения направления движения воздуха установлены перегородки. В камере второй конструкции (фиг. 43, б) воздух обтекает установленную в камере трубу и всасывается внутрь этой трубы через продольную щель.

Конструкторы отдают предпочтение камере последней конструкции, якобы более эффективной. Однако достаточно обоснованных данных, подтверждающих большую эффективность этой камеры, пока нет. Нет также методики расчета осадочных камер.

Осадочные камеры являются простейшими аппаратами для осаждения примесей (выделенных воздухом из зерна), способными задерживать лишь 70—80% этих частиц. Поэтому их применяют как первую ступень очистки воздуха, в комплексе с более эффективными пылеотделителями.



Фиг. 43. Осадочные камеры:

а — с перегородкой; б — с центральной трубой;
1 — пневмосепарирующий канал; 2 — перегородка; 3 — осадочная камера; 4 — вентилятор.

ЦИКЛОНЫ

Циклон (фиг. 44) состоит из двух concentrically расположенных цилиндров 1 и 2, конуса 5, крышки 3 и входного патрубка 4, изготовленных из листовой стали.

Воздух подается во входное отверстие и получает вращательное движение в кольцевом пространстве между цилиндрами. При этом взвешенные в воздухе частицы под действием центробежных сил перемещаются к наружному цилиндру и прижимаются к его стенке, затем опускаются вниз и удаляются через выпускное отверстие. Выпускное отверстие циклона закрыто герметизирующим выпускным механизмом 6 (шлюзовым затвором, грузовым клапаном и т. п.), с помощью которого выводится осажденный материал.

Очищенный воздух удаляется из циклона через внутренний цилиндр.

Циклоны обладают достаточно высоким эффектом пылеотделения, они просты в изготовлении и надежны в эксплуатации. Циклоны пригодны для отделения не только тяжелых, но и легких частиц, таких

как пыль. Эффект пылеотделения циклона практически не зависит от количества поступающего в него для осаждения материала. Благодаря перечисленным, а также некоторым другим достоинствам, циклоны находят широкое применение для очистки воздуха, участвующего в процессе пневмосепарирования.

Эффект пылеотделения в циклонах зависит от факторов, которые могут быть разбиты на две группы: первая включает физические свойства частиц, поступающих в циклон, а именно: их удельный вес, фракционный состав, форму, влажность и др., а вторая относится к самому циклону — это скорость воздушного потока при входе в циклон, размеры циклона, соотношение отдельных размеров, степень герметичности выпускного отверстия и др.

Факторы, относящиеся к первой группе, зависят от свойств обрабатываемого материала и от технологического процесса, в ходе которого воздухом выделяются примеси, и не зависят от конструкции циклона. Эти факторы являются как бы заданными, постоянными, поэтому для улучшения работы циклонов следует искать оптимальные показатели, характеризующие конструкцию циклона.

Скорость воздушного потока при входе в циклон

Из установившегося взгляда на процесс, протекающий в циклоне, следует, что увеличение окружной скорости движения частиц должно привести к улучшению эффекта очистки, так как при этом возрастают центробежные силы, действующие на частицы. Действительно, центробежная сила равна:

$$C = \frac{mv^2}{R}, \quad (15)$$

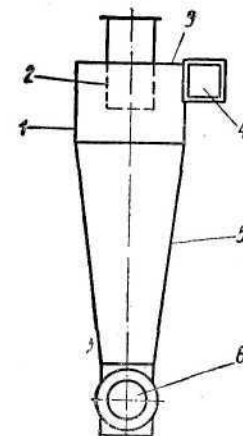
где m — масса частицы в кг сек²/м;

v — окружная скорость частицы в м/сек;

R — радиус циклона ($R = \frac{D_n}{2}$, где D_n — диаметр циклона) в м.

Указанная сила будет тем больше, чем больше окружная скорость частицы, характеризуемая скоростью воздушного потока при входе в циклон.

Увеличение центробежной силы должно ускорить перемещение наиболее мелких и легких частиц к наружной стенке циклона, т. е. будет способствовать повышению эффекта пылеулавливания. Это подтверждается многочисленными опытами, в том числе опытами, проведенными во ВНИИЗе.



Фиг. 44. Циклон.

На графике фиг. 45 приведена зависимость между эффектом очистки и скоростью воздушного потока во входном патрубке циклонов УЦ-38 и УЦ-45 [17].

Однако увеличение скорости воздушного потока при входе в циклон целесообразно лишь до 20 м/сек, так как дальнейшее увеличение указанной скорости уже не приводит к улучшению эффекта очистки, в то же время оно связано с увеличением сопротивления циклона, которое растет пропорционально квадрату входной скорости.

Практически скорость воздушного потока при входе в циклоны выбирают в пределах 12—18 м/сек в зависимости от требуемого эффекта очистки, конструкции циклона и характеристики пыли. Для очистки воздуха, поступающего из пневмосепарирующих каналов, скорость воздушного потока при входе в циклон выбирается в тех же пределах.

Диаметр циклона

Из формулы (15) следует, что центробежная сила, действующая на частицу, будет тем больше, чем меньше радиус вращения частицы, т. е. чем меньше диаметр циклона, так как частица вращается вокруг оси циклона. Основываясь на этом положении, пришли к выводу о целесообразности уменьшения диаметра циклона.

Однако уменьшение диаметра циклона связано со снижением его пропускной способности. Следовательно, чем меньше диаметр циклона, тем большее количество циклонов нужно установить для того, чтобы обеспечить заданную пропускную способность. Так, вместо одного циклона типа ЛИОТ пропускной способностью 9000 м³/час, диаметр которого равен 1370 мм, потребуется шесть циклонов того же типа, каждый диаметром 560 мм и пропускной способностью 1500 м³/час.

Циклон, составленный из нескольких элементов, носит название батарейного циклона. На схеме фиг. 46 показан батарейный циклон ВНИИЗ—НИОГАЗ, состоящий из четырех элементов.

С увеличением числа элементов ухудшается работа батарейного циклона. Так как нагрузка каждого элемента и его сопротивление вследствие неизбежных отклонений в размерах, форме и состоянии поверхности, а также других причин будут отличаться друг от друга, то могут возникнуть перетоки воздуха снизу из одного элемента в другой или из одной группы элементов в другую группу

через объединяющий их бункер (фиг. 46). Поступление воздуха в циклон через его выпускное отверстие приводит к уносу некоторой части выделенной уже пыли и, следовательно, ухудшает эффект очистки. Чем больше число элементов в батарее, тем более вероятно возникновение явления перетока.

Чрезмерное уменьшение диаметра циклона и увеличение числа элементов в батарее нежелательно также потому, что при этом

усложняется конструкция циклона, а при диаметре менее 250 мм возникает угроза закупорки соломинками и волокнистыми примесями его выпускного отверстия.

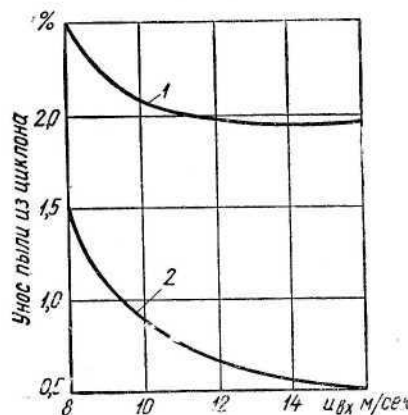
Практически в батарейные установки для зерноочистительных машин включают не более 8 элементов, диаметр каждого элемента выбирается в пределах 350—800 мм.

Остальные размеры циклона и их соотношение

До настоящего времени еще не разработана теория расчета циклонных аппаратов, которая позволила бы определять размеры циклонов в зависимости от характеристики пыли и требуемого эффекта пылеотделения. Поэтому выбирают размеры и разрабатывают конструкции циклонов, основываясь на экспериментальных данных. Останавливаться на описании и характеристике циклонов всех существующих конструкций нет необходимости, так как многие из них являются либо малоэффективными, либо непригодными для очистки воздушного потока, поступающего из пневмосепарирующих каналов.

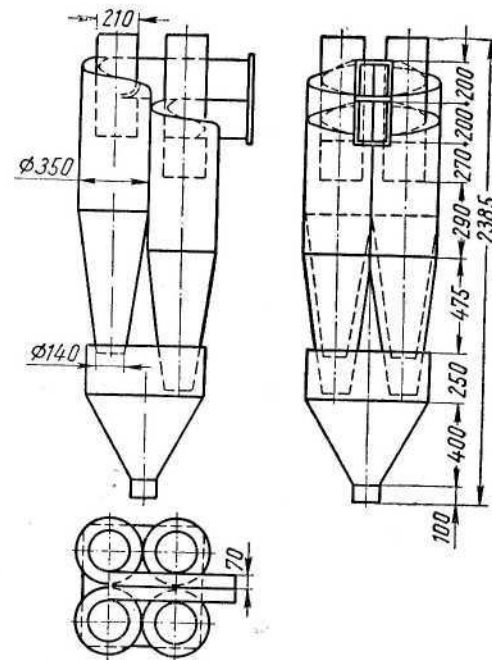
Далее приводятся сведения о циклонах (ЛИОТ; ВНИИЗ—НИОГАЗ), которые уже нашли значительное распространение в зерноочистительных установках, а также о циклонах, которые, как более совершенные, приходят им на смену (УЦ-38, УЦ-45).

На схеме фиг. 47 изображен циклон ЛИОТ, а в табл. 17 приведены его размеры и пропускная способность. Последняя определена для скорости воздушного потока при входе в циклон 18 м/сек, которая для этого циклона рекомендована как оптимальная. Эффект



Фиг. 45. Зависимость величины уноса пыли из циклонов от скорости воздушного потока во входном патрубке (опыты проведены с пылью, взятой из всасывающего фильтра) при концентрации $\mu = 10 \text{ г/м}^3$:

1 — УЦ-45; 2 — УЦ-38.



Фиг. 46. Батарейный циклон ВНИИЗ—НИОГАЗ.

очистки циклона ЛИОТ при работе в сетях воздушных сепараторов не превышает 95%. Указанный эффект во многих случаях не обеспечивает снижения запыленности воздуха до санитарных норм (150 мг/м³). Сопротивление циклона определяется по формуле

$$\Delta H_{\text{ц}} = \xi_{\text{ц}} \frac{\gamma u_{\text{ц}}^2}{2g} \text{ кг/м}^2,$$

где ξ — коэффициент сопротивления, равный 2,8—3,0;

γ — удельный вес воздуха в кг/м³;

$u_{\text{ц}}$ — скорость воздушного потока во входном патрубке в м/сек;

g — ускорение силы тяжести в м/сек².

Проектная нормаль циклонов ВНИИЗ—НИОГАЗ, ВТИ, УЦ-38 и УЦ-45 приведена на фиг. 48. Таблица нормали содержит основные размеры в долях диаметра, рекомендуемые скорости воздушного потока при входе в циклон и коэффициенты ξ сопротивления.

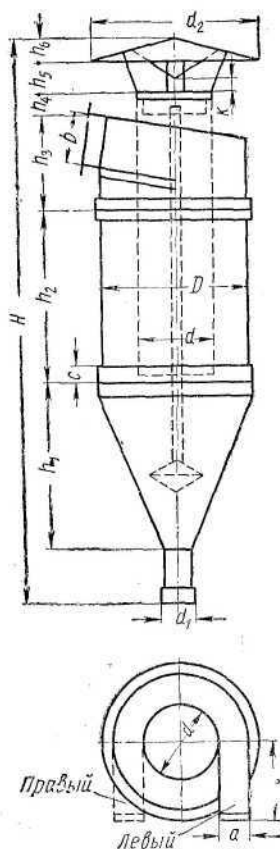
Во Всесоюзном научно-исследовательском институте зерна (ВНИИЗе) проведены сравнительные испытания указанных циклонов [17], которые позволили установить, что наиболее эффективным из испытанных циклонов является циклон УЦ-38. Остальные циклоны имеют худшие показатели эффективности, причем унос пыли из циклона УЦ-45 оказался в 3 раза из циклона ВНИИЗ—НИОГАЗ в 9 раз и из циклона ВТИ в 15 раз больше, чем унос пыли из циклона УЦ-38.

Результаты производственных испытаний батарейных циклонов, составленных из элементов типа УЦ-38 и ВНИИЗ—НИОГАЗ, установленных в сетях сепараторов ПДП-10, приведены в табл. 18.

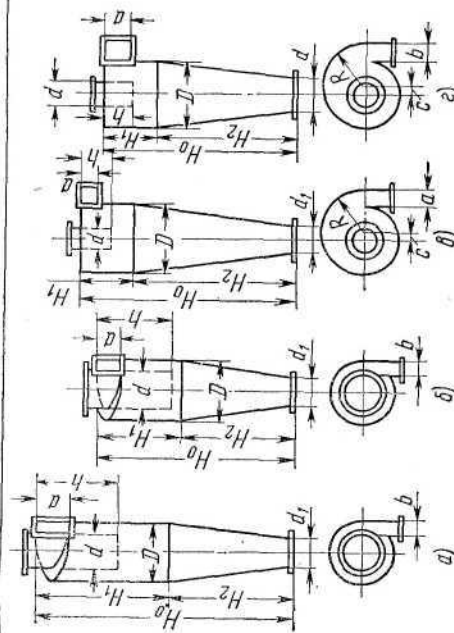
Эти результаты также подтверждают высокую эффективность циклонов типа УЦ-38 по сравнению с циклонами ВНИИЗ—НИОГАЗ.

Эффект пылеотделения является основным, но не единственным показателем, определяющим достоинства циклона. В некоторых случаях выбор циклона может диктоваться заданными габаритными размерами или предельным сопротивлением.

Сравнительная оценка циклонов по этим показателям, при одной и той же пропускной способности, дает следующие результаты. Наименьшую высоту и наименьший объем имеют циклоны ВТИ и УЦ-45, далее следуют циклоны УЦ-38 и ВНИИЗ—НИОГАЗ.



Фиг. 47. Циклон ЛИОТ (ЦОЛ).



Циклон	D	d	d ₁	H ₀	H ₁	H ₂	h	a	b	R	c	Рекомендуемая скорость воздуха при входе в циклон в м/сек	$\xi = \frac{\Delta H}{\gamma u_{\text{ц}}^2 / 2g}$
ВНИИЗ—НИОГАЗ	D	0,6 D	0,4 D	4,18 D	2,18 D	2 D	1,65 D	0,58 D	0,2 D	—	—	12—18	4,4
ВТИ	200—500 мм	0,6 D	150 мм	948 мм	415 мм	533 мм	367 мм	0,37 D	0,2 D	—	—	12—18	3,7
ВТИ	300—500 мм	0,585 D	150 мм	1,325 D	0,825 D	1,1 D	0,74 D	0,37 D	0,2 D	—	—	12—18	3,7
УЦ-38	D	0,35 D	Для циклонов с диаметром D=100÷700 мм d ₁ =150 мм	3,1 D	0,8 D	2,8 D	0,5 D	0,25 D	0,25 D	$\frac{D+a}{2}$	0,125 D	12	$\frac{20 D}{(\text{где } D \text{ в м})}$
УЦ-45	D	0,45 D	Для циклонов с диаметром D=300÷550 мм d ₁ =150 мм	2,8 D	0,8 D	2 D	0,5 D	0,35 D	0,3 D	$\frac{D+b}{2}$	0,15 D	12	$\frac{25 D}{(\text{где } D \text{ в м})}$

Фиг. 48. Проектная нормаль циклонов:

a — ВНИИЗ—НИОГАЗ; б — ВТИ; в — УЦ-38; г — УЦ-45.

Таблица 17

Техническая характеристика циклонов ЛИОТ

№ циклона	Пропускная способность в м³/час	Вес в кг	Размеры циклона в мм															
			H	h₁	h₂	h₃	h₄	h₅	h₆	D	d₁	d₂	a	b	c	K	l	d
1,5	1 500	78	2153	650	665	320	80	125	104	562	180	686	115	200	40	50	325	325
3	3 000	156	2904	150	860	525	10	1,5	145	789	220	960	162	283	40	50	410	458
4,5	4 500	118	3623	1180	1000	703	15	215	180	912	220	1180	191	348	40	50	503	565
6	6 000	322	4114	1360	1286	725	15	260	203	1107	300	1340	22	400	50	50	555	640
9	9 000	518	4181	1630	1660	150	15	300	252	1310	300	1610	281	412	50	50	715	798
12	12 000	615	5883	2120	1816	810	15	150	212	1508	100	1930	325	568	60	50	825	920
15	15 000	881	6566	2740	2202	911	15	310	328	1718	300	2160	361	615	60	50	923	1030
18	18 000	1050	7032	2420	2422	1000	100	430	360	1186	300	2360	318	691	60	84	1105	1180

Результаты испытаний батарейных циклонов

Таблица 18

Циклон	Диаметр элемента в мм	Число элементов в батарее	Скорость воздушного потока при входе в циклон в м/сек	Количество пыли в воздухе в мг/м³		Эффект пылеотделения в %	Сопротивление батареи в кг/м²
				до очистки	после очистки		
УЦ-38	700	2	13,4	1029	28,4	97,25	120
ВНИИЗ-НИОГАЗ	350	4	15,5	1810	135,0	92,55	69

Наибольшее сопротивление имеет циклон УЦ-38, примерно равное с ним имеет циклон УЦ-45 и значительно меньшее — циклоны ВНИИЗ—НИОГАЗ и ВТИ.

Таким образом, в тех случаях, когда применение циклона УЦ-38 невозможно из-за ограничений по высоте, вместо него можно устанавливать циклон УЦ-45; в тех же случаях, когда применение циклона УЦ-38 невозможно из-за его высокого сопротивления, следует применять циклон ВНИИЗ—НИОГАЗ или ВТИ (предпочтительно первый).

Размеры циклона определяют следующим образом. Находят диаметр D_u циклона:

$$D_u = K \sqrt{\frac{Q_u}{u_u}} \quad (16)$$

где K — коэффициент пропорциональности;

Q_u — пропускная способность циклона в м³/сек;

u_u — скорость воздушного потока во входном патрубке в м/сек.

Формула (16) получена из выражения $Q_u = u_u F_{ex}$ (где F_{ex} — площадь сечения входного патрубка в м²). Заменяя в этом выражении F_{ex} его значением $F_{ex} = a \times b$, где a и b — длина сторон входного патрубка, выраженная в долях диаметра (таблица к фиг. 48), и производя необходимые преобразования, получаем указанную формулу.

Коэффициент K определяют экспериментальным путем; для различных циклонов он имеет различное значение:

Циклон	УЦ-38	УЦ-45	ВНИИЗ—НИОГАЗ	ВТИ
Коэффициент пропорциональности K	4,0	3,1	2,96	3,67

Остальные размеры циклона берут из таблицы к фиг. 48.

Сопротивление циклона определяют по уравнению

$$\Delta H_u = \xi \frac{\gamma u_u^2}{2g}.$$

Значения коэффициента сопротивления ξ приведены в таблице к фиг. 48.

Рассмотрим пример. Необходимо подобрать циклон для очистки 3000 м³/час воздуха, поступающего из пневмосепарирующего канала.

Определим размеры и сопротивление одиночного циклона УЦ-38 (см. таблицу к фиг. 48):

$$D_u = 4,0 \sqrt{\frac{0,83}{12}} = 1,05 \text{ м.}$$

Высота циклона без отводного воздухопровода и герметизирующего устройства будет

$$H_0 = 3,1 D_u = 3,1 \cdot 1,05 \approx 3,3 \text{ м.}$$

Сопротивление циклона

$$\Delta H_u = 20 D_u \frac{\gamma u^2}{2g} = 20 \cdot 1,05 \frac{1,2 \cdot 144}{2 \cdot 9,81} = 185 \text{ кг/м².}$$

Полученные значения высоты и сопротивления (особенно последнего) для обычных условий эксплуатации зерноочистительных машин являются нежелательными. Столь высокое сопротивление циклона вызовет повышенный расход энергии, а значительная высота — затруднения в размещении циклона. Поэтому в данном случае целесообразно применять не один, а несколько циклонов, объединив их в батарею (табл. 19).

Сопротивление батареи больше сопротивления одиночного циклона, такой же пропускной способности. Это объясняется наличием у батареи распределительного воздухопровода на входе и коллектора на выходе. Ориентировочно сопротивление батарей можно принять

$$\Delta H_{6u} = 1,1 \div 1,2 \Delta H_u.$$

В целях экономии энергии, расходуемой на очистку, сопротивление циклона не должно превышать 80—100 кг/м². В рассмотренном примере указанным условиям отвечает батарея из 6—8 элементов.

Для сравнения с данными, характеризующими батарейный циклон УЦБ-38 (табл. 19), приведем данные, характеризующие батарейный циклон ВНИИЗ—НИОГАЗ при одинаковой пропускной способности (табл. 20).

Сравнение данных табл. 19 и 20 показывает, что батарейный циклон ВНИИЗ—НИОГАЗ при одинаковой пропускной способности будет значительно меньше батарейного циклона из элементов УЦ-38. При одном и том же сопротивлении (порядка 80 кг/м²) первый будет состоять из четырех элементов диаметром 320 мм, а второй из восьми элементов диаметром 370 мм. Однако следует напомнить, что эффект очистки циклона УЦ-38 будет выше, чем циклона ВНИИЗ—НИОГАЗ, и поэтому циклон следует выбирать с учетом всех факторов, определяющих пригодность циклона для заданных условий, а именно: допустимой запыленности воздуха, удаляемого из циклона, и установленных габаритных размеров.

Таблица 19

Данные для выбора числа элементов батарейного циклона УЦБ-38

Число элементов в батарее	Размеры элемента в м		Сопротивление циклона в кг/м ²	
	диаметр $D_{ц}$	высота H_0	одиночного $\Delta H_{ц}$	батарейного $\Delta H_{бц}$
2	0,74	2,30	130	149,5
3	0,61	1,89	107	123,0
4	0,525	1,63	92	105,8
5	0,47	1,45	83	95,48
6	0,43	1,33	76	87,4
8	0,37	1,15	65	74,75

Таблица 20

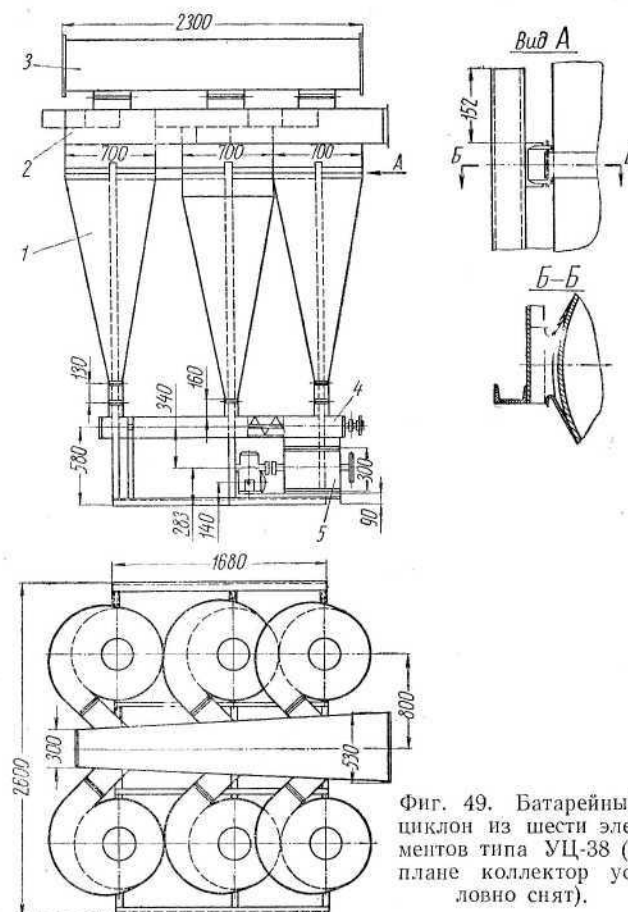
Данные для выбора числа элементов батарейного циклона БЦВН

Число элементов в батарее	Размеры циклона в м		Сопротивление циклона в кг/м ²	
	диаметр $D_{ц}$	высота H_0	одиночного $\Delta H_{ц}$	батарейного $\Delta H_{бц}$
2	0,47	1,96	103,4	118,9
4	0,32	1,33	70,4	81,0
6	0,28	1,17	61,6	70,8
8	0,24	1,0	52,8	60,7

На схеме фиг. 49 показана батарея циклонов типа УЦ-38, состоящая из шести элементов 1, расположенных в два ряда. Батарея имеет один подводящий воздухопровод 2 и два отводящих коллектора 3, по одному на каждый ряд. Осажденный материал собирается

и удаляется из циклонов двумя шнеками 4 и двумя шлюзовыми затворами 5. Последние являются герметизирующим устройством.

Возможны и другие варианты компоновки батарей циклонов. Во всех случаях батарея должна отвечать следующим требованиям:



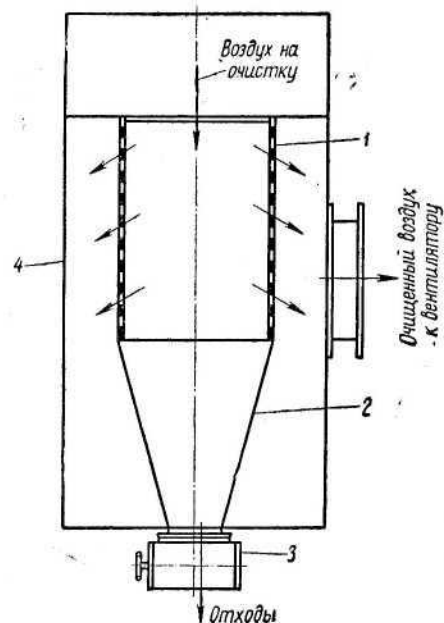
Фиг. 49. Батарейный циклон из шести элементов типа УЦ-38 (в плане коллектор условно снят).

иметь минимальные габаритные размеры, подвод воздуха, обеспечивающий равномерное распределение его по элементам, удобство сбора и удаления осажженного материала с соблюдением необходимой герметичности.

СЕТЧАТЫЕ ИНЕРЦИОННЫЕ ОТДЕЛИТЕЛИ (СИО)

Сетчатый инерционный отделитель (фиг. 50) представляет собой вертикально расположенный цилиндр 1 из перфорированной листовой стали с круглыми отверстиями диаметром 1—1,5 мм. Нижнее отверстие цилиндра соединяется конусом 2 со шлюзовым затвором 3. Отделитель помещен в камеру 4.

Воздух из пневмосепарирующего канала через верхнее отверстие поступает внутрь сетчатого цилиндра по направлению вниз; затем воздух изменяет направление и устремляется через отверстия сетки в камеру отделителя, а с частицами, взвешенными в воздухе, происходит следующее: более тяжелые частицы по инерции продолжают двигаться вниз, попадают в шлюзовой затвор и с помощью его выводятся из отделителя, а более легкие отклоняются воздухом к внутренней поверхности сетки; частицы с размерами меньшими размеров отверстий сетки проникают вместе с воздухом в камеру отделителя, а остальные задерживаются сеткой и также попадают в шлюзовой затвор.



Фиг. 50. Сетчатый инерционный отделитель.

В некоторых случаях сетчатый инерционный отделитель может быть использован и как самостоятельный действующий отделитель.

Для нормального протекания процесса осаждения примесей в инерционном отделителе необходимо соблюдение определенных условий.

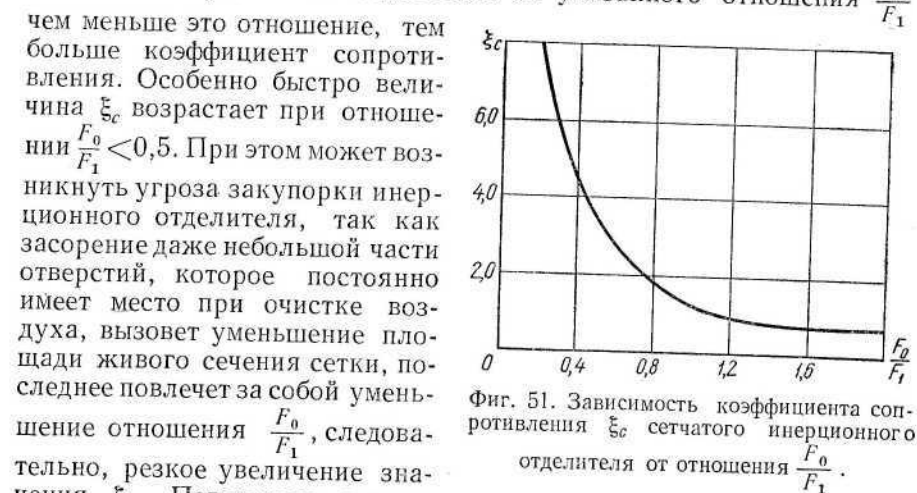
1. Размер отверстий сетки в свету должен быть в пределах 1,0—1,5 мм. Рекомендуется листовый материал толщиной 0,7—1,0 мм с штампованными отверстиями круглой формы. Возможно применение плетеной сетки с прямоугольными отверстиями; размер стороны отверстия должен быть 0,5—1,0 мм.

2. Скорость воздушного потока во входном отверстии должна быть не менее 8 м/сек. Уменьшение скорости по сравнению с указанной величиной ухудшает условия очистки сетки. Рекомендуется

выбирать скорость воздушного потока в пределах 8—12 м/сек. Чем больше скорость во входном отверстии, тем меньшими будут размеры инерционного отделителя. Однако для ограничения сопротивления эту скорость не следует выбирать больше 12 м/сек.

3. Площадь F_0 живого сечения сетки должна составлять 0,7—1,0 от площади F_1 входного отверстия СИО ($\frac{F_0}{F_1} = 0,7 \div 1,0$).

Поясним это условие, для чего обратимся к графику фиг. 51. График выражает зависимость коэффициента сопротивления ξ_c сетчатого инерционного отделителя от указанного отношения $\frac{F_0}{F_1}$:



Фиг. 51. Зависимость коэффициента сопротивления ξ_c сетчатого инерционного отделителя от отношения $\frac{F_0}{F_1}$.

чем меньше это отношение, тем больше коэффициент сопротивления. Особенно быстро величина ξ_c возрастает при отношении $\frac{F_0}{F_1} < 0,5$. При этом может возникнуть угроза закупорки инерционного отделителя, так как засорение даже небольшой части отверстий, которое постоянно имеет место при очистке воздуха, вызовет уменьшение площади живого сечения сетки, последнее повлечет за собой уменьшение отношения $\frac{F_0}{F_1}$, следовательно, резкое увеличение значения ξ_c . Повышение потери давления в инерционном отделителе и связанное с ним снижение производительности вентилятора приведут к уменьшению скорости воздушного потока во входном отверстии отделителя, дальнейшему засорению все большего числа отверстий и полной закупорке отделителя.

4. Сборный конус сетчатого инерционного отделителя изготавливают из листового неперфорированного материала. Размеры его следует выбирать таким образом, чтобы исключить возможность залегания осевшего материала в конусе и образования свода над выпускным отверстием; последнее приобретает особое значение при выпуске сырого материала. Для этого угол наклона стенок конуса к горизонту должен быть не менее 60° , а диаметр выпускного отверстия не менее 200 мм.

Сетчатые инерционные отделители устанавливают вертикально и включают в камеру. Воздух, поступающий из отделителя в камеру, направляется на дальнейшую очистку или удаляется в атмосферу.

Вместо одного отделителя, рассчитанного на очистку всего воздушного потока, поступающего из пневмосепарирующих каналов, можно применить несколько отделителей меньших размеров, установленных параллельно. Число отделителей выбирается

с таким расчетом, чтобы получить наименьшие габаритные размеры машины и приемлемые условия сбора и удаления осевшего материала.

Для сбора материала, осевшего в отделителе, применяются шнеки, а для удаления его из машины с соблюдением условий герметичности — шлюзовые затворы или грузовой клапан (фиг. 52).

Сетчатый инерционный отделитель рассчитывают следующим образом. По общему количеству воздуха, поступающего в отделитель, определяют диаметр его цилиндра D_c :

$$D_c = 0,146 \sqrt{\frac{Q_c}{u_c}} \text{ м},$$

где Q_c — суммарное количество воздуха, поступающего в СИО, в $\text{м}^3/\text{мин}$;

u_c — скорость воздушного потока во входном отверстии СИО в $\text{м}/\text{сек}$.

Если воздухоочиститель вместо одного сетчатого инерционного отделителя имеет несколько установленных параллельно, тогда каждый из отделителей рассчитывают на соответствующую долю общего количества воздуха, поступающего в воздухоочиститель.

Далее, задавшись в указанных выше пределах величиной отношения $\frac{F_0}{F_1} = \psi$, находят поверхность цилиндра отделителя

$$F_2 = \frac{\psi}{k} F_1 \text{ м}^2,$$

где k — коэффициент живого сечения сетки, равный отношению площади живого сечения ко всей площади сетки.

Высота цилиндрической части сетчатого инерционного отделителя l_1 равна:

$$l_1 = \frac{F_2}{\pi D_c}.$$

Высоту конической части определяют в зависимости от угла наклона стенок, который должен быть не менее 60° , и диаметра выпускного отверстия, который должен быть не менее 200 мм.

Для определения размеров камеры сетчатого отделителя необходимо задаться средней скоростью воздуха в пространстве между

цилиндром отделителя и стенками камеры. Обычно эту скорость выбирают в пределах 6—8 $\text{м}/\text{сек}$.

Площадь F_3 горизонтального сечения камеры отделителя определяем

$$F_3 = \frac{Q_c}{60 u_k} + F_1 \text{ м}^2,$$

где Q_c — количество воздуха, поступающего в СИО, в $\text{м}^3/\text{мин}$;

u_k — скорость воздуха в камере СИО в $\text{м}/\text{сек}$;

F_1 — площадь горизонтального сечения СИО в м^2 .

Высота камеры будет равна высоте сетчатого отделителя.

Камера сетчатого инерционного отделителя может иметь круглую, прямоугольную и другую форму.

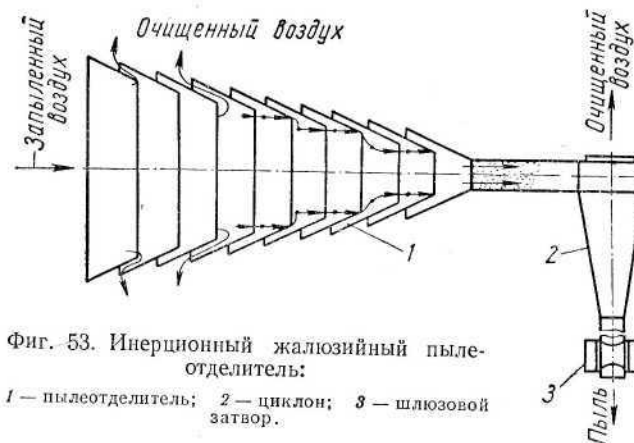
Сопrotивление ΔH_c сетчатого инерционного отделителя определяем:

$$\Delta H_c = \xi_c \frac{\gamma u_c^2}{2g} \text{ кг}/\text{м}^2.$$

Сопrotивление камеры отделителя находят отдельно в зависимости от ее конфигурации и размеров. Это можно сделать лишь приближенно, пользуясь обычными методами расчета воздухопроводов и данными о величине местных сопротивлений, которые приводятся в специальной и справочной литературе по вентиляции.

ИНЕРЦИОННЫЕ ЖАЛЮЗИЙНЫЕ ПЫЛЕОТДЕЛИТЕЛИ (ИП)

Инерционный жалюзиный пылеотделитель (фиг. 53) состоит из конических колец постепенно уменьшающегося диаметра, установленных по одной оси на равном расстоянии друг от друга.



