

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ УССР

Т Р У Д Ы
ОДЕССКОГО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО
ИНСТИТУТА

имени И. В. СТАЛИНА

Том IX

ОДЕССА,
1958

Н. В. РОМЕНСКИЙ, В. А. ЯКОВЕНКО

О ТЕМПЕРАТУРНЫХ УСЛОВИЯХ ХРАНЕНИЯ ЗАРОДЫШЕЙ КУКУРУЗЫ

В статье даются рекомендации температурных условий для хранения зародышевых продуктов кукурузы, а также приводятся данные для равновесной влажности зародышей кукурузы, пшеницы и ржи.

Рекомендации разработаны на основании исследований химической динамики процессов в хранящихся зародышевых продуктах кукурузы, пшеницы и ржи при различных температурных условиях.

Кукурузные зародыши являются отходами при производстве кукурузной муки и крупы. Они богаты жировыми веществами, количество которых составляет 32—37% общего их веса. Поэтому кукурузные зародыши могут служить хорошим сырьем для получения из них кукурузного масла.

Жировые вещества являются наиболее легко изменяемым химическим ингредиентом зерна. Поэтому при исследовании температурных режимов хранения кукурузных зародышей основное внимание уделялось изучению химических изменений кукурузного масла. При этом исследованию были подвергнуты также пшеничные и ржаные зародыши.

Основной объект исследования — кукурузные зародыши были получены с Назраньского крупозавода, на котором они вместе с оболочками являются отходами производства. Этот продукт предварительно пропускался через лузговейку с целью разделения его на оболочки и зародыш. Выход зародышей составлял 56—58% от общего количества отходов. Пшеничные и ржаные зародыши исследовались в том виде, в каком они были получены с производства.

В табл. 1 приводится химический состав исходных зародышевых продуктов.

Таблица 1

Химический состав зародышевых продуктов
(в % на абсолютно сухое вещество)

З а р о д ы ш и	Белок (N×6,25)	Крахмал	Жир	Фосфор
Кукурузы зубовидной белой . . .	20,9	17,9	20,3	1,24
Кукурузы полузубовидной жел- той	19,4	16,8	21,7	1,31
Пшеницы	31,2	22,3	8,2	0,81
Ржи	37,0	12,0	12,0	1,14

Как видно из приведенных в табл. 1 данных, зародыши, получаемые в производстве, по своему химическому составу представляют весьма ценные продукты не только как корм для сельскохозяйственных животных, но и как сырье для пищевой промышленности.

Образцы зародышевых продуктов весом 1,5—2,0 кг помещали на хранение при двух температурных режимах: 16—21° и 2—0°. Сырой жир для исследования извлекали из предварительно высушенных зародышей в аппарате Сокслета.

Все анализы были проведены по методам, описанным в нашей работе [Л. 2].

Результаты исследования, полученные в опытах по химическому изменению жира зародышей в зависимости от температуры их хранения, приведены в табл. 2 и 3.

Таблица 2
Химические изменения масла зародышей некоторых злаков в зависимости от продолжительности их хранения (при $t=16-21^{\circ}\text{C}$)

Продолжительность хранения, месяцы	Влажность зародышей, %	Химические характеристики жира					
		кислотное число	число омыления	иодное число	коэфф. преломления	перекисное число	проба на альдегиды (по Крейсу)
Зародыши кукурузы зубовидной белой							
Исходные	11,0	9,8	188,0	129,4	1,4740	—	отриц.
2	6,6	11,5	191,0	120,0	1,4738	0,04	отриц.
9	7,8	19,5	201,0	121,0	1,4741	0,05	положит.
12,5	7,6	18,3	183,5	119,2	1,4745	0,22	положит.
Зародыши кукурузы полужубовидной желтой							
Исходные	10,8	9,0	181,0	127,5	1,4739	—	отриц.
2	7,1	11,4	191,0	119,0	1,4728	0,34	слабо положит.
Зародыши пшеницы							
Исходные	10,3	15,2	180,0	127,5	1,4775	—	отриц.
2	8,3	30,5	181,0	122,5	1,4765	0,16	отриц.
8	—	63,6	—	122,4	1,4776	0,24	положит.
12	6,4	56,0	171,2	103,9	1,4774	0,13	положит.
Зародыши ржи							
Исходные	8,0	22,7	183,0	128,9	1,4791	—	отриц.
2	6,6	24,8	192,0	123,6	1,4782	0,17	слабо положит.
8	7,5	50,5	181,5	124,5	1,4800	0,41	положит.
12	7,0	40,6	—	97,6	1,4787	0,16	слабо положит.

Как видно из табл. 2 и 3, исходная влажность кукурузных зародышей была несколько выше в сравнении с зародышами пшеницы и ржи. Однако в процессе хранения влажность исследуемых кукурузных зародышей понизилась и находилась в пределах 6,5—8,0%, при этом несколько большая влажность наблюдалась у зародышей, хранившихся при температуре —2—0°.

Кислотные числа масла кукурузных зародышей увеличивались в два раза при хранении их в течение 9 месяцев при температуре 16—21° и почти в 5 раз, в случае хранения их при температуре —2—0°.

Таблица 3
Химические изменения масла зародышей некоторых злаков в зависимости
от продолжительности их хранения
(при $t = 2-0^{\circ}\text{C}$)

Продолжи- тельность хранения, месяцы	Влажность зародышей, %	Химические характеристики жира					
		кислот- ное число	число омыле- ния	иодное число	коэффиц. прелом- ления	перекис- ное число	проба на альдегиды (по Крейсу)
Зародыши кукурузы зубовидной белой							
Исходные	11,0	9,8	188,0	129,4	1,4740	—	положит.
2	7,2	9,1	182,0	126,0	1,4718	0,18	слабо
9	8,4	49,7	193,5	121,0	1,4723	0,04	положит.
Зародыши кукурузы полузубовидной желтой							
Исходные	10,8	9,0	181,0	127,5	1,4739	—	отриц.
2	7,4	8,3	181,0	119,0	1,4731	0,17	слабо
Зародыши пшеницы							
Исходные	10,3	15,2	180,0	127,5	1,4775	—	отриц.
2	—	17,7	188,0	125,7	1,4764	—	отриц.
3	9,7	31,8	183,0	116,0	1,4781	0,08	слабо
12	7,7	45,4	180,0	105,3	1,4770	0,29	положит.
Зародыши ржи							
Исходные	8,0	22,7	183,0	128,9	1,4791	—	отриц.
2	7,9	21,8	185,0	126,0	1,4779	0,18	отриц.
8	8,8	30,2	190,0	116,5	1,4773	0,23	положит.
12	7,0	32,7	182,5	112,9	1,4783	0,90	сильно
							положит.

В отличие от масла кукурузных зародышей кислотность масла пшеничных и ржаных зародышей больше повышалась за такой же период хранения при температуре 16—21°.

Иодные числа жира, полученного из хранившихся зародышевых продуктов, показали большее снижение у пшеничного и ржаного масла и меньшее у кукурузного масла.

Полученные результаты дают возможность сделать следующие выводы:

1. Равновесная влажность кукурузных зародышей устанавливается ниже равновесной влажности зародышей пшеницы и ржи при хранении их в равных температурных условиях.

2. Зародыши кукурузы при хранении их в обычных температурных условиях (16—21°) обладают практически достаточной стойкостью. Хранение кукурузных зародышей в условиях пониженных температур не может быть рекомендовано. Наоборот, хранение зародышей пшеницы, и ржи следует рекомендовать в условиях пониженных температур, близких к 0°.

ЛИТЕРАТУРА

1. Голик М. Г., Физиолого-биохимические основы хранения кукурузы, АН СССР 1955.

2. Яковенко В. А., Роменский Н. В., Химические изменения жира при порче зародышевых продуктов, Труды Одесского технологического института им. И. В. Сталина, вып. 5, 1955.

Н. В. РОМЕНСКИЙ Л. Е. СИНЕЛЬНИКОВА

БИОХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА НЕКОТОРЫХ СОРТОВ ОЗИМЫХ ПШЕНИЦ В СВЯЗИ С ИХ ВЫБОРОМ ДЛЯ ОРОШАЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ ЮГА УКРАИНЫ

В работе приводятся результаты исследования физических, биохимических и технологических свойств зерна наиболее распространенных на юге УССР озимых пшениц, выращенных на поливных и неполивных участках при различных особенностях агротехники полива.

В результате анализа установлено, что лучшим сортом озимой пшеницы для орошаемых земель южных степных районов УССР должен быть признан сорт «Одесская 16» селекции Всесоюзного селекционно-генетического института имени Г. Д. Лысенко.