Фиг. 53. Инерционный жалюзиный пылеотделитель:

1 — пылеотделитель; 2 — циклон; 3 — шлюзовой затвор.

Воздух вводится через отверстие в основании конуса, образованного кольцами, а выходит через промежутки между кольцами. Небольшое количество воздуха (5—7%) удаляется через отверстие

в вершине конуса. Струйки воздуха, входящие в промежутки между кольцами, совершают резкий поворот на угол около 150° . Это происходит вследствие того, что кольца несколько перекрывают друг друга и частицы, содержащиеся в воздухе, ударяются о наклонные поверхности конических колец и, отражаясь, двигаются к оси пылеотделителя; здесь они подхватываются воздухом и перемещаются к отверстию в вершине аппарата. Пылевоздушная смесь, достигающая вершины инерционного пылеотделителя, представляет собой концентрат, состоящий из небольшого количества воздуха (5—7% от первоначального количества, поступившего в пылеотделитель) и большего количества пыли, содержащейся в воздухе. Этот концентрат поступает в циклон, в котором происходит окончательное выделение пыли.

В зерноочистительных машинах инерционные жалюзийные пылеотделители нашли применение благодаря их малым габаритам, удовлетворительному эффекту очистки воздуха от пыли и относительно небольшому сопротивлению. Их используют для вторичной очистки воздуха, прошедшего через сетчатые инерционные отделители или осадочные камеры.

К достоинствам инерционных жалюзийных пылеотделителей относится простота устройства, отсутствие движущихся частей, непрерывный вывод отделенного материала, неизменность сопротивления. Большое удобство для компоновки воздухоочистителей зерновых сепараторов представляет возможность устанавливать инерционные пылеотделители вертикально и горизонтально основанием вверх и вниз на всасывающей и нагнетающей стороне вентилятора.

На схеме фиг. 54 приведены некоторые варианты установки инерционных пылеотделителей.

1. Инерционный жалюзийный пылеотделитель установлен в камере и присоединен к нагнетающему отверстию вентилятора (фиг. 54, а). На схеме фиг. 54, а штрихпунктирной линией показано возможное направление воздушного потока, прошедшего через циклон, не в атмосферу, а к всасывающему отверстию вентилятора и далее на повторную очистку в пылеотделитель. При установке инерционного пылеотделителя по такой схеме часть воздуха (5—7%) постоянно циркулирует в системе.

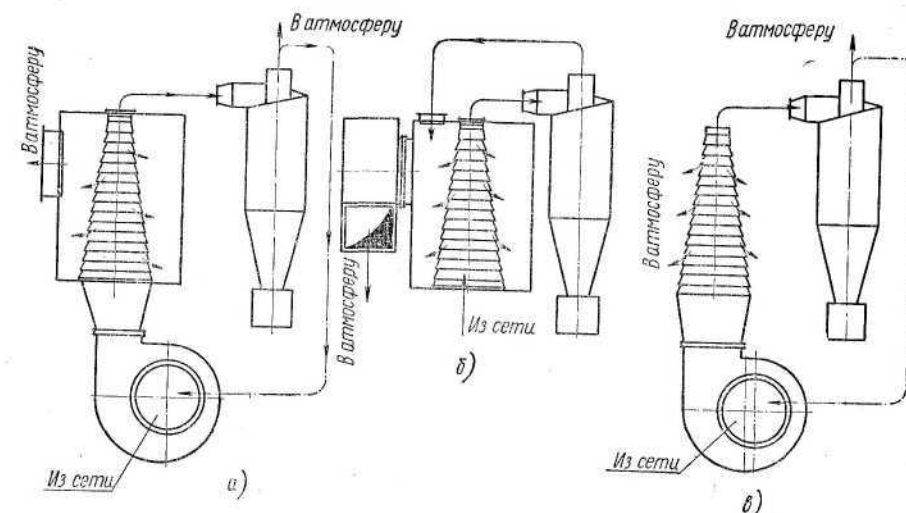
2. Инерционный пылеотделитель установлен в камере и присоединен к всасывающему отверстию вентилятора (фиг. 54, б).

3. Инерционный пылеотделитель установлен без камеры и присоединен к нагнетающему отверстию вентилятора (фиг. 54, в).

Эффект пылеотделения инерционного жалюзийного пылеотделителя зависит от скорости воздушного потока во входном отверстии аппарата, от расстояния между образующими его кольцами, от формы и конструкции пылеотделителя.

Лаборатория Государственного проектного института Промстройпроекта (г. Ленинград) провела исследования зависимости эффекта пылеотделения инерционного пылеотделителя от величины скорости воздушного потока во входном отверстии аппарата и рас-

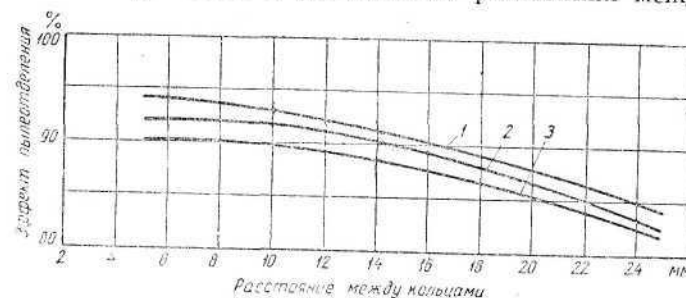
стояния между кольцами. Результаты этих исследований (фиг. 55) показывают, что с уменьшением скорости воздушного потока и увеличением расстояния между кольцами эффект пылеотделения ухудшается.



Фиг. 54. Схемы установки инерционных жалюзийных пылеотделителей:

а — в камере со стороны нагнетательного отверстия вентилятора; б — в камере, со стороны всасывающего отверстия вентилятора; в — без камеры, со стороны нагнетательного отверстия вентилятора.

Руководствуясь указанной зависимостью, естественно было бы стремиться к увеличению скорости воздушного потока во входном отверстии пылеотделителя и уменьшению расстояния между коль-



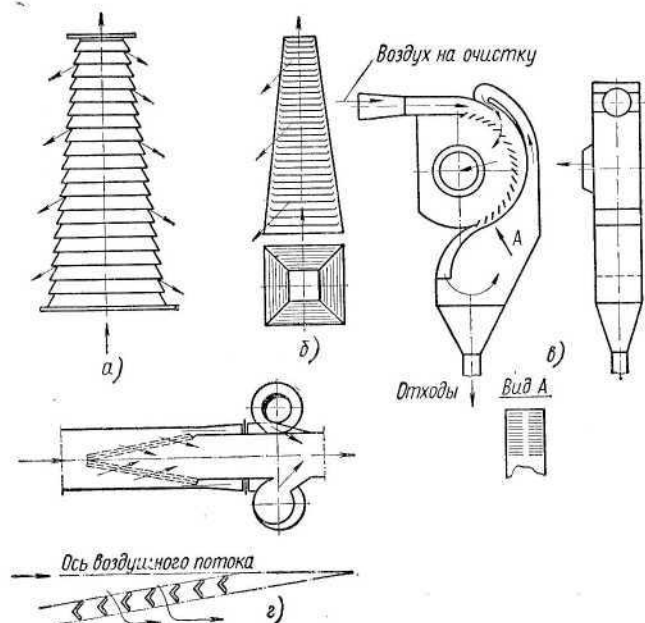
Фиг. 55. Зависимость эффекта пылеотделения инерционного жалюзийного пылеотделителя от расстояния между кольцами при разной скорости u_n воздушного потока во входном отверстии:

1 — $u_n = 20$ м/сек; 2 — $u_n = 16$ м/сек; 3 — $u_n = 12$ м/сек.

цами. Однако это целесообразно лишь в определенных пределах, так как чрезмерное увеличение входной скорости воздушного потока значительно увеличивает сопротивление пылеотделителя, которое

растет пропорционально квадрату указанной скорости, а излишнее уменьшение расстояния между кольцами увеличивает угрозу засорения зазоров между ними, пылью, особенно, если последняя имеет свойство слипаться.

Скорость воздушного потока во входном отверстии пылеотделителя следует выбирать в пределах 12—20 м/сек, а расстояние между кольцами в пределах 4—8 мм.



Фиг. 56. Схема инерционных пылеотделителей разных типов: а — конический кольцевой; б — многогранный пирамидальный; в — криволинейный; г — типа ВТИ.

НИОГАЗ испытал несколько инерционных пылеотделителей (фиг. 56), отличающихся формой и конструкцией.

Результаты этих испытаний приведены в табл. 21.

Как видно из данных табл. 21, наивысший эффект пылеотделения получен для криволинейного инерционного пылеотделителя. В нем под действием центробежных сил более тяжелые частицы пыли отжимаются к наружной глухой стенке и лишь более легкие ударяются о наклонные поверхности пылеотделителя. Таким образом, здесь сочетается эффект пылеотделения, основанный на действии центробежных сил, характерный для циклонов, с эффектом пылеотделения, основанным на отражении от наклонной плоскости. Благодаря такому сочетанию суммарный эффект пылеотделения криволинейного инерционного пылеотделителя оказывается выше, чем у других жалюзийных пылеотделителей.

Результаты испытаний инерционных пылеотделителей различной конструкции и формы

Тип пылеотделителя	Сопротивление в кг/м ²					
	40		70		100	
	эффект пылеотделения в %	скорость воздушного потока при входе в пылеотделитель в м/сек	эффект пылеотделения в %	скорость воздушного потока при входе в пылеотделитель в м/сек	эффект пылеотделения в %	скорость воздушного потока при входе в пылеотделитель в м/сек
Криволинейный	87,6	13,9	88,0	18,2	89,0	22,2
Конический кольцевой	76,0	19,4	79,6	25,7	81,6	30,8
Пирамидальный	76,5	17,0	80,5	22,5	81,0	27,2
Типа ВТИ	55,0	14,4	56,8	18,8	58,0	23,0

Конический кольцевой и многогранный пирамидальный пылеотделители имеют примерно равный эффект пылеотделения, инерционный пылеотделитель типа ВТИ оказался наименее эффективным.

По данным тех же испытаний существенное влияние на эффект пылеотделения оказывает величина скорости воздушного потока в отверстии, через которое удаляется отделенная пыль вместе с небольшой частью воздуха (отверстие в верхней части конических инерционных пылеотделителей). Эта скорость должна быть в 1,2—1,5 раза больше, чем скорость воздушного потока во входном отверстии пылеотделителя.

На основе результатов испытаний инерционных пылеотделителей трест Оргсантехпром разработал проектную нормаль конического кольцевого инерционного пылеотделителя (фиг. 57).

Для подбора к проектируемой установке инерционного пылеотделителя определяем диаметр D_u его входного отверстия:

$$D_u = 0,146 \sqrt{\frac{Q_u}{u_u}} \text{ м,}$$

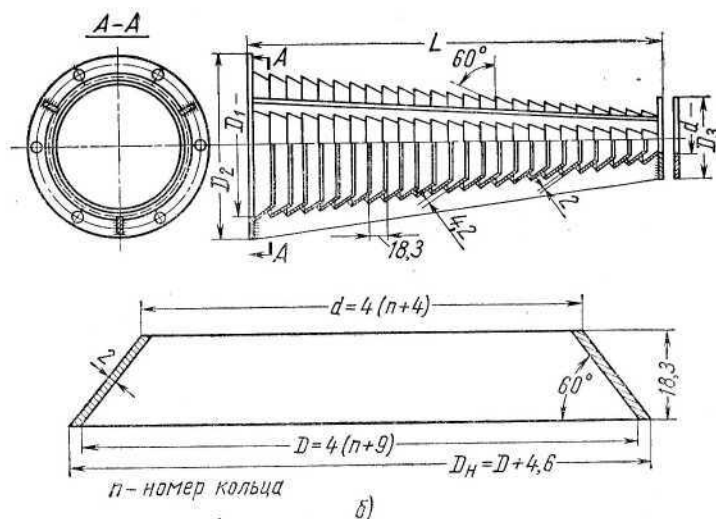
где Q_u — количество воздуха, поступающего в пылеотделитель, в м³/мин;

u_u — скорость воздушного потока во входном отверстии в м/сек.

Затем выбирают по нормали ближайший по диаметру входного отверстия инерционный пылеотделитель и определяют по той же нормали остальные его размеры, в том числе и размеры конических колец.

Если заданные габаритные размеры машины не позволяют установить один инерционный пылеотделитель, то применяют несколько параллельно действующих аппаратов, рассчитывая каждый из них на пропуск соответствующей доли общего количества воздуха.

Размеры камеры инерционного пылеотделителя должны быть минимальными, допускающими расположение в ней требуемого количества пылеотделителей. Для этого площадь основания камеры определяется таким образом, чтобы на нем могли расположиться фланцы входных отверстий, а высота камеры берется равной высоте пылеотделителя.



Модель	D ₁ в мм	d в мм	Номер n кольца	Число колец	Габаритные размеры в мм		
					D ₂	D ₃	h
ИП-1-115	115	26	1—21	21	161	77	342
ИП-2-135	135	30	2—26	25	181	81	405
ИП-3-175	175	38	4—36	33	221	89	532
ИП-4-215	215	46	6—46	41	277	113	661
ИП-5-255	255	54	8—56	49	317	121	788
ИП-6-335	335	70	12—76	65	397	137	1042
ИП-7-415	415	86	16—96	81	497	173	1298
ИП-8-475	475	98	19—111	93	557	185	1488
ИП-9-515	515	106	21—121	101	597	193	1615

Фиг. 57. Нормаль конического инерционного пылеотделителя:

а — общий вид; б — кольцо.

Сопротивление ΔH_u инерционного пылеотделителя вычисляем:

$$\Delta H_u = \xi_u \frac{\gamma u_u^2}{2g} \text{ кг/м}^2,$$

где ξ_u — коэффициент сопротивления пылеотделителя;

γ — удельный вес воздуха в кг/м^3 ;

g — ускорение силы тяжести в м/сек^2 .

Коэффициент сопротивления конических кольцевых инерционных пылеотделителей всех размеров равен 2.

Сопротивление камеры инерционного пылеотделителя, так же как и сопротивление камеры сетчатого инерционного отделителя, определяется в зависимости от ее конфигурации и размеров обычными методами расчета воздухопроводов.

Определение размеров циклона инерционного пылеотделителя связано с величиной потери давления в пылеотделителе. Как указывалось ранее, воздух, поступающий в пылеотделитель, делится в нем на две части — одна часть, составляющая около 95% общего количества воздуха, проходит между кольцами в камеру пылеотделителя и затем удаляется в атмосферу, а вторая часть поступает в циклон. Наиболее целесообразно применять в данном случае циклоны ВНИИЗ—НИОГАЗ или УЦ-45. Обе части образуют два параллельных потока. Поэтому потеря давления в циклоне и воздухопроводах, связывающих его с другими элементами воздухоочистителя или с атмосферой, будет равна потере давления в самом пылеотделителе:

$$\Delta H_u = \Delta H_u + \Delta H_v,$$

откуда

$$\Delta H_u = \Delta H_u - \Delta H_v,$$

где ΔH_u — сопротивление инерционного пылеотделителя;

ΔH_u — сопротивление циклона;

ΔH_v — сопротивление воздухопроводов, идущих к циклону и от него в атмосферу, в камеру пылеотделителя или к всасывающему отверстию вентилятора (в зависимости от схемы).

Определив величины ΔH_u и ΔH_v , находят ΔH_u , а затем диаметр циклона, пользуясь формулой (16). Для этого преобразуем формулу (16), заменив в ней величину u_u ее значением из зависимости

$\Delta H_u = \xi \frac{\gamma u_u^2}{2g}$. Принимая $\gamma = 1,2 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,81 \text{ м/сек}^2$ и беря соответствующие значения коэффициента ξ из таблицы к фиг. 48, получаем выражение для определения диаметра D_u циклона ВНИИЗ—НИОГАЗ:

$$D_u = 2,13 \sqrt[4]{\frac{Q^2}{\Delta H_u}};$$

циклона УЦ-38:

$$D_u = 6,93 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{\Delta H_u}};$$

циклона УЦ-45:

$$D_u = 5,16 \sqrt[3]{\frac{Q^2}{\Delta H_u}};$$

где Q — количество воздуха, поступающего в циклон, в $\text{м}^3/\text{сек}$;

ΔH_u — сопротивление циклона в кг/м^2 .

Остальные размеры циклона определяют в зависимости от диаметра по таблице к фиг. 48.

ВСАСЫВАЮЩИЕ МАТЕРЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Всасывающий фильтр (фиг. 58) состоит из камеры 3, разделенной на секции, в каждой секции расположены вертикальные рукава 2 из специальной ворсистой ткани. Внизу рукава крепятся к полым штуцерам в днище 4, вверху они закрыты крышками, которые подвешены к раме 1. Рама 1 соединена со встряхивающим механизмом 9. Каждая секция имеет выпускное отверстие 7, в котором установлен клапан 8, также связанный со встряхивающим механизмом.

Под днищем камеры установлен сборник пыли 10, в нижней части которого расположены шнек 5 и шлюзовой затвор 6.

Воздух поступает в сборный конус под днище камеры и, обогнув свободно висящий клапан 11, распределяется по рукавам. При этом вследствие резкого уменьшения скорости воздушного потока и под действием центробежных сил из воздуха выделяются наиболее тяжелые частицы.

Пройдя через слой ворса и отверстия, образуемые нитями ткани, воздух очищается от пыли, поступает в камеру фильтра и далее через выпускные отверстия в сборный воздухопровод. Последний соединен с вентилятором, удаляющим воздух в атмосферу.

В камере фильтра давление ниже атмосферного (разрежение), поэтому такие фильтры называются всасывающими.

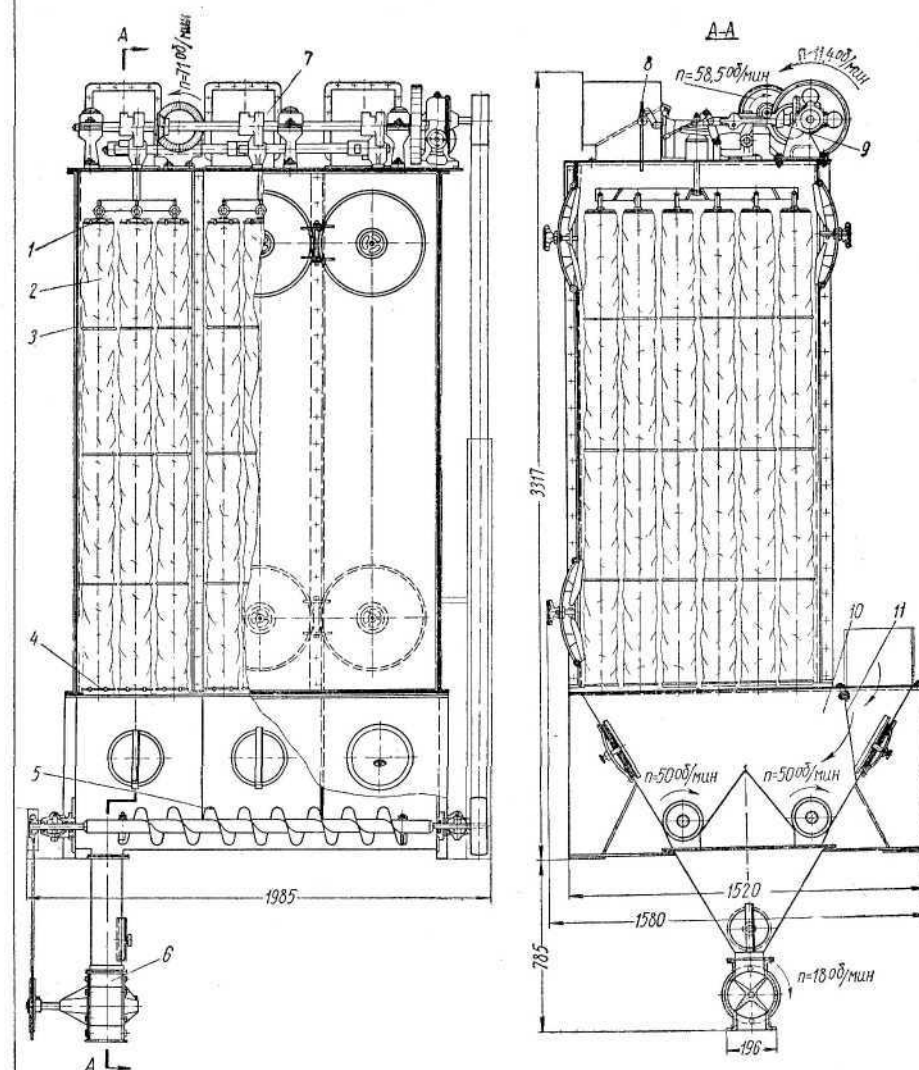
Каждая секция фильтра содержит 18 рукавов, изготовленных из специальной полшерстяной ткани, имеющей достаточно густой и упругий ворс, обращенный внутрь рукава.

Очистка рукавов от пыли осуществляется посредством их встряхивания при одновременной продувке воздухом, направленным от наружной поверхности внутрь рукавов.

Встряхивание производится периодически, через 2 мин. 45 сек. в течение 15 сек. За это время производится 6—7 встряхиваний, причем рама с рукавами при каждом встряхивании поднимается и опускается на 50—60 мм.

Продувка рукавов происходит следующим образом: в момент начала встряхивания клапан 8 занимает положение, показанное на чертеже фиг. 58 штриховой линией, при этом воздушный поток изменяет свое направление, он через сообщенное с атмосферой отверстие 7 устремляется в камеру встряхиваемой секции, проходит через ткань внутрь рукавов и далее через сборный конус распределяется по остальным секциям. Проходя внутрь рукавов, воздух способствует очистке внутренней поверхности ткани от пыли. Пыль из рукавов стряхивается в сборный конус и выводится из него шнеками и шлюзовыми затворами.

Вследствие энергичного встряхивания, при одновременной продувке, рукава всасывающего фильтра хорошо очищаются. Это дает возможность применять для изготовления рукавов ворсистые, а не гладкие ткани, повышающие эффект очистки воздуха от пыли.



Фиг. 58. Всасывающий матерчатый фильтр.

Зыпыленность воздуха, очищенного во всасывающем фильтре, не превышает 3—5 мг/м³ при первоначальном его пылесодержании 10—15 г/м³.

В зерноочистительных установках всасывающие фильтры применяют на второй ступени очистки воздуха для улавливания пыли из воздуха, очищенного от крупных и тяжелых частиц.

Всасывающий фильтр подбирают в зависимости от количества воздуха, поступающего на очистку. Рекомендуемая удельная нагрузка на ткань, применяемую для изготовления рукавов, равна 100—120 м³ воздуха в час на 1 м² фильтрующей поверхности. Определив требуемую фильтрующую поверхность, можно по табл. 22 подобрать фильтр. Фильтры марки ФВ изготавливаются Горьковским машиностроительным заводом им. Воробьева.

Таблица 22

Техническая характеристика всасывающих матерчатых фильтров

Марка фильтра	Число рукавов	Диаметр рукава в мм	Длина рукава в мм	Фильтрующая поверхность рукавов в м²	Вес в кг
ФВ-30	36	135	2090	30	950
ФВ-45	54	135	2090	45	1250
ФВ-60	72	135	2090	60	1500
ФВ-90	108	135	2090	90	2070

Сопротивление ΔH_ϕ всасывающего фильтра определяют в зависимости от удельной нагрузки q на ткань (в запыленном состоянии) по формуле

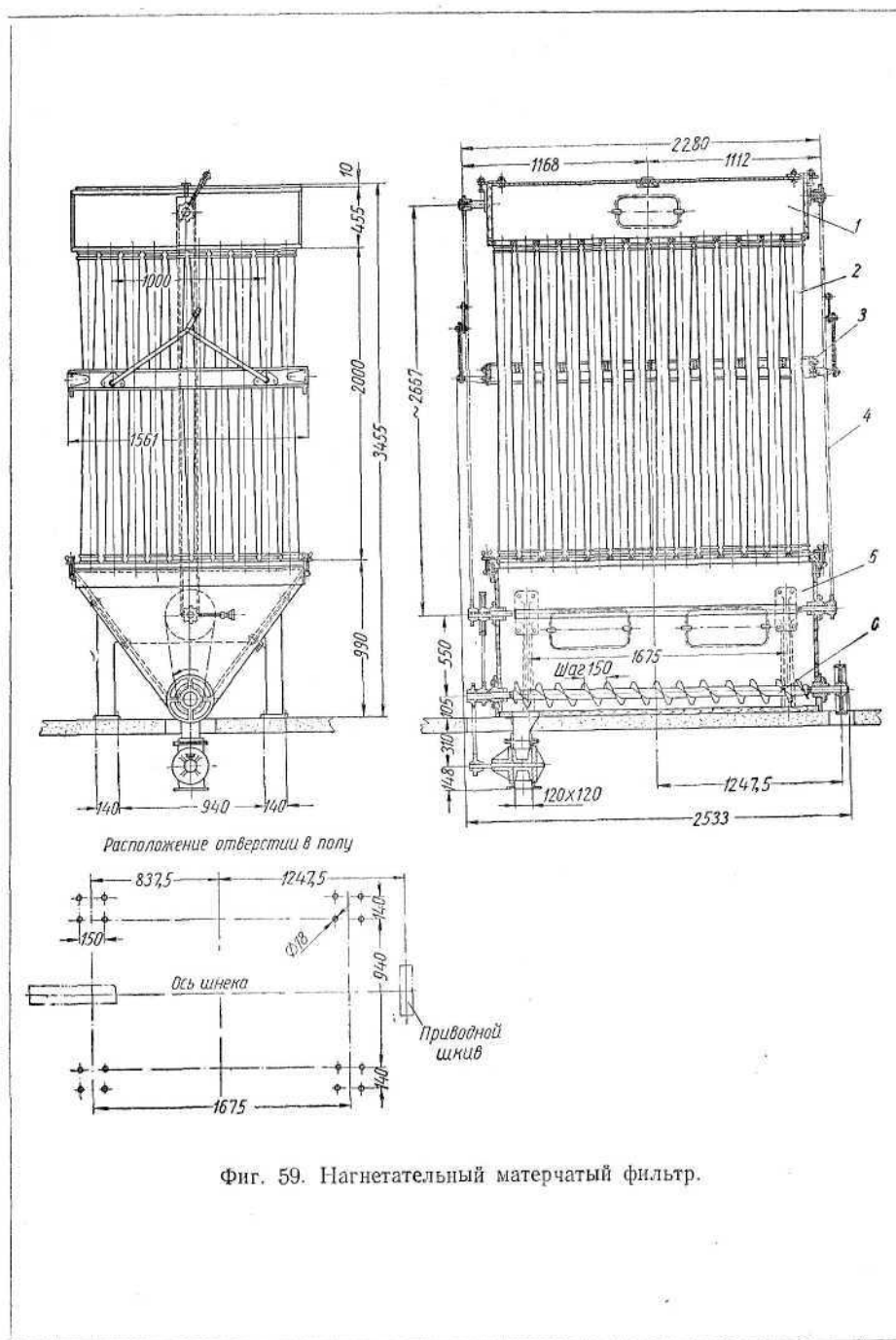
$$\Delta H_\phi = 0,15 q_\phi^{1,27} \text{ мм вод. ст.},$$

где q_ϕ — удельная нагрузка на ткань в м³/час воздуха на 1 м² ткани.

При определении удельной нагрузки q_ϕ следует принимать в расчет количество воздуха, отсасываемого из фильтра, которое на 25% больше количества воздуха, поступающего в фильтр, в связи с наличием подсосов через неплотности.

НАГНЕТАТЕЛЬНЫЕ МАТЕРЧАТЫЕ ФИЛЬТРЫ

Нагнетательный фильтр (фиг. 59) состоит из приемной камеры 1, ряда вертикальных рукавов 2, изготовленных из хлопчатобумажной не ворсистой ткани — бязи, и сборной камеры 5. Воздух нагнетается вентилятором в приемную камеру, где он распределяется по рукавам. Пройдя через отверстия между нитями ткани, воздух поступает в помещение, в котором установлен фильтр, или в атмосферу, а пыль задерживается на внутренней поверхности рукавов. По мере накопления пыли она сваливается со стенок рукавов в нижнюю сборную камеру, из которой выводится наружу.



Фиг. 59. Нагнетательный матерчатый фильтр.

Для улучшения очистки внутренней поверхности рукавов фильтр снабжен рамой 3, на которую натянута проволока, образующая квадратные ячейки по числу рукавов.

Каждый рукав помещен в проволочную ячейку; площадь ячейки меньше площади основания рукава, и поэтому при движении рамы вверх и вниз вдоль рукавов происходит их сужение, вследствие которого увеличивается скорость воздуха и сдувание пыли с внутренней поверхности ткани.

Рама прикреплена к бесконечным цепям 4, которые приводятся в движение через систему передач от вала шнека 6. Нагнетательные фильтры встречаются в стационарных и в передвижных зерноочистительных установках старых конструкций.

В современных стационарных установках, предназначенных для работы в закрытых помещениях, нагнетательные фильтры не применяются из-за низкого эффекта очистки. Гладкая ткань фильтра плохо задерживает наиболее мелкую пыль, и поэтому запыленность воздуха в помещениях, где установлены нагнетательные фильтры, превышает допустимую норму.

Следует отметить, что существуют определенные нормы содержания пыли в воздухе, удаляемом из вентиляционных установок в атмосферу (воздушный сепаратор представляет своего рода вентиляционную установку).

Запыленность воздуха, очищенного в нагнетательном фильтре, значительно превышает эти нормы, поэтому в некоторых случаях нагнетательные фильтры заключают в камеры, сообщенные с атмосферой.

Приводим техническую характеристику нагнетательного фильтра, изображенного на фиг. 59.

Нагрузка на 1 м² фильтрующей поверхности рекомендуется не более 60 м³ воздуха в час.

Техническая характеристика нагнетательного фильтра

Размеры рукава в мм:	
длина	2000
диаметр	125
Количество рукавов	140
Фильтрующая поверхность в м ²	109
Вес в кг	350

СХЕМЫ ВОЗДУХООЧИСТИТЕЛЕЙ

От схемы воздухоочистителя, от того, какое оборудование предусмотрено этой схемой, зависит эффект очистки воздуха, его пылесодержание.

Согласно действующим санитарным нормам разрешается удалять из производственных помещений в атмосферу воздух с пылесодержанием не более 150 мг/м³; в тех случаях, когда воздух из машины поступает в помещение, его запыленность не должна превышать 3 мг/м³.

Следовательно, воздухоочиститель должен обеспечивать очистку воздуха до указанных норм.

Однако в зависимости от места расположения предприятия, количества одновременно действующих машин и некоторых других условий удаление в атмосферу воздуха с пылесодержанием 150 мг/м³ может оказаться нежелательным.

Такие условия могут возникнуть, если предприятие, производящее очистку зерна, расположено в густонаселенном районе, вблизи жилых домов и количество одновременно действующих машин велико.

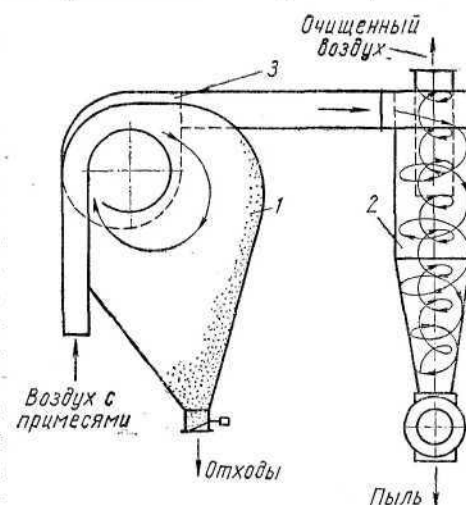
В этом случае, возможно, понадобится уменьшить пылесодержание воздуха, выбрасываемого наружу, до величины меньшей 150 мг/м³, а в схему очистки воздуха необходимо будет включить самые совершенные пылеотделители (высокоэффективные циклоны, всасывающие матерчатые фильтры).

В то же время некоторые зерноочистительные машины предназначены для работы на полевых токах, на которых запыленный воздух может быть отведен на некоторое безопасное для обслуживающего персонала расстояние. Тогда, по согласованию с Государственной санитарной инспекцией, может быть установлена другая норма пылесодержания воздуха и применен более простой воздухоочиститель (сетчатый инерционный отделитель, циклон или осадочная камера).

Конструкция воздухоочистителя будет также зависеть от заданных габаритных размеров машины и от места установки воздухоочистителя (последний встроен в машину или расположен вне машины, а в некоторых случаях даже вне производственного помещения). Наиболее компактным пылеотделителем является инерционный жалюзийный пылеотделитель.

Рассмотрим схемы воздухоочистителей.

Схема I (фиг. 60). Двухступенчатый воздухоочиститель согласно этой схеме состоит из осадочной камеры (первая ступень очистки) и циклона (вторая ступень очистки). В осадочной камере отделяются наиболее тяжелые частицы: битые и шуплые зерна основной культуры, семена сорных растений, солома, комочки земли и др., а также часть легких примесей: подова, пыль,



Фиг. 60. Схема I очистки воздуха в осадочной камере и циклоне:
1 — осадочная камера; 2 — циклон; 3 — вентилятор.

В циклоне воздух очищается от мелких и легких частиц: пыли органического и минерального происхождения, половы, цветочных пленок и др.

По этой схеме построены воздухоочистители воздушно-ситовых сепараторов, применяемых для очистки зерна на элеваторах, мельницах, крупяных и комбикормовых заводах (ПДП-10, ПОП-5, ЗС-5, КДП-80 и др.). Осадочные камеры воздухоочистителя обычно встроены в машину и изготавливаются вместе с ней, а циклоны изготавливают на месте эксплуатации машины и устанавливают в производственном помещении или вне его.

Осадочная камера соединена с циклоном воздухопроводом.

В табл. 23 приведены данные производственных испытаний сепаратора ПДП-10, воздухоочиститель которого состоял из осадочной камеры и циклона типа УЦ-38.

Таблица 23
Результаты испытаний воздухоочистителя сепаратора ПДП-10

Показатели	№ опыта					Среднее значение
	1	2	3	4	5	
Содержание пыли в воздухе в $мг/м^3$:						
до очистки	3600	3790	3100	3970	2540	3400
после очистки в осадочной камере	960	1080	1060	1200	915	1041
после очистки в циклоне	28,8	36,4	25,5	23,7	22,6	27,4
Эффект очистки в %:						
осадочной камеры	73,3	71,6	66	70	64	69
циклона	97	96,6	97,4	97,5	97,4	97,3
всей установки	99,2	99	99,18	99,4	99,11	99,2

Из данных табл. 23 видно, что эффект очистки воздуха в осадочной камере в среднем составлял 69%, эффект очистки воздуха в циклоне равнялся 97%, содержание пыли в воздухе после двухступенчатой очистки оказалось равным 27,4 $мг/м^3$.

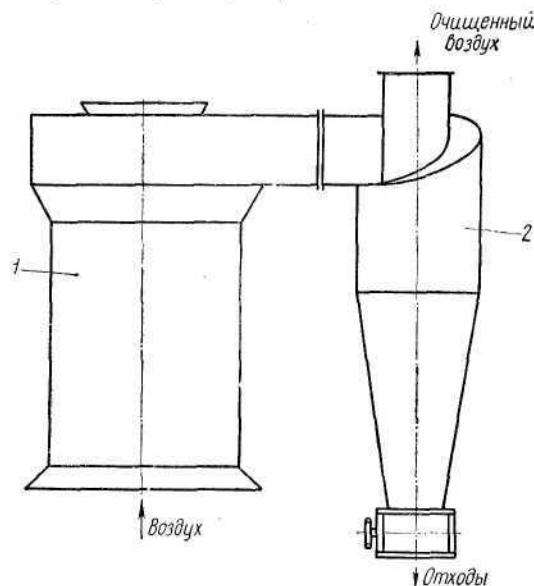
Следует указать, что приведенные данные относятся к циклону наиболее эффективной конструкции. В тех же условиях циклоны других конструкций дают худший эффект, и запыленность воздуха после очистки выше, чем указанная в табл. 23, а иногда даже превышает предельно допустимую величину, т. е. 150 $мг/м^3$.

Хотя описанная схема и имеет широкое распространение, однако она не может быть рекомендована к использованию при проектировании новых машин. Так как перед направлением воздуха в циклон нет необходимости подвергать его предварительной грубой очистке в осадочной камере. Примеси, которые выделяются в осадочной камере, могут быть выделены из воздуха в циклоне, наряду с мелкими и легкими частицами. Это подтверждается опытом эксплуатации пневмосепарирующих машин, не имеющих осадочных камер

(ЗА-40 и др.). Следовательно, первая ступень очистки является, в данном случае, излишней и осадочные камеры лишь увеличивают габаритные размеры и вес машины, а также сопротивление системы воздухопроводов.

Раньше очистка воздуха, используемого в воздушно-ситовых сепараторах, осуществлялась по двухступенчатой схеме, включающей осадочные камеры и матерчатые фильтры (нагнетательные или всасывающие).

Тогда применение осадочных камер для предварительной очистки воздуха было необходимо, так как ткань фильтров без такой предварительной очистки засорялась солоmistыми и другими крупными частицами. Затем фильтры на второй ступени очистки воздуха стали заменять циклонами, эффективность которых к этому времени была повышена, а воздушно-ситовые сепараторы со встроенными осадочными камерами остались без изменений. В некоторых случаях и сейчас вторичная очистка воздуха осуществляется в матерчатых фильтрах (схемы III и IV).



Фиг. 61. Схема II очистки воздуха в циклоне:
1 — пневмосепарирующий канал; 2 — циклон.

Схема II (фиг. 61). По этой схеме воздух из пневмосепарирующего канала направляется в циклон без предварительной очистки. Достоинствами такого воздухоочистителя являются простота конструкции и надежность в эксплуатации.

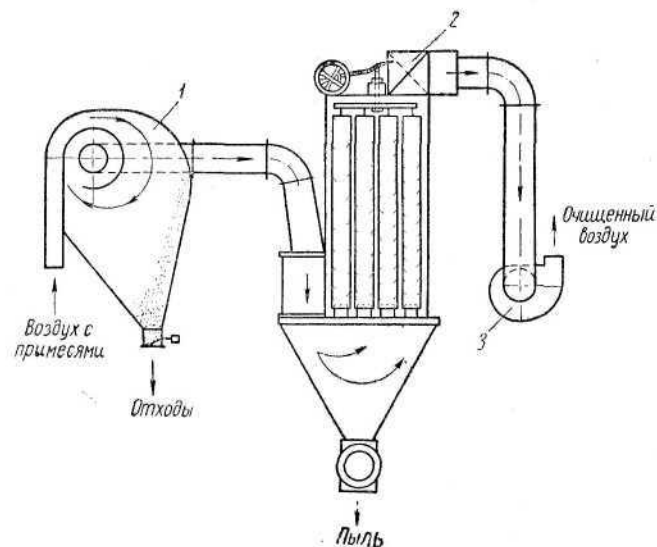
К недостаткам относятся некоторая громоздкость (этот недостаток особенно проявляется при большом количестве очищаемого воздуха и необходимости разместить циклоны на самой машине, например, в передвижных агрегатах) и не всегда удовлетворительная эффективность очистки.

Испытания зерноочистительного агрегата ЗА-40 (с воздухоочистителем, изготовленным по схеме II) в производственных условиях при очистке пшеницы, ржи и овса позволили установить, что эффект очистки воздуха в циклонах (типа ВНИИЗ—НИОГАЗ) равен 98,5%.

Схема III (фиг. 62). Двухступенчатая очистка воздуха согласно этой схеме осуществляется в осадочной камере и всасывающем матерчатом фильтре. Достоинство этой схемы заключается в высокой эффективности очистки воздуха.

При правильной эксплуатации фильтра запыленность воздуха, очищенного по схеме III, не превышает $3-5 \text{ мг/м}^3$.

Воздухоочиститель, изготовленный по схеме III, имеет также существенные недостатки; громоздкость оборудования, недостаточная эксплуатационная надежность встряхивающего механизма фильтра, наличие подсосов воздуха через неплотности в осадочной камере и всасывающем фильтре, а также расхода воздуха для обратной продувки рукавов фильтра и, наконец, колебания расхода воздуха,



Фиг. 62. Схема III очистки воздуха в осадочной камере и всасывающем фильтре:

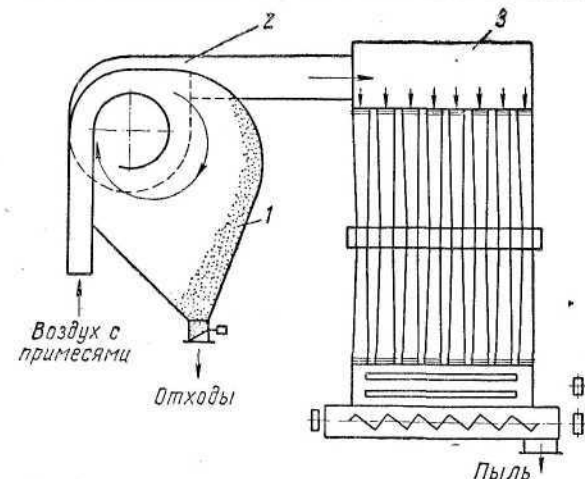
1 — осадочная камера; 2 — всасывающий фильтр; 3 — вентилятор.

вызываемые изменением сопротивления ткани и периодическим отключением секций для очистки.

В связи с указанными недостатками применение описанной схемы целесообразно лишь в тех случаях, когда требуется высокий эффект очистки воздуха от пыли, характеризуемый остаточной запыленностью 3 мг/м^3 , например, в случаях рециркуляции воздуха, т. е. возврата его из машины в помещение.

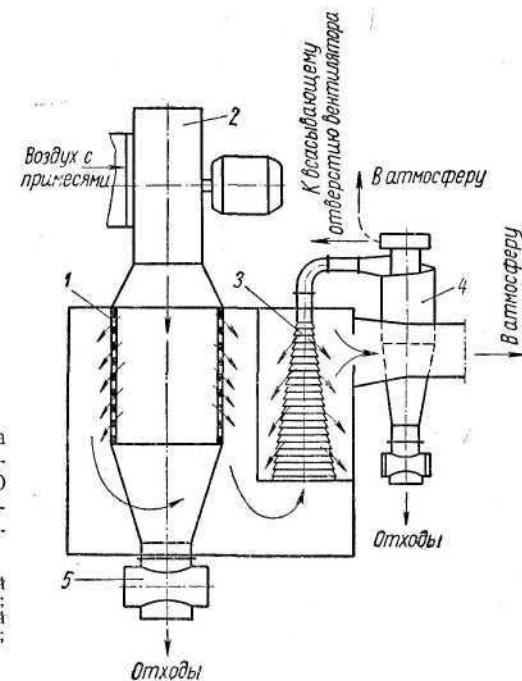
Схема IV (фиг. 63). Двухступенчатая очистка воздуха по этой схеме происходит в осадочной камере и нагнетательном матерчатом фильтре. В настоящее время воздухоочистители этой схемы встречаются редко вследствие громоздкости оборудования и недостатков нагнетательного фильтра (см. раздел «Нагнетательные матерчатые фильтры»).

Схема V (фиг. 64). Воздух согласно этой схеме очищается воздухоочистителем конструкции ВНИИЗ, состоящим из последовательно



Фиг. 63. Схема IV очистки воздуха в осадочной камере и нагнетательном фильтре:

1 — осадочная камера; 2 — вентилятор; 3 — нагнетательный фильтр.



Фиг. 64. Очистка воздуха по схеме V, ВНИИЗ (первый вариант: отделители СЮ и ИП присоединены к нагнетательному отверстию вентилятора):

1 — сетчатый инерционный отделитель; 2 — вентилятор; 3 — инерционный жалюзийный пылеотделитель; 4 — циклон; 5 — шлюзовой затвор.

действующих сетчатого инерционного отделителя и инерционного жалюзийного пылеотделителя.

В табл. 24 приведены результаты испытаний этого воздухоочистителя, из которых видно, что эффект очистки сетчатого инерционного отделителя в среднем равен 92,8%, эффект очистки инерционного жалюзийного пылеотделителя равен 95,5%, эффект очистки всего воздухоочистителя составляет 99,7%.

Таблица 24

Результаты испытаний воздухоочистителя ВНИИЗ

Показатели	№ опыта				Среднее значение
	1	2	3	4	
Содержание пыли в воздухе в $мг/м^3$:					
до очистки	2120	4780	2800	3500	—
после очистки:					
в СИО	207	377	157	218	—
в ИП	7	19,1	5,4	10,9	10,6
Эффект очистки в %:					
СИО	91,2	92,1	94,3	93,8	92,8
ИП	95,2	95	96,6	95	95,7
всей установки	99,7	99,6	99,8	99,7	99,7

Приведенные данные свидетельствуют о высокой эффективности воздухоочистителя ВНИИЗ. Наряду с этим он является более компактным по сравнению с другими воздухоочистителями. Благодаря указанным преимуществам воздухоочиститель ВНИИЗ нашел применение в новых зерноочистительных машинах (ПЗС-10, ВО-40, ЗС-100).

Воздухоочиститель может быть встроен в машину или расположен вне ее. Существует несколько вариантов расположения сетчатого инерционного отделителя и инерционного жалюзийного пылеотделителя по отношению к вентилятору.

Первый вариант (фиг. 64). Сетчатый инерционный отделитель и инерционный жалюзийный пылеотделитель присоединены к нагнетательному отверстию вентилятора. Воздух из циклона может направляться по воздухопроводу к всасывающему отверстию вентилятора или в атмосферу.

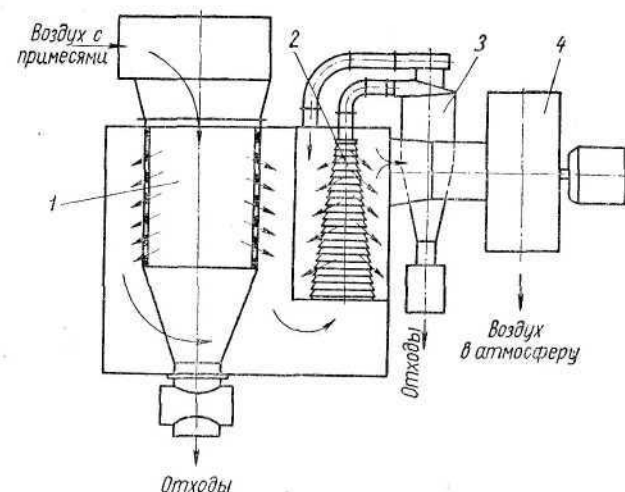
В первом случае полезная производительность вентилятора будет несколько ниже, а удельный расход энергии на очистку несколько выше, чем при удалении воздуха из циклона в атмосферу. Однако рециркуляция воздуха после циклона уменьшает количество пыли, выбрасываемой в атмосферу.

Второй вариант (фиг. 65). Сетчатый инерционный отделитель и инерционный жалюзийный пылеотделитель присоединены к всасывающему отверстию вентилятора. Воздух из циклона поступает

в камеру инерционного пылеотделителя, из которой он удаляется в атмосферу. Этот воздух повторной очистке не подвергается.

Третий вариант (фиг. 66). Сетчатый инерционный отделитель присоединен к всасывающему отверстию вентилятора, а инерционный пылеотделитель — к нагнетающему. Воздух из циклона возвращается в сетчатый инерционный отделитель. Возможно удаление воздуха из циклона в атмосферу.

Инерционные жалюзийные пылеотделители могут располагаться как вертикально, так и горизонтально.



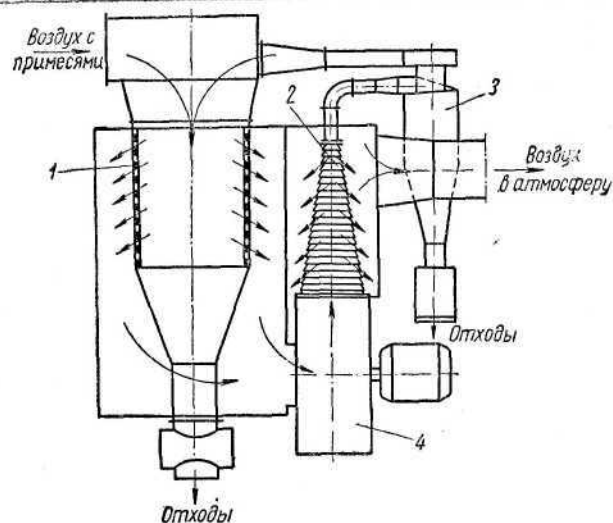
Фиг. 65. Очистка воздуха по схеме ВНИИЗ (второй вариант: отделители СИО и ИП присоединены к всасывающему отверстию вентилятора):

1 — сетчатый инерционный отделитель; 2 — инерционный жалюзийный пылеотделитель; 3 — циклон; 4 — вентилятор.

Выбор схемы обуславливается минимальными габаритными размерами воздухоочистителя, удобством компоновки с пневмосепарирующим каналом, рациональной схемой сбора и вывода отходов и минимальном газовым сопротивлением.

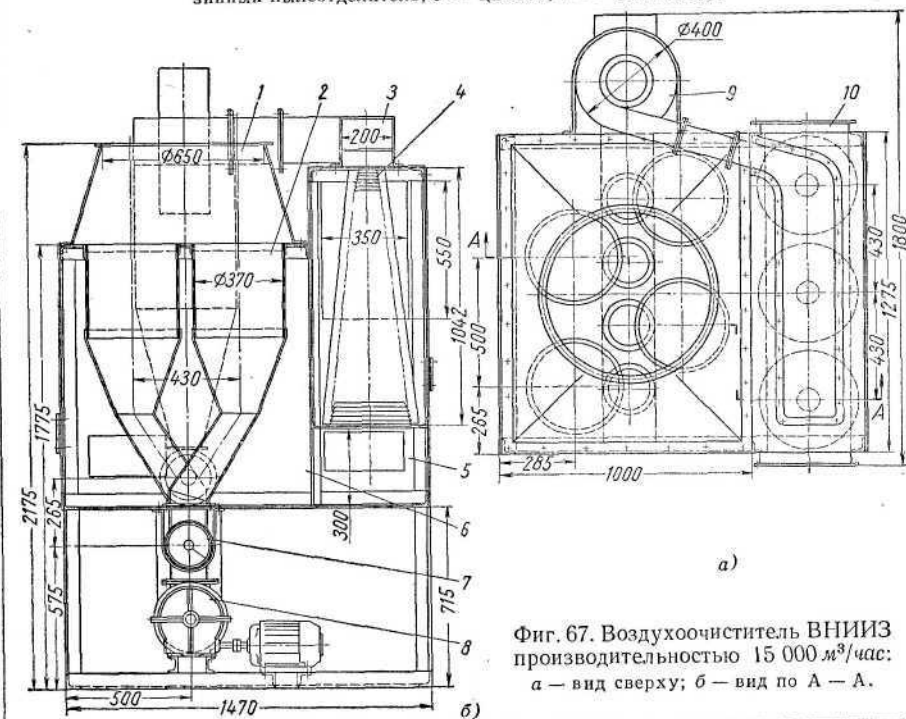
На фиг. 67 показан общий вид воздухоочистителя ВНИИЗ, рассчитанного на очистку 15 000 $м^3$ воздуха в час. Он состоит из четырех сетчатых инерционных отделителей диаметром 370 мм и трех пылеотделителей ИП-6-335.

Воздух поступает в приемную коробку 1 и распределяется по четырем сетчатым инерционным отделителям 2. В отделителях выделяются все примеси, которые не могут пройти через отверстия диаметром 1 мм, а также (под действием сил инерции) некоторая часть (50—60%) частиц, размеры которых меньше 1 мм. Пройдя через отверстия отделителя, воздух попадает в камеру 6. Отсюда воздух направляется в пространство 5, сообщенное с камерой сетчатого инерционного



Фиг. 66. Очистка воздуха по схеме ВНИИЗ (третий вариант: СИО на всасывающей, а ИП на нагнетающей стороне вентилятора):

1 — сетчатый инерционный отделитель; 2 — инерционный жалюзийный пылеотделитель; 3 — циклон; 4 — вентилятор.



Фиг. 67. Воздухоочиститель ВНИИЗ производительностью 15 000 м³/час:
а — вид сверху; б — вид по А — А.

отделителя и расположенное под инерционными жалюзийными пылеотделителями, и распределяется по трем инерционным жалюзийным пылеотделителям 4, в которых происходит его окончательная очистка от пыли. Далее основная часть воздуха (около 95%) поступает в камеру пылеотделителя, откуда удаляется через отверстие 10, соединенное воздухопроводом с атмосферой. Остальной воздух (около 5%) из трех пылеотделителей собирается в коллектор 3 и направляется в циклон 9, в котором происходит осаждение пыли. Воздух из циклона может быть возвращен к всасывающему отверстию вентилятора, подающего воздух в воздухоочиститель, либо удален в атмосферу.

Примеси, осаждаемые в сетчатом инерционном отделителе, и пыль, осаждаемая в циклоне, собираются одним шнеком 7 и удаляются из воздухоочистителя шлюзовым затвором 8.

Корпус воздухоочистителя представляет собой каркас из угловой стали 50 × 50 × 5 мм, обшитый листовой сталью толщиной 1—1,5 мм.

Воздухоочиститель имеет габаритные размеры в плане 1470 × 1800 мм и высоту 2350 мм.

Пример расчета воздухоочистителя ВНИИЗ. Количество воздуха, поступающего из пневмосепарирующего канала, принимаем равным 100 м³/мин. Расположение сетчатого инерционного отделителя и инерционного жалюзийного пылеотделителя выбираем по первому варианту. Берем один сетчатый инерционный отделитель и определяем его диаметр D_c , принимая скорость воздушного потока, входящего в него, равной 10 м/сек,

$$D_c = 0,146 \sqrt{\frac{Q_c}{u_c}} = 0,146 \sqrt{\frac{105}{10}} \approx 0,475 \text{ м.}$$

Величина Q_c больше, чем количество воздуха, поступающего из пневмосепарирующего канала, на 5 м³/мин за счет воздуха, возвращаемого из циклона. Принимаем

$$\varphi = \frac{F_0}{F_1} = 0,8.$$

По ГОСТу 214-57 определяем коэффициент живого сечения k . Для сита со штампованными отверстиями диаметром 1,5 мм $k = 0,2$.

Определяем поверхность F_2 цилиндра отделителя и высоту l_1 его цилиндрической части:

$$F_2 = \frac{\varphi}{k} F_1 = \frac{\varphi}{k} \cdot \frac{\pi D_c^2}{4} = \frac{0,8}{0,2} \cdot \frac{3,14 \cdot 0,475^2}{4} = 0,71 \text{ м}^2;$$

$$l_1 = \frac{F_2}{\pi D_c} = \frac{0,71}{3,14 \cdot 0,475} = 0,476 \text{ м.}$$

Принимаем угол наклона стенок сборного конуса к горизонту $\varphi = 60^\circ$ и диаметр отверстия для выпуска отходов $d_c = 200$ мм, отсюда высота конической части отделителя l_2 равна:

$$l_2 = \frac{\operatorname{tg} \varphi (D_c - d_c)}{2} = \frac{1,73 (0,475 - 0,2)}{2} = 0,238 \text{ м.}$$

Высота всего отделителя

$$l = l_1 + l_2 = 0,476 + 0,238 = 0,714 \text{ м.}$$

Определяем размеры камеры сетчатого инерционного отделителя. Для этого задаемся скоростью воздуха в камере $u_k = 6$ м/сек, тогда площадь горизонтального сечения камеры

$$F_3 = \frac{Q_1}{60u_k} + F_1 = \frac{105}{60 \cdot 6} + 0,177 = 0,47 \text{ м}^2,$$

а ее размеры в плане (при квадратной форме) оказываются равными $0,685 \times 0,685$ м. Высота камеры будет равна высоте всего отделителя, или может быть несколько больше, если этого потребуют условия компоновки всего воздухоочистителя.

Производим первоначальный расчет инерционного жалюзийного пылеотделителя, полагая, что весь воздух будет очищаться в одном пылеотделителе. Пусть скорость воздушного потока при входе в пылеотделитель равна 15 м/сек, тогда диаметр входного отверстия

$$D_u = 0,146 \sqrt{\frac{Q_u}{u_u}} = 0,146 \sqrt{\frac{105}{15}} = 0,385 \text{ м.}$$

Выбираем (таблица к фиг. 57) ближайший по размерам пылеотделитель ИП-7-415. Высота этого пылеотделителя равна 1488 мм. Это значительно больше найденной высоты сетчатого инерционного отделителя, следовательно, затруднит компоновку воздухоочистителя и увеличит его высоту. Для уменьшения высоты инерционного жалюзийного пылеотделителя следует вместо одного установить несколько отделителей меньших размеров. Производим расчет трех пылеотделителей.

В каждый пылеотделитель будет поступать $35 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха, следовательно, диаметр входного отверстия пылеотделителя

$$D_u = 0,146 \sqrt{\frac{35}{15}} = 0,22 \text{ м.}$$

Выбираем ближайший по размерам пылеотделитель ИП-4-215. Высота этого пылеотделителя, равная 661 мм, приемлема, так как она близка к высоте сетчатого инерционного отделителя.

Диаметр фланца, расположенного со стороны входа, равен 250 мм. Следовательно, основание камеры пылеотделителя должно быть 800×280 мм, а высота камеры будет равна высоте инерционного жалюзийного пылеотделителя, или несколько больше, если это требуется по условиям компоновки воздухоочистителя.

Определяем размеры циклона. Воздух из всех инерционных жалюзийных пылеотделителей может поступать в один или несколько циклонов, установленных параллельно. Если принять количество воздуха, поступающего в циклоны, равным 7% от общего количества, поступающего во все пылеотделители, то окажется, что оно составляет $7,4 \text{ м}^3/\text{мин}$. Для такого количества воздуха можно установить один циклон. Находим его сопротивление. Для этого предварительно определяем сопротивление каждого пылеотделителя:

$$\Delta H_u = \xi_u \frac{\gamma u_u^2}{2g} = 2 \frac{12 \cdot 15^2}{2 \cdot 9,81} = 27,5 \text{ кг/м}^2.$$

Принимаем сопротивление воздухопроводов, соединяющих циклон с пылеотделителями и с атмосферой, $\Delta H_a = 5 \text{ кг/м}^2$ (при наличии схемы воздухоочистителя величину ΔH_a следует вычислить), тогда

$$\Delta H_u = \Delta H_u - \Delta H_a = 27,5 - 5,0 = 22,5 \text{ кг/м}^2.$$

Выбираем циклон ВНИИЗ—НИОГАЗ и определяем его диаметр

$$D_u = 2,13 \sqrt[4]{\frac{Q^2}{\Delta H_u}} = 2,13 \sqrt[4]{\frac{7,4^2}{22,5}} \approx 0,337 \text{ м} \approx 340 \text{ мм.}$$

Остальные размеры циклона находим по таблице к фиг. 48.

ГЕРМЕТИЗИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА

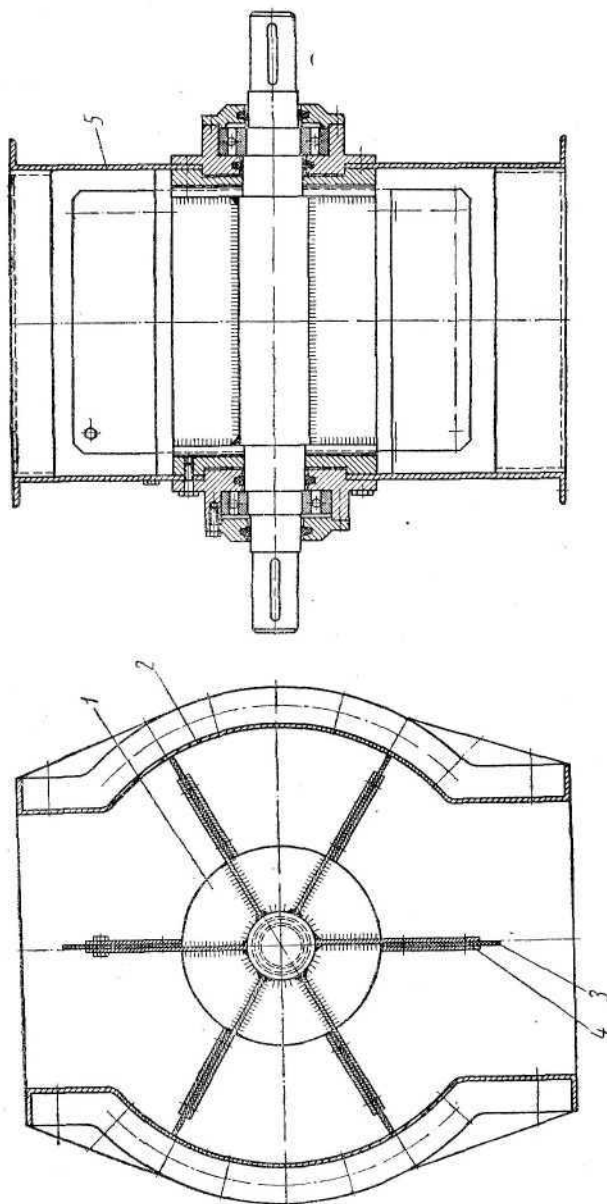
Ранее отмечали необходимость исключать или, по возможности, ограничивать подсос или утечку воздуха через отверстия, предназначенные для выпуска из воздухоочистителей осевшего материала. Для указанной цели служат шлюзовые затворы и клапаны различных конструкций.

Шлюзовой затвор (фиг. 68) состоит из корпуса 2, ротора 1 и боковых дисков 5. Корпус затвора изготовлен штампованным из листовой стали и усилен ребрами жесткости. Ротор состоит из вала, к которому приварено шесть лопастей 4. На каждой лопасти закреплена резиновая накладка 3, которая плотно прилегает к корпусу затвора.

Затвор устанавливается под циклоном или сетчатым инерционным отделителем и соединяется с его выпускным отверстием. При вращении ротора материал заполняет ячейки, образованные лопастями, а затем выгружается из них через нижнее отверстие в корпусе.

Резиновые накладки на лопастях предупреждают защемление ротора в случае попадания материала в зазор между лопастями и корпусом. Опыт применения шлюзовых затворов в зерноочистительных машинах подтверждает необходимость применения роторов с эластичными накладками.

При расчетах размеров шлюзового затвора определяется необходимая емкость ячеек ротора или, как иногда говорят, емкость затвора, а затем в зависимости от емкости определяются основные размеры. Потребная емкость V ячеек ротора зависит от количества материала,



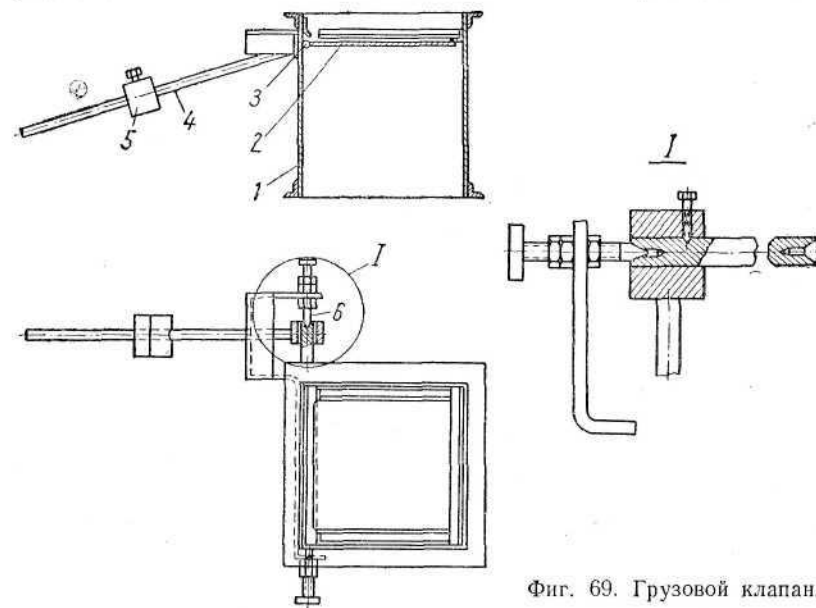
Фиг. 68. Шлюзовой затвор для вывода отходов.

поступающего в затвор в единицу времени, объемного веса материала, числа оборотов ротора и коэффициента заполнения ячеек и определяется из выражения

$$V = \frac{q}{\epsilon n \eta} \text{ л,}$$

где q — расчетная производительность затвора в кг/мин;
 ϵ — объемный вес материала в кг/л;
 n — число оборотов ротора в минуту;
 η — коэффициент заполнения ячеек.

Число оборотов затвора выбирается с таким расчетом, чтобы коэффициент заполнения ячеек составлял 0,7—0,8. Обычно оно колеблется в пределах 20—40 об/мин. Уменьшение числа оборотов может при-



Фиг. 69. Грузовой клапан.

вести к тому, что коэффициент заполнения достигнет величины, близкой к единице; в этом случае увеличивается опасность защемления ротора. Увеличение числа оборотов ротора сопровождается уменьшением коэффициента заполнения, т. е. уменьшением производительности затвора.

При проектировании и изготовлении шлюзовых затворов следует особое внимание обратить на герметичность конструкции, которая зависит от плотности прилегания эластичных накладок к корпусу затвора и боковым дискам.

Менее совершенным, но зато более простым герметизирующим устройством является грузовой клапан (фиг. 69). Он состоит из корпуса 1, клапана 2 с осью 3 и рычагом 4. На рычаге закреплен груз 5.

Клапан устанавливают под циклоном и соединяют с его выпускным отверстием отрезком трубы высотой 500—800 мм.

Он удерживается в закрытом положении с помощью груза, причем материал, осевший в циклоне, накапливается в трубе над клапаном. Когда вес материала достигнет определенной величины, клапан отклоняется вниз, выпускает материал и вновь закрывается. Изменяя вес груза и его расположение на рычаге, можно регулировать высоту столба материала, удерживаемого над клапаном, которая не должна достигать выпускного отверстия циклона.

Недостатком многих конструкций клапанов является то, что опорами оси у них служат подшипники скольжения, роль которых чаще всего выполняют стальные втулки. Такая конструкция быстро выходит из строя, так как по мере попадания пыли в зазор между осью и втулкой, или в результате коррозии оси и втулки, усилия, необходимые для открывания клапана, быстро достигают величины, при которой веса материала становится недостаточно для открывания клапана, в результате чего над клапаном накапливается много материала, который выносятся в атмосферу.

Клапан, показанный на чертеже фиг. 69, сконструирован во Всесоюзной школе мастеров-крупчатников; он отличается тем, что у него имеются так называемые центровые опоры 6. При такой конструкции проникновение пыли в опору и возможная коррозия практически не сказываются на действии клапана; это является его достоинством.

ВЕНТИЛЯТОРЫ

Вентилятор является одним из основных узлов пневмосепарирующей машины. Он предназначен для перемещения требуемого количества воздуха через пневмосепарирующий канал, воздухоочиститель и соединяющие их воздухопроводы.

В зависимости от развиваемого давления вентиляторы разделяются на следующие виды:

- а) вентиляторы низкого давления с наибольшей разностью полных давлений 100 кг/м^2 ;
- б) вентиляторы среднего давления с наибольшей разностью полных давлений 300 кг/м^2 ;
- в) вентиляторы высокого давления с наибольшей разностью полных давлений 1500 кг/м^2 .

Как правило, в зерноочистительных машинах применяют центробежные вентиляторы низкого или среднего давления.

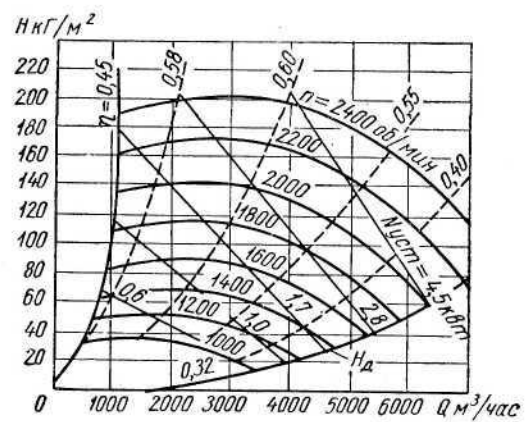
Для зерноочистительных машин, у которых воздух засасывается в пневмосепарирующий канал, а затем до предварительной очистки или после нее поступает в вентилятор, рекомендуются специальные пылевые вентиляторы, приспособленные для работы с пыльным воздухом.

Рабочее колесо пылевого вентилятора (см. фиг. 75) имеет небольшое число лопаток, расположенных через значительные промежутки. Колесо не имеет переднего кольца и других скрепляющих колесо деталей, способных вызвать накопления в нем пыли и более крупных частиц транспортируемого материала.

Необходимая жесткость колеса достигается за счет формы лопаток, которые расширяются к диску и крепятся не только к последнему, но и к ступице колеса.

Аэродинамические показатели работы вентиляторов: соответствующий расход воздуха, развиваемое давление и коэффициент полезного действия определяются по аэродинамическим характеристикам, которые для каждого типа вентиляторов устанавливают экспериментальным путем.

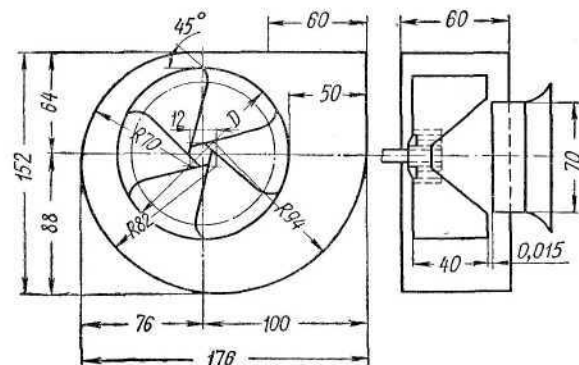
На графиках фиг. 70—73 показаны индивидуальные характеристики центробежных пылевых вентиляторов ЦАГИ № 4—7. По оси абсцисс графика отложен расход воздуха Q в $\text{м}^3/\text{час}$, а по оси ординат полное давление, развиваемое вентилятором, H в кг/м^2 (мм вод. ст.).



Линии полного давления обозначены числами n , выражающими соответствующее число оборотов колеса вентилятора. Кривые, обозначенные буквой η , представляют собой геометрическое место точек равных значений к. п. д. вентилятора.

Индивидуальная характеристика вентилятора дает возможность по известной характеристике сети, т. е. по известному расходу воздуха и сопротивлению сети (машин), выбрать число оборотов колеса вентилятора и определить его к. п. д.

Из всех пригодных для работы в проектируемой установке вентиляторов подбирают тот, который будет работать с максимальным к. п. д.