Для обеспечения высоких и устойчивых урожаев, а также для получения высококачественного зерна на орошаемых землях важно вывести и отобрать сорта пшениц, которые обладали бы оптимальными хозяйственными признаками и хорошими биохимическими и технологическими свойствами.

Поэтому, объективная оценка качества пшеницы предполагает глубокие биохимические исследования состава и свойства зерна, а также изучение его технологических свойств.

В настоящее время советские селекционеры вывели новые ценные сорта озимых пшениц для юга Украины, но биохимические и технологические свойства этих сортов изучены недостаточно.

Это обстоятельство тормозит выбор и дальнейшую работу по выведению высокопродуктивных сортов пшениц применительно к условиям орошения. В связи с этим мы поставили своей задачей изучить физические, биохимические и технологические свойства наиболее важных и распространенных сортов озимых пшениц юга УССР, выращенных в поливных и суходольных условиях.

Одной из местных задач настоящего исследования было изучение влияния годичных колебаний и особенностей климатических факторов в географическом пункте выращивания полученных образцов озимых пшениц.

Основной целью данного исследования было получить объективные данные для выбора оптимальных сортов озимых пшениц, предназначенных для орошаемого земледелия юга УССР.

I. Обзор литературы

Как это широко известно, химический состав зерна и его отдельных анатомических частей не постоянны. Они изменяются в широких пределах, в зависимости от различных факторов внешней среды и сортовых особенностей.

Одним из факторов внешней среды, оказывающим влияние на урожайность и химический состав пшеничного зерна, является орошение.

В результате орошения изменяется весь комплекс условий внешней среды, и зерновые культуры при этом дают более высокие урожаи по сравнению с урожаями на неорошаемых землях (Л. 4, 13).

Влияние орошения на качество зерна изучалось во второй половине XIX столетия.

Однако при этом качество зерна оценивалось только по отдельным изолированным показателям, вне связи и взаимозависимости их величин между собой и между всеми сложными слагаемыми условий внешней среды, возникающими в результате орошения.

Рядом работ (Петинова Н. С., Фокеева П. М., Кириченко Ф. Г. с сотрудниками) установлено, что при орошении урожай и его качество зависят от подбора соответствующих сортов, от правильного выбора режима орошения, от сочетания орошения с удобрениями.

Физические свойства зерна имеют большое значение в технологическом процессе его переработки.

В работах Делиникайтиса С. А., Шibaева П. Н. и Мурашева А. И., Лайкова И. А., Кизимы П. Н. и других показано, что при орошении увеличивается абсолютный вес и натура; стекловидность же либо увеличивается, либо уменьшается в зависимости от сортовых особенностей.

Белки пшеницы, в особенности клейковинный комплекс, служат одним из важных биохимических показателей качества зерна пшеницы и получаемой из нее муки.

От количества и качества белковых веществ пшеничного зерна в значительной степени зависят технологические свойства муки и пищевая ценность печеного хлеба.

Поэтому большой интерес представляет вопрос о влиянии орошения на суммарный азот и белковые вещества.

Прянишников Д. Н. [Л. 9], Щукина А. И. [Л. 14], Смирнова А. Н. и Богородский М. А. [Л. 12], Пруцкова М. Г. [Л. 8] и другие приводят в своих работах данные, показывающие, что при орошении белковистость зерна понижается, в результате чего снижаются его пищевые достоинства.

Однако с ухудшением качества зерна пшеницы при орошении можно бороться внесением азотистых удобрений в период вегетации (особенно в период колошения и налива).

Таким образом, отрицательное влияние орошения, казавшееся прежде неизбежным, можно устранить. Это показывают в своих работах Богдан В. С. [Л. 1], Сапожникова Е. В. [Л. 11], Иванов Н. Н. и Княгиничев М. И. [Л. 4], Дарканбаев Т. Б. [Л. 2] и другие.

Влияние орошения на другие качественные показатели зерна изучалось различными исследователями. Однако полученные ими данные весьма разноречивы, а иногда и противоречивы.

Для хранения зерна и хлебопечения важное значение имеет влияние орошения на активность амилолитических ферментов. В ряде работ

Шибалева В. Н. и Мурашева А. И., Иванова Н. Н., Княгиничева М. И., Кизимы П. Н. и других показано, как влияет орошение на диастатическую активность. Однако влияние полива на раздельную активность α - и β -амилаз и их физические константы изучалось недостаточно.

2. Объекты исследования

Объектами исследования были взяты основные районированные на юге Украины сорта озимых пшениц «Одесская 3», «Одесская 12», «Одесская 16», а также новые перспективные сорта «289/48» и «Пименка» урожая 1951, 1952 и 1953 гг., выращенные на поливных и контрольных неорошаемых участках Всесоюзного селекционно-генетического института имени Т. Д. Лысенко.

Необходимо отметить, что годы 1951 и 1952 заметно отличались друг от друга по количеству выпавших осадков: 1951 год характеризовался значительным недобором осадков; 1952 и 1953 годы были очень влажные.

3. Методы исследования

Физические свойства зерна (абсолютный и натуральный вес, выравненность, стекловидность) исследовались стандартными методами.

Содержание общего азота в зерне и муке определялось полумикрометодом Кьельдаля.

Для пересчета общего азота на белок применялся коэффициент 5,7.

Разделение и количественное определение белковых фракций производилось по методу А. И. Ермакова с несущественными изменениями.

Количество сырой и сухой клейковины определялось стандартным методом. Качество — при помощи пластометра АВ-1. Крахмал исследовался поляриметрическим методом по Эверсу; клетчатка — по методу Геннеберга и Штамана; зольность — методом прямого сжигания в муфельной печи без применения ускорителя.

Активность ферментов α - и β -амилазы определялась методом Глазунова с настаиванием на водяной бане в течение 30 минут при температуре 30° и 40°. Это дало возможность рассчитать температурный коэффициент β -амилазы и энергию активации.

Кроме того, исследовались мукомольные и хлебопекарные свойства муки из зерна изучаемых сортов.

4. Результаты экспериментальных исследований

Физические свойства зерна, выращенного в условиях орошения и на суходольных участках, зависят от сортовых особенностей зерна, от метеорологических условий, что наглядно подтверждается данными за сушильного 1951 г. и обильного осадками 1952 года.

При орошении зерно всегда получалось более крупным и выравненным, чем зерно с суходольных участков. Это наглядно показывают сорта урожая 1951 года: «Одесская 12» с поливного участка дала 89,1% крупного зерна (сход с сита $2,75 \times 20$ мм), а с контрольных уча-

стков — 43,5%; «Одесская 16» с поливного участка дала 60,8%, а с контрольных участков — 55,6% крупного зерна.

Сравнение данных о крупности и однородности зерна, собранного с орошаемых участков в 1951 и 1952 гг., показывают, что в 1951 году зерно было более крупное и выравненное, чем в 1952 году.

Влияние орошения на абсолютный вес зерна различных сортов озимых пшениц в различные годы произрастания показано на рис. 1.

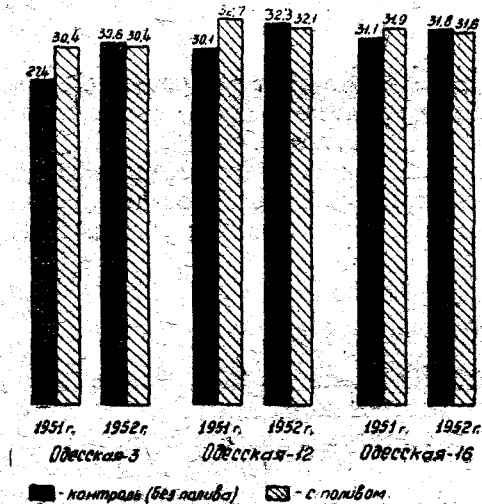


Рис. 1. Абсолютный вес зерна пшениц с суходольных и поливных участков урожая 1951 и 1952 гг.

Абсолютный вес и крупность зерна увеличиваются в условиях полива у всех сортов пшениц урожая 1951 года. Однако в 1952 году абсолютный вес зерна с поливных участков незначительно уменьшился

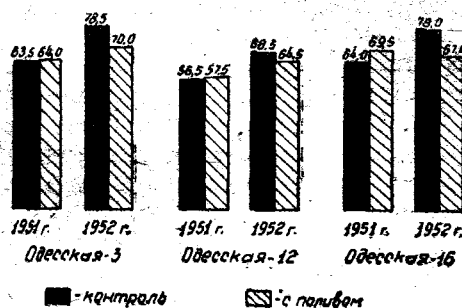


Рис. 2. Стекловидность зерна пшениц с суходольных и поливных участков урожая 1951 и 1952 гг.

(1,7—0,65%). Это можно объяснить тем, что избыток осадков в 1952 году нарушал нормальное течение физиологических процессов в растении, что и отразилось на формировании зерна и, в конечном счете, на его наливе.

Влияние полива на стекловидность зерна пшеницы представлено на рисунке 2.

При орошении стекловидность зерна различных сортов пшеницы урожая 1951 г. увеличивалась.

Наибольшей стекловидностью отличалось зерно сорта «Одесская 16».

В 1952 году, наоборот, наблюдаем небольшое уменьшение стекловидности почти по всем сортам. Это объясняется, повидимому, вымыванием нитратов почвы в результате орошения и обилия осадков в условиях 1952 года.

Натурный вес зерна в условиях полива изменялся различно.

В 1951 году натурный вес зерна с поливных участков выше натурального веса с контрольных участков.

Особенно отзывчив на полив сорт «Одесская 3». Изменение натурального веса в результате орошения составляло 4—2%.

В 1952 году, наоборот, наблюдалась тенденция небольшого уменьшения натурального веса.

Это зависит, повидимому, от того, что содержание влаги в почве превышало оптимальное увлажнение поливных участков (метеорологические условия 1952 года) и в результате этого питательные вещества вымывались из почвы, что и сказалось на наливе зерна. Зерно с поливных участков в 1952 году было менее выполненное, чем с контрольных участков. Наряду с этим в зерне наблюдалось увеличение содержания клетчатки и зольности, что является закономерным для условий избытка влаги в почве.

5. Изменение биохимических свойств зерна при орошении

Влияние орошения на биохимические свойства зерна различных сортов пшеницы показано в таблицах 1, 2, 3.

Таблица 1

Влияние орошения на биохимические свойства зерна пшениц урожая 1951 года

№ п/п	Сорт	Участок	Общий азот, %	Белковые вещества, %	Выход клейковины, %		Качество клейковины		Крахмал, %	Содержание клетчатки, %	Зольность, %
					сырой	сухой	гидратация клейковины, %	время истечения из пластина, мин. сек.			
1	Одесская 3	контр. поливн.	2,43	13,85	26,6	8,7	206	0'58"	67,0	1,86	1,77
			2,44	13,91	25,7	8,4	206	0'45"	67,2	1,79	1,95
2	Одесская 12	контр. поливн.	2,66	15,16	27,5	9,4	192	1'46"	60,9	2,42	1,75
			2,49	14,2	27,2	9,0	202	1'08"	65,3	1,98	1,79
3	Одесская 16	контр. поливн.	2,25	12,82	22,1	7,4	198	2'01"	66,5	2,43	1,70
			2,44	13,91	24,3	8,3	193	2'16"	66,5	2,08	1,71

Таблица 2

Влияние орошения на биохимические свойства зерна пшениц урожая 1952 года

№ п/п	Сорт	Участок	Общий азот, %	Белковые вещества, %	Выход клейковины, %		Качество клейковины		Крахмал, %	Содержание клетчатки, %	Зольность, %
					сырой	сухой	гидратация клейковины, %	время истечения из пластометра, мин. сек.			
1	Одесская 3	контр. поливн.	2,36	13,45	25,8	8,6	200	0'48"	66,6	1,92	1,96
			2,52	14,35	26,8	8,9	201	6'40"	66,5	1,68	2,14
2	Одесская 12	контр. поливн.	2,76	15,73	30,4	10,2	198	0'42"	62,9	1,86	1,91
			2,52	14,36	30,0	9,1	230	0'35"	64,2	1,99	2,07
3	Одесская 16	контр. поливн.	2,62	14,93	27,4	9,1	201	1'11"	67,0	1,96	1,88
			2,61	14,88	27,5	9,1	202	0'46"	64,9	2,00	1,86
4	Пименка	контр. поливн.	2,14	12,2	19,9	6,7	197	0'42"	70,2	1,81	1,80
			2,12	12,08	22,1	7,3	203	0'40"	67,9	1,88	1,90
5	289/48	контр. поливн.	2,52	14,36	28,5	9,8	191	0'30"	67,5	1,89	1,71
			2,73	15,56	31,3	10,9	187	0'51"	65,2	1,90	2,10

Анализ данных таблиц 1 и 2 показывает, что под влиянием орошения у большинства изучаемых сортов пшениц урожая 1951 и 1952 гг. наблюдалось снижение содержания общего азота и белковых веществ. Но при правильном сочетании полива и удобрений у некоторых сортов—«Одесская 16» урожая 1951 года, «Одесская 3» и «289/48» урожая 1952 г.—содержание белковых веществ повышалось. Эти данные подтверждают выводы Петинова Н. С., Книгиничева М. И., Яншиной М. Я., Дарканбаева Т. Б. о том, что не всегда при орошении происходит уменьшение белковистости зерна.

При оценке качества зерна имеет значение не только количество содержащихся в нем белковых веществ, но и их качество. О качестве белков в зерне можно судить по соотношению белковых фракций в белковом комплексе зерна.

Под влиянием орошения изменяется соотношение белковых фракций в белковом комплексе зерна изучаемых сортов пшениц.

Почти у всех сортов, за исключением «Одесская 3» урожая 1952 г., под влиянием орошения увеличивалось содержание солерастворимых азотистых веществ, а также, кроме сорта «289/48», глиадинов, содержание же глютелинов уменьшилось.

Количество и качество клейковины зерна изменяется в различной степени, в зависимости от сортовых особенностей пшениц, что подтверждается приведенными в таблице 1 и 2 данными.

У сортов «Одесская 16» урожая 1951 г., «Одесская 3» и «289/48» урожая 1952 г., где с поливом увеличивается количество белковых веществ, увеличивался и выход сырой и сухой клейковины, уменьшалась гидратационная способность и время истечения из пластометра (за исключением «Одесской 16» урожая 1951 г.),—наблюдалось укрепление клейковины.

У остальных сортов пшениц с поливных участков закономерностей в выходе клейковины не отмечалось.

Гидратационная же способность клейковины при этом увеличивалась, а время истечения из пластометра уменьшалось, что говорит о расслаблении клейковины. Надо отметить, что необходимо выводить для орошаемых земель юга Украины сорта пшениц с более высоким содержанием белка, более сильной клейковиной, чем у изучаемых сортов пшениц.

Содержание крахмала в зерне изучаемых сортов под влиянием орошения менялось различно.

У сортов «Одесская 3» урожая 1951 и 1952 гг., «Одесская 16» урожая 1952 г. содержание крахмала не менялось. У сорта «Одесская 12» урожая 1951 и 1952 гг. оно увеличивалось, а у сорта «Пименка», «289/48» — уменьшалось.

Таким образом, сортовые особенности играют очень важную роль и в накоплении крахмала в зерне пшеницы.

С уменьшением размера зерна уменьшалось и содержание крахмала. Полученные результаты подтверждают данные Роменского Н. В. [Л. 10].

Метеорологические условия года произрастания являются также важным фактором в синтезе и накоплении крахмала в последней стадии налива, что можно отчетливо усмотреть в результатах наших исследований.

Данные таблиц 1, 2 свидетельствуют о том, что орошение оказывает различное влияние на содержание клетчатки в зерне озимых пшениц так же, как и на содержание других ингредиентов зерна.

У тех сортов пшениц урожая 1952 г., у которых содержание крахмала уменьшалось, соответственно увеличивалось содержание клетчатки, что с биохимических позиций является закономерным процессом. С уменьшением размера зерна при орошении содержание в нем клетчатки увеличивалось, что легко объясняется изменением соотношения периферических частей зерна к его эндосперму.

На основании анализа результатов, приведенных в таблицах 1, 2, можно сделать вывод, что при поливе незначительно увеличивается зольность зерна почти всех изучаемых сортов озимых пшениц.

Между зольностью зерна и содержанием в нем клетчатки прямой количественной зависимости не наблюдалось.

Для хранения зерна и значительно в большей мере для хлебопечения важное значение имеет активность амилолитических ферментов.

Влияние полива на активность амилолитических ферментов зерна некоторых пшениц показано в таблице 3.

Активность α - и β -амилаз в зерне под влиянием полива изменяется различно.

Так, под влиянием орошения у сортов «Одесская 16», «289/48» активность β -амилазы уменьшалась, а активность α -амилазы несколько увеличивалась; у сорта «Пименки» наблюдалась обратная зависимость.