Фиг. 74. Аэродинамическая схема центробежных пылевых вентиляторов ЦАГИ серии Ц6-46 модели 1949 г. ($D = 100\%$, остальные размеры на схеме даны в % от D).

Для определения размеров вентиляторов указанного типа могут служить аэродинамическая схема (фиг. 74) и конструктивная схема (фиг. 75), чертеж лопатки и ее развертка (фиг. 76 и 77).

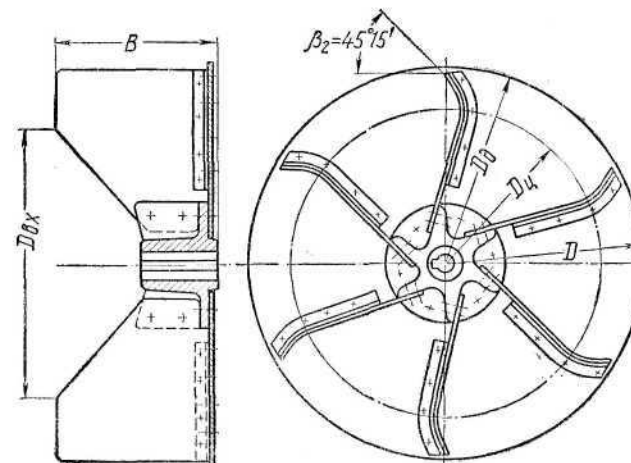
Вспомогательная таблица
для подбора вентилятора

Вентилятор	К. п. д.	Число оборотов колеса в минуту
Ц6-46 № 4	0,4	2180
Ц6-46 № 5	0,6	1580
Ц6-46 № 6	0,6	1180
Ц6-46 № 7	0,57	1000

Приведем пример подбора вентилятора к сети сепаратора. Необходимо подобрать вентилятор к сети воздушного сепаратора, характеризующийся следующими показателями: $Q = 6000 \text{ м}^3/\text{час}$; $H_n = 110 \text{ кг/м}^2$. Воспользуемся для этого характеристиками, приведенными на фиг. 70—73. По характеристике вентилятора Ц6-46 № 4

можно установить, что для достижения указанных показателей число оборотов колеса вентилятора должно быть равным 2180 в минуту, его к. п. д. при этом равен около 0,4. Внесем эти данные в табл. 25.

Аналогичным способом определим к. п. д. и число оборотов вентиляторов № 5, 6, и 7 и значения их внесем в табл. 25.



Диаметр колеса D в мм	300	400	500	600	700	800	900	1000	1200	1400	1600
Диаметр диска D_0 в мм	303	404	505	606	707	808	909	1010	1212	1414	1515
Диаметр входного отверстия лопаток $D_{вх}$ в мм	210	280	350	420	490	550	630	700	840	980	1120
Диаметр центров лопаток $D_ц$ в мм	246	328	410	492	574	656	738	820	986	1148	1312
Ширина колеса B в мм	124	165	205	247	288	329	370	413	495	578	660
Радиус лопатки r в мм	46	60	75	90	105	120	135	150	180	210	240

Фиг. 75. Конструктивная схема колеса центробежных пылевых вентиляторов ЦАГИ серии Ц6-46 модели 1949 г.

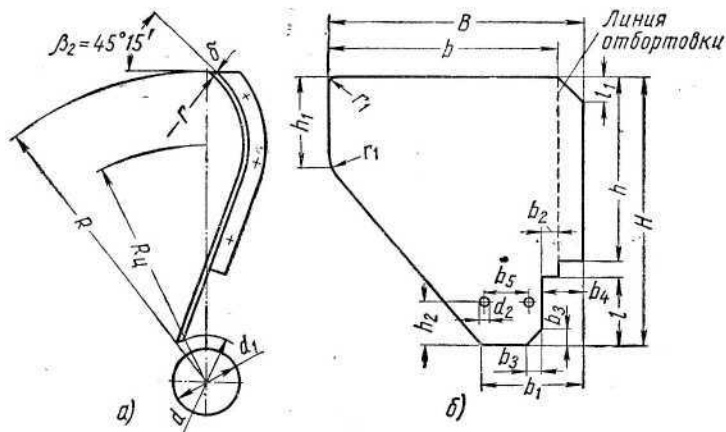
Данные, приведенные в табл. 25, свидетельствуют о том, что наибольший к. п. д. будет у вентиляторов № 5 и № 6. Предпочтение следует отдать вентилятору № 5, так как габаритные размеры его меньше, а число оборотов колеса близко к числу оборотов вала электродвигателя. Это позволяет осуществить непосредственное соединение электродвигателя с колесом вентилятора.

В таблице к фиг. 78 приведены данные, характеризующие пылевые вентиляторы типа ЦАГИ, изготавливаемые нашей промышленностью.

где Q — расход воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$;
 H — полное давление в $\text{кг}/\text{м}^2$;
 $\eta_{\text{в}}$ — к. п. д. вентилятора;
 $\eta_{\text{пер}}$ — к. п. д. передачи.

$$N = \frac{QH}{3600 \cdot 102 \eta_{\theta} \eta_{nep}} \text{ кВт},$$

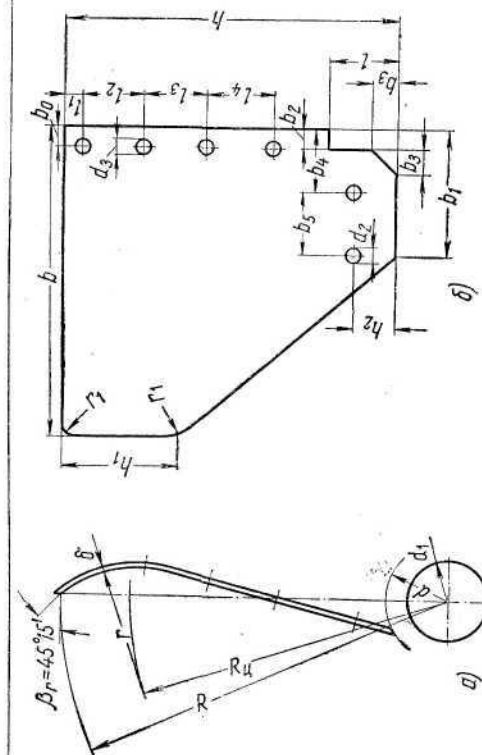
где Q — расход воздуха в $\text{м}^3/\text{час}$;
 H — полное давление в $\text{кг}/\text{м}^2$;
 $\eta_{\text{в}}$ — к. п. д. вентилятора;
 $\eta_{\text{пер}}$ — к. п. д. передачи.



Диаметр колеса D	Радиус колеса R	Радиус центров R_q	Радиус лопатки r	Ширина лопатки b	Диаметр касательной окружности d_1	Диаметр концов лопаток d	B	h_1	h	H	b_1	b_2	b_3	b_4	b_5	d_2	r_1	l_1	h_2	l	Толщина лопатки δ в мм		Материал
																					рекомендуемая	максимальная	
300	150	123	45	120	32,4	52	131	49	94	132	82	8,5	7	37	25	5,5	4,5	10	16	24	1,25	1,5	Сталь тонколистовая
400	200	164	60	160	43	70	172	65	126	175,5	82	11,5	9	46	36	7,5	6	10	20,6	32	1,5	1,75	

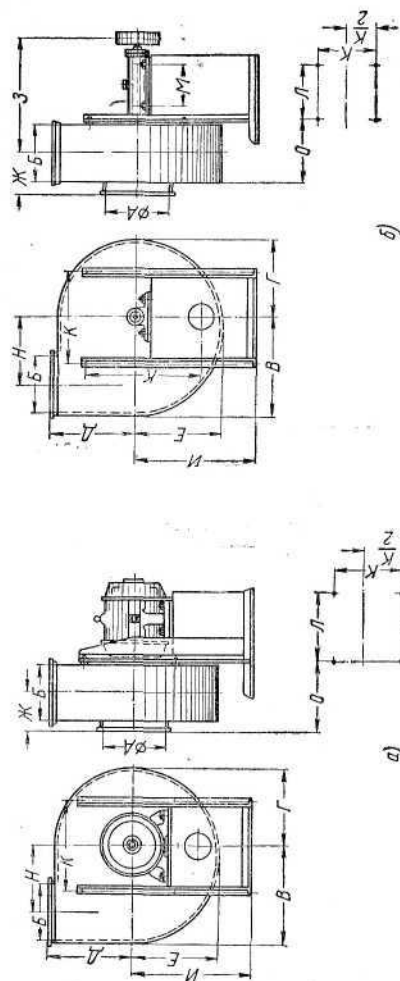
a — лопатка с отбортовкой; *б* — развертка лопатки с отбортовкой.

Если вентилятор имеет индивидуальный электропривод, то электродвигатель, из числа серийных, выбирают ближайший больший по мощности.



Фиг. 77. Лопатка и развертка лопатки центробежных пылевых вентиляторов ЦАГИ серии ЦБ-46 модели 1949 г., № 5-16;
а — лопатка; б — развертка лопатки.

Диаметр кода- с D	Радиус колеса R	Радиус цент- ров R ₀	Ширина лопат- ки b	Диаметр кака- тельной окруж- ности d ₁	Диаметр концов лопаток d	Толщина лопатки δ		b ₁	h ₁	r ₁	l	h ₂	b ₂	b ₃	d ₂	b ₅	Количество от- верстий диамет- ром d ₂	b ₀	d ₃	l ₁	l ₂	l ₃	l ₄	l ₅	Материал		
						рекомен- дуемая	максим- альная																				
500	250	205	75	200	54	86	1,75	2	86	82	221	7,5	42	26,5	15	12	43	8,5	42	2	12	5,3	13	38	42	45	—
600	300	246	90	240	64	104	2	2,35	103	98,5	266	9	49	32	17	14	52	10	50	2	14	6,5	15	50	50	56	—
700	350	287	105	280	75,5	120	2,4	2,75	120	114,8	310	10,5	57	36,5	20	16	60	12	58	2	14	7,5	15	56	65	65	—
800	400	328	120	320	86,4	130	2,75	3	138	131	359	12	64	42,5	22	18	68	14	68	2	17	8,5	18	68	72	75	—
900	450	369	135	360	97	148	3	3,35	155	144,5	403	13	72	47,2	24	20	65	12	48	3	19	8,5	20	56	60	65	65
1000	500	410	150	400	108	164	3,25	3,5	172	164	448	15	79	53	27	22	70	12	52	3	19	8,5	20	62	65	72	75
1200	600	493	180	480	130	182	3,75	4,5	207	197	552	18	94	63,6	31	25	90	14	60	3	22	10	25	75	73	85	92
1400	700	574	210	560	151	196	4,5	5	242	230	652	21	107	74,3	33	28	95	17	75	3	25	12	25	80	80	83	85
1600	800	656	240	640	173	210	5	6	273	262	756	24	122	86,5	36	30	95	20	90	3	28	12	35	90	90	100	105
1800	900	737	270	720	194	228	5,5	6,5	308	294	864	27	138	98,5	40	33	105	22	100	3	30	12	35	90	90	100	105
2000	1000	818	300	800	215	246	6	7,5	348	330	972	30	150	110	44	36	110	24	110	3	32	12	35	90	90	100	105



Фиг. 78. Нормаль центробежных пылевых вентиляторов ЦАГИ серии ЦБ-46 модели 1949 г.: а — исполнение вентиляторов «а»; б — исполнение вентиляторов «б».

№ вентилятора	Диаметр колеса	Размеры в мм																Шкив	
		А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	З	И	К	Л	М	Н	О	П	Р	диаметр	ширина
4	400	280	240	412	312	288	362	145	375	470	330	190	106	280	300	160	70		
5	500	350	300	512	388	355	450	182	433	560	390	210	110	350	370	200	70		
6	600	420	360	615	465	425	540	217	500	630	440	260	130	420	440	240	85		
7	700	490	420	717	541	494	629	254	553	730	550	290	150	490	510	280	125		
8	800	560	480	817	617	558	717	283	632	897	620	330	150	560	570	320	150		

Примечание. Вентиляторы № 4, 5 и 6 изготавливаются в исполнении «а» и «б», № 7 и 8 — в исполнении «б».

Регулирование количества воздуха, перемещаемого вентилятором, осуществляют обычными дроссельными приборами—задвижками или клапанами, а также посредством изменения числа оборотов вентилятора. Последний способ является наиболее экономичным, хотя и требует применения специального вариатора скоростей.

К пневмосепарирующим установкам, не имеющим в своем составе тканевых фильтров (неквадратичных сопротивлений), применимы законы пропорциональности работы вентиляторов, позволяющие расчетным путем определить изменение расхода воздуха Q , полного давления H и мощности N при изменении числа оборотов n колеса вентилятора:

$$Q_2 = Q_1 \frac{n_2}{n_1};$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^2;$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{n_2}{n_1} \right)^3.$$

Рассмотрим применение законов пропорциональности на примере. Пусть работа вентилятора в пневмосепарирующей установке характеризуется следующими показателями: $Q_1 = 5000 \text{ м}^3/\text{час}$; $H_1 = 100 \text{ кг/м}^2$; $N_1 = 2,7 \text{ квт}$ и $n_1 = 1400 \text{ об/мин}$.

Увеличим расход воздуха через вентилятор до $Q_2 = 6000 \text{ м}^3/\text{час}$, тогда

$$n_2 = 1400 \frac{6000}{5000} = 1680 \text{ об/мин};$$

$$H_2 = 100 \left(\frac{1680}{1400} \right)^2 = 144 \text{ кг/м}^2;$$

$$N_2 = 2,7 \left(\frac{1680}{1400} \right)^3 = 4,67 \text{ квт}.$$

Если число оборотов вентилятора изменять нежелательно, например, при непосредственном соединении колеса вентилятора с валом электродвигателя, то можно произвести пересчет параметров вентилятора по диаметру колеса (D), пользуясь для этого формулами

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^3;$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^2;$$

$$N_2 = N_1 \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^5.$$

Следует иметь в виду, что применение законов пропорциональности возможно при том условии, что установка, которую обслуживает вентилятор (воздухопроводящая сеть), остается без всяких изменений.

МАШИНЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

Очистка зерна воздушным потоком осуществляется как специальными машинами, предназначенными только для этой цели, так и комбинированными воздушно-ситовыми сепараторами и другими более сложными машинами, которые помимо пневмосепарирующего устройства имеют рабочие органы для отделения примесей по принципу различия размеров (сита и триеры).

К воздушным сепараторам можно также отнести машины, у которых сита выполняют подсобную роль, отделение крупных соломистых и других частиц, которые могут засорить питающие устройства пневмосепарирующих каналов. К таким сепараторам относятся машины ПЗА-40, ВО-40, ПЗС-10, ОВВ-20 и др.

ВОЗДУШНОСЕПАРИРУЮЩАЯ МАШИНА ПЗА-40 ПЕРЕДВИЖНОГО ЗЕРНООЧИСТИТЕЛЬНОГО АГРЕГАТА ЗА-40

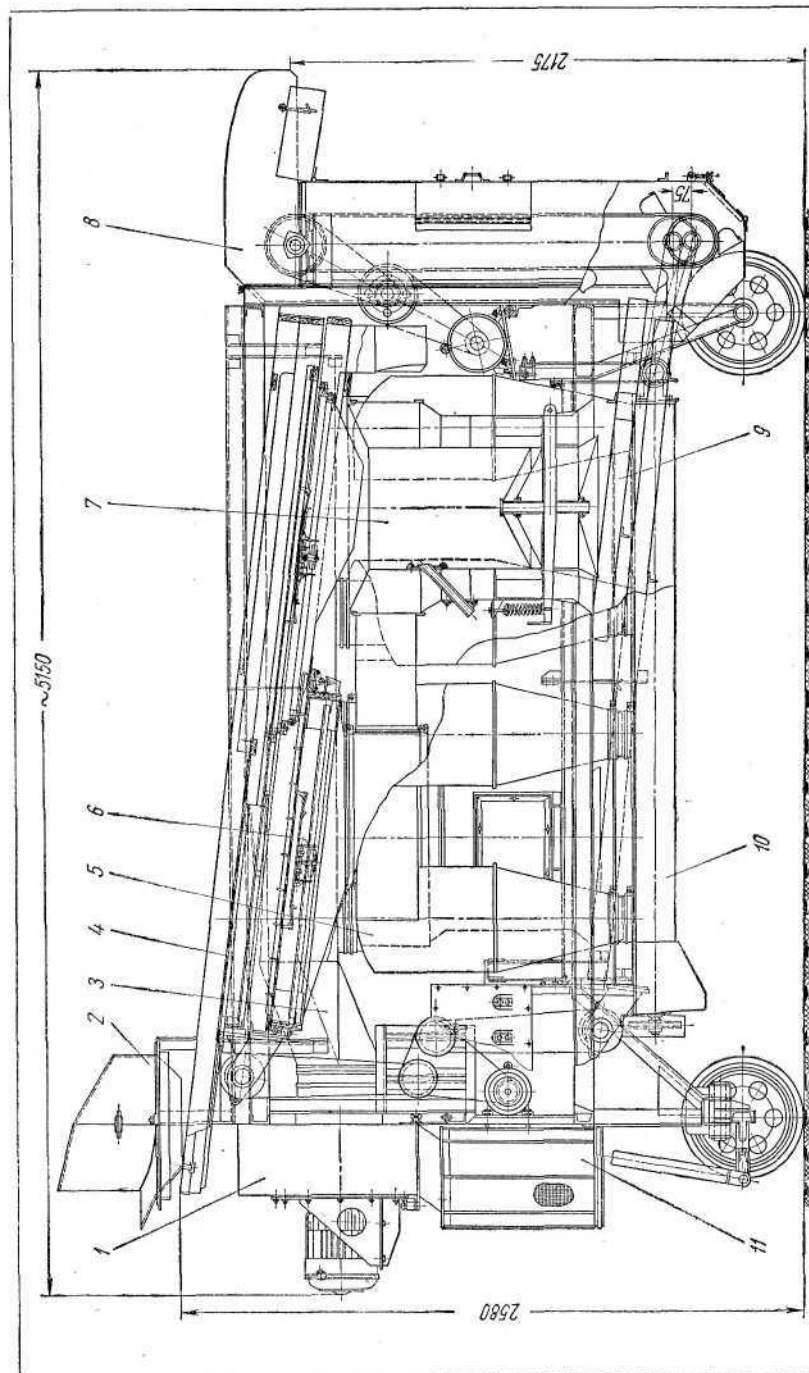
Воздушносепарирующая машина ПЗА-40 входит в состав передвижного зерноочистительного агрегата ЗА-40 конструкции ВНИИЗ и завода им. Воробьева, однако она может быть использована и как отдельная машина.

Машина ПЗА-40 (фиг. 79) работает по следующей технологической схеме (фиг. 80): зерно подается в бункер 1, из которого вытекает на приемное сито 2. На этом сите отделяются наиболее крупные примеси: крупная солома, колосья, посторонние предметы, случайно попавшие в зерно, и др.

Под приемным ситом установлен делитель щелевого типа, проходя через который, зерно делится на две равные части, которые поступают на два параллельно расположенные сита 3, предназначенные для отделения крупных примесей, частей колосьев, соломы, вегетативных частей растений и др.

Далее зерно поступает в два кольцевых пневмосепарирующих канала 4. Здесь происходит очистка зерна от примесей, отделяемых воздушным потоком. Пневмосепарирующий канал показан на чертеже фиг. 81.

Очищенное зерно из каналов 4 (фиг. 80) направляется на вибрационный транспортер 5, расположенный под пневмосепарирующим каналом. Транспортер подает зерно в норию, которая посылает его

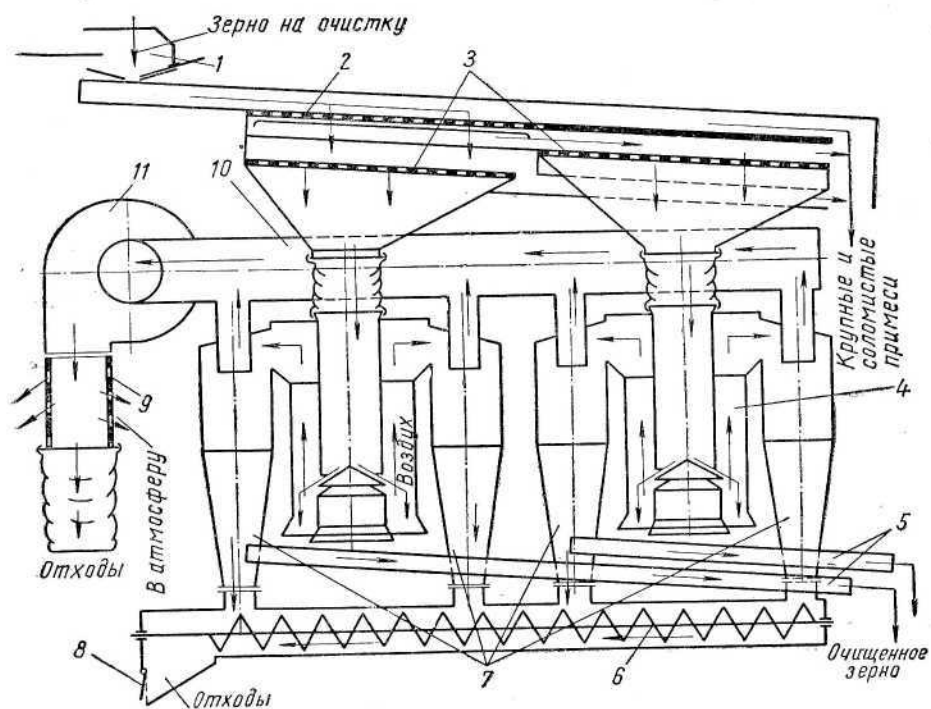


Фиг. 79. Зерноочистительная машина ПЗА-40:

1 — вентилятор; 2 — приемный ковш; 3 — ситовой кузов; 4 — приемное сито; 5 — циклон; 6 — сито для отделения крупных примесей (сортировочное); 7 — пневмосепарирующий канал; 8 — ковшовый элеватор; 9 — вибрационный транспортер; 10 — шнек; 11 — сетчатый инерционный отделитель.

на последующую очистку в ситовую установку, входящую в агрегат или на транспортные механизмы, для перемещения в требуемом направлении.

Воздух, поступающий в пневмосепарирующие каналы снизу, пронизывает струю зерна и вместе с выделенными из зерна примесями направляется в циклоны 7. В машине установлено восемь циклонов,



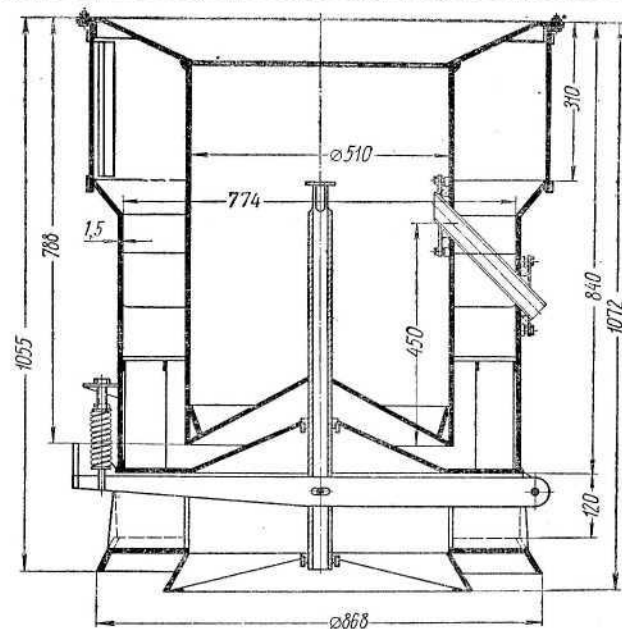
Фиг. 80. Технологическая схема машины ПЗА-40.

по четыре около каждого пневмосепарирующего канала. В каждую группу циклонов (фиг. 82) поступает воздух из одного пневмосепарирующего канала.

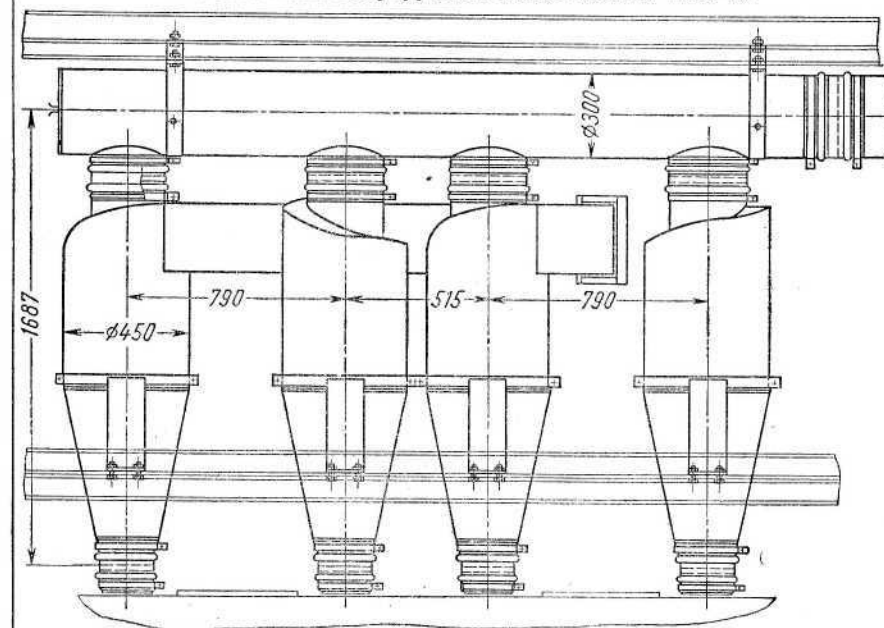
На фиг. 83 показаны циклон и развертки его деталей. В циклонах (см. фиг. 80) воздух освобождается от большей части взвешенных в нем частиц, которые выпадают в два шнека 6, расположенные по одному под каждой группой циклонов. С помощью шнеков осажденный материал удаляется из машины.

В конце каждого шнека имеется свободно висящий клапан 8, который вследствие разрежения в кожухе шнека прижимается к отверстию кожуха и тем препятствует проникновению в него воздуха.

Воздух, прошедший очистку в циклонах, собирается в коллекторе 10 и направляется по нему в вентилятор 11.



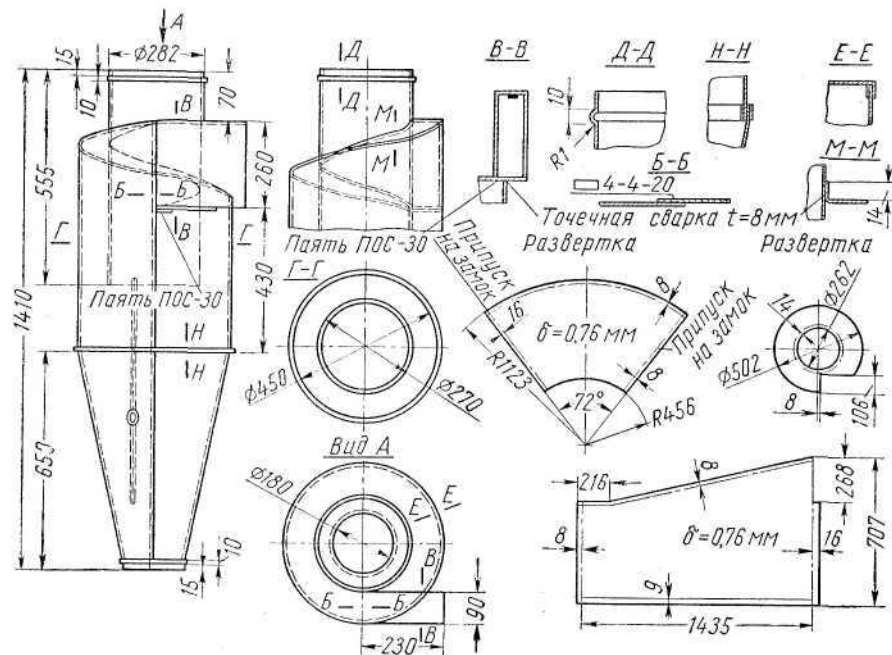
Фиг. 81. Пневмосепарирующий канал машины ПЗА-40.



Фиг. 82. Группа циклонов машины ПЗА-40.

Установка снабжена двумя пылевыми вентиляторами ЦАГИ № 5-К нагнетательным отверстиям вентиляторов присоединены сетчатые инерционные отделители 9, задерживающие крупные, но легкие частицы, которые не могут удерживаться в циклонах (цветочные пленки, частицы соломы и др.).

Машина предназначена для очистки зерна, поступающего с колхозных и совхозных токов на хлебоприемные пункты. Опыт



Фиг. 83. Циклон.

эксплуатации ПЗА-40 показывает, что эта установка пригодна для очистки зерна, поступающего непосредственно из-под комбайна без предварительной очистки.

Техническая характеристика зерноочистительной машины ПЗА-40

Производительность (при очистке зерна влажностью до 19%) в т/час . . .	40
Габаритные размеры (в транспортном положении) в мм:	
длина	5150
ширина	1940
высота	2680
Вес в кг	2630
Число пневмосепарирующих каналов	2
Размеры пневмосепарирующих каналов в мм:	
диаметр наружного цилиндра	777
диаметр внутреннего цилиндра	514
ширина кольцевого канала	130
Периметр каждого пневмосепарирующего канала (по среднему диаметру) в см	200

Зерновая нагрузка на 1 см периметра канала в кг/см·час	100
Расчетная скорость воздушного потока в канале в м/сек	5,5
Расход воздуха в каналах (при расчетной скорости воздушного потока) в м³/мин	190
Начальная скорость частиц сепарируемого материала при входе в канал в м/сек	0,3
Количество вентиляторов	2
Тип вентилятора	Центробежный пылевой — ЦАГИ

Диаметр колеса вентилятора в мм	500
Число оборотов колеса вентилятора в минуту	1450
Полное давление, развиваемое вентилятором (при расчетном расходе воздуха), в кг/м²	115
Мощность, потребная для привода каждого вентилятора в кВт	3,5
Установочная мощность электродвигателя каждого вентилятора в кВт	4,5
Количество циклонов	8
Диаметр циклона в мм	450
Средняя нагрузка каждого циклона в м³/мин	23,7
Ширина сит в см:	
приемного	86
сортировочного	172
Площадь сит в м²:	
приемного	1,1
сортировочного	2,2
Нагрузка на 1 см ширины сита в кг/см·час:	
приемного	466
сортировочного	233

Установка имеет колесный ход и может прицепляться к автомобилю или трактору.

Эффект очистки машины ПЗА-40 неоднократно проверялся в производственных условиях и в среднем равен 55—65%. Указанный эффект очистки определяли по снижению количества в зерне сорной и зерновой примесей.

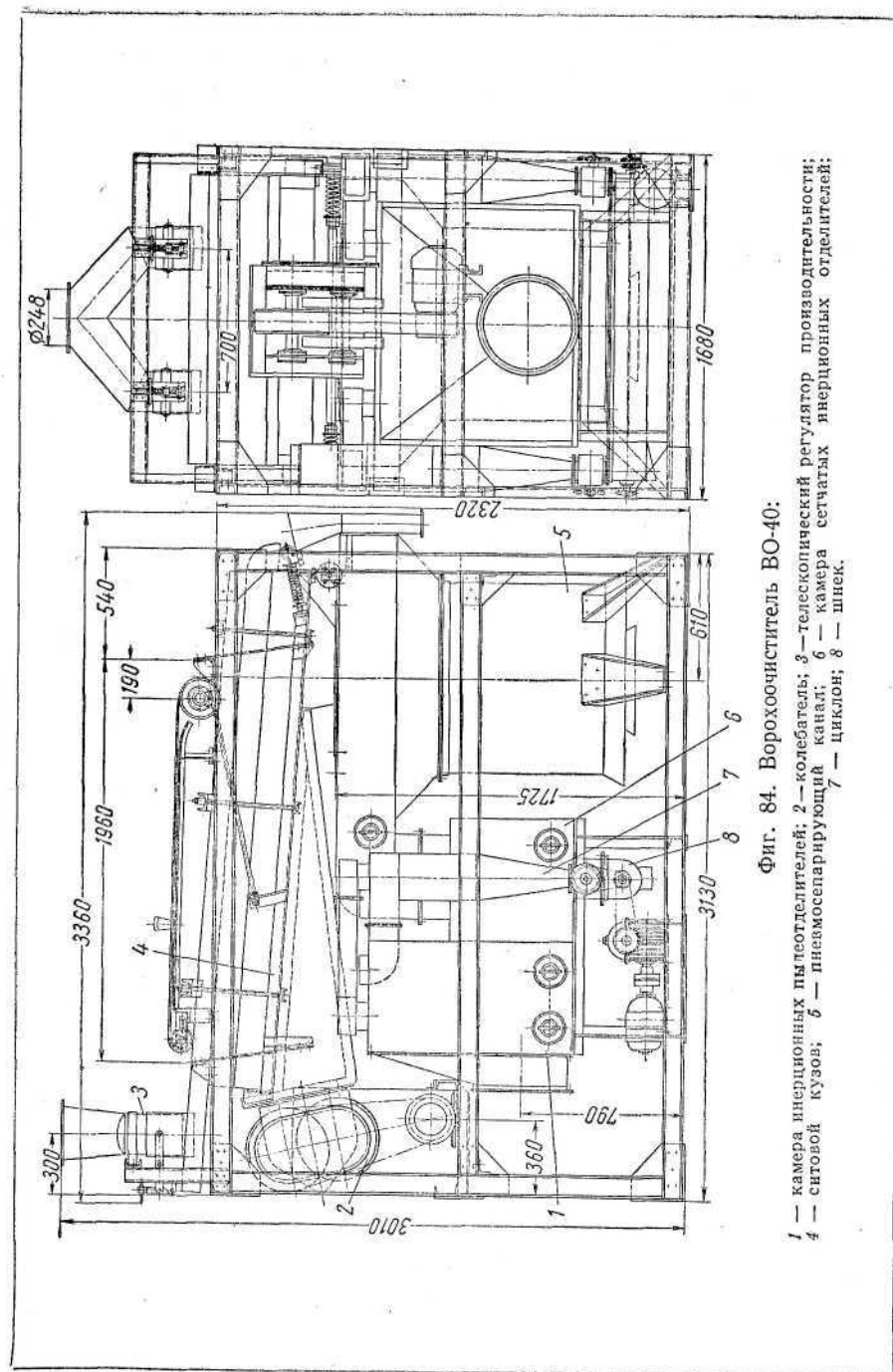
Во время испытаний, проводимых на Братцевской хлебной базе, удалось определить эффект очистки ПЗА-40 по снижению количества в зерне примесей, отделяемых воздушным потоком, что является наиболее правильным методом оценки эффективности воздушных сепараторов.