Температурный коэффициент β -амилазы и энергия активации с поливом уменьшались у «Пименки» и у сорта «289/48».

Это говорит о том, что для возбуждения ферментативной реакции требуется затратить меньше калорий, чем в зерне с неполивных участков.

Таблица 3

Активность ферментов зерна пшениц с поливных и суходольных участков

№№ п/п	Сорт	Участок	Активность α-амилазы		Активность β-амилазы		Температурный коэффициент β-амилазы	Энергия активации, кал.
			мг мальтозы из 100 мг зерна (в условных единицах)					
			при 30°	при 40°	при 30°	при 40°		
1	„Одесская 16“ урож. 1951 г.	конт. пол.	0,27	0,28	181	323	1,78	10940
			0,67	0,72	153	283	1,85	11700
2	„Одесская 16“ урож. 1952 г.	конт. пол.	0,19	0,94	155	285	1,84	11600
			0,26	1,02	142	267	1,88	12050
3	„Пименка“ урож. 1952 г.	конт. пол.	0,22	1,09	198	357	1,80	11200
			0,45	0,70	227	374	1,65	9040
4	„289/48“ урож. 1952 г.	конт. пол.	0,43	0,50	183	268	1,46	7150
			0,26	0,41	175	203	1,29	5800

ВЫВОДЫ

На основании результатов экспериментального исследования физических и биохимических свойств зерна некоторых сортов озимых пшениц («Одесская 3», «Одесская 16», «Одесская 12», «Пименка», «289/48»), выращенных на поливных и неполивных участках Всесоюзного селекционно-генетического института имени Т. Д. Лысенко при различных особенностях годовых колебаний климатических факторов и некоторых особенностей агротехники полива, можно прийти к следующим заключениям:

1. Физические и биохимические свойства зерна пшениц, выращенных в условиях орошения при прочих равных условиях, зависят от сортовых особенностей зерна и метеорологических условий года.

2. Орошение оказывает влияние на физические свойства зерна, а именно: увеличивается крупность зерна и его абсолютный вес.

У сорта «Одесская 16» при поливе наиболее выражено улучшились физические свойства зерна.

3. Орошение оказывает заметное влияние на количество и качество белков зерна.

4. В большинстве случаев орошение снижает общее содержание белковых веществ в зерне. Однако при правильном сочетании влагозарядковых и вегетационных поливов с внесением удобрений, орошение в определенных условиях повышает общее содержание белковых веществ в зерне.

5. Орошение изменяет соотношение фракций в белковом комплексе зерна, а именно:

а) увеличивается солерастворимая фракция за счет повышения в ней количества глобулинов и альбуминов;

б) возрастает содержание глиадинов;

в) уменьшается содержание глютенинов. В результате этих изменений повышаются хлебопекарные свойства и питательная ценность муки и изделий из нее.

Лучшим из числа исследованных сортов озимой пшеницы для условий орошаемых южных степных районов УССР по комплексу биохимических свойств может быть признан сорт «Одесская 16» селекции Всесоюзного селекционно-генетического института имени Т. Д. Лысенко. Этот же сорт, по данным института, характеризуется и наиболее высокими хозяйственными признаками.

Сорт «Пименка», несмотря на высокую урожайность, уступает другим сортам с орошаемых участков по своим биохимическим свойствам и потому не может быть рекомендован для орошаемых земель юга Украины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богдан В. С., Влияние почвы на урожай пшеницы и состав пшеничного зерна, Отчет Валуйской сельскохозяйственной опытной станции за 1895—1896 гг., 1900, стр. 1—126.
2. Дарканбаев Т. Б., Биохимическая характеристика яровых пшениц Казахстана в связи с их технологическими качествами. Докторская диссертация, 1950, Москва, Библиотека им. В. И. Ленина.
3. Кизима П. Н., Мукомольно-хлебопекарные качества сортов пшениц, Информационный бюллетень Государственной комиссии по сортоиспытанию зерновых культур при НКЗ СССР, № 16—17, 1939.
4. Иванов Н. Н. и Княгиничев М. И., Биохимия пшеницы, Биохимия культурных растений, т. I, 1936.
5. Кизима П. Н., Влияние полива и удобрений на качество урожая яровой пшеницы, Советская агрономия, № 12, 1952.
6. Кизима П. Н., Влияние орошения на качество зерна озимой пшеницы по данным Хасавюртовского сортоучастка Дагестанской АССР, Информационный бюллетень Государственной комиссии по сортоиспытанию, № 2, 1953.
7. Княгиничев М. И., Биохимия пшеницы, Сельхозгиз, 1951.
8. Пруцкова М. Г., Сорта озимых пшениц для орошаемого земледелия. Селекция и семеноводство, № 11, 1952.
9. Прянишников Д. Н., О влиянии влажности почвы на развитие растения, Журнал опытной агрономии, т. I, 1900.
10. Роменский Н. В., О химическом составе пшеничного зерна и его анатомических частей в связи с некоторыми вопросами развития советской мукомольно-крупяной промышленности, Труды Новочеркасского зооветеринарного института, вып. 8, 1949.
11. Саложникова Е. В., Качество урожая пшениц в условиях орошения, Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции, № 2, 1935, серия II, III.
12. Смирнова А. Н. и Богородский М. А., Качество пшениц Туркменистана на орошаемых и богарных землях. Селекция и семеноводство, № 12, 1949.
13. Таланов В., Районы сортов яровой и озимой пшеницы СССР, и их качество, Труды Всесоюзного института прикладной ботаники, 1928, прилож. 32-ОС.
14. Щукнина А. И., Химический состав пшениц Заволжья и факторы его определяющие, Научно-агрономический журнал, № 5, 1926.

Л. Р. ТОРЖИНСКАЯ, Н. В. РОМЕНСКИЙ

О БИОХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ КРУПНОГО И МЕЛКОГО ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

В работе описаны результаты исследования ферментативной активности и содержания белковых веществ крупных, мелких и щуплых зерен пшеницы одного и того же происхождения. Установлено, что мелкие, нормально развитые зерна содержат белковых веществ меньше, чем крупные; щуплые зерна содержат белковых веществ значительно больше обеих предыдущих групп зерен. Приводится сравнительная биохимическая характеристика ферментативной активности этих групп зерен в связи с физиологическими причинами, порождающими эти различия.

Размеры зерна и его выравненность по крупноте имеют важное значение при подготовке зерна к помолу и при его размоле. Этот вопрос был рассмотрен в исследованиях Гиршона В. Я. [Л. 2], Суворова Н. С. [Л. 4], Эйдуса П. Г. [Л. 6] и др.

Обобщая все эти исследования, можно заключить, что раздельная очистка и помол крупных и мелких фракций зерна может дать значительные преимущества в выходе муки и ее качестве. Вместе с тем следует отметить, что различия технологических и биохимических свойств крупного и мелкого зерна пшеницы изучены недостаточно.

Данное исследование ставило своей целью выяснить некоторые биохимические свойства крупного и мелкого зерна и найти причины, порождающие существенные различия размеров пшеничных зерен.

Исследование производилось на сортовом зерне пшениц Од-3, Од-12, Од-16, Украинка, Мелянопус 037 Одесского селекционно-генетического института имени Т. Д. Лысенко урожая 1951 и 1952 гг.

В зерне определялось содержание белковых веществ и активность ферментов β -амилазы и каталазы.

Общий азот определялся по методу Кьельдаля, а белковый азот по методу Барнштейна.

Активность β -амилазы определялась методом Глазунова. При этом время настаивания на водяной бане, в сравнении с оригинальной методикой, было увеличено с 15 до 30 мин., чтобы полнее выявить активность фермента.

Определения велись при температурах 30° и 40°.

Энергия активации вычислялась по формуле:

$$\mu = (\ln w_2 - \ln w_1) \frac{T_1 \cdot T_2}{T_2 - T_1} R, \quad (1)$$

где w_1 и w_2 скорости реакций при абсолютных температурах T_1 и T_2 ;
 R — газовая константа, равная 1,986 малых калорий.

Температурный коэффициент рассчитывался по формуле:

$$Q_{10} = K_2 : K_1, \quad (2)$$

где K_2 и K_1 числа миллиграмм мальтозы, полученные в результате расщепления крахмала при температуре 30° и 40°.

Активность β -амилазы выражалась в миллиграммах мальтозы, образовавшейся из 100 мг муки.

Активность каталазы определялась газометрическим методом. Навеска муки — 1 г. Температурные условия — 20°C. Количество выделившегося кислорода фиксировалось через каждые 3 минуты до 12 минут включительно.