Результаты определения эффекта очистки машины ПЗА-40

Производительность в т/час	40,2
Содержание в зерне примесей, отделяемых воздушным потоком, в %:	
до очистки	1,35
после очистки	0,44
Эффект очистки в %	67

ВОРОХООЧИСТИТЕЛЬ ВО-40

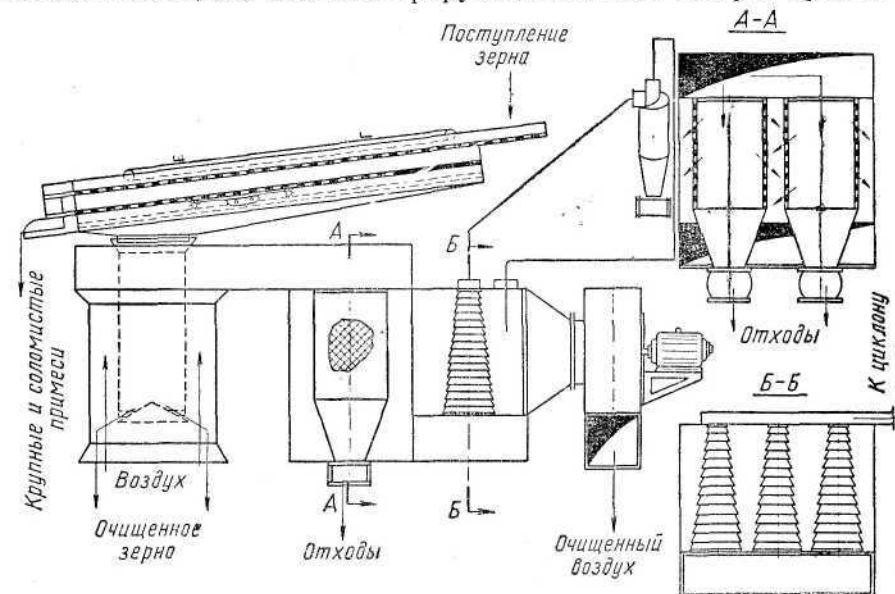
Стационарный ворохоочиститель ВО-40 конструкции ВНИИЗ предназначен для работы в технологических линиях по приему, очистке и сушке зерна в потоке на хлебоприемных пунктах (фиг. 84). Конструкция машины позволяет очищать свежесобранное зерно высокой влажности и засоренности, поступающее из-под комбайна.



Фиг. 84. Ворохоочиститель ВО-40:

Ворохоочиститель работает по следующей схеме (фиг. 85). Зерно подается в ситовой кузов, имеющий два сита: верхнее — приемное и нижнее — сортировочное.

Проходя последовательно через оба сита, зерно освобождается от наиболее крупных частиц (солома, части колосьев и др.) и направляется в кольцевой пневмосепарирующий канал, в котором происхо-



Фиг. 85. Технологическая схема ворохоочистителя ВО-40.

дит очистка зерна воздушным потоком. Воздушный поток от примесей очищается по схеме ВНИИЗ, в сетчатых инерционных отделителях и жалюзийных инерционных пылеотделителях.

Техническая характеристика ворохоочистителя ВО-40

Производительность (на тяжелом зерне) в т/час	40
Габаритные размеры в мм:	
длина	3360
ширина	1680
высота	3010
Вес в кг	1710
Размеры приемного сита в мм:	
длина	1400
ширина	1355
Размеры сортировочного сита в мм:	
длина	1800
ширина	1355
Удельная нагрузка на 1 см ширины сита в кг/см·час	286
Кинематические параметры ситового кузова:	
число колебаний в минуту	495
амплитуда колебаний в мм	10
угол наклона сит к горизонту в град.	4
угол наклона подвесок к вертикальной плоскости в град.	12

Длина пневмосепарирующего канала (длина его окружности) в см	216
Удельная нагрузка на 1 см длины пневмосепарирующего канала в кг/см·час	185
Количество сетчатых инерционных отделителей	2
Рабочая поверхность сетчатых пылеотделителей в м ²	1,06
Количество инерционных жалюзийных пылеотделителей ИП-4-215	3
Количество циклонов диаметром 235 мм к инерционным пылеотделителям	2
Расчетная скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале в м/сек	6
Расход воздуха в м ³ /час	10 000
Удельный расход воздуха на тонну очищенного зерна в м ³	250
Сопротивление воздушной системы в кг/м ²	120
Тип вентилятора	Пылевой ЦАГИ № 6

Ситовой кузов приводится в движение самобалансирующимся колебателем.

Указанная в технической характеристике производительность ворохоочистителя, равная 40 т/час, достигается при очистке пшеницы влажностью до 20%. Во время производственных испытаний ворохоочистителя при очистке пшеницы с влажностью 25—28% и содержанием сорной примеси 6—10% была достигнута средняя производительность 27,2 т/час. При этом эффект очистки зерна от сорных примесей был равен 33,4%, от овсюга 25,6%, от крупных соломистых примесей 95—100%.

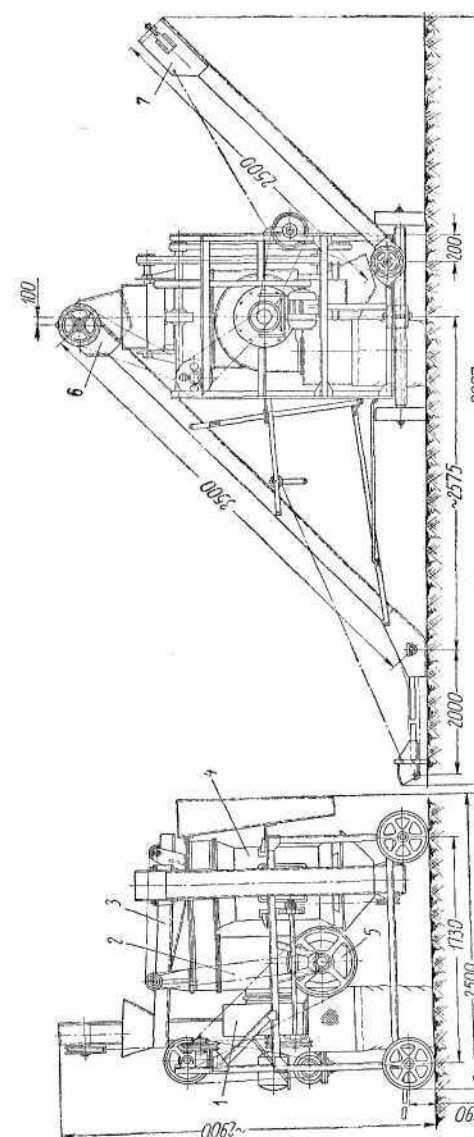
В настоящее время внесены некоторые изменения в конструкцию машины, которые позволяют довести эффект очистки от сорных примесей до 45—50%. Приведенная техническая характеристика составлена с учетом этих изменений.

ПЕРЕДВИЖНОЙ ВОЗДУШНЫЙ СЕПАРАТОР ПЗС-10

Передвижной сепаратор конструкции ВНИИЗа и ЦКБ Министерства сельского хозяйства РСФСР предназначен для первичной очистки зерна на колхозных и совхозных токах. Он состоит (фиг. 86) из приемного сита 3, кольцевого пневмосепарирующего канала 4, сетчатого инерционного отделителя 2, вентилятора 1, шлюзового затвора 5 для вывода отходов, загрузочного скребкового транспортера 6 и отгрузочного скребкового транспортера 7.

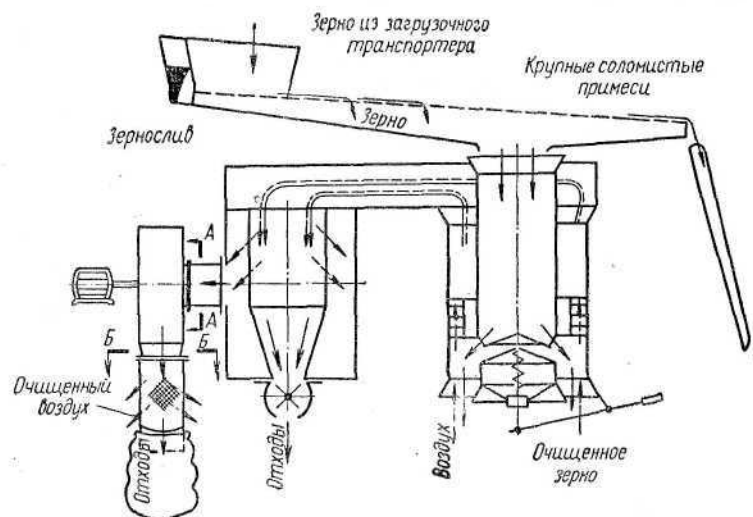
Технологический процесс работы машины заключается в следующем (фиг. 87). Зерно из насыпи скребковым транспортером подается на приемное сито, на котором сходом отделяются крупные примеси, а зерно, пройдя через отверстия сита, по поддону поступает в пневмосепарирующий канал. Очищенное воздушным потоком зерно отгрузочным транспортером подается в насыпь очищенного зерна или в автомашину.

Воздух из пневмосепарирующего канала поступает в первый сетчатый инерционный отделитель, который заключен в камеру. Через отверстия стенок отделителя он направляется в камеру, а примеси



Фиг. 86. Передвижной воздушный сепаратор ПЗС-10.

выделившиеся из воздуха, попадают в шлюзовой затвор. Из камеры первого отделителя воздух с помощью вентилятора нагнетается во второй сетчатый инерционный отделитель. Этот отделитель не имеет



Фиг. 87. Технологическая схема сепаратора ПЗС-10.

камеры, и воздух через отверстия сетки поступает в атмосферу. Примеси, задержанные во втором отделителе, собираются в мешок, подвешенный к его нижней части.

Техническая характеристика сепаратора ПЗС-10

Производительность в т/час	10
Габаритные размеры (в рабочем положении) в мм:	
длина	6900
ширина	2500
высота	2900
Вес в кг	670
Размеры пневмосепарирующего канала в мм:	
диаметр наружного цилиндра	560
диаметр внутреннего цилиндра	320
ширина кольцевого канала	120
Длина окружности пневмосепарирующего канала (по среднему диаметру) в см	135
Зерновая нагрузка на 1 см окружности канала в кг/см·час	73
Расчетная скорость воздушного потока в канале в м/сек	5,5
Расход воздуха при расчетной скорости воздуха в м³/мин	55
Начальная скорость частиц сепарируемого материала при входе в канал в м/сек	0,3
Количество сетчатых инерционных отделителей первой ступени очистки	2
Размеры отделителя первой ступени очистки в мм:	
диаметр	300
высота	300
Площадь сетки отделителя в м²	0,285

Площадь живого сечения сетки в м²	0,07
Количество сетчатых инерционных отделителей второй ступени очистки	1
Размеры отделителя второй ступени очистки в мм:	
диаметр	500
высота	400
Площадь сетки отделителя в м²	0,62
Площадь живого сечения сетки в м²	0,078
Количество вентиляторов	1
Тип вентилятора	Пылевой, ЦАГИ № 4
Диаметр колеса вентилятора в мм	400
Число оборотов колеса вентилятора в минуту	1420
Полное давление, развиваемое вентилятором (при расчетном расходе воздуха), в кг/м²	70
Мощность, потребляемая для привода вентилятора, в кВт	2
Размеры приемного сита в мм:	
ширина	500
длина	960
Площадь приемного сита в м²	0,48
Нагрузка на 1 см ширины приемного сита в кг/см·час	200

Машина имеет колесный ход и прицепляется к автомобилю или трактору.

Результаты определения эффекта очистки во время производственных испытаний при очистке пшеницы приведены в табл. 26.

Таблица 26

Результаты определения эффекта очистки сепаратора ПЗС-10

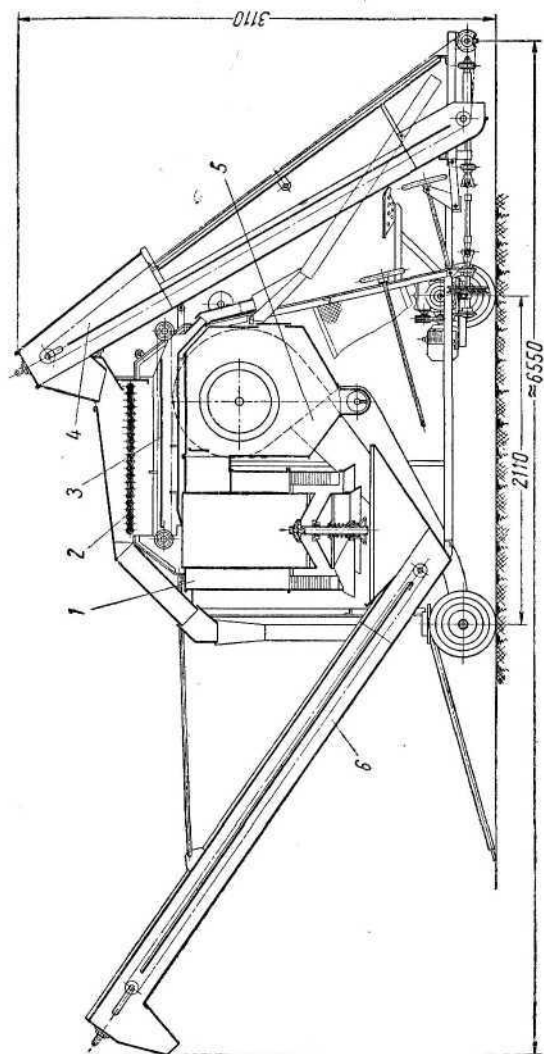
Производительность	Содержание в зерне сорной примеси в %		Содержание в зерне зерновой примеси в %		Эффект очистки зерна по снижению содержания сорной примеси в %
	до очистки	после очистки	до очистки	после очистки	
7,5	2,74	0,86	3,1	3,0	68,6
12,0	2,74	1,0	4,1	3,0	63,5

САМОПЕРЕДВИЖНОЙ ВОРОХООЧИСТИТЕЛЬ ОВВ-20

Ворохоочиститель ОВВ-20 (фиг. 88) конструкции ВИСХОМ так же как и сепаратор ПЗС-10, предназначен для первичной очистки свежееубранного зерна на токах колхозов и совхозов. По технологической схеме ворохоочиститель ОВВ-20 сходен с машинами ПЗА-40; ВО-40 и ПЗС-10, с той лишь разницей, что в ворохоочистителе ОВВ-20 крупные примеси из зерна выделяются на роликовом сите (фиг. 89).

Устройство и принцип работы роликового сита заключаются в следующем: в горизонтальной плоскости расположено 27 роликов, состоящих из валиков 3, втулок 1 диаметром 26 мм и дисков 2 диаметром 42 мм.

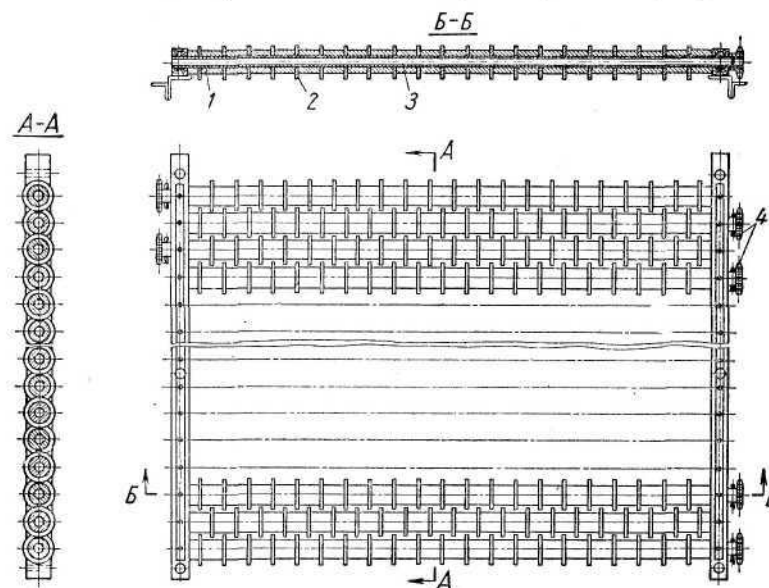
Диски расположены на валиках в шахматном порядке и вместе с втулками образуют ячейки размером в свету 9 × 11 мм. Ролики



Фиг. 88. Самопередвижной ворохоочиститель ОВВ-20:

1 — пневмосепарирующий канал; 2 — роlikовое сито; 3 — поддон; 4 — элеватор загрузочный; 5 — осадочная камера; 6 — элеватор отгрузочный.

приводятся в движение посредством цепной передачи через звездочки 4, посаженные на концы валиков. Зерновой ворох, поступающий на вращающиеся ролики, движется по этому своеобразному сити, причем зерно вместе с более мелкими примесями проваливается сквозь ячейки и подается скребковым транспортером (фиг. 88) по неподвижному поддону 3 в пневмосепарирующий кольцевой канал 1, в котором оно продувается потоком воздуха. Крупные примеси (солома, колоски, обрывки стеблей сорных растений) транспорти-



Фиг. 89. Роlikовое сито.

руются роликами и по желобу самотеком выводятся за пределы машины.

Отличительной особенностью ворохоочистителя ОВВ-20 является устройство для очистки воздуха, которое состоит из осадочной камеры 5 и конического жалюзийного пылеотделителя, присоединенного к выходному отверстию центробежного вентилятора.

Испытания ворохоочистителя ОВВ-20, проведенные в 1959 г. в условиях Сибирской МИС, показали, что этот воздушный сепаратор успешно справляется с первичной очисткой сырого зерна, поступающего непосредственно из-под комбайна, обеспечивая при этом производительность 20—25 т/час.

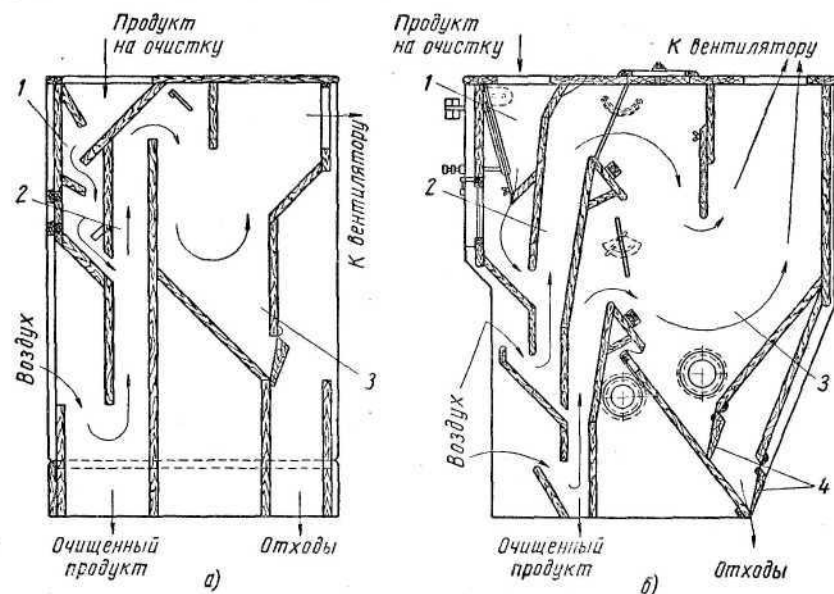
Техническая характеристика ворохоочистителя ОВВ-20

Производительность в т/час	20
Габаритные размеры в мм:	
длина без транспортных механизмов	2500
длина с транспортными механизмами	6040

ширина без транспортных механизмов	1810
ширина с транспортными механизмами	4500
высота	3050
Наружный диаметр пневмосепарирующего канала в мм	780
Ширина пневмосепарирующего канала в мм	130
Расход воздуха в м ³ /час	6000
Удельная зерновая нагрузка пневмосепарирующего канала в кг/см·час	100
Длина роликового сита в мм	971
Ширина роликового сита в мм	665
Удельная зерновая нагрузка на роликовое сито в кг/см·час	300
Диаметр роликов в мм	26
Шаг роликов в мм	35
Окружная скорость роликов в м/сек	0,47
Потребная мощность двигателя в квт	7

АСПИРАЦИОННЫЕ КОЛОНКИ

Это не совсем удачное название носят воздушные сепараторы, применяемые на мельницах и крупозаводах для очистки зерна от примесей и для отделения частиц оболочек и лузги в процессе переработки зерна на муку и крупу.



Фиг. 90. Аспирационные колонки:

а — с однократным продуванием; б — с двукратным продуванием; 1 — питающее устройство; 2 — пневмосепарирующие каналы; 3 — осадочная камера; 4 — герметизирующие клапаны.

Известны аспирационные колонки с однократным (фиг. 90, а) и двукратным (фиг. 90, б) продуванием зерна воздушным потоком. Процесс очистки зерна в колонках происходит следующим образом,

Зерно через питающее устройство 1 поступает в пневмосепарирующий канал 2, подвергается в нем очистке воздушным потоком и вытекает вниз.

Воздух с выделенными из зерна примесями поступает в осадочную камеру 3, в которой из воздуха осаждаются наиболее крупные частицы. Последние выводятся из машины через отверстие, закрытое клапаном 4. Из осадочной камеры воздух направляется в центральную вентиляционную установку для дополнительной очистки и затем удаляется за пределы помещения.

Удельная зерновая нагрузка в аспирационных колонках в настоящее время принимается равной 17—20 кг/см·час, при отделении частиц оболочек и лузги 10—15 кг/см·час. Возможна работа колонок и с более высокими нагрузками. Об этом свидетельствуют данные испытаний аспирационной колонки, приведенные в табл. 27 [12]. Испытания проводили на крупозаводе при обработке обрубленного овса. Средняя скорость воздуха в каналах при этом равнялась 3,7 м/сек.

Таблица 27

Результаты испытаний аспирационной колонки с двукратным продуванием

Производительность в кг/час	Зерновая нагрузка в кг/см·час	Содержание лузги в зерне в % (от веса зерна)		Эффект очистки в %	Содержание зерна в лузге в % (от веса отходов)	
		до очистки	после очистки		нормального	битого
1060	10,6	17,65	2,81	84,0	0,74	3,30
1506	15,1	17,65	3,86	78,0	0,23	2,72
1845	18,4	17,65	4,04	77,0	0,24	0,56
2415	24,1	17,65	5,13	71,0	0,19	1,84
2730	27,3	17,65	3,18	82,0	2,29	3,74

Следует отметить, что относительно низкий эффект очистки столь легко разделяемых компонентов смеси, а также ухудшение четкости сепарирования, происшедшее при увеличении зерновой нагрузки, связано в основном с дефектами конструкции колонки, к ним относятся неравномерность псла скоростей воздушного потока; несоответствие ширины канала зерновой нагрузке, большая начальная скорость частиц сепарируемого материала при входе в канал второй продувки и др. Устранение отмеченных недостатков позволит значительно увеличить производительность аспирационных колонок.

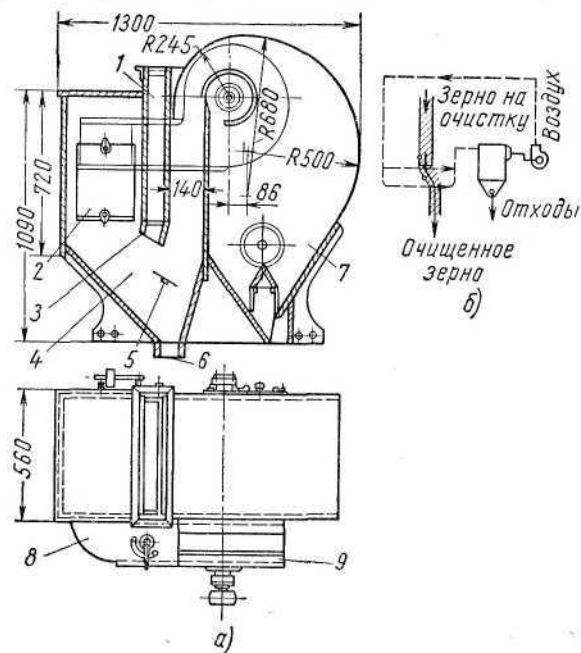
ВОЗДУШНЫЙ СЕПАРАТОР ТИПА ЗД

Сепаратор применяется для очистки зерна на мельницах и для обработки промежуточных продуктов в процессе переработки зерна в муку и крупу. Отличительной особенностью сепараторов типа ЗД является замкнутая система циркуляции воздуха, при которой

один и тот же объем воздуха циркулирует внутри машины по замкнутой системе воздухопроводов.

Сепаратор ЗД-2,5 (фиг. 91) состоит из питающего канала 1, пневмосепарирующей камеры 4, осадочной камеры 7, вентилятора 9 и системы воздухопроводов.

Зерно поступает в верхнее отверстие питающего канала 1, из которого оно через отверстие, прикрытое грузовым клапаном 3, вытекает



Фиг. 91. Воздушный сепаратор ЗД-2,5:
а — сепаратор; б — схема действия сепаратора.

в пневмосепарирующую камеру 4. Клапан 3 открывается под действием веса зерна, накапливающегося в питающем канале.

Вытекающее из питающего канала зерно падает на отражательный щиток 5, а с него в выходной канал 6. Во время падения из питающего канала на отражательный щиток и со щитка в выходной канал зерно продувается воздухом, который нагнетается вентилятором в распределительную камеру 2.

Воздух со взвешенными в нем примесями поступает в осадочную камеру, проходит через вентилятор и поступает по воздухопроводу 8 в распределительную камеру 2, откуда он вновь попадает в пневмосепарирующую камеру. Таким образом осуществляется замкнутая циркуляция воздуха.

Исследования работы воздушного сепаратора ЗД-10 (производительностью 10 т/час), проведенные во ВНИИЗе [16], показали, что

через некоторое время (не превышающее 1 час.) после начала его работы запыленность воздуха, циркулирующего в машине, достигает величины, которая затем не изменяется. Данные исследования приведены в табл. 28.

Таблица 28

Запыленность воздуха, циркулирующего в сепараторе ЗД

Зерновая нагрузка в кг/см·час	Расход воздуха в м³/мин	Запыленность воздуха в мг/м³			
		до пуска зерна	через час после пуска зерна	через 3 часа после пуска зерна	через 6 час. после пуска зерна
60	81,3	15,7	145,3	144	136,4
150	62,0	17,2	111,2	116,8	—

Приведенная в табл. 28 величина запыленности воздуха относится лишь к данным опытам; она может изменяться в зависимости от качества зерна, его влажности, засоренности и других показателей, а также в зависимости от конструкции пылеулавливающего устройства.

Гипотеза, объясняющая наличие в замкнутой системе циркуляции воздуха установившегося пылевого режима, заключается в следующем. Воздух, несущий выделенные из зерна примеси, поступает в осадочную камеру. В ней отделяется около 90% взвешенных в воздухе частиц, которые относятся к числу наиболее тяжелых примесей, а остальные, более легкие частицы вместе с воздухом возвращаются в пневмосепарирующую камеру, т. е. в струю зерна. При каждом повторном продувании струи зерна некоторые частицы, находящиеся в воздухе, захватываются зерном, а другие, находящиеся в зерне, уносятся воздухом. Через некоторое время после начала работы устанавливается равновесие между количеством легких частиц, захватываемых зерном из воздуха, и количеством таких же частиц, уносимых воздухом из зерна. При наличии указанного равновесия количество пыли, содержащейся в воздухе замкнутой системы воздухопроводов, остается постоянным.

Некоторые результаты указанных ранее испытаний воздушного сепаратора ЗД-10 приведены в табл. 29.

Таблица 29

Результаты испытаний воздушного сепаратора ЗД-10

Очищаемая культура	Зерновая нагрузка в кг/см·час	Объемный вес примесей в исходной смеси в г/л	Расход воздуха в м³/мин	Эффект очистки в % при системе циркуляции		Сопротивление в кг/м²
				разомкнутой	замкнутой	
Пшеница	60	325	81,3	72,2	66,7	21,3
»	150	325	62,0	52,0	54,8	24,0

Применение машин с замкнутой системой циркуляции воздуха дает некоторые преимущества по сравнению с применением машин с разомкнутой системой циркуляции воздуха.

1. Снижается обмен воздуха в производственных помещениях и связанный с ним вакуум, уменьшаются сквозняки и расходы на отопление помещений.

2. Уменьшается сопротивление машины, а следовательно, снижается удельный расход энергии на очистку зерна вследствие сокращения длины воздухопроводов и исключения вторичной очистки воздуха в фильтре или циклоне.

3. Уменьшаются габаритные размеры всей установки, включающей воздушный сепаратор и воздухоочистительное устройство.

В табл. 30 приведена краткая техническая характеристика воздушных сепараторов ЗД основных типоразмеров.

Таблица 30

Краткая техническая характеристика воздушных сепараторов ЗД

Показатели	Типоразмеры		
	ЗД-2,5	ЗД-5	ЗД-10
Производительность в т/час	2,5	5,0	10,0
Длина пневмосепарирующей камеры в мм	500	600	1200
Зерновая нагрузка в кг/см.час	50	83,5	83,5
Габаритные размеры в мм:			
длина	1015	1540	1940
ширина	1300	1610	1610
высота	1315	1730	1730
Потребная мощность в квт	0,6	1,0	1,3

ВОЗДУШНЫЕ СЕПАРАТОРЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА, ПЕРЕМЕЩАЕМОГО ПНЕВМАТИЧЕСКИМ ТРАНСПОРТОМ

Для очистки зерна, перемещаемого пневматическим транспортом, применяются специальные сепараторы, в которых воздух, транспортирующий зерно, используется и для его очистки. На фиг. 92 показана схема такого сепаратора.

Воздушный поток, несущий зерно, поступает в сепаратор по материалопроводу 1. При входе в машину воздушный поток резко изменяет направление движения (на фиг. 92 показано стрелкой), а взвешенные в нем частицы, обладающие значительно большей массой по сравнению с молекулами воздуха, продолжают по инерции движение вертикально вверх. Эти частицы ударяются о стенку 3 и щиток 4, отражаются от них и попадают в камеру 2. Из камеры зерно выводится с помощью питающего механизма 7 в пневмосепарирующий канал 8. В канале зерно продувается встречной струей воздуха, которым оно транспортировалось, и через шлюзовой затвор 9 удаляется из машины.

Воздух движется вверх по пневмосепарирующему каналу 8, затем поступает в воздухоочиститель 6 (на схеме циклон), в котором

освобождается от примесей, и далее направляется по воздухопроводу к вентилятору, с помощью которого он удаляется наружу. В некоторых случаях перед вентилятором воздух подвергается повторной очистке.

Скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале регулируется с помощью заслонки 5, при открывании которой часть воздуха направляется мимо пневмосепарирующего канала в воздухоочиститель.

Часть камеры 2 должна быть постоянно заполнена зерном, которое служит своего рода затвором, препятствующим проникновению воздуха через питающее устройство, для чего производительность питающего устройства должна автоматически регулироваться в зависимости от поступления зерна.

Применение воздушных сепараторов описанной конструкции дает некоторую экономию расходуемой энергии и производственной площади, так как отпадает необходимость в разгрузителях, применяемых обычно в пневмотранспортных установках, функции которых выполняют сепараторы.

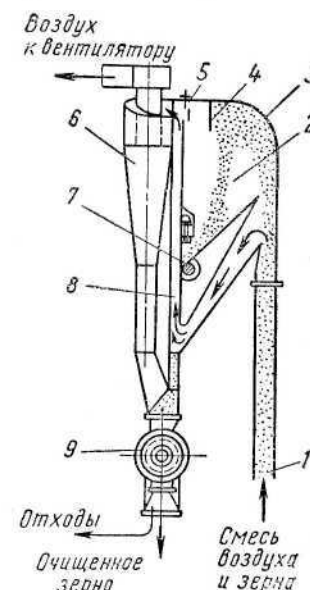
Существует несколько разновидностей конструкции этих сепараторов. На фиг. 93 показан сепаратор ОТИ, а на фиг. 94 сепаратор ЗПА-5.

Сепаратор последней конструкции отличается следующими особенностями:

1. Пневмосепарирующий канал сепаратора образуется неподвижной стенкой 1 и подвижной, укрепленной на шарнирах, стенкой 2. Подвижная стенка служит для регулирования скорости воздушного потока в канале: изменение положения этой стенки означает изменение ширины канала и, следовательно, при постоянном расходе воздуха — скорости воздушного потока. Такой способ регулирования позволяет в некоторых случаях более рационально использовать воздушный поток, т. е. весь его направлять в пневмосепарирующий канал, сохраняя при этом скорость воздушного потока такой, которая не вызывает уноса нормального зерна в количествах, превышающих установленную норму.

Наличие подвижной стенки позволяет один и тот же сепаратор применять при материалопроводах с различным (в некоторых пределах) количеством воздуха, что создает определенные удобства при проектировании и эксплуатации.

2. Сепаратор снабжен осадочной камерой 3, в которой происходит предварительное отделение наиболее тяжелых частиц. Окончатель-

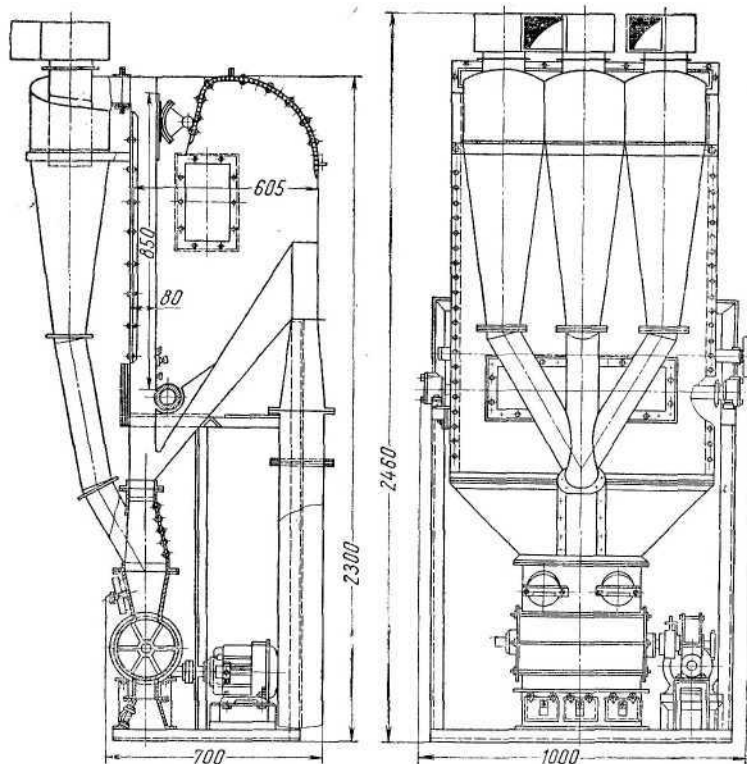


Фиг. 92. Схема воздушного сепаратора для очистки зерна, перемещаемого пневматическим транспортом.

ная очистка воздуха от пыли производится в циклонах центральной пневмотранспортной установки.

3. Подача сепарируемого материала регулируется с помощью клапана 4 с грузом.

Следует подчеркнуть что конструкция опор клапана в виде втулок из корродирующего металла, без смазки, при значительной поверх-



Фиг. 93. Сепаратор ОТИ.

ности соприкосновения с осью не обеспечивает необходимой чувствительности клапана, а порой приводит к его заклиниванию.