Параллельных определений во всех опытах производилось три.

Результаты анализов по активности ферментов и содержанию белковых веществ крупного, мелкого и щуплого зерна приведены в таблице 1.

Таблица 1
 Активность ферментов и содержание белковых веществ
 в крупном, мелком и щуплом зерне пшеницы

№ п/п	Сорт	Характеристика зерна	Активность β -амилазы				Активность каталазы		Белковые вещества	
			40° (мг мальтозы)	30° (мг мальтозы)	μ	Q_{10}	3 мин. (в мл O ₂)	12 мин. (в мл O ₂)	Общий азот, %	Белковый азот, %
1	ОД-16	Крупное выполнение	392	248	7214	1,59	24,0	39,0	3,11	2,61
2	"	Мелкое выполнение	329	242	6297	1,36	21,2	34,0	2,85	2,43
3	"	Щуплое	512	290	7950	1,83	22,0	48,0	3,32	2,75
4	ОД-12	Крупное выполнение	352	292	7800	1,51	20,0	39,6	3,19	2,68
5	"	Мелкое выполнение	316	216	7166	1,46	15,2	34,0	2,94	2,52
6	"	Щуплое	424	278	11268	1,52	24,0	36,0	3,33	2,79

Крупное выполненное зерно изолировалось со схода сита 3×20 мм, мелкое выполненное и щуплое зерно отбиралось вручную с прохода 2,25×20 мм и схода 1,75×20 мм.

Анализ данных этой таблицы показывает, что крупное выполненное зерно характеризуется более высокой активностью ферментов, чем выполненное мелкое зерно.

В щуплом же зерне активность ферментов значительно выше крупного и мелкого выполненного зерна.

Произведенное параллельно исследованию ферментативной активности зерна определение общего и белкового азота показало, что крупное выполненное зерно содержит белковых веществ больше, чем мелкое выполненное; щуплое же зерно имеет белковых веществ значительно больше обеих групп выполненного зерна, что и послужило в предшествовавшей литературе основанием для ошибочной характеристики мелкого зерна, как высокобелкового.

Причиной высокого содержания белковых веществ и высокой активности ферментов в щуплом зерне являются незаконченные биохимические процессы синтеза вследствие неблагоприятных внешних условий созревания.

Для выяснения причин, определяющих разнокачественность крупного и мелкого нормально развитого зерна по их биохимическим свойствам, нами исследовалось влияние положения зерна в колосе на эти свойства.

Данные этих исследований приведены в таблице 2.

Анализ результатов этой таблицы показывает, что зерно из средней части колоса имеет биохимические показатели значительно выше зерна верхней его части.

Содержание общего и белкового азота на 10% больше в зерне средней части колоса, чем в зерне его верхней части. Активность ферментов β -амилазы и каталазы также в зернах средней части колоса выше, чем в зерне верхней его части.

Данные наших исследований показывают, что схода с сит $2,25 \times 20$ и $1,75 \times 20$ только на 25% состоят из зерен средней части колоса, а остальная часть зерна принадлежит другим частям колоса. Следовательно, мелкое зерно формируется главным образом в верхней и нижней частях колоса.

Анатомо-физиологические же условия формирования и созревания зерна в верхней и нижней частях колоса менее благоприятны, чем в средней его части.

Основной причиной разнокачественности зерна в колосе служит то обстоятельство, что зерна средней части колоса формируются во времени ранее, чем зерна остальных его частей. Созревание зерна в колосе также начинается с верхней его части. Об этом можно судить по исследованиям Черномаз П. А. [Л. 5], Куперман Ф. М. [Л. 3], Аболиной Г. И. [Л. 1] и др.

Опираясь на данные этих исследований, можно прийти к выводу, что зерно верхней части колоса формируется на колосе за более короткий промежуток времени, чем зерно его средней части. В связи с этим можно также с достаточным основанием предположить, что биохимические процессы в зернах верхней части колоса протекают за более короткие промежутки времени. Это обстоятельство является причиной и того, что в этих зернах накопление белковых веществ имеет меньший масштаб и большая часть ферментов при этом быстро переходит в неактивное состояние.

При экспериментальном посеве исследованного зерна верхней и средней части колоса растения из зерен средней части были ростом и мощностью выше, чем растения из зерен верхней части колоса. Эти опыты показывают, что мелкие зерна, образовавшиеся в худших усло-

Таблица 2

Активность ферментов и содержание белковых веществ в зерне
отдельных частей колоса пшеницы

№ п/п	Сорт	Зерно верхней части колоса						Зерно средней части колоса													
		Общий азот, %		Белковый азот, %	Активность β-амилазы (мг мальтозы)		Активность каталазы (мл O ₂)		Общий азот, %		Белковый азот, %	Активность β-амилазы (мг мальтозы)		Активность каталазы (мл O ₂)							
		40°	30°		η	Q ₁₀	3 мин.	6 мин.	9 мин.	12 мин.		40°	30°	η	Q ₁₀	3 мин.	6 мин.	9 мин.	12 мин.		
1	ОД-3	2,34	2,24	305	245	4124	1,26	15,0	24,0	29,0	34,0	2,70	2,37	342	270	4443	1,29	18,0	28,0	34,0	39,0
2	ОД-12	2,68	2,52	316	215	7166	1,46	15,2	21,0	29,0	36,0	2,94	2,77	352	232	7800	1,51	20,0	28,0	34,0	44,0
3	ОД-16	2,38	2,23	278	209	5373	1,33	18,0	26,0	36,0	41,0	2,70	2,44	320	224	5448	1,42	29,0	38,0	44,0	49,0
4	Украина	2,60	2,36	328	242	5727	1,35	21,2	34,0	43,0	47,0	2,85	2,61	372	264	6460	1,40	31,0	37,0	47,0	57,1
5	Меланолус 037	2,58	2,38	513	392	5066	1,30	20,0	36,0	44,0	48,0	2,71	2,50	580	423	5941	1,37	22,0	38,0	48,0	53,0

виях развития, чем крупные, характеризуются также и более низкими биохимическими и физиологическими показателями. От биохимических же показателей, как известно, зависят также и технологические и особенно хлебопекарные свойства зерна.

Содержание белковых веществ и их качество, а также активность β -амилазы — это те факторы, которые в большой мере определяют собою и качество хлеба.

ВЫВОДЫ

1. Крупное зерно характеризуется высокими биохимическими свойствами, что является причиной и его высоких технологических свойств.

2. Технологам в их практической деятельности можно, учитывая эти обстоятельства, рекомендовать отдельный помол мелкого и крупного зерна, что повысит качество и количество муки. Такой отдельный помол возможно осуществить без существенных затруднений на крупных предприятиях.

3. Следует различать мелкое нормально развитое зерно и щуплое зерно по их существенным физическим, биохимическим и технологическим свойствам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Аболина Г. И., Физиология формирования зерна и засухоустойчивость, Селекция и семеноводство, № 2, 1948.
2. Гиршсон В. Я., Влияние крупноты пшеницы на выхода и качество муки, Госторгиздат, 1938.
3. Куперман Ф. М., О неравномерности развития зачаточного колоса у злаков, Доклады ВХНКС, вып. 3, 1950.
4. Суворов Н. С., Зерноведение, Заготиздат, 1950.
5. Черномаз П. А., Влияние сроков образования семян на качество посевного материала, Селекция и семеноводство, № 5, 1938.
6. Эйдус П. Г., Мукомольные качества пшеницы и влияние их на показатели работ мельниц. Сборник Вопросы анализа хранения и переработки зерна, 1938.

Д. М. РАФАЛОВИЧ

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ КОНСТАНТ ПШЕНИЦЫ МЕТОДОМ РЕГУЛЯРНОГО РЕЖИМА

В работе приведены значения коэффициентов теплопроводности, температуропроводности и удельной теплоемкости пшеницы при различной влажности, полученные методом регулярного режима Кондратьева.

Установлено, что коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость увеличиваются с ростом влажности, а коэффициент температуропроводности несколько уменьшается при возрастании влажности.

Тепловые свойства зерновой массы играют существенную роль в процессах, происходящих при хранении и сушке зерна. Поэтому представляет интерес определение тепловых констант зерновой массы.

До последнего времени в литературе встречались лишь указания о том, что теплопроводность зерна и дерева можно считать приближенно одинаковой.

Красовской Г. И. был разработан метод определения тепловых констант капиллярно-пористых материалов и впервые определены этим методом тепловые константы ряда зерновых культур [Л. 1]. Данные, полученные Красовской Г. И. для пшеницы, приведены в таблице 1 [Л. 3].