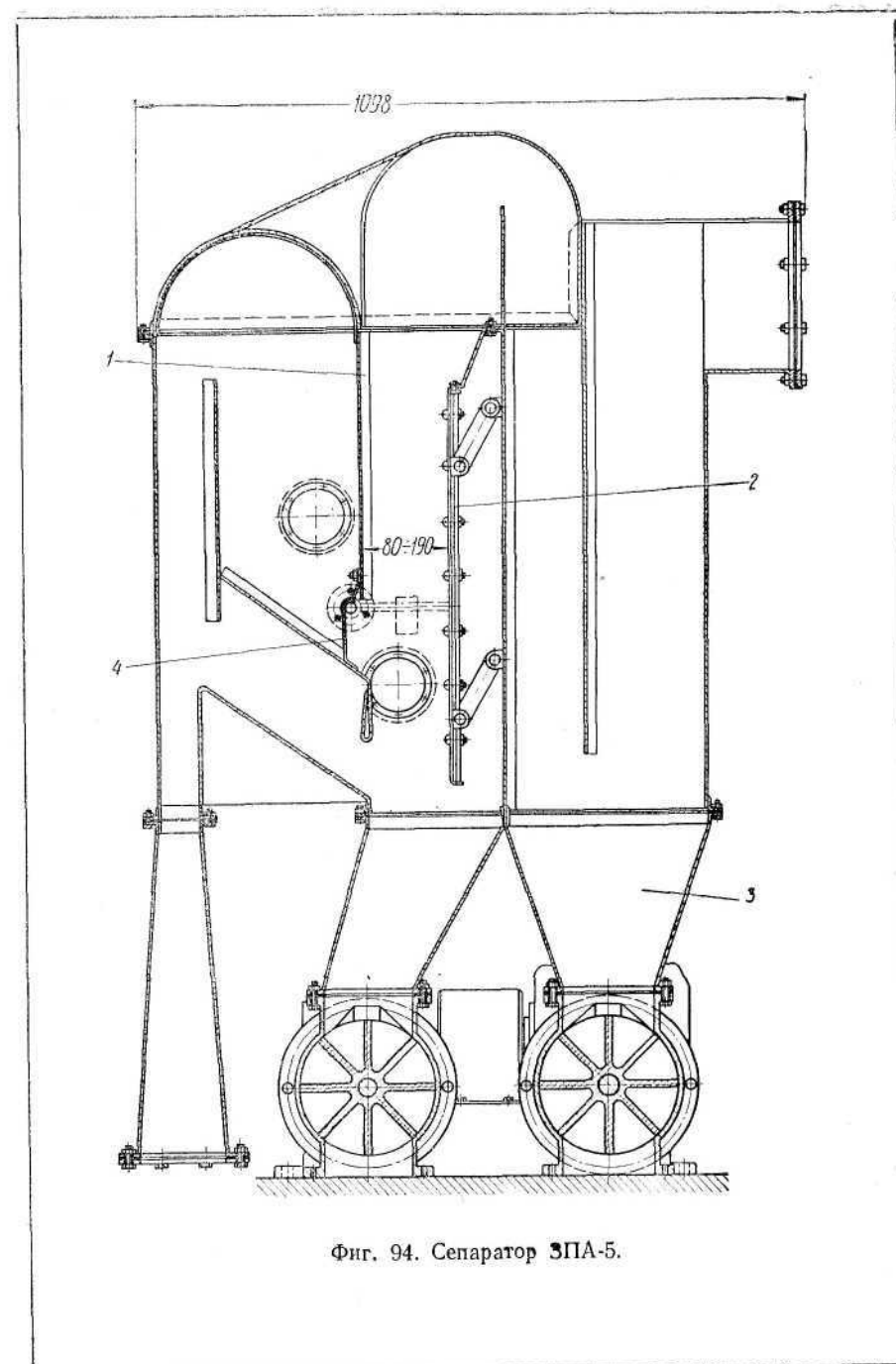
Краткая техническая характеристика сепараторов ОТИ и ЗПА-5, а также результаты их испытаний при очистке пшеницы даны в табл. 31.

Сопротивление сепараторов ΔH_c (для сепаратора ОТИ — без циклонов) вычисляем по формуле

$$\Delta H_c = K Q_c^2 \text{ кг/м}^2,$$

где Q_c — расход воздуха в $\text{м}^3/\text{мин}$;

K — коэффициент сопротивления, значения которого приведены в табл. 31.



Фиг. 94. Сепаратор ЗПА-5.

Отличительной особенностью сепараторов, встроенных в пневмотранспортную сеть, является то, что изменить количество воздуха, проходящего через сепаратор для того, чтобы поддержать требуемую

Таблица 31

Техническая характеристика и результаты испытаний сепараторов ОТИ и ЗПА-5

Показатели	ОТИ	ЗПА-5
Размеры пневмосепарирующего канала в мм:		
длина	800	600
ширина	80	80
высота	850	800
Расход воздуха в м ³ /час	1270	725
Средняя скорость воздушного потока в канале в м/сек	5,5	4,2
Сопротивление сепаратора в кг/м ²	40	35
Коэффициент сопротивления K	0,089	0,075
Зерновая нагрузка в кг/см.час	75	100
Объемный вес примесей в зерне в г/л	315	315
Эффект очистки в %	40	45,5

скорость воздушного потока в канале, нельзя ни с помощью дроссельного прибора, установленного в сети, ни изменением числа оборотов колеса вентилятора.

Количество воздуха, протекающего через сепаратор, зависит от скорости воздушного потока в материалопроводе, по которому подается зерно в сепаратор. Следовательно, регулировать скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале можно, либо пропуская часть воздуха мимо канала в воздухоочиститель, либо изменяя размеры канала (наиболее удобно регулировать ширину канала). Предпочтение отдают способу регулирования скорости воздушного потока изменением ширины канала.

Например, пусть в сепаратор ОТИ, пневмосепарирующий канал которого имеет размеры в плане 80 × 800 мм, поступает 5 т/час зерна по материалопроводу диаметром 150 мм при скорости воздушного потока в нем 22 м/сек, тогда расход Q воздуха, протекающего через материалопровод, а следовательно и через сепаратор, равен:

$$Q = 0,0177 \times 22 \times 3600 = 1400 \text{ м}^3/\text{час}.$$

При этом расходе воздуха скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале будет

$$u = \frac{1400}{0,064 \cdot 3600} = 6,1 \text{ м/сек}.$$

При скорости воздушного потока в канале, равной 6,1 м/сек, количество нормального зерна в отходах составит более 2% от веса отходов, т. е. будет больше допустимой нормы, поэтому понадобится снизить скорость воздушного потока до величины 5—5,5 м/сек. Соответствующий расход воздуха, протекающего через канал, будет 1120—1260 м³/час, следовательно, часть воздуха, равная 140—180 м³/час, будет направлена мимо канала в воздухоочиститель. Этот воздух для очистки зерна использован не будет.

При наличии в сепараторе подвижной стенки можно все количество воздуха, поступающего из материалопровода, использовать для очистки зерна. При этом скорость воздушного потока в канале можно регулировать, изменяя ширину канала.

Если количество воздуха, поступающего из материалопровода в сепаратор, недостаточно для того, чтобы поддерживать необходимую скорость воздушного потока в пневмосепарирующем канале, то эффект очистки зерна в сепараторе, не имеющем подвижной стенки, снижается намного больше по сравнению с сепаратором, имеющим подвижную стенку, так как в последнем скорость воздушного потока в канале можно повысить, уменьшая ширину канала.

ВОЗДУШНЫЕ СЕПАРАТОРЫ ЗАРУБЕЖНЫХ СТРАН

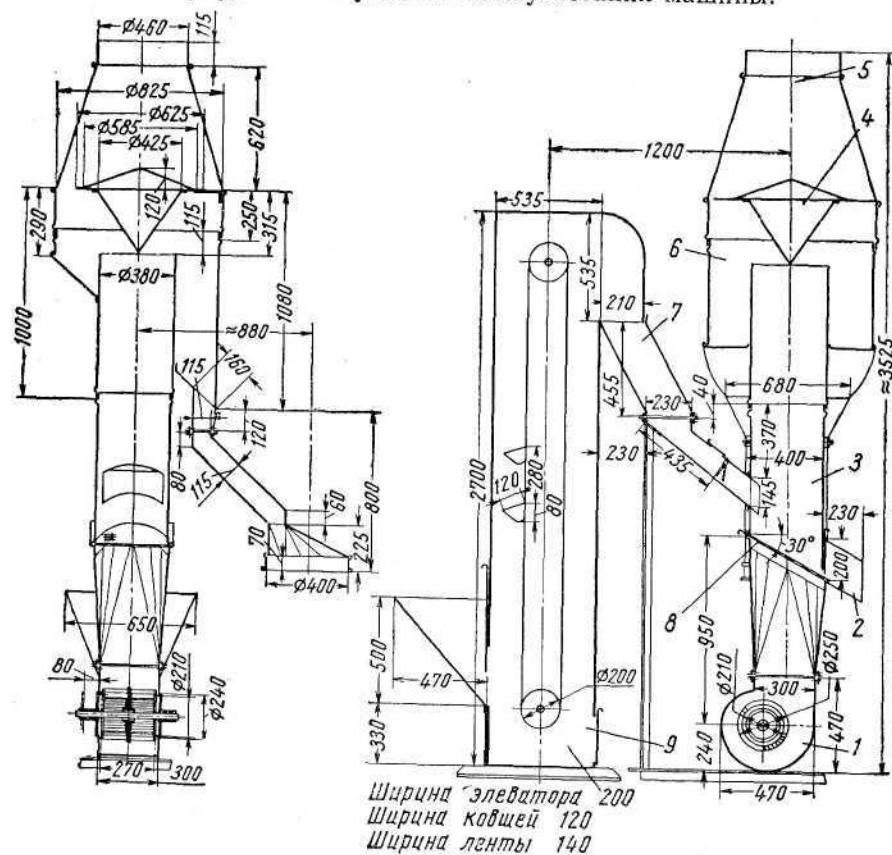
В зарубежных странах широко применяется очистка зерна воздушным потоком на всех этапах подготовки к хранению и переработке зерна. Для этой цели используются воздушные и воздушно-ситовые сепараторы. Последние по схеме и конструкции рабочих органов близки к нашим сепараторам типа ЗС-5 и ПДП-10.

Воздушные сепараторы применяются для предварительной очистки зерна в фермерских хозяйствах, а также включаются в схему технологического процесса на мельницах и крупозаводах. Для очистки зерна применяют машины с замкнутой системой циркуляции воздуха и воздушные сепараторы, предназначенные для работы в сетях пневматического транспорта.

На фиг. 95 показан воздушный сепаратор с цилиндрическим пневмосепарирующим каналом, изготавливаемый в Англии. Он состоит из цилиндрического пневмосепарирующего канала 3, вентилятора 1 с диффузором, цилиндрической осадочной камеры 6 и ковшового элеватора 9 для подачи зерна. Машина имеет производительность 5 т/час и работает следующим образом: зерно загружается с помощью ковшового элеватора 9 и лотка 7 в канал 3. В канале зерно попадает на плетеную проволоочную сетку 8 и скатывается по ней в лоток 2, расположенный с противоположной стороны канала. Воздух нагнетается в канал 3 центробежным вентилятором низкого давления с колесом диаметром 250 мм. Воздушный поток проходит сквозь сетку, продувает движущееся в трубе зерно и далее, омывая отражатель 4, через отверстие 5 удаляется наружу.

Наиболее тяжелые примеси из воздуха выделяются в осадочной камере, а легкие вместе с воздухом поступают в атмосферу.

Достоинствами этого сепаратора являются простота устройства и небольшое сопротивление. Ему присущи недостатки, характерные для цилиндрических каналов, кроме того, сепаратор имеет низкий эффект обеспыливания воздуха в осадочной камере, вследствие чего значительно ухудшаются условия обслуживания машины.



Фиг. 95. Воздушный сепаратор с цилиндрическим каналом.

При испытаниях описанной машины, проведенных ВНИИЗом совместно с ВИСХОМом, получены следующие результаты.

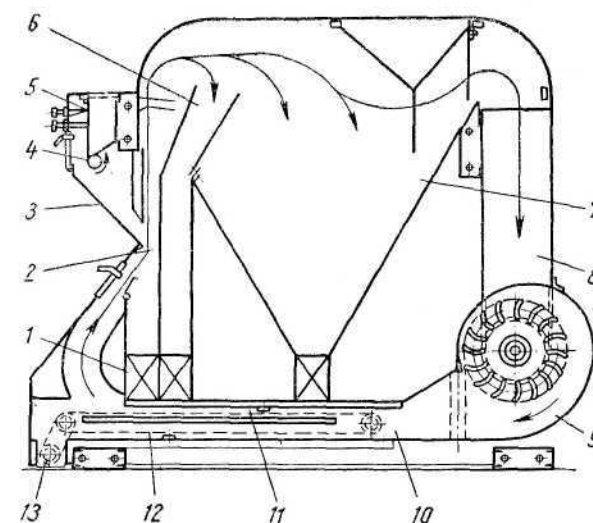
Результаты испытаний воздушного сепаратора

Очищаемая культура	Пшеница
Производительность в $m^3/час$	5
Средняя скорость воздушного потока в канале в $m/сек$	5,9
Расход воздуха в $m^3/час$	2400
Удельный расход воздуха на 1 m очищенного зерна в $m^3/час$	480
Количество примесей, отделимых воздухом, в зерне в % (от веса зерна)	2
Объемный вес примесей, содержащихся в зерне, в $г/л$	400
Количество нормального зерна в отходах в % (от веса отходов)	2
Эффект очистки в %	51

Сравнительные испытания этой же машины с кольцевым пневмосепарирующим каналом при равных зерновых нагрузках и удельных расходах воздуха показали, что эффект очистки в кольцевом пневмосепарирующем канале значительно выше; он составил 71%.

Схема другой английской зерноочистительной машины изображена на фиг. 96. Эта машина изготовлена с замкнутой системой циркуляции воздуха.

Подача зерна в машину производится с помощью вращающегося валика 4, а регулирование производительности — с помощью



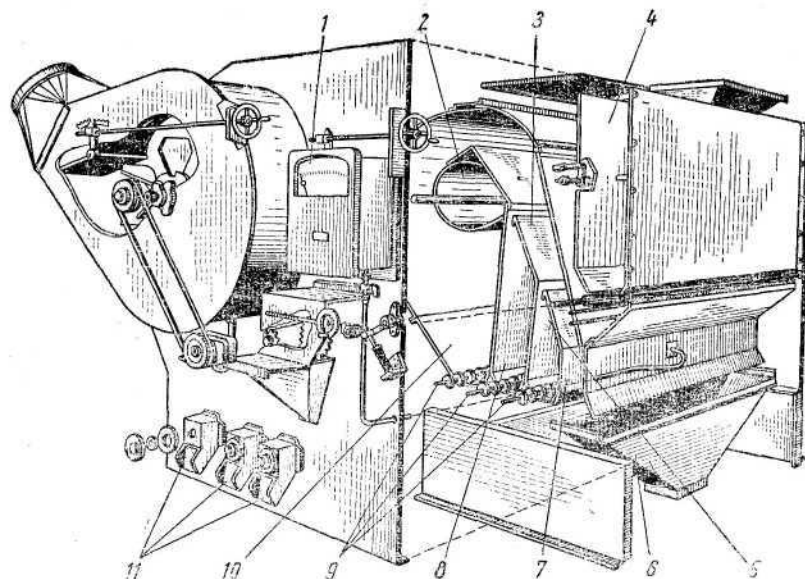
Фиг. 96. Схема воздушного сепаратора с замкнутой системой циркуляции воздуха, изготавливаемого в Англии.

заслонки 5. Из питающего устройства зерно падает на наклонную плоскость 3, по которой движется в пневмосепарирующий канал 2. Здесь оно продувается встречным потоком воздуха. Далее очищенное зерно по самотечной трубе 1 удаляется из машины, а воздух со взвешенными в нем примесями поступает в осадочную камеру, разделенную на две части 6 и 7. В меньшей по объему части 6 камеры происходит осаждение тяжелых частиц, в большей части 7 камеры осаждаются более легкие частицы. Оставшаяся в воздухе пыль и более крупные, но легкие частицы по воздухопроводу 8 поступают в вентилятор 9, с помощью которого они нагнетаются в пневмосепарирующий канал. Воздухопровод 10 (от вентилятора к пневмосепарирующему каналу) расположен горизонтально, скорость воздушного потока в нем невелика, поэтому на днище этого воздухопровода выпадают частицы, взвешенные в воздухе. Осажденный в воздухопроводе материал выводится из него с помощью скребков 11, укрепленных на движущейся непрерывной ленте 12, и шнека 13.

Воздушный сепаратор, изготавливаемый в США, показан на схеме фиг. 97.

Зерно поступает в бункер 4, из которого оно с помощью вращающегося валика подается в пневмосепарирующий канал 7. В канале, имеющем, как это видно из схемы, относительно небольшую высоту, происходит очистка зерна, которое затем через сборный конус 6 выводится из машины.

Воздух засасывается в канал 7 снизу, продувает струю зерна и далее направляется на наклонном расширяющемся канале 3



Фиг. 97. Схема воздушного сепаратора, изготавливаемого в США.

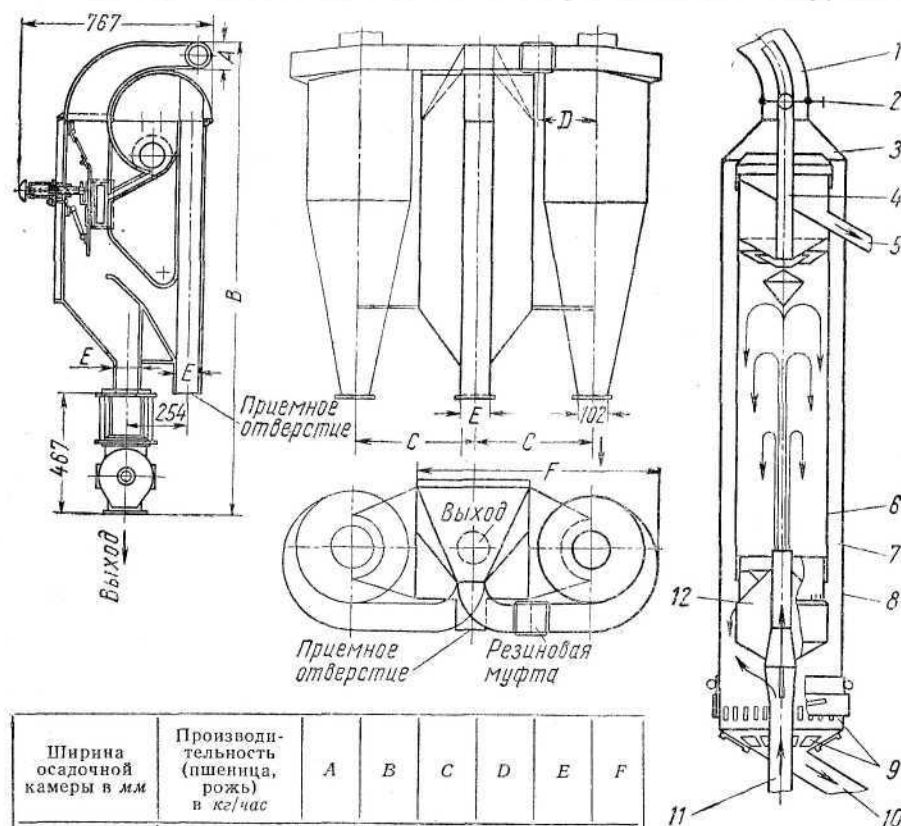
в осадочную камеру 10. Скорость воздушного потока в канале 3 меньше, чем в пневмосепарирующем канале 7, вследствие чего некоторые примеси, выделившиеся из воздушного потока в канале 3, падают на нижнюю плоскость канала и далее через продольные отверстия попадают в две сборные камеры 5 и 8. Остальные примеси уносятся воздухом в осадочную камеру 10, в которой значительная часть их осаждается. Из камер 5, 8 и 10 осажденные примеси выводятся с помощью шнеков 9 через коробки с клапанами 11.

Воздух из осадочной камеры 10 по трубе 2 поступает в вентилятор, которым нагнетается в выпускной воздухопровод.

Машина снабжена прибором 1 для контроля скорости воздушного потока в пневмосепарирующем канале и механическим бесступенчатым вариатором скоростей для регулирования числа оборотов питающего валика.

Схемы зарубежных воздушных сепараторов для очистки зерна, перемещаемого пневматическим транспортом, показаны на фиг. 98 и 99.

Сепаратор, изготавливаемый в Германии (фиг. 99), работает по следующей схеме. Воздушный поток с зерном движется по трубе 11.



Ширина осадочной камеры в мм	Производительность (пшеница, рожь) в кг/час	A	B	C	D	E	F
457	3000	115	1857	483	242	102	978
610	5000	127	1991	610	305	127	1232

Фиг. 98. Воздушный сепаратор для очистки зерна (перемещаемого пневматическим транспортом), изготавливаемый в Англии.

Фиг. 99. Воздушный сепаратор для очистки зерна (перемещаемого пневматическим транспортом), изготавливаемый в Германии.

При входе в сепаратор воздушный поток через прорези в трубе направляется в кольцевой пневмосепарирующий канал 7, образованный цилиндрами 6 и 8, а зерно по инерции влетает внутрь цилиндра 6. Здесь зерно теряет скорость, падает вниз и через кольцевой зазор, образованный конусом 12 и нижней кромкой цилиндра 6, поступает в пневмосепарирующий канал. Очищенное в канале зерно падает

вниз в самотечную трубу 10. Воздушный поток со взвешенными в нем примесями движется вверх к воздухопроводу 1. Часть примесей выпадает в камере 3 и удаляется из машины по лотку 5.

Труба 4 служит для отвода, в случае необходимости, части воздуха мимо воздушносепарирующего канала. Количество воздуха, отводимого через трубу 4, регулируется с помощью клапана 2.

Отверстия 9 в нижней части цилиндра 8 дают возможность, в случае необходимости, увеличить количество воздуха, проходящего через пневмосепарирующий канал, вследствие подсоса наружного воздуха. Величина открытия отверстий, а следовательно и величина подсоса воздуха, регулируется специальным приспособлением.

ПНЕВМОСЕПАРИРУЮЩИЕ УСТРОЙСТВА ВОЗДУШНО-СИТОВЫХ СЕПАРАТОРОВ

На фиг. 100 показано пневмосепарирующее устройство ранее описанного сепаратора ПДП-10 а на фиг. 101 — пневмосепарирующее устройство сепаратора КДП-100. Воздушносепарирующие устройства этих сепараторов построены по одной схеме и отличаются лишь размерами и некоторыми деталями. Аналогичные устройства имеют и другие воздушно-ситовые сепараторы как отечественные, так и зарубежные.

В табл. 32 приведена техническая характеристика воздушносепарирующих устройств воздушно-ситовых сепараторов, наиболее распространенных на наших предприятиях.

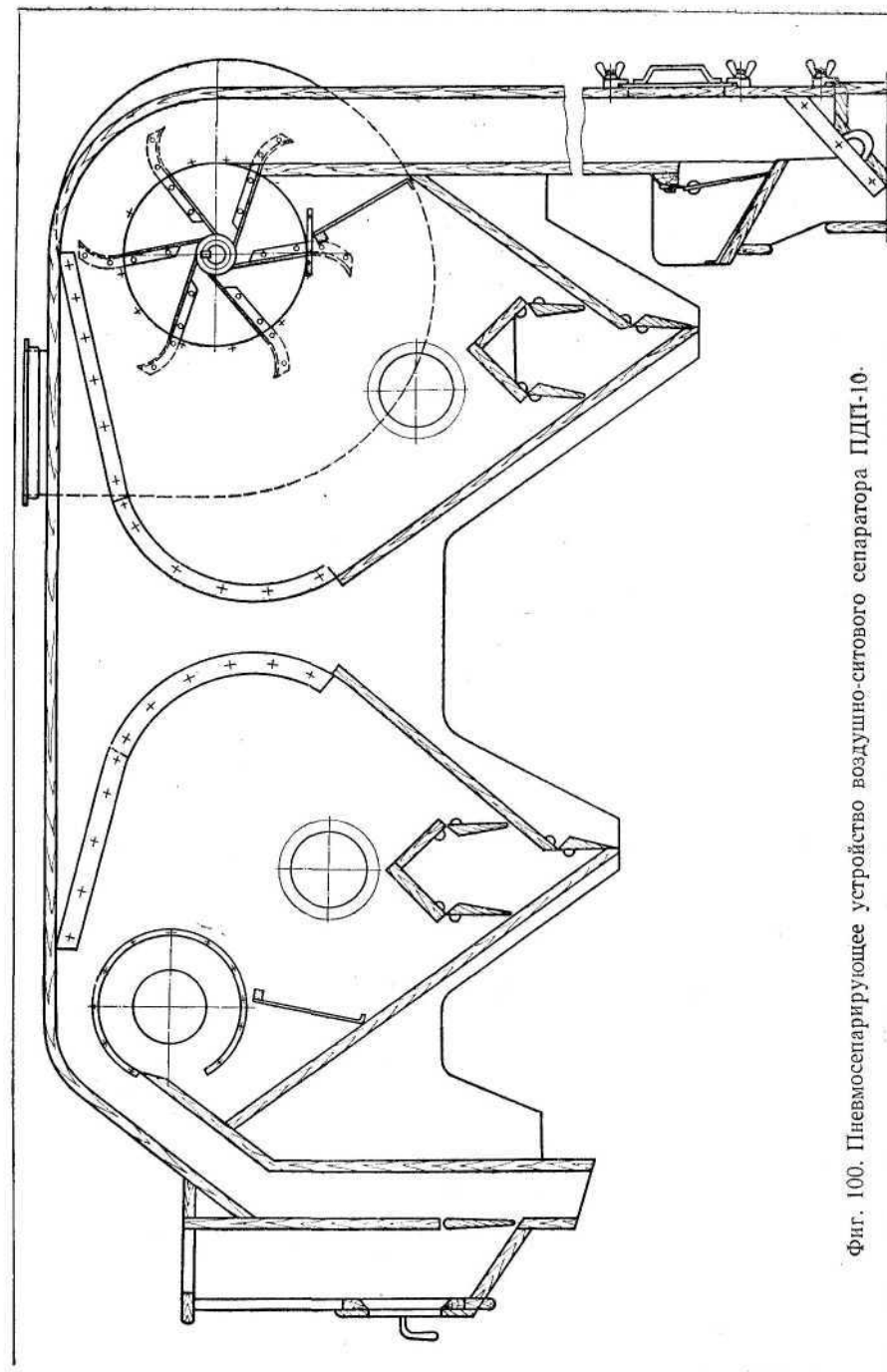
Опыт эксплуатации и испытания воздушно-ситовых сепараторов свидетельствуют о том, что эти сепараторы имеют существенные недостатки, и их эффективность не может быть признана удовлетворительной. К недостаткам названных машин относятся следующие:

1. Отсутствует дифференциация размеров пневмосепарирующих каналов в зависимости от производительности машин. Примером тому могут служить сепараторы ЗС-5 и ПДП-10. Эти машины предназначены для работы на элеваторах и мельницах, причем при работе на элеваторах их производительность в 4 раза больше, чем при работе на мельницах, а размеры пневмосепарирующих каналов в обоих случаях одинаковы.

2. Начальная скорость частиц сепарируемого материала при поступлении их в канал превышает оптимальную величину, а именно 0,3 м/сек (см. табл. 11).

3. Питающие механизмы не обеспечивают равномерного распределения зерна по длине (фронту) пневмосепарирующих каналов. Этот недостаток влечет за собой другой — неравномерность поля скоростей воздушного потока по длине канала. Последняя возникает вследствие того, что воздух в большем количестве проникает через зерновую струю в местах, где плотность струи (количество проходящего зерна) наименьшая.

Этот существенный недостаток значительно снижает эффект очистки зерна.



Фиг. 100. Пневмосепарирующее устройство воздушно-ситового сепаратора ПДП-10.

Техническая характеристика пневмосепарирующих устройств
воздушно-ситовых сепараторов

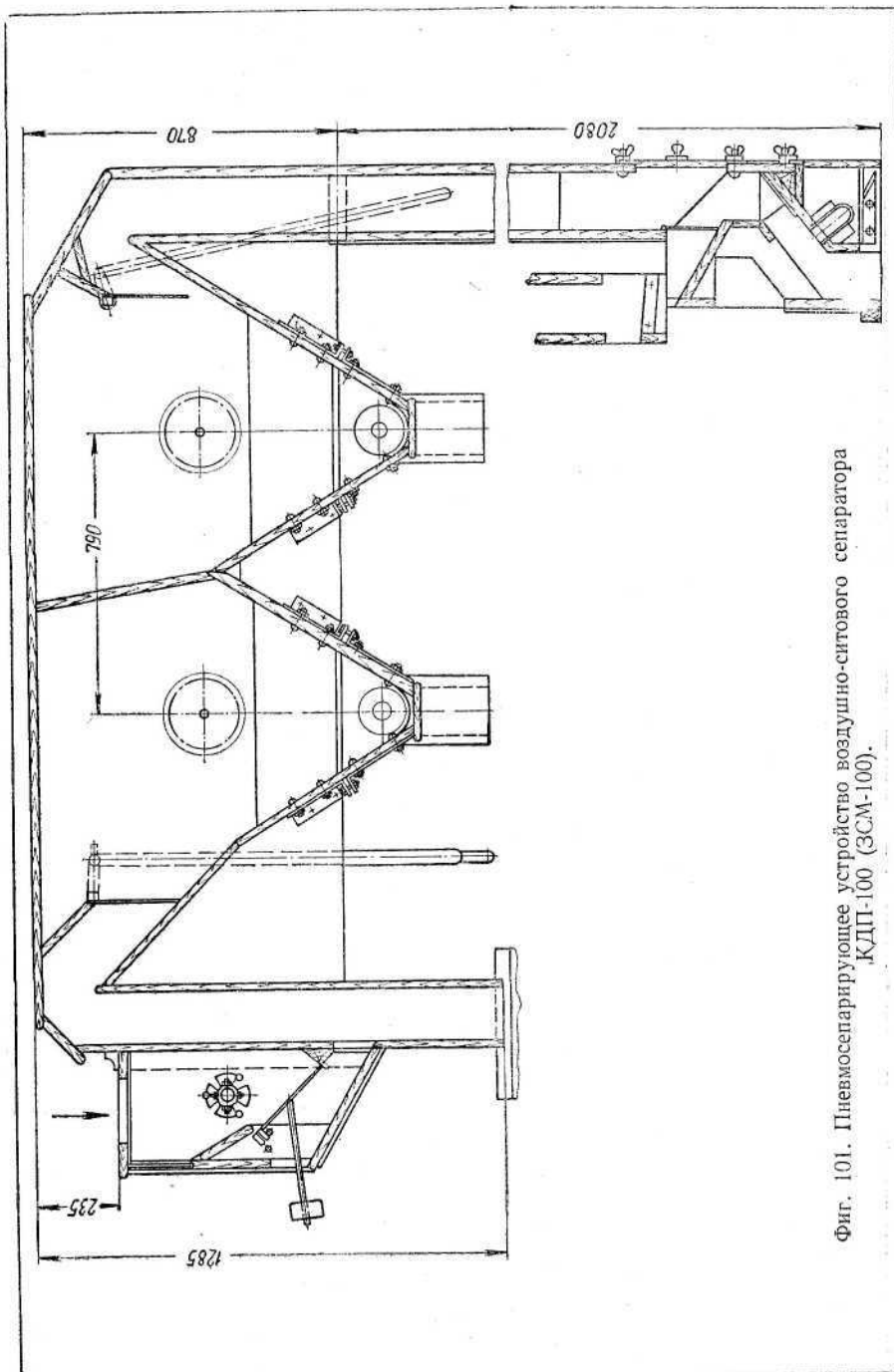
Показатели	ЗС-5	ПДП-10	ПОП-5	ЗСМ-2,5	КДП-80	ОСМ-3	ОВП-20
Производительность в <i>т/час</i> :							
на мельницах	8	10	5	2,5	—	—	—
на элеваторах	32	40	—	—	80	3	20
Зерновая нагрузка на 1 см длины пневмосепарирующего канала в <i>кг/час</i> :							
на мельницах							
первая продувка	67	53	58	50	—	—	—
вторая продувка	44	48	42	36	—	—	—
на элеваторах							
первая продувка	268	212	—	—	254	43	104
вторая продувка	176	192	—	—	—	30	—
Размеры пневмосепарирующего канала первой продувки в <i>мм</i> :							
длина	1190	1900	860	500	3100	700	960×2
ширина	100	80	80	100	160	70	130
высота	550	850	950	500	1000	—	—
Размеры пневмосепарирующего канала второй продувки в <i>мм</i> :							
длина	1800	2100	1200	700	3100	1000	—
ширина	100	130*	60	80	200	100	—
высота	950	2100	2100	1050	2000	—	—
Расход воздуха (при средней скорости воздушного потока в канале 5 <i>м/сек</i>) в <i>м³/мин</i> :							
первая продувка	35,7	45,6	20,6	15	148	14,7	75
вторая продувка	54	81,9	21,6	16,8	192	30	—

* В машинах, выпускавшихся до 1950 г., ширина равна 60 мм.

4. Отсутствуют приспособления для выравнивания поля скоростей воздушного потока по ширине каналов.

5. Высота каналов первой продувки выбирается не по соображениям получения наилучшей четкости сепарирования, а, как правило, диктуется углом наклона к горизонту ситового кузова. Поэтому указанная высота зачастую меньше, чем это требуется для достижения высокой четкости сепарирования.

6. Механизмы, применяемые для удаления отходов из машины, не обеспечивают герметичности воздухоочистителя при выполнении названной операции, в результате чего возникают подсосы воздуха, снижающие количество воздуха в пневмосепарирующих каналах и вызывающие ухудшение эффекта очистки. Особенно неудачна



Фиг. 101. Пневмосепарирующее устройство воздушно-ситового сепаратора КДП-100 (ЗСМ-100).

конструкция приспособления для удаления отходов в сепараторах ПДП-10 и ПОП-5. В этих машинах отходы из осадочных камер выпадают в лотки, укрепленные на ситовом кузове. Лотки, расположенные под некоторым углом к горизонту, получают колебательное движение вместе с кузовом, вследствие чего отходы движутся вниз в специальную колонку, прикрепленную к полу. Подвижные лотки соединены с неподвижными осадочными камерами и колонками воздухопроницаемой тканью, через которую воздух проникает в осадочную камеру. Кроме того, воздух поступает в осадочную камеру и через колонку, несмотря на то, что в ней имеются герметизирующие грузовые клапаны.

Наиболее рациональна установка под осадочными камерами шнеков, имеющих в конце свободно висящие клапаны. Подобное устройство осуществлено в сепараторах КДП-80 и ПЗА-40.

7. Осадочные камеры громоздки и недостаточно эффективны.

Полное или даже частичное устранение перечисленных недостатков может значительно улучшить работу существующих сепараторов.

ИСПЫТАНИЕ ВОЗДУШНЫХ СЕПАРАТОРОВ

Испытаниям подвергают опытные образцы воздушных сепараторов и машины, находящиеся в эксплуатации, для контроля их работы.

Во время испытаний воздушных сепараторов определяют следующие показатели:

- а) аэродинамическую характеристику воздушносепарирующей части машины;
- б) производительность;
- в) технологическую эффективность.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА

Аэродинамическая характеристика воздушного сепаратора представляет собой зависимость между сопротивлением сепаратора и количеством воздуха, протекающего через него.

Пневмосепарирующие каналы, элементы воздухоочистителя и воздухопроводы, соединяющие их, составляют систему последовательно соединенных фасонных деталей. Сопротивление отдельной фасонной части определяют по формуле

$$\Delta H = \xi \frac{\gamma u^2}{2g}.$$

Однако определять сопротивление сепаратора как сумму местных сопротивлений по указанной формуле неудобно, так как скорость воздушного потока в каждой фасонной детали не остается постоянной, она изменяется в зависимости от изменения ее поперечного сечения, а в некоторых случаях и в зависимости от утечки или подсоса воздуха через неплотности (шлюзовые затворы, клапаны и др.).

Более удобно для определения сопротивления ΔH_m машины пользоваться выражением

$$\Delta H_m = \varepsilon Q_c^n \text{ кг/м}^2, \quad (17)$$

где ε — коэффициент сопротивления машины;

Q_c — объем воздуха, протекающего через сепаратор, в $\text{м}^3/\text{сек.}$

В этом выражении коэффициент сопротивления отнесен не к скоростному давлению, а к расходу воздуха. Это дает возможность, определив общий расход воздуха, протекающего через машину и ее сопротивление, найти коэффициент сопротивления всей машины и ее аэродинамическую характеристику.

Аналогичным способом находят коэффициенты сопротивлений отдельных элементов сепаратора.

Для воздушных сепараторов, воздухоочистителей которых не включают матерчатых фильтров, с достаточной для практики точностью можно принять показатель степени n в выражении (17) равным 2, тогда это выражение принимает вид

$$\Delta H_m = \varepsilon Q_c^2. \quad (18)$$

Следовательно, для определения аэродинамической характеристики воздушного сепаратора необходимо определить потери давления в сепараторе и объем воздуха, протекающего через него.

Как известно, энергия воздушного потока, протекающего в воздухопроводе (машине), характеризуется статическим и динамическим давлениями. Первое характеризует потенциальную энергию, а второе кинетическую энергию потока.

Величина запаса энергии потока характеризуется полным давлением, которое представляет собой алгебраическую сумму статического и динамического давлений:

$$\pm H_n = \pm H_{ст} + H_d,$$

давление измеряют в кг/м^2 или мм вод. ст. ($1 \text{ кг/м}^2 = 1 \text{ мм вод. ст.}$).

При протекании воздуха через воздухопроводы или машину, состоящую из системы воздухопроводов, энергия воздушного потока расходуется на преодоление сил трения и завихрения потока. Потерю давления, вызванную потерей энергии при протекании воздуха через машину, или какую-либо ее часть, обычно называют сопротивлением машины или соответственно сопротивлением части машины.

Для определения сопротивления машины необходимо измерять величину полного давления воздушного потока до входа в машину и после выхода из нее и затем найти разность этих величин.

Объем воздуха, протекающего через воздухопровод, определяют обычно следующим образом. Измеряют величину динамического давления в различных точках поперечного сечения воздухопровода, затем, пользуясь известной зависимостью между динамическим давлением H_d и скоростью u воздушного потока

$$H_d = \frac{\gamma u^2}{2g} \text{ кг/м}^2,$$

где γ — удельный вес воздуха в кг/м^3 ;

u — скорость воздушного потока в м/сек ;

g — ускорение силы тяжести в м/сек^2 ,

находят величины скоростей воздушного потока в тех же точках. Далее вычисляют среднюю скорость воздушного потока, как среднюю

арифметическую скоростей в точках измерения, и находят секундный расход воздуха

$$Q_c = u_{cp} F \text{ м}^3/\text{сек},$$

где u_{cp} — средняя скорость воздушного потока в м/сек ;

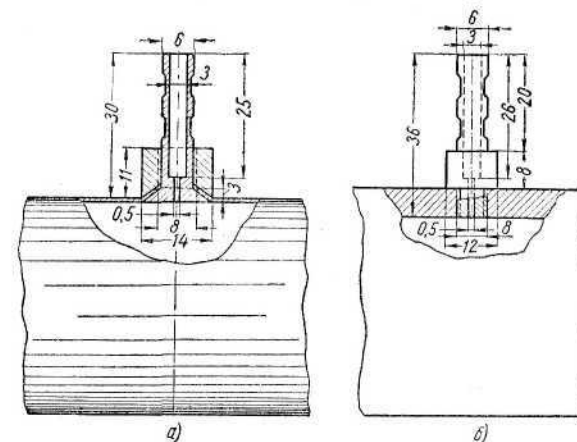
F — площадь поперечного сечения воздухопровода в м^2 .

Из сказанного выше следует, что для определения характеристики воздушного сепаратора требуется измерять полное и динамическое давления воздушного потока. Последнее находят как разность полного и статического давлений.

Измерение давления производится при помощи приемника давления и прибора для измерения давления — манометра.

Измерение давления в воздухопроводах

Измерение статического давления. Понятие «статическое давление», применительно к движущемуся воздуху, означает давление, которое со всех сторон испытывает бесконечно малая твердая частица, движущаяся вместе с воздухом со скоростью, равной скорости воз-



Фиг. 102. Штуцеры для измерения статического давления в воздухопроводах:

а — с толщиной стенки до 1 мм; б — с толщиной стенки больше 1 мм.

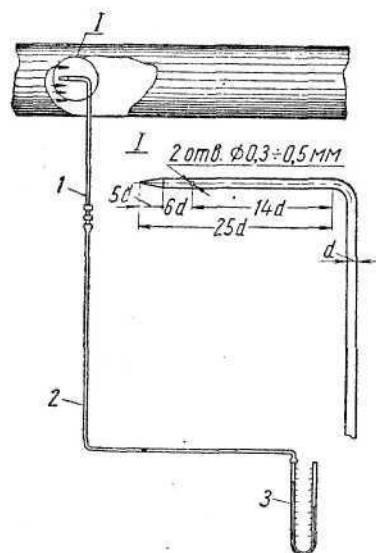
душного потока. Поэтому следовало бы для измерения статического давления помещать приемник давления в поток, сообщив ему движение в направлении потока со скоростью, равной скорости потока. Однако выполнить такое измерение практически чрезвычайно трудно. Поэтому для измерения статического давления пользуются неподвижными приемниками, которые обтекаются воздушным потоком. Точность измерения при этом является практически достаточной.

Приемником статического давления может служить отверстие в стенке воздухопровода. Для удобства соединения отверстия в воздухопроводе при помощи резинового шланга с манометром к воздухопроводу прикрепляется штуцер (фиг. 102). Если воздухопровод

изготовлен из материала толщиной до 1 мм, применяют штуцер, показанный на фиг. 102, а. В остальных случаях применяют штуцер, показанный на фиг. 102, б. При измерении статического давления в воздухопроводе необходимо соблюдать следующие условия:

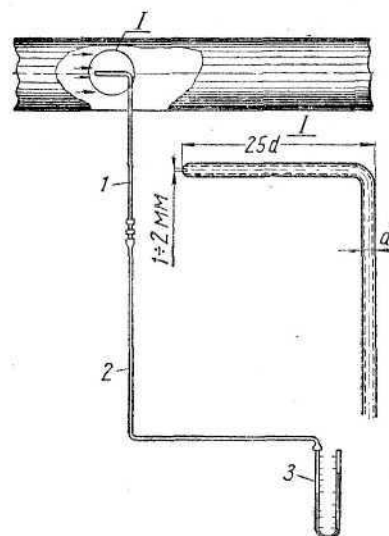
а) диаметр отверстия в воздухопроводе или в штуцере должен быть 0,5—1,0 мм;

б) штуцер не должен выступать за уровень стенки внутри воздухопровода, а его отверстие не должно иметь заусенцев;



Фиг. 103. Установка зонда статического давления в воздухопроводе:

1 — зонд; 2 — резиновая трубка; 3 — манометр.



Фиг. 104. Установка зонда полного давления в воздухопроводе:

1 — зонд; 2 — резиновая трубка; 3 — манометр.

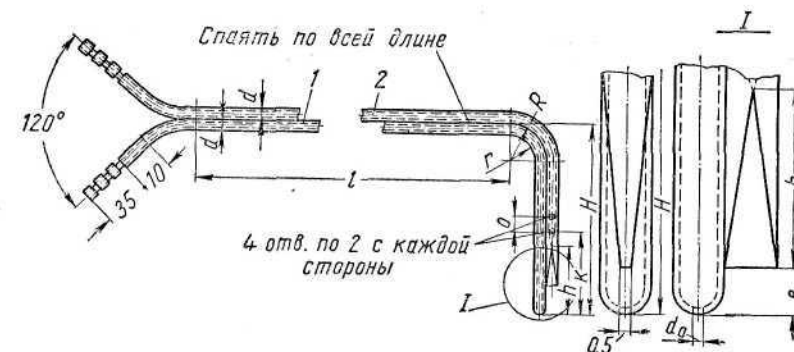
в) не следует производить измерения в местах, в которых возможны отложения пыли;

г) измерения желательно производить в условиях прямолинейности потока над отверстием.

В тех случаях, когда перечисленные условия не могут быть соблюдены, или когда возникает необходимость измерять статическое давление на некотором удалении от стенки воздухопровода, в качестве приемника давления применяют зонд статического давления (фиг. 103). Он представляет собой металлическую трубку диаметром 3—5 мм, имеющую изогнутое под углом 90° колено. Конец колена запаян, и ему придана обтекаемая форма. На колене, на расстоянии от его конца, равном 10—11 диаметрам трубки, расположены два отверстия диаметром 0,3—0,5 мм. Колено трубки вводится через отверстие в воздухопроводе в поток и устанавливается

в направлении против потока в том месте, где предполагается производить измерения. Второй открытый конец зонда при помощи резиновой трубки присоединяют к манометру (фиг. 103). Перемещая зонд, можно измерить статическое давление в различных точках воздухопровода.

Измерение полного давления. Приемником полного давления может служить зонд в виде металлической трубки диаметром 3—5 мм, имеющей изогнутое под углом 90° колено. Оба конца трубки



l	d	R	r	H	h	K	e	o	d_0
300	3	8,5	5	60	20	24	3	3,5	1
500	6	17	10	120	40	48	6	7	1,5
1000	6	17	10	120	40	48	6	7	1,5
1500	8	23	13	160	53	64	8	9,5	2

Фиг. 105. Пневмометрическая трубка.

открыты. Колено трубки помещается в воздушный поток таким образом, чтобы конец его был направлен против потока. Второй конец присоединяют к манометру (фиг. 104).

Измерение динамического давления. Измерение динамического давления основано на применении приведенного выше уравнения

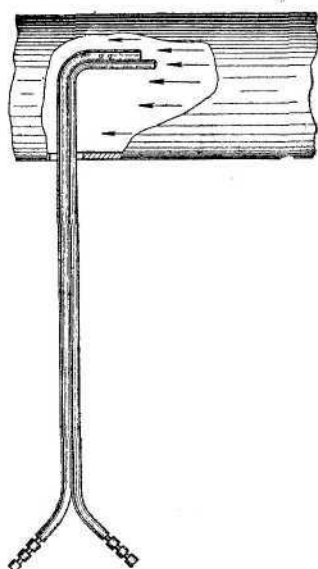
$$H_0 = (\pm H_n) - (\pm H_{cm}).$$

Следовательно, измеряя в одной и той же точке величину H_n и H_{cm} , можно определить величину H_0 .

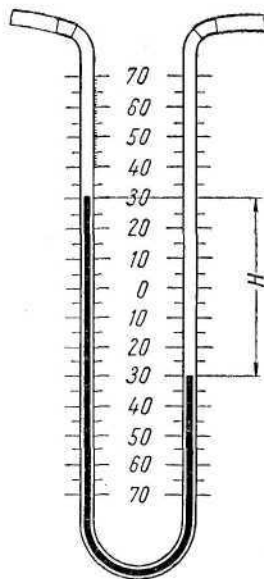
Практически это выполняют с помощью одной комбинированной пневмометрической трубки (фиг. 105), состоящей из зонда полного давления 1 и зонда статического давления 2. Схема установки ком-

бинированной пневмометрической трубки в воздухопроводе приведена на фиг. 106.

Комбинированной пневмометрической трубкой можно также измерять полное и статическое давление. Для этого к манометру отдельно присоединяют соответственно зонд полного давления или зонд статического давления. Концы пневмометрической трубки,



Фиг. 106. Схема установки пневмометрической трубки в воздухопроводе.



Фиг. 107. U-образный манометр.

к которым присоединяются резиновые шланги, условно обозначаются следующим образом: конец для присоединения зонда полного давления — знаком плюс (+), а конец для присоединения зонда статического давления — знаком минус (—).

Приборы для измерения давления

U-образный манометр. Простейшим прибором для измерения давления является U-образный жидкостный манометр (фиг. 107). Он представляет собой U-образную стеклянную трубку с внутренним диаметром 3—5 мм.

Трубку крепят на панель, снабженную миллиметровой шкалой (нуль шкалы располагается посередине трубки), и заполняют водой или спиртом до нулевого уровня.

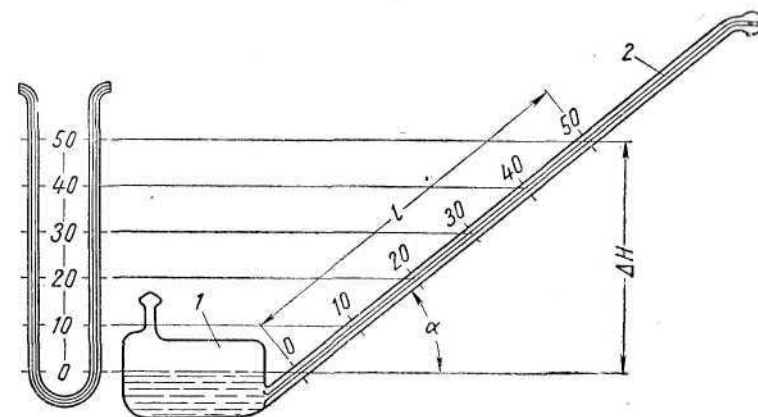
Действие U-образного манометра основано на принципе сообщающихся сосудов: разность давлений в обоих коленях уравнивается

весом столба жидкости высотой H . В случае заполнения манометра спиртом измеряемое давление в мм вод. ст. следует вычислить по формуле

$$\Delta H = L\gamma,$$

где L — показание манометра в мм спиртового столба;
 γ — удельный вес спирта.

Достоинством U-образного манометра является его простота; такой прибор можно изготовить при наличии стеклянных трубок на месте испытаний. Однако применение его ограничивается следующими обстоятельствами:



Фиг. 108. Схема микроманометра:
 1 — резервуар; 2 — измерительная трубка.

а) отсчеты можно производить с точностью до 1 мм; которая недостаточна при измерении давлений менее 50 мм вод. ст.;

б) необходимо одновременно отсчитывать положения двух уровней, что при колебаниях уровней неудобно и связано со значительными ошибками.

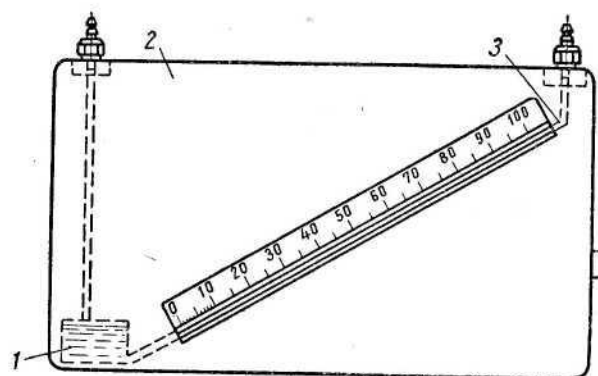
В связи с указанными недостатками рекомендуется пользоваться U-образным манометром при измерении давлений более 50 мм вод. ст.

Микроманометр. Микроманометр (фиг. 108) состоит из резервуара 1 и наклонной трубки 2. Этот прибор также действует по принципу сообщающихся сосудов, которые, однако, как это видно из схемы, имеют различную площадь поперечного сечения. Площадь поперечного сечения резервуара в несколько сот раз больше площади отверстия наклонной трубки. Поэтому даже в том случае, когда уровень жидкости в трубке повышается до предела, уровень жидкости в резервуаре снижается относительно мало. Такое соотношение между уровнями жидкости в обеих частях манометра позволяет производить отсчет лишь по уровню жидкости в измерительной трубке, не учитывая снижения уровня в резервуаре. Таким образом

устраняется один из недостатков, характерных для U-образного манометра.

Значительные удобства при измерении малых величин давления создаются наклонным положением трубки, вследствие которого при измерении одного и того же давления показания микроманометра могут быть значительно больше, а следовательно, и точнее, чем показания U-образного манометра.

На фиг. 108 показан также U-образный манометр. Сравнение показаний обоих приборов при измерении некоторой величины давления ΔH , которая в обоих случаях будет равна изменению



Фиг. 109. Тягонапорометр:

1 — резервуар; 2 — футляр; 3 — измерительная трубка.

уровней жидкости в приборах по высоте, убеждает в том, что показания микроманометра будут больше, чем показания U-образного манометра, в $\frac{1}{\sin \alpha}$ раз. Если, например, выбрать угол наклона трубки α таким, чтобы $\sin \alpha = 0,2$, то показания микроманометра будут в 5 раз больше, чем показания U-образного манометра.

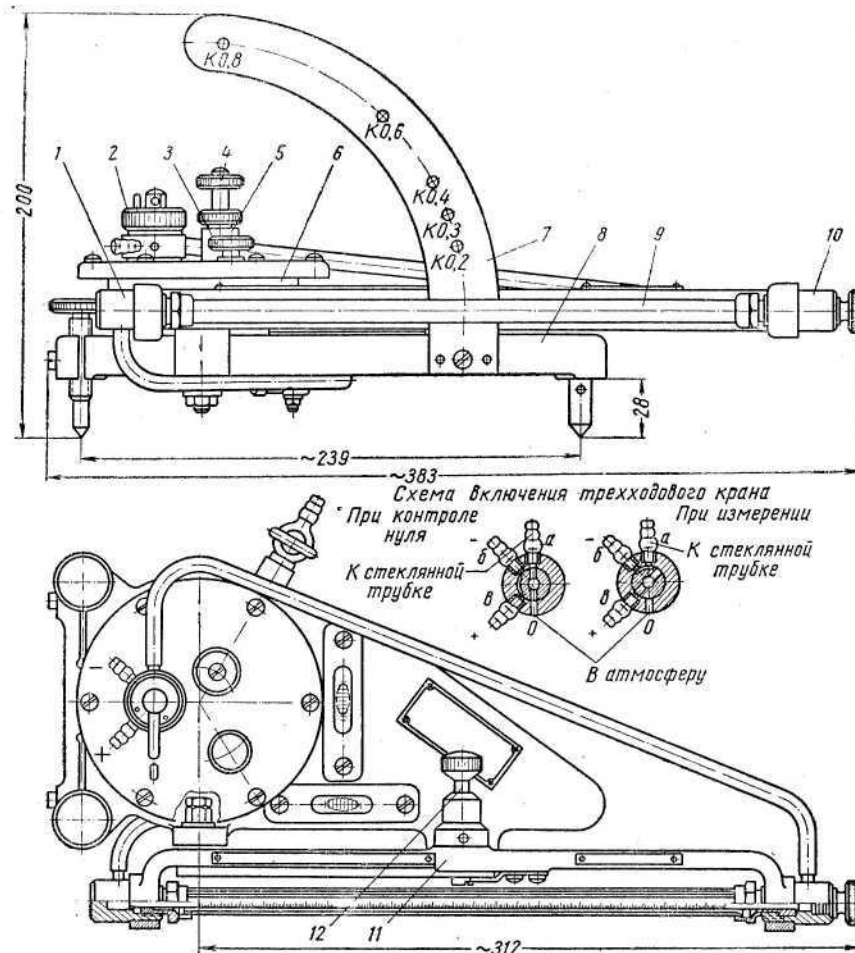
На фиг. 109 показан простейший микроманометр — тягонапорометр. Он состоит из резервуара 1 и наклонной измерительной трубки 3, помещенных в футляре 2. Прибор снабжен шкалой, позволяющей производить отсчет давления в мм вод. ст., т. е. учитывающий угол наклона трубки и удельный вес жидкости (спирта), которой заполняется микроманометр.

Тягонапорометр применяется для измерения давлений до 100 мм вод. ст.

Дифференциальный микроманометр. Устройство дифференциального микроманометра аналогично устройству микроманометра, представленного на фиг. 108, с той лишь разницей, что у дифференциального микроманометра угол наклона трубки может изменяться. Благодаря этой возможности увеличивается предельная величина измеряемого давления. Для измерения давлений, близких к предельной величине (200 мм вод. ст.), измерительную трубку микро-

манометра устанавливают в вертикальное положение, при измерении меньших давлений трубку устанавливают наклонно в одно из фиксируемых положений.

На фиг. 110 показан микроманометр типа ММН, состоящий из следующих основных частей: плиты 8, резервуара 6, измеритель-



Фиг. 110. Микроманометр ММН.

ной трубки 9. Резервуар закрыт крышкой, на которой расположено отверстие для заливки жидкости, закрытое пробкой 3; трехходовой кран 2, предназначенный для отключения манометра от приемника давления, и втулка 5 с резьбой, в которую ввертывается хвостовик регулятора 4 положения мениска спирта.

Стекломерная измерительная трубка 9 укреплена в колодках 1 и 10, которые связаны кронштейном 11. Кронштейн вместе с коло-

ками и трубкой вращается вокруг оси, расположенной на плите. Наклонное положение измерительной трубки фиксируется пальцем 12 в дуге 7. Для этой цели в дуге высверлено пять отверстий. У каждого отверстия выгравировано значение коэффициента

$$K = \gamma_{сп} \sin \alpha.$$

Измеряемое давление в мм вод. ст. вычисляем:

$$\Delta H = LK,$$

где L — величина, показанная прибором, в мм спиртового столба.

Микроманометр заполняют спиртом с удельным весом $0,81 \text{ г/см}^3$.

На плите 8 имеются два уровня, которые дают возможность при помощи регулировочных винтов устанавливать плиту в горизонтальное положение.

Нижний конец измерительной трубки при помощи резиновой трубки соединяется с нижней частью резервуара, образуя таким образом систему сообщающихся сосудов. Верхний конец измерительной трубки соединяется с одним из штуцеров трехходового крана. Остальные два штуцера, обозначенные условно знаками плюс (+) и минус (—), служат для присоединения приемника давления. Знаком плюс (+) обозначен штуцер, соединенный с верхней частью резервуара, а знаком минус (—) — штуцер, соединенный с верхним концом измерительной трубки.

Расположение точек измерения в поперечном сечении воздухопровода

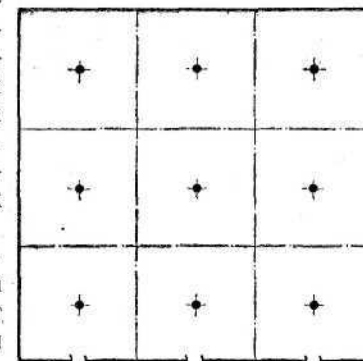
Ранее было отмечено, что скорости воздушного потока в различных точках поперечного сечения воздухопровода имеют различную величину. Поэтому для определения средней скорости воздушного потока необходимо произвести измерения динамического давления в ряде точек поперечного сечения воздухопровода, определить местные скорости воздушного потока, а затем величину средней скорости как среднее арифметическое местных скоростей. Это же касается определения средней величины полного, а иногда и статического давлений.

Точки измерения местных давлений в воздухопроводе выбирают в соответствии со следующим принципом. Поперечное сечение воздухопровода разбивают на некоторое число равновеликих площадок, затем в центре или в нескольких точках каждой площадки производят измерения.

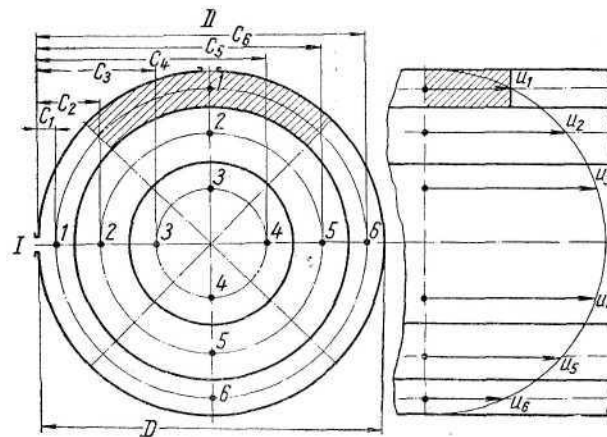
Если поперечное сечение воздухопровода имеет прямоугольную форму, то его разбивают на ряд прямоугольных равновеликих площадок (фиг. 111) и в центре каждой площадки производят измерение давления. Сечение воздухопровода, показанного на фиг. 111, разделено на девять площадок. Для того, чтобы произвести измерения в центре каждой площадки, необходимо просверлить в воздухопроводе три отверстия. Вводя пневмометрическую трубку в каждое отверстие, производят три измерения. Трубку в воздухопроводе

в соответствующей точке устанавливают по меткам, нанесенным на поверхности трубки. Трубку размечают таким образом, чтобы при совмещении метки со стенкой воздухопровода центр отверстия для измерения давления находился в точке измерения. Количество точек измерений в прямоугольных воздухопроводах можно рекомендовать в пределах 9—24. Чем больше площадь сечения воздухопровода, тем большее количество точек следует выбирать.

Поперечное сечение воздухопроводов круглой формы также разделяют на равновеликие площадки, которые имеют форму колец (фиг. 112). В каждом кольце намечают четыре точки измерений. На фиг. 112 эти точки пронумерованы. Все они расположены на двух взаимно перпендикулярных диаметрах, поэтому для установки трубки во все точки достаточно просверлить в воздухопроводе лишь два отверстия, расположенные под углом 90° .



Фиг. 111. Расположение точек измерения давления в воздухопроводе прямоугольной формы.



Фиг. 112. Расположение точек измерения в воздухопроводе круглого сечения.

Разметку пневмометрической трубки можно производить, пользуясь формулой для определения расстояния z точки измерения от оси воздухопровода:

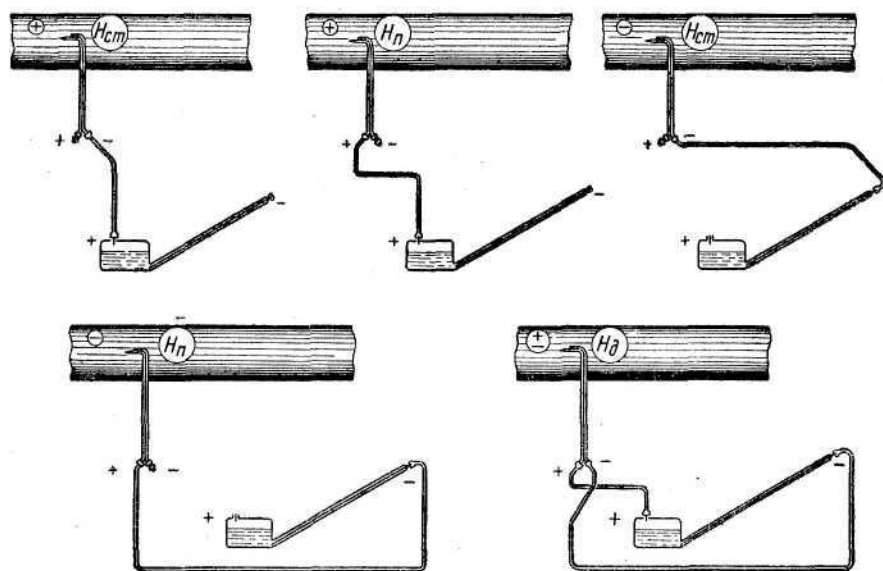
$$z_n = \frac{D}{2} \sqrt{\frac{2n-1}{2m}} \text{ м},$$

где D — диаметр воздухопровода в м;

m — число равновеликих колец;

n — номер точки, считая от оси воздухопровода.

Для воздухопроводов диаметром 100—500 мм можно выбирать число $m = 3$, и тогда для разметки пневмометрической трубки можно пользоваться таблицей (приложение 3). В таблице указаны расстояния от стенки воздухопровода до точки измерения (см. фиг. 112), это упрощает процесс разметки.



Фиг. 113. Схемы соединения пневмометрической трубки с микроманометром.

Порядок проведения измерения давлений. Для того, чтобы избежать ошибок и ускорить процесс измерения давлений, рекомендуется придерживаться определенного порядка их проведения.

1. Установить плиту микроманометра по уровням в горизонтальное положение.

2. Установить при помощи регулятора мениск спирта на нуль.

3. Соединить пневмометрическую трубку с микроманометром по одной из схем, показанных на фиг. 113.

Соответствующая схема выбирается в зависимости от следующих условий:

а) давления в воздухопроводе: разрежения, обозначенного знаком минус (—), или избыточного давления, обозначенного знаком плюс (+);

б) измеряемого давления полного, статического или динамического.

4. Проверить герметичность собранной схемы. Для этого через пневмометрическую трубку искусственно повысить давление в резервуаре микроманометра и плотно прикрыть пальцем соответствующее отверстие трубки.

Если спирт будет удерживаться на одном уровне, то это свидетельствует о герметичности схемы.

5. Проверить установку спирта на нуль, для чего повысить давление в резервуаре, а затем сообщить резервуар с атмосферой. Спирт должен плавно опускаться и устанавливаться на нулевом отсчете. Если движение спирта в измерительной трубке происходит не плавно

и он не устанавливается на нулевом отсчете, то это свидетельствует об одной из следующих неисправностей:

а) попадании спирта в трехходовой кран и резиновые трубки, соединяющие измерительную трубку с трехходовым краном и пневмометрическую трубку с микроманометром;

б) попадании пузырьков воздуха в спирт.

В первом случае надлежит продуть и осушить трехходовой кран и резиновые трубки, а во втором — несколько раз повысить давление в резервуаре, добиваясь колебательного движения спирта в измерительной трубке. Повторять эту операцию необходимо до тех пор, пока не прекратится выделение из спирта пузырьков воздуха.

6. Произвести разметку пневмометрической трубки.

7. Произвести измерения, результаты которых внести в протокол, форма которого приведена в приложении 1.

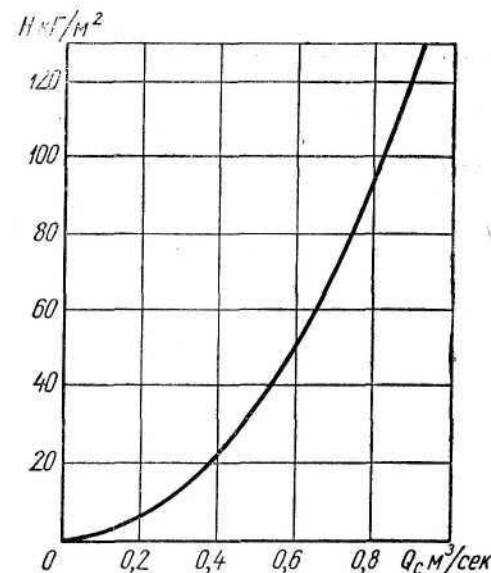
Величина среднего по сечению давления определяется как среднее арифметическое произведенных измерений.

Для вычисления средней скорости воздушного потока необходимо, пользуясь выражением $u = 4,04 \sqrt{H_0}$, определить местные скорости, а затем найти их среднее арифметическое.

Таблица, приведенная в приложении 4, упрощает указанные вычисления.

В качестве примера в табл. 33 приведены запись результатов измерений динамических давлений в воздухопроводе диаметром 350 мм и вычисления, необходимые для определения расхода воздуха.

Приводим также пример определения аэродинамической характеристики опытного образца воздушного сепаратора ПЗС-10. Измеренная величина полного давления в сечениях А—А и Б—Б



Фиг. 114. Аэродинамическая характеристика сепаратора.

(см. фиг. 87) соответственно равна 104 и 13 $\kappa\Gamma/\text{м}^2$. Сопротивление машины в данном случае будет равно сумме абсолютных величин полного давления в сечениях А—А и Б—Б (117 $\kappa\Gamma/\text{м}^2$). Количество

Таблица 33

Пример записи результатов измерения динамического давления, а также определения средней скорости воздушного потока и расхода воздуха

$K = 0,2$; $H_0^* = -3$ мм спиртового столба

№ точки	Показания микроманометра L в мм спиртового столба	Динамическое давление H_d в $\kappa\Gamma/\text{м}^2$	Скорость воздушного потока u в м/сек	Прочие измерения и расчеты
1	73	15,2	15,8	$u_{cp} = 16,2$ м/сек; $D = 350$ мм; $F = 0,096$ м ² ; $Q = u_{cp} F \cdot 60 =$ $= 0,096 \cdot 16,2 \cdot 60 =$ $= 93,3$ м ³ /мин
2	78	16,2	16,2	
3	81	16,8	16,6	
4	80	16,6	16,4	
5	76	15,8	16,1	
6	71	14,8	15,5	
7	75	15,6	16,0	
8	82	17,0	16,6	
9	84	17,4	16,9	
10	85	17,6	16,9	
11	77	16,0	16,2	
12	71	14,8	15,5	

* H_0 — начальное показание микроманометра, которое должно быть учтено при определении результатов измерений.

воздуха, протекающее через машину и измеренное в сечении Б—Б, равно 0,89 м³/сек. Следовательно, коэффициент сопротивления машины равен:

$$\varepsilon = \frac{\Delta H_m}{Q_c^2} = \frac{117}{0,89^2} \approx 148.$$

Найдя величину коэффициента сопротивления, подставляем его в выражение (18) и получаем

$$\Delta H_m = 148 Q_c^2.$$

Пользуясь последней формулой, строим аэродинамическую характеристику сепаратора (фиг. 114).

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА

Производительность сепаратора можно определять двумя способами. Первый, более точный способ, заключается в пропуске через сепаратор предварительно взвешенной партии зерна с фиксированием

времени начала и конца его подачи в сепаратор. При этом способе производительность сепаратора определяют делением веса пропущенной партии зерна на время ее очистки.

Второй, менее точный способ, состоит в том, что очищенное зерно и отходы периодически в течение 30—60 сек. отводят в специальную тару и затем взвешивают. Произведя в течение часа не менее пяти таких выемок зерна, определяют среднее арифметическое их веса и по нему вычисляют часовую производительность сепаратора.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭФФЕКТА ОЧИСТКИ ВОЗДУШНОГО СЕПАРАТОРА

Эффект очистки η зерна от примесей определяется как отношение количества A примесей, выделенных из зерна за один пропуск его через сепаратор, ко всему количеству B примесей, отделяемых воздушным потоком и содержащихся в данном зерне. Так как в отходах, выделенных воздушным потоком, может содержаться некоторое количество B нормального зерна, то эффект очистки определяют:

$$\eta = \frac{A - B}{B} 100\%.$$

Четкость сепарирования z оценивается по содержанию нормального зерна в отходах, выделенных сепаратором:

$$z = \frac{B}{A} 100\%.$$

Следовательно, для определения эффекта очистки зерна необходимо определить количество примесей, отделяемых воздушным потоком, в зерновой смеси до и после ее очистки, а также количество в выделенных отходах нормального зерна, попавшего в отходы из-за недостаточной четкости работы машины.