Таблица 1

Тепловые константы пшеницы

№№ п/п	Род зерна	Температура °С	Влажность W, %	Объёмный вес γ , кг/м ³	Коэффициент температуропроводности a , м ² /час	Коэффициент теплопроводности λ $\frac{\text{ккал}}{\text{м час. град.}}$
1	Пшеница	20,0	22,8	724,5	$6,15 \cdot 10^{-4}$	0,198
2	"	16,6	17,8	749,8	$6,85 \cdot 10^{-4}$	0,131
3	"	10,0	17,5	748/5	$6,16 \cdot 10^{-4}$	0,0915

Если воспользоваться этими результатами и вычислить значение удельной теплоемкости пшеницы по формуле:

$$c = \frac{\lambda}{a\gamma}, \quad (1)$$

то для первой строки таблицы 1 получится значение $c = 0,44 \frac{\text{ккал}}{\text{кг град.}}$, для второй $-0,26 \frac{\text{ккал}}{\text{кг град.}}$, а для третьей $-0,20 \frac{\text{ккал}}{\text{кг град.}}$.

Таким образом, значение коэффициента теплопроводности λ и удельной теплоемкости c для пшеницы при влажности 22,8% и температуре 20° оказались в опытах Красовской Г. И. в два с лишним раза большими, чем при влажности 17% и температуре 10°С.

Такое резкое изменение λ и c при сравнительно небольших изменениях температуры и влажности не наблюдалось в наших опытах. Кроме того, все вычисленные по таблице 1 значения теплоемкости меньше значений, получаемых при непосредственном калориметрировании.

В настоящей работе для изучения тепловых констант пшеницы применялся метод регулярного режима, предложенный Кондратьевым Г. М. [Л. 2]. Если охлаждать или нагревать систему в жидкой или газообразной среде, сохраняющей постоянную температуру, то задолго до того, как разность температур системы и среды θ становится равной нулю, будет оправдываться равенство

$$\theta = Aue^{-m\tau}, \quad (2)$$

где A — постоянная, зависящая от начальных условий;
 $u = f(x, y, z)$ — функция координат точек системы;
 m — величина, зависящая от свойств тела, его размеров и от условий охлаждения;
 e — основание натуральных логарифмов;
 τ — время.

Стадия охлаждения, при которой оправдывается равенство (2), называется регулярным режимом.

Если построить график зависимости натурального логарифма θ от времени τ (рис. 1), то регулярному режиму будет соответствовать прямолинейная часть графика, а m равно угловому коэффициенту этой прямолинейной части, определяемому равенством

$$m = \frac{\ln \theta_1 - \ln \theta_2}{\tau_2 - \tau_1}. \quad (3)$$

Если охлаждать однородное изотропное тело при коэффициенте теплоотдачи $\alpha \rightarrow \infty$, то, как показывает теория регулярного режима,

$$a = Km_{\infty}, \quad (4)$$

где m_{∞} — угловой коэффициент прямолинейной части графика при $\alpha \rightarrow \infty$;

a — коэффициент температуропроводности;

K — коэффициент пропорциональности, зависящий только от размеров и формы тела, называемый также коэффициентом формы.

Как показывают вычисления для шара радиусом R ,

$$K = \left(\frac{R}{\pi}\right)^2. \quad (5)$$

Прибор для определения температуропроводности (α -калориметр) представляет собой полый металлический шар, заполненный исследуемым материалом. Он опускается в сосуд, наполненный водой, перемешиваемой мешалкой. В этом случае коэффициент теплоотдачи

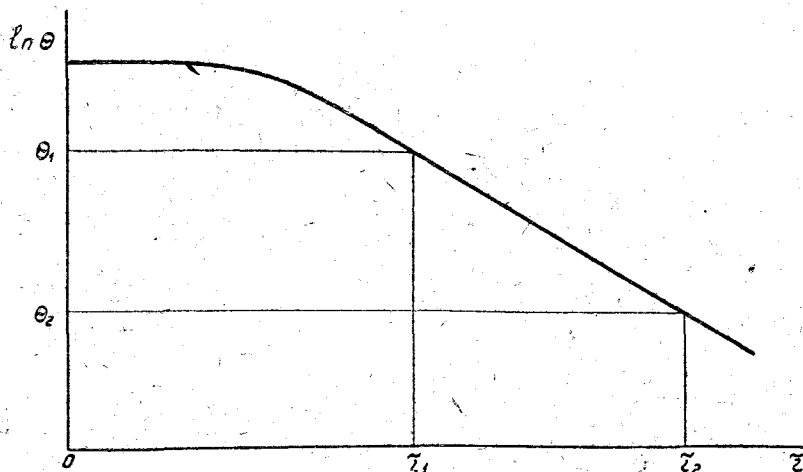


Рис. 1. График зависимости $\ln \theta$ от времени.

α будет порядка тысяч $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \text{ час}}$, следовательно, практически стремится к бесконечности. Определив из опыта m_∞ и R , можно по формулам (4) и (5) вычислить температуропроводность a .

Если известна удельная теплоёмкость исследуемого материала, то теплопроводность можно определить по формуле

$$\lambda = a c \gamma. \quad (6)$$

Если же удельная теплоёмкость неизвестна, то шар охлаждают при конечном коэффициенте теплоотдачи в воздухе (в λ -калориметре). В этом случае также строится график зависимости $\ln \theta$ от τ и определяется угловой коэффициент m прямолинейной части этого графика. При этом предварительно при помощи вещества с известной теплоёмкостью определяется коэффициент теплоотдачи α стенок шара λ -калориметра. Зная m и α , можно по формулам, выводимым в теории регулярного режима, определить λ и c , если известны a и γ .

Методика и результаты измерений

Как было указано ранее, для измерения тепловых констант необходимо производить опыты в α - и λ -калориметрах.

В наших опытах α -калориметр представлял собой овальный сосуд (рис. 2), наполненный водой, в которую погружался полый латунный шар с внутренним радиусом $R_1 = 3,03$ см и толщиной стенок 0,05 см.

К этому шару сверху была припаяна медная трубка диаметром 1 см, при помощи которой шар закреплялся в крышке сосуда. Вода в сосуде перемешивалась четырехлопастной мешалкой, приводимой в движение электродвигателем. Исследуемый материал засыпался в шар. Для измерения разности температур θ воды и какой-либо точки внутри шара использовалась термопара медь-констант и зеркальный гальванометр. Одному делению шкалы гальванометра соответствовала разность температур холодного и горячего спаев, равная $0,03^\circ$.

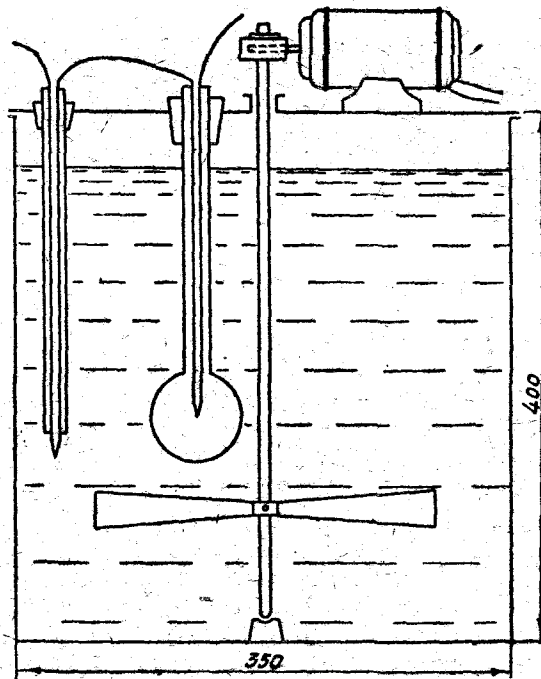


Рис. 2. *a*-калориметр.

Один спай термопары вводился во внутрь шара и помещался вблизи его центра, а второй опускался в воду. Подводящие к спаям провода были заключены в изолирующие фарфоровые трубки. Сами спаи и прилегающие к ним участки изолированных подводящих проводов на протяжении 1 см были обнажены. Коэффициент теплоотдачи α , а следовательно, и m зависит от θ , поэтому при вычислении m использовался один и тот же интервал изменений θ от 6° до 1° .

При таких значениях температура θ была пропорциональной числу делений n , на которое отклоняется гальванометр, и оправдывались равенства:

$$\theta_1 = cn_1, \quad (7)$$

$$\theta_2 = cn_2, \quad (8)$$

где c — коэффициент пропорциональности.