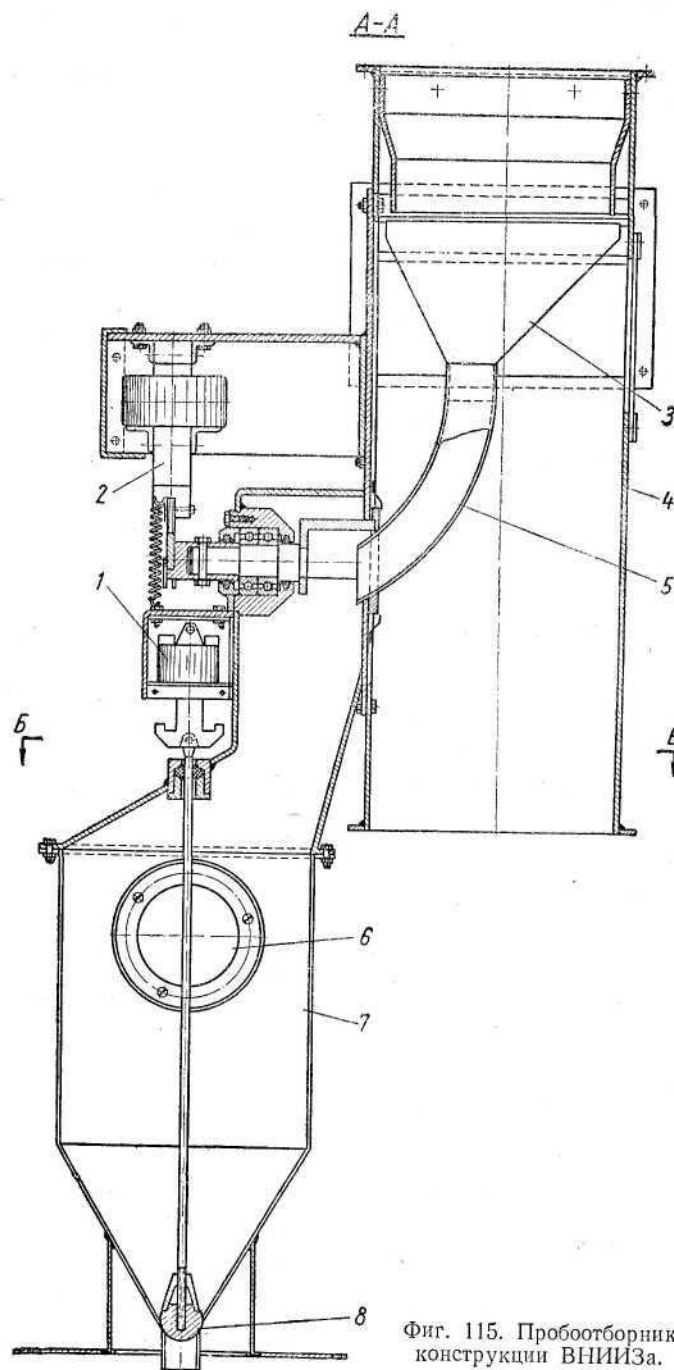
Для этих целей из зерновой смеси до и после ее очистки отбирают образцы зерна, в которых определяют количество примесей, отделяемых воздушным потоком, а в образце отходов определяют количество нормального зерна.

Образцы зерна лучше всего отбирать при помощи автоматических пробоотборников, встраиваемых в коммуникации испытываемого сепаратора, до и после него.

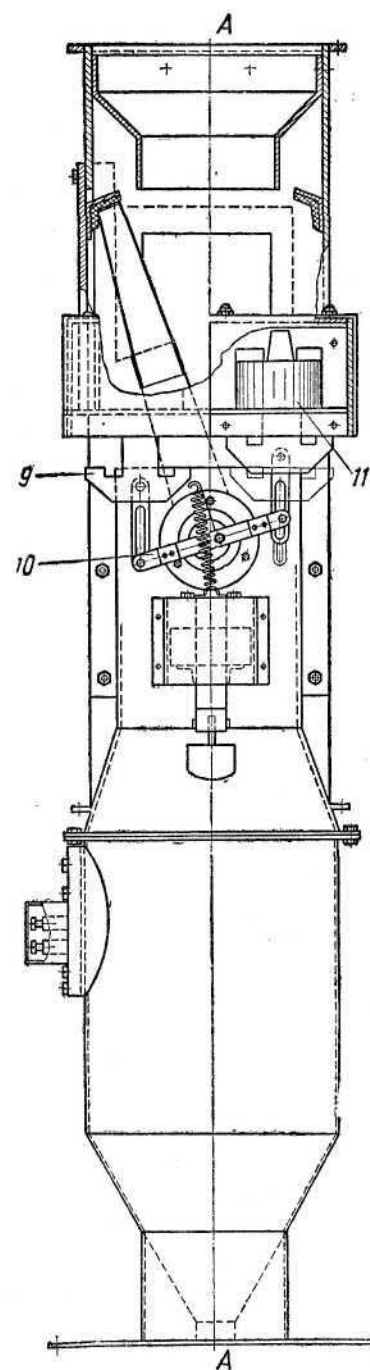
Однако пока еще в большинстве случаев пробы зерна отбирают вручную. Для этого необходимо наметить места для отбора проб зерна до и после сепаратора и определить время движения зерна между этими двумя точками.

Места для отбора проб зерна должны выбираться с таким расчетом, чтобы была обеспечена возможность пересечения совком всей струи зерна как поступающего на сепаратор, так и выходящего из него.

Для определения времени прохождения зерна через сепаратор подготавливают 250—500 г окрашенных зерен, которые порциями по 50—100 г добавляют в струю зерна в точке «зерно до машины»



Фиг. 115. Пробоотборник конструкции ВНИИЗа.



и одновременно включают секундомер. В тот момент, когда в точке «зерно после машины» появятся окрашенные зерна, секундомер выключают, таким образом определяют время движения зерна между этими двумя точками отбора проб. Произведя 3—5 таких измерений, вычисляют среднее арифметическое и эту величину принимают за интервал времени для отбора образцов зерна до очистки на сепараторе и после него.

Пробы отбирают путем перемещения совка в поперечном направлении относительно струи зерна, поступающего в сепаратор.

Значительно более производительным и объективным способом отбора проб является применение для этих целей автоматических пробоотборников.

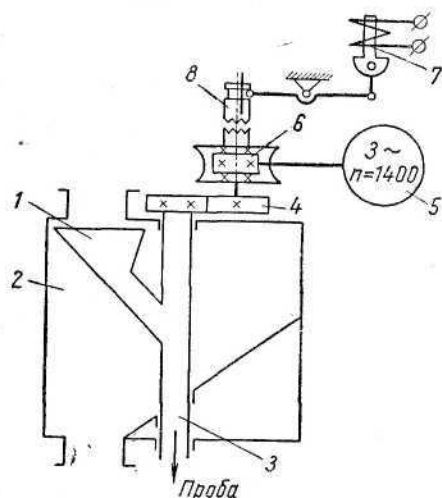
На фиг. 115 изображен общий вид опытного образца пробоотборника АП-3, конструкция которого разработана во ВНИИЗе на основании предложений Андрина Л. А., Бритикова Б. И. и Лобанова В. И. Пробоотборник состоит из следующих основных частей: цилиндрического патрубка 4, являющегося корпусом аппарата; ковша 3, отбирающего из струи зерна разовые выемки для составления пробы; электромагнитного привода 2 ковша и бункера 7 для накопления разовых выемок зерна.

Пробоотборник, смонтированный в вертикальном участке самотечной трубы, работает следующим образом: ковш 3 периодически пересекает поперечное сечение струи зерна, проходящего через патрубок, и отобранная разовая выемка зерна по криволинейной трубке 5 ковша высыпается в бункер. При заполнении бункера до определенного уровня срабатывает мембранный датчик 6 уровня, вследствие чего электромагнит 1 поднимает шаровой клапан 8 и отобранная проба зерна высыпается в приемник, подвешенный к бункеру.

Периодическое движение ковша осуществляется с помощью электромагнитного привода, состоящего из двух электромагнитов 9 и 11 и присоединенного к ним шарнирно-рычажного механизма 10.

Питание электромагнитов осуществляется от командного аппарата типа КЭП-12У, который позволяет устанавливать различные интервалы периодического включения электромагнитов в диапазоне от 3 мин. и выше.

На схеме фиг. 116 изображен другой автоматический пробоотборник конструкции Романова А. И. В этом пробоотборнике ковш 1 для отбора выемок из струи зерна вращается вокруг вертикальной оси и при пересечении струи зерна в патрубке 2 отбирает разовую выемку, которая через трубку 3 поступает в приемник для пробы.



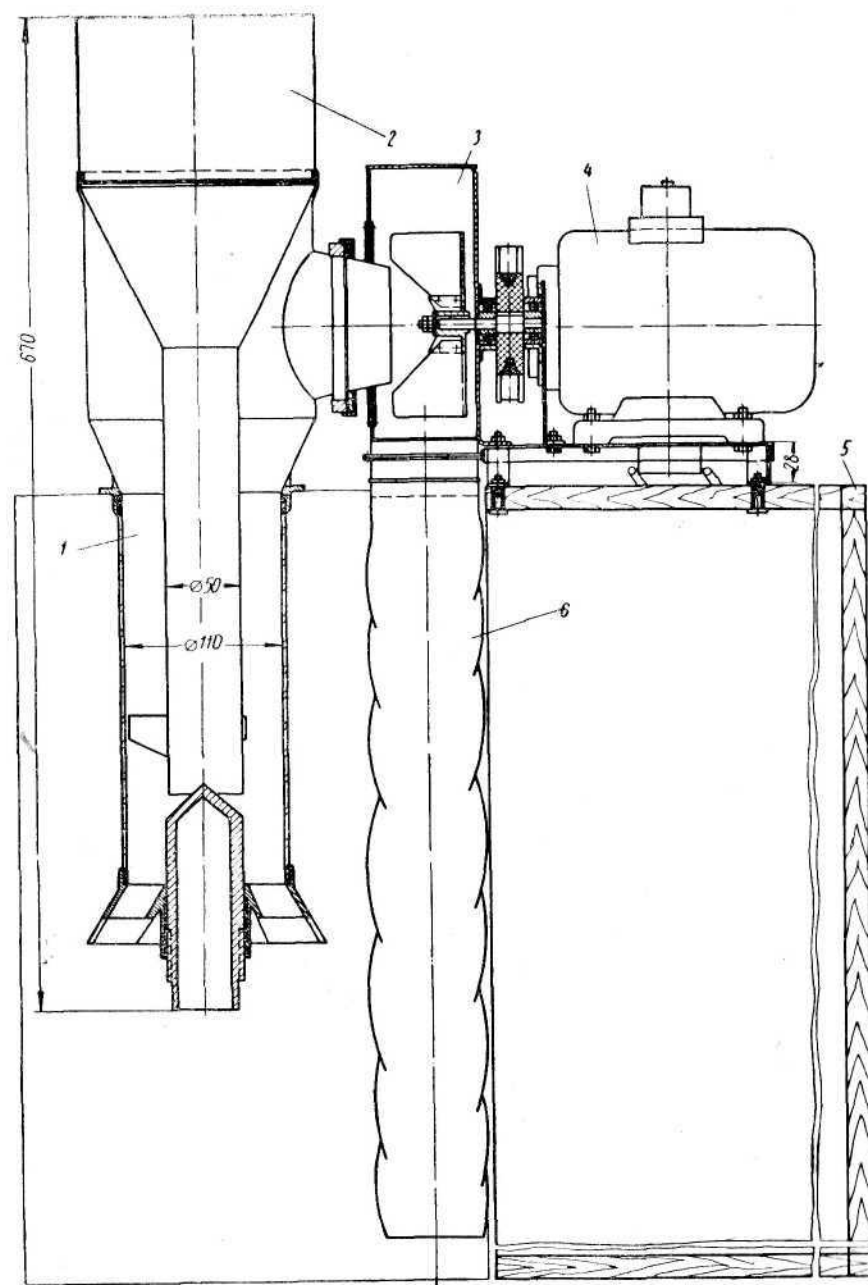
Фиг. 116. Пробоотборник конструкции Романова А. И.

Как при ручном, так и при автоматизированном способе отбора образцов зерна вес каждого из них должен быть не менее 1,5 кг, а количество образцов, отобранных в течение часа непрерывной работы сепаратора, должно быть не менее трех. Одновременно с отбором образцов зерна следует также отбирать образцы отходов для определения в них количества нормального зерна. Желательно также определять абсолютный вес нормальных зерен, содержащихся в отходах, объемный вес отходов и их ботанический состав.

Из каждого образца зерна, взятого до сепаратора, немедленно отбирают около 100 г для определения его влажности; эту навеску помещают в банку с притертой пробкой или плотно закрывающейся крышкой.

Влажность зерна определяют по общепринятой методике.

Далее из отобранных образцов выделяют навески весом по 50 г для определения сорной и зерновой примесей по ГОСТу 3040-55. Основную массу зерна каждого образца подвергают анализу на содержание в нем примесей, отделимых воздушным потоком. Для этой цели образец зерна вначале просеивают вручную на металлическом



Фиг. 117. Лабораторный переносной воздушный сепаратор конструкции ВНИИЗа.

- снижение в зерне сорной и зерновой примесей;
- количество отходов, приходящихся на 1 т очищенного зерна;
- объемный вес отходов;
- удельный расход энергии на 1 т очищенного зерна.

ПЛОЩАДИ СЕЧЕНИЙ КРУГЛЫХ ВОЗДУХОПРОВОДОВ

Диаметр воздухо- провода в мм	Площадь F сечения воздухопровода в м^2	$60F$	Диаметр воздухо- провода в мм	Площадь F сечения воздухопровода в м^2	$60F$
50	0,00196	0,118	300	0,0707	4,242
60	0,00283	0,170	310	0,0755	4,530
70	0,00385	0,231	320	0,0804	4,824
80	0,00503	0,302	330	0,0855	5,130
90	0,00636	0,382	340	0,0908	5,448
100	0,00785	0,472	350	0,0962	5,772
110	0,00950	0,570	360	0,102	6,12
120	0,0113	0,678	370	0,108	6,48
130	0,0133	0,798	380	0,113	6,78
140	0,0154	0,924	390	0,119	7,14
150	0,0177	1,062	400	0,126	7,56
160	0,0201	1,206	410	0,132	7,92
170	0,0227	1,362	420	0,139	8,34
180	0,0254	1,524	430	0,145	8,70
190	0,0284	1,704	440	0,152	9,12
200	0,0314	1,884	450	0,159	9,54
210	0,0346	2,076	460	0,166	9,96
220	0,0380	2,280	470	0,173	10,38
230	0,0415	2,490	480	0,181	10,86
240	0,0452	2,712	490	0,189	11,34
250	0,0491	2,946	500	0,196	11,76
260	0,0531	3,186	510	0,204	12,24
270	0,0573	3,438	520	0,212	12,72
280	0,0616	3,696	530	0,221	13,26
290	0,0661	3,966	540	0,229	13,74

Диаметр воздухо- провода в мм	Площадь F сечения воздухопровода в м^2	$60F$	Диаметр воздухо- провода в мм	Площадь F сечения воздухопровода в м^2	$60F$
550	0,238	14,28	800	0,503	30,16
560	0,246	14,76	810	0,515	30,90
570	0,255	15,30	820	0,528	31,68
580	0,264	15,84	830	0,541	32,46
590	0,273	16,38	840	0,554	33,24
600	0,283	16,98	850	0,567	34,02
610	0,292	17,52	860	0,581	34,86
620	0,302	18,12	870	0,594	35,64
630	0,312	18,72	880	0,608	36,48
640	0,322	19,32	890	0,622	37,32
650	0,332	19,92	900	0,636	38,17
660	0,342	20,52	910	0,650	39,00
670	0,353	21,18	920	0,665	39,90
680	0,363	21,78	930	0,679	40,74
690	0,374	22,44	940	0,694	41,64
700	0,385	23,10	950	0,709	42,54
710	0,396	23,76	960	0,724	43,44
720	0,407	24,42	970	0,739	44,34
730	0,419	25,14	980	0,754	45,24
740	0,430	25,80	990	0,770	46,2
750	0,442	26,52	1000	0,785	47,1
760	0,454	27,24			
770	0,466	27,96			
780	0,478	28,68			
790	0,490	29,40			

ПРИЛОЖЕНИЕ 3
РАЗМЕЩЕНИЕ ТОЧЕК ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЙ
В КРУГЛЫХ ВОЗДУХОПРОВОДАХ

Диаметр воздухо- провода в мм	Расстояние С точки измерения от стенки воздухопровода (см. фиг. 112) в мм					
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
50	2	7	15	35	43	48
60	3	9	18	42	51	57
70	3	10	21	49	60	67
80	4	12	24	56	68	76
90	4	13	27	63	77	86
100	4	15	30	70	85	96
110	5	16	33	77	94	105
120	5	18	36	84	102	115
130	5	19	39	91	111	125
140	6	20	41	99	120	134
150	6	22	44	106	128	144
160	7	23	47	113	137	153
170	7	25	50	120	145	163
180	7	26	53	127	156	173
190	8	28	56	134	162	182
200	8	29	59	141	171	192
210	9	31	62	148	179	201
220	9	32	65	155	188	211
230	9	34	68	162	196	221
240	10	35	71	169	205	230
250	10	37	74	176	213	240
260	10	38	77	183	222	250
270	11	40	80	190	230	259
280	12	41	83	197	239	268
290	12	42	86	204	248	278
300	12	44	89	211	256	288
310	13	45	92	218	265	297
320	13	47	95	225	273	307
330	14	48	98	232	282	316
340	14	50	101	239	290	326
350	14	51	104	246	299	336
360	15	53	108	252	307	345
370	15	54	110	260	316	355
380	16	56	112	268	324	364
390	17	57	115	275	333	373
400	18	58	118	282	342	382
410	18	60	121	289	350	392
420	18	61	124	296	359	402
430	19	63	127	303	367	411
440	19	64	130	310	376	421
450	20	66	133	317	384	430
460	20	67	136	324	393	440
470	21	69	139	331	401	449
480	21	70	142	338	410	459
490	21	72	145	345	418	469

Продолжение прилож. 3

Диаметр воздухо- провода в мм	Расстояние С точки измерения от стенки воздухопровода (см. фиг. 112) в мм					
	C ₁	C ₂	C ₃	C ₄	C ₅	C ₆
500	22	73	148	352	427	478
510	23	75	151	359	435	487
520	23	76	154	366	444	497
530	23	77	157	373	453	507
540	24	79	160	380	461	516
550	24	80	163	387	470	526
560	25	82	166	394	478	535
570	25	83	169	401	487	545
580	26	85	172	408	495	554
590	26	86	175	415	504	564
600	26	88	178	422	512	574
610	27	89	180	430	512	583
620	27	91	183	437	529	593
630	28	92	186	444	538	602
640	28	94	189	451	546	612
650	29	95	192	458	555	621
660	29	96	195	465	564	631
670	30	98	198	472	572	640
680	30	100	201	479	580	650
690	30	101	204	486	589	660
700	31	103	207	493	597	669
710	31	104	210	500	606	679
720	32	105	213	507	615	688
730	32	107	216	514	623	698
740	33	108	219	521	632	707
750	33	110	222	528	640	717
760	33	111	225	535	649	727
770	34	113	228	542	657	736
780	34	114	231	549	666	746
790	35	116	234	556	674	755
800	36	117	236	564	683	764
810	36	118	239	571	692	774
820	36	120	242	578	700	784
830	37	121	245	585	709	793
840	37	123	248	582	717	803
850	37	125	251	599	725	813
860	38	126	254	606	734	822
870	38	127	257	613	743	832
880	39	129	260	620	751	841
890	39	130	263	627	760	851
900	40	132	266	634	768	860
910	40	133	269	641	777	870
920	40	135	272	648	785	880
930	41	136	275	655	794	889
940	42	138	278	662	802	898
950	42	139	281	669	811	908
960	43	140	284	676	820	917
970	43	142	287	683	828	927
980	44	144	290	690	836	936
990	44	145	293	697	845	946
1000	44	146	296	704	854	956

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА
ПО ИЗВЕСТНОМУ ДИНАМИЧЕСКОМУ ДАВЛЕНИЮ**

ПРИЛОЖЕНИЕ 4

Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воз- душного пото- ка в м/сек
0,1	1,29	4,1	8,16	8,1	11,47
0,2	1,82	4,2	8,28	8,2	11,55
0,3	2,22	4,3	8,36	8,3	11,63
0,4	2,55	4,4	8,48	8,4	11,72
0,5	2,87	4,5	8,56	8,5	11,80
0,6	3,11	4,6	8,65	8,6	11,84
0,7	3,39	4,7	8,77	8,7	11,92
0,8	3,60	4,8	8,85	8,8	12,00
0,9	3,84	4,9	8,93	8,9	12,04
1,0	4,04	5,0	9,05	9,0	12,12
1,1	4,24	5,1	9,13	9,1	12,20
1,2	4,4	5,2	9,21	9,2	12,24
1,3	4,61	5,3	9,29	9,3	12,32
1,4	4,77	5,4	9,37	9,4	12,40
1,5	4,93	5,5	9,49	9,5	12,44
1,6	5,09	5,6	9,57	9,6	12,52
1,7	5,25	5,7	9,66	9,7	12,56
1,8	5,41	5,8	9,74	9,8	12,64
1,9	5,58	5,9	9,82	9,9	12,73
2,0	5,70	6,0	9,90	10,0	12,77
2,1	5,86	6,1	9,98	10,1	12,85
2,2	5,98	6,2	10,06	10,2	12,89
2,3	6,14	6,3	10,14	10,3	12,97
2,4	6,26	6,4	10,22	10,4	13,01
2,5	6,38	6,5	10,30	10,5	13,09
2,6	6,5	6,6	10,38	10,6	13,13
2,7	6,63	6,7	10,46	10,7	13,21
2,8	6,75	6,8	10,54	10,8	13,29
2,9	6,87	6,9	10,62	10,9	13,33
3,0	6,99	7,0	10,71	11,0	13,41
3,1	7,11	7,1	10,75	11,1	13,45
3,2	7,23	7,2	10,83	11,2	13,53
3,3	7,35	7,3	10,91	11,3	13,57
3,4	7,43	7,4	10,99	11,4	13,65
3,5	7,55	7,5	11,07	11,5	13,70
3,6	7,68	7,6	11,15	11,6	13,78
3,7	7,76	7,7	11,19	11,7	13,82
3,8	7,88	7,8	11,27	11,8	13,86
3,9	7,96	7,9	11,35	11,9	13,94
4,0	8,08	8,0	11,39	12,0	13,98

Продолжение прилож. 4

Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воз- душного пото- ка в м/сек
12,1	14,06	16,6	16,44	22,2	19,03
12,2	14,10	16,7	16,52	22,4	19,11
12,3	14,18	16,8	16,56	22,6	19,19
12,4	14,22	16,9	16,60	22,8	19,27
12,5	14,30	17,0	16,64	23,0	19,35
12,6	14,34	17,1	16,69	23,2	19,43
12,7	14,38	17,2	16,77	23,4	19,55
12,8	14,46	17,3	16,81	23,6	19,63
12,9	14,50	17,4	16,85	23,8	19,71
13,0	14,54	17,5	16,89	24,0	19,80
13,1	14,62	17,6	16,93	24,2	19,88
13,2	14,66	17,7	17,01	24,4	19,96
13,3	14,75	17,8	17,05	24,6	20,04
13,4	14,79	17,9	17,09	24,8	20,12
13,5	14,83	18,0	17,13	25,0	20,20
13,6	14,91	18,1	17,17	25,2	20,28
13,7	14,95	18,2	17,25	25,4	20,36
13,8	14,99	18,3	17,29	25,6	20,44
13,9	15,07	18,4	17,33	25,8	20,52
14,0	15,12	18,5	17,37	26,0	20,60
14,1	15,15	18,6	17,41	26,2	20,68
14,2	15,23	18,7	17,45	26,4	20,77
14,3	15,27	18,8	17,53	26,6	20,85
14,4	15,35	18,9	17,57	26,8	20,93
14,5	15,39	19,0	17,61	27,0	21,01
14,6	15,43	19,1	17,65	27,2	21,09
14,7	15,47	19,2	17,69	27,4	21,13
14,8	15,55	19,3	17,74	27,6	21,21
14,9	15,59	19,4	17,78	27,8	21,29
15,0	15,63	19,5	17,86	28,0	21,37
15,1	15,72	19,6	17,90	28,2	21,45
15,2	15,76	19,7	17,94	28,4	21,53
15,3	15,80	19,8	17,98	28,6	21,61
15,4	15,84	19,9	18,02	28,8	21,69
15,5	15,92	20,0	18,06	29,0	21,78
15,6	15,96	20,2	18,14	29,2	21,82
15,7	16,00	20,4	18,26	29,4	21,90
15,8	16,08	20,6	18,34	29,6	21,98
15,9	16,12	20,8	18,42	29,8	22,06
16,0	16,16	21,0	18,50	30,0	22,14
16,1	16,20	21,2	18,58	30,2	22,22
16,2	16,24	21,4	18,70	30,4	22,26
16,3	16,32	21,6	18,79	30,6	22,34
16,4	16,36	21,8	18,87	30,8	22,42
16,5	16,40	22,0	18,95	31,0	22,50

Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воз- душного по- тока в м/сек
31,2	22,58	40,4	25,69	58,4	30,87
31,4	22,62	40,8	25,82	58,8	30,99
31,6	22,70	41,2	25,94	59,2	31,07
31,8	22,79	41,6	26,06	59,6	31,19
32,0	22,87	42,0	26,18	60,0	31,31
32,2	22,91	42,4	26,30	60,4	31,39
32,4	22,99	42,8	26,42	60,8	31,51
32,6	23,07	43,2	26,54	61,2	31,59
32,8	23,15	43,6	26,66	61,6	31,71
33,0	23,19	44,0	26,78	62,0	31,79
33,2	23,27	44,4	26,90	62,4	31,92
33,4	23,35	44,8	27,03	62,8	32,00
33,6	23,43	45,2	27,15	63,2	32,12
33,8	23,47	45,6	27,27	63,6	32,20
34,0	23,55	46,0	27,39	64,0	32,32
34,2	23,63	46,4	27,51	64,4	32,40
34,4	23,71	46,8	27,63	64,8	32,52
34,6	23,75	47,2	27,75	65,2	32,60
34,8	23,84	47,6	27,88	65,6	32,72
35,0	23,92	48,0	28,00	66,0	32,80
35,2	23,96	48,4	28,12	66,4	32,92
35,4	24,04	48,8	28,24	66,8	33,01
35,6	24,12	49,2	28,32	67,2	33,13
35,8	24,16	49,6	28,44	67,6	33,21
36,0	24,24	50,0	28,56	68,0	33,33
36,2	24,32	50,4	28,68	68,4	33,41
36,4	24,36	50,8	28,80	68,8	33,49
36,6	24,44	51,2	28,93	69,2	33,61
36,8	24,52	51,6	29,01	69,6	33,69
37,0	24,56	52,0	29,13	70,0	33,81
37,2	24,64	52,4	29,25	70,4	33,89
37,4	24,72	52,8	29,37	70,8	33,97
37,6	24,76	53,2	29,45	71,2	34,10
37,8	24,85	53,6	29,57	71,6	34,17
38,0	24,89	54,0	29,69	72,0	34,30
38,2	24,97	54,4	29,81	72,4	34,38
38,4	25,05	54,8	29,90	72,8	34,46
38,6	25,09	55,2	30,02	73,2	34,58
38,8	25,17	55,6	30,14	73,6	34,66
39,0	25,25	56,0	30,22	74,0	34,74
39,2	25,29	56,4	30,34	74,4	34,86
39,4	25,37	56,8	30,46	74,8	34,95
39,6	25,41	57,2	30,54	75,2	35,03
39,8	25,49	57,6	30,66	75,6	35,10
40,0	25,53	58,0	30,78	76,0	35,23

Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воздушного потока в м/сек	Динами- ческое давле- ние в кг/м ²	Скорость воз- душного по- тока в м/сек
76,4	35,31	104,8	41,37	136,8	47,26
76,8	35,39	105,6	41,53	137,6	47,39
77,2	35,51	106,4	41,69	138,4	47,55
77,6	35,59	107,2	41,85	139,2	47,67
78,0	35,67	108,0	42,02	140,0	47,79
78,4	35,75	108,8	42,14	140,8	47,95
78,8	35,87	109,6	42,30	141,6	48,08
79,2	35,95	110,4	42,46	142,4	48,20
79,6	36,04	111,2	42,62	143,2	48,36
80,0	36,12	112,0	42,74	144,0	48,48
80,8	36,32	112,8	42,90	144,8	48,60
81,6	36,48	113,6	43,07	145,6	48,76
82,4	36,68	114,4	43,23	146,4	48,88
83,2	36,84	115,2	43,39	147,2	49,01
84,0	37,00	116,0	43,51	148,0	49,09
84,8	37,21	116,8	43,67	148,8	49,29
85,6	37,37	117,6	43,83	149,6	49,41
86,4	37,53	118,4	43,95	150,4	49,53
87,2	37,73	119,2	44,12	151,2	49,69
88,0	37,89	120,0	44,24	152,0	49,81
88,8	38,06	120,8	44,40	152,8	49,93
89,6	38,26	121,6	44,56	153,6	50,01
90,4	38,42	122,4	44,72	154,4	50,22
91,2	38,58	123,2	44,84	155,2	50,34
92,0	38,74	124,0	45,01	156,0	50,46
92,8	38,90	124,8	45,12	156,8	50,58
93,6	39,07	125,6	45,29	157,6	50,70
94,4	39,23	126,4	45,41	158,4	50,82
95,2	39,43	127,2	45,57	159,2	50,98
96,0	39,59	128,0	45,69	160,0	51,11
96,8	39,75	128,8	45,85		
97,6	39,91	129,6	45,97		
98,4	40,03	130,4	46,14		
99,2	40,24	131,2	46,26		
100,0	40,40	132,0	46,42		
100,8	40,56	132,8	46,54		
101,6	40,72	133,6	46,70		
102,4	40,88	134,4	46,82		
103,2	41,04	135,2	46,98		
104,0	41,21	136,0	47,14		

ЛИТЕРАТУРА

1. Безручкин И. П., Аэродинамические свойства зерен. Сборник статей. Труды Московского дома ученых, вып. II, М.—Л. 1937.
2. Вахромеев В. М., Хапанцев И. В., Зерноочистительная машина ОВВ-20, «Тракторы и сельхозмашины» № 10, 1960.
3. Воропов И. Г., Кожуховский И. Е., Колышев П. П., Павловский Г. Т., Очистка и сортирование семян, 2-е изд., Сельхозгиз, Москва, 1959.
4. Гастрштадт И., Пневматический транспорт, Изд. Сев. Зап. обл. Промбюро ВСНХ, Ленинград 1927.
5. Гиршсон В. Я., Взвешенные скорости и коэффициенты обтекания зерна. «Советское мукомолье и хлебопечение» № 9, 1929.
6. Дементьев М. А., К вопросу исследования аэродинамических свойств семян. Сб. «Теория, конструкция и производство сельскохозяйственных машин», т. 2, Сельхозгиз, М.—Л. 1936.
7. Демидов А. Р., Демин Г. С., Луткин Н. И., Малис А. Я., Передвижной зерноочистительный агрегат ЗА-40. Хлебоздат, М. 1958.
8. Демидов П. Г., Скорости падения и коэффициенты обтекаемости зерна, перерабатываемого в крупу. «Мукомолье и элеваторно-складское хозяйство» № 7, 1938.
9. Дрогалин К. В., Карпова К. А., К вопросу о пневматическом сортировании зерна и промежуточных продуктов его размола. Труды ВНИИЗ, вып. XXIX, Заготиздат, М. 1954.
10. Егоров П. Ф., Физико-механические свойства зерна и его примесей. Сборник научно-исследовательских работ РостНИИЗ № 2, Ростовское областное издательство, 1938.
11. Идельчик И. Е., Справочник по гидравлическому сопротивлению фасонных и прямых частей трубопроводов. Издание ЦАГИ, 1950.
12. Кудрявцев Н., Работа лузговейки. «Мукомолье и элеваторно-складское хозяйство», № 2, 1939.
13. Кучерук В. В., Очистка от пыли вентиляционных и промышленных выбросов. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, М. 1955.
14. Малис А. Я., Исследование вертикальных воздушных каналов зерновых сепараторов, Диссертация канд. техн. наук, М. 1955.
15. Малис А. Я., Осаждение примесей и очистка воздуха в зерновых сепараторах. «Сообщения и рефераты ВНИИЗ», вып. 4, 1957.
16. Пальцев В. С., Усовершенствование мельничных вентиляционных установок, Заготиздат, М. 1954.
17. Пальцев В. С., Малис А. Я., Круглов А. А., Высокоэффективные циклоны. «Мукомольно-элеваторная промышленность» № 12, 1958.
18. Романовский В. И., Применение математической статистики в опытном деле. Гостехиздат, М.—Л., 1947.
19. Рысин С. А., Справочник по вентиляторам. Государственное издательство литературы по строительству и архитектуре, Москва, 1954.
20. Соколов А. Я., Машины для очистки и транспорта зерна, Машгиз, 1957.
21. Терсков Г. Д., Оптимальные скорости воздушного потока в сортировках и построение траектории движения зерна, «Сельскохозяйственная машина» № 2, 1936.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Аэродинамические свойства компонентов зерновой смеси	5
Устройство и классификация воздушных сепараторов	14
Пневмосепарирующие каналы	18
Элементы теории движения частиц материала в вертикальном пневмо-сепарирующем канале	18
Факторы, влияющие на эффективность процесса очистки зерна воздушным потоком	27
Степень различия скоростей витания зерен очищаемой культуры и примесей	29
Величина удельной зерновой нагрузки	30
Размеры пневмосепарирующего канала	30
Начальная скорость частиц сепарируемого материала	35
Средняя скорость воздушного потока	38
Равномерность воздушного потока в пневмосепарирующих каналах	39
Форма и конструкция пневмосепарирующих каналов	53
Расчет и выбор размеров пневмосепарирующих каналов	56
Определение расхода воздуха в пневмосепарирующих каналах и их сопротивления	59
Воздухоочистители	61
Осадочные камеры	61
Циклоны	62
Скорость воздушного потока при входе в циклон	63
Диаметр циклона	64
Остальные размеры циклона и их соотношение	65
Сетчатые инерционные отделители (СИО)	71
Инерционные жалюзийные пылеотделители (ИП)	75
Всасывающие матерчатые фильтры	82
Нагнетательные матерчатые фильтры	84
Схемы воздухоочистителей	86
Герметизирующие устройства	97
Вентиляторы	101
Машины для очистки зерна воздушным потоком	110
Воздушносепарирующая машина ПЗА-40 передвижного зерноочистительного агрегата ЗА-40	110
Ворохоочиститель ВО-40	115
Передвижной воздушный сепаратор ПЗС-10	118
Самопередвижной ворохоочиститель ОВВ-20	121
Аспирационные колонки	124
Воздушный сепаратор типа ЗД	125

Воздушные сепараторы для очистки зерна, перемещаемого пневматическим транспортом	128
Воздушные сепараторы зарубежных стран	133
Пневмосепарирующие устройства воздушно-ситовых сепараторов	138
Испытание воздушных сепараторов	143
Определение аэродинамической характеристики воздушного сепаратора	143
Определение производительности воздушного сепаратора	156
Определение эффекта очистки воздушного сепаратора	157
<i>Приложения</i>	<i>163</i>
<i>Литература</i>	<i>174</i>

ЗАМЕЧЕННЫЕ ОПЕЧАТКИ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
28	36-я сверху	%	2%
104	Табл. 25, 3-я графа, 3-я снизу	1580	1500

Малис и Демидов. Зак. 727

Абрам Яковлевич Малис и Алексей Романович Демидов
МАШИНЫ ДЛЯ ОЧИСТКИ ЗЕРНА ВОЗДУШНЫМ ПОТОКОМ

Редактор издательства М. Н. Журавлева. Переплет художника А. Я. Михайлова
Технические редакторы: Э. И. Чернова, Л. П. Гордеева. Корректор Л. А. Надеждина

Сдано в производство 18/IX 1961 г. Подписано к печати 25/I 1962 г.
Т-02139. Тираж 3500 экз. Печ. л. 11. Уч.-изд. л. 11.
Бум. л. 5,5. Формат 60 × 90¹/₁₆. Цена 65 коп. Зак. 727.

Типография № 6 УПП Ленсовнархоза, Ленинград, ул. Моисеенко, 10.