Подставляя эти значения в уравнение (4), получим:

$$m = \frac{\ln n_1 - \ln n_2}{\tau_2 - \tau_1} = 2,3 \frac{\lg n_1 - \lg n_2}{\tau_2 - \tau_1}.$$

Для определения m достаточно двух отсчетов. Однако для проверки того, существует ли линейная зависимость между $\ln \theta$ и τ , опыт проводился в течение 40—50 минут, причем значения θ определялись через каждые 5 минут, а затем вычислялась средняя скорость изменения $\ln \theta$, равная m .

На рис. 3 приведена зависимость $\lg n$ от времени охлаждения τ в α -калориметре для твердой пшеницы влажностью 13%. Как видно из рис. 3 линейная зависимость $\lg n$ от τ соблюдалась достаточно хорошо. После определения m_∞ по формулам (4) и (5) вычислялся коэффициент температуропроводности.

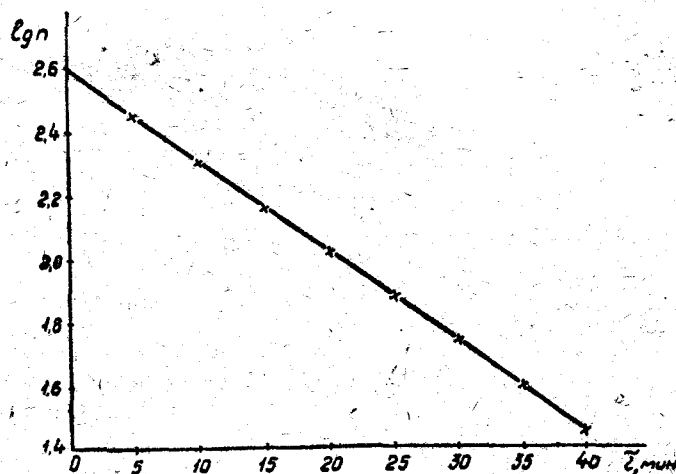


Рис. 3. График зависимости $\lg n$ от времени τ при охлаждении пшеницы влажностью 13% в α -калориметре.

λ -калориметр представлял собой квадратный сосуд (рис. 4) с двойными стенками из оцинкованного железа. Внутри сосуда подвешивался на нитях полый латунный шар, наполненный исследуемым материалом. В пространстве между стенками сосуда наливалась вода. Сверху сосуд закрывался крышкой, имевшей отверстие для проводов термопары. Такой прибор обладал достаточной тепловой инерцией, и температура в нем во время опыта менялась незначительно.

Шар λ -калориметра имел внутренний радиус $R_1 = 3,03$ см, внешний $R_2 = 3,08$ см. Шар был покрыт черной краской, так как оказалось, что при такой окраске линейная зависимость $\ln \theta$ от τ соблюдается лучше, чем для никелированного шара. Внутри шара, вблизи его центра, находился один спай термопары; второй спай был помещен внутри сосуда, вблизи его стенок. Зависимость $\lg n$ от времени для λ -калориметра при охлаждении в нем твердой пшеницы влажностью 13% приведена на рис. 5.

Для определения коэффициента теплоотдачи поверхности шара λ -калориметра в качестве вещества с известной теплоемкостью использовался сахарный песок ($c = 0,30 \frac{\text{ккал}}{\text{кг град}}$).

Так как состояние поверхности шара со временем несколько изменялось, то значение α также не было постоянным, и поэтому после каждого опыта коэффициент α определялся вновь.

Тепловые константы определялись нами отдельно для мягкой и твердой пшеницы при различной влажности их.

Для получения пониженной влажности (3%) пшеница подсушивалась в сушильном шкафу при температуре 110—115°, а для получения повышенной — увлажнялась пульверизатором, после чего отвола-

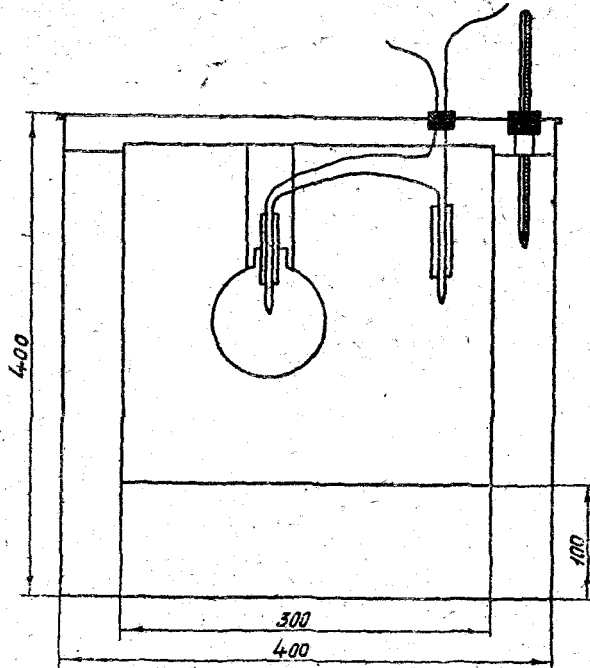


Рис. 4. λ -калориметр.

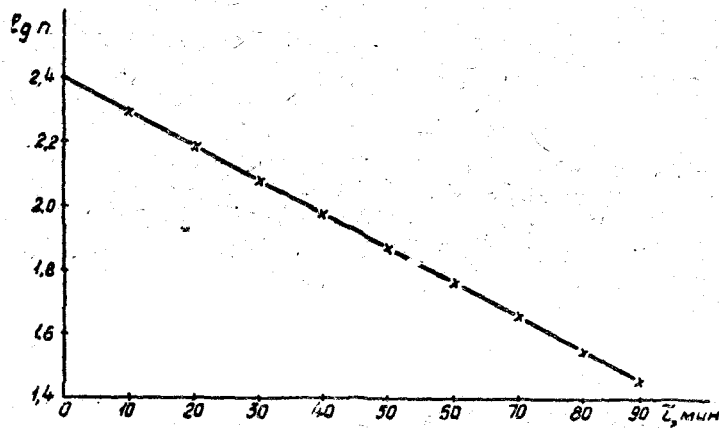


Рис. 5. График зависимости $\lg n$ от времени τ при охлаждении пшеницы влажностью 13% в λ -калориметре.

живалась 48 часов, причем в течение этого времени она неоднократно встряхивалась. После каждого опыта определялась влажность пшеницы.

Тепловые константы для каждого сорта и каждой влажности определялись 5—8 раз. Затем вычислялись средние значения, которые приведены в таблице 2.

Отклонения результатов отдельных измерений от средних значений не превышало $\pm 5\%$.

Таблица 2
Тепловые константы твердой и мягкой пшеницы при различной влажности

Сорт пшеницы	Влажность W, в %	Объёмный вес γ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Коэффициент температуропроводности $a \cdot 10^4$, $\frac{\text{м}^2}{\text{час}}$	Коэффициент теплопроводности λ , $\frac{\text{ккал}}{\text{м} \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	Удельная теплоёмкость c , $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
Твердая	3	700	3,78	0,107	0,36
"	13	800	3,31	0,111	0,42
"	3	750	3,76	0,103	0,36
"	13	750	3,23	0,105	0,43
"	22	750	2,98	0,117	0,53
Мягкая	3	800	3,94	0,110	0,36
"	14	800	3,05	0,111	0,45
"	3	750	3,75	0,101	0,36
"	13	750	3,19	0,108	0,45
"	18	750	3,1	0,110	0,47
"	22	750	2,97	0,118	0,54

Как видно из таблицы 2, с увеличением влажности теплопроводность и теплоёмкость пшеницы растут, а температуропроводность уменьшается.

Нами были проведены опыты по определению теплоёмкости пшеницы при помощи калориметрирования в толуоле. Результаты опытов приведены в таблице 3.

Таблица 3
Удельная теплоёмкость твердой и мягкой пшеницы при различной влажности

Сорт пшеницы	Влажность W, %	Удельная теплоёмкость c , $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
Твердая	3	0,37
"	13	0,43
"	22	0,49
Мягкая	3	0,38
"	14	0,45
"	22	0,52

ВЫВОДЫ

Из таблицы 2 видно, что с увеличением влажности коэффициент теплопроводности и коэффициент температуропроводности изменяются медленно. При этом коэффициент теплопроводности несколько возрастает, а коэффициент температуропроводности уменьшается.

Как видно из таблиц 2 и 3 значения теплоемкостей, полученные методом регулярного режима, достаточно близки к значениям, полученным при калориметрировании.

Надо, впрочем, отметить, что при большой влажности (в наших опытах 22%) наблюдается отступление от линейной зависимости между $\ln \theta$ и временем τ . В этом случае мы брали средние значения m . При такой влажности получаются преувеличенные значения теплоемкостей. Однако и в этом случае отклонения от значений, полученных калориметрированием, не превышают 10%.

По нашему мнению, теплоемкость пшеницы можно вычислить с технической точностью по общепринятой формуле:

$$c = 0,36 + \frac{0,64}{100} W,$$

где W — влажность пшеницы, %.

Из сравнения результатов, полученных методами регулярного режима и Красовской Г. И., следует, что во втором случае значения удельных теплоемкостей преуменьшены. Этот вывод подтверждается и результатами непосредственного калориметрирования пшеницы.

Следует также отметить, что метод регулярного режима дает при разных измерениях хорошо совпадающие результаты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Красовская Г. И., Журнал технической физики, № 9, 1949.
2. Кондратьев Г. М., Испытание на теплопроводность по методам регулярного режима, Стандартиздат, 1936.
3. Трисвятский Л. А., Хранение зерна, Заготиздат, 1951.

З. Р. ГОРБИС

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА ГАЗОВ И КОЭФФИЦИЕНТОВ ИЗБЫТКА ВОЗДУХА В ТОПКАХ ЗЕРНОСУШИЛОК С РЕЦИРКУЛЯЦИЕЙ ЧАСТИ ТЕПЛОНОСИТЕЛЯ

В работе рассмотрены вопросы определения объемного и процентного состава газов в топочной и смесительной камерах применительно к топкам зерносушилок с горячим дутьем, а также даны формулы для подсчета коэффициентов избытка воздуха и рециркуляции по данным газового анализа.

Ранее было показано [Л. 1], что возврат части теплоносителя из смесительной камеры в топочную позволяет просто организовать горячее дутье в топках зерносушилок, что существенно для освоения низкосортного топлива.

Если в топках без возврата сушильного агента состав дымовых газов при прочих равных условиях зависит от топлива, то при наличии рециркуляции следует дополнительно учесть состав окислителя, вводимого в топку.

Помимо установления состава и количества газов в любой точке газового тракта, необходимо также определить значения коэффициента отбора ρ , коэффициентов избытка воздуха в топке α , и в смесительной камере $\alpha_{об}$ по данным газового анализа. Всё это важно для теплотехнического расчета топки, а также для контроля и испытания топок зерносушилок с рециркуляцией теплоносителя.

Следует отметить, что аналогичная задача была в определенной мере решена впервые, повидимому, Масленниковым М. С. [Л. 2] применительно к рециркуляции газов в паровых котлах, имеющей характерные отличия от рассматриваемого вида возврата газов [Л. 1].

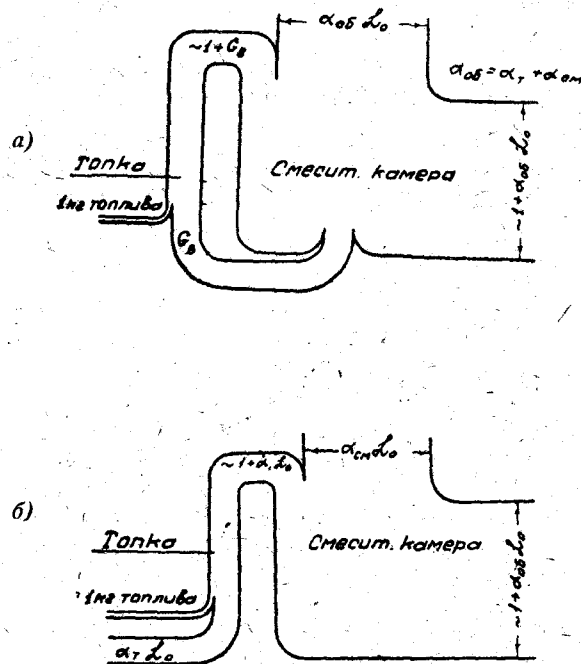
Примем следующие значения индексов и обозначений:

- a — возвращаемый рециркулируемый теплоноситель;
- m — топочные газы;
- c — теплоноситель в смесительной камере;
- p — рабочая масса топлива;
- m', c' — газы в топке и в смесительной камере при обычной, прямочной работе топочного устройства;
- ρ — коэффициент отбора (рециркуляции);
- α — коэффициент избытка воздуха;
- V, G — объем и вес газа, $нм^3/кг, кг/кг$;
- V_0, L_0 — теоретически необходимое объемное и весовое количество воздуха, $нм^3/кг, кг/кг$.

В дальнейшем делаем следующие допущения: а) отсутствует присос воздуха в топке, б) отсутствует утечка и охлаждение рециркулируемого теплоносителя, в) не учитывается азот топлива.

На рис. 1 графически показаны материальные балансы топок зерносушилки с рециркуляцией и без таковой.

Рассмотрим последовательно состав газов в основных частях топочного устройства: рециркулируемый теплоноситель-окислитель, топочные газы и смесь в смесительной камере.



Материальный баланс топок зерносушилки: а — топка с рециркуляцией; б — топка без рециркуляции

Рециркулируемый теплоноситель-окислитель. Исходным положением для определения состава возвращаемого теплоносителя и расчета данной рециркуляции вообще является следующее: возврат рабочей смеси должен осуществляться таким образом, чтобы количество кислорода в отборе было достаточным для процесса горения [Л. 1]. Следовательно:

$$V_{O_2}^s = 0,21 \alpha_T V_0. \quad (1)$$

Так как $\alpha_T = \rho(\alpha_{ос} - 1)$ [Л. 1.], то объем кислорода в возврате будет:

$$V_{O_2}^s = 0,21 V_0 \rho (\alpha_{ос} - 1). \quad (2)$$

Согласно равенству 2:

$$\rho = \frac{V_{O_2}^s}{V_{O_2}^c}. \quad (3)$$

Учитывая близость состава теплоносителя к воздуху, а также то, что по определению $\rho = \frac{V^s}{Vc'}$ с допустимой погрешностью, примем наличие соотношения (3) и для других газов возвращаемого теплоносителя. Соответственно этому объем азота в рециркулируемом теплоносителе

$$V_{N_2}^s = \rho V_{N_2}^{c'} = 0,79 \rho \alpha_{об} V_0 \quad (4)$$

или

$$V_{N_2}^s = 0,79(\alpha_T + \rho) V_0. \quad (5)$$

Объем трехатомных газов и окиси углерода

$$V_{RO_2}^s + V_{CO_2}^s = \rho (V_{RO_2}^{c'} + V_{CO_2}^{c'}) = \rho \frac{C^p + 0,375 S^p}{53,6} = \rho \frac{K^p}{53,6}. \quad (6)$$

Объем сухих газов согласно равенствам (1)÷(6)

$$V_{с.г.}^s = 0,21\alpha_T V_0 + 0,79 \rho \alpha_{об} V_0 + \rho \frac{K^p}{53,6}, \quad (7)$$

или согласно равенству (5)

$$V_{с.г.}^s = 0,21\alpha_T V_0 + 0,79(\alpha_T + \rho) V_0 + \rho \frac{K^p}{53,6}. \quad (8)$$

Полученные выражения позволяют обычным путем установить процентный состав возвращаемого теплоносителя.

При этом особый интерес представляет отношение процента азота N_2^s к проценту кислорода O_2^s : $\gamma^s = \frac{N_2^s}{O_2^s}$, которое характеризует возвращаемый теплоноситель, как окислитель:

$$\gamma^s = \frac{N_2^s}{O_2^s} = \frac{79\alpha_{об} V_0 \rho}{21(\alpha_{об} - 1) V_0 \rho} = \frac{79}{21} \left(\frac{\alpha_{об}}{\alpha_{об} - 1} \right). \quad (9)$$

Из полученного следует, что чем больше $\alpha_{об}$, тем ближе по составу теплоноситель к чистому воздуху, для которого объемное соотношение азота и кислорода равно $\frac{79}{21} = 3,76$. Полное совпадение теоретически возможно лишь при $\alpha_{об} = \infty$. Практически, хотя в топочных устройствах зерносушилок величина общего коэффициента избытка воздуха большая (20—30) и значение $\frac{1}{\alpha_{об}}$ невелико, γ^s всегда больше 3,76.

Если использовать равенства (5) и (1), то

$$\gamma^s = \frac{79}{21} \frac{\alpha_T + \rho}{\alpha_T}. \quad (10)$$

Развернув это отношение относительно α_T , получим

$$\alpha_T = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2^s}{N_2^s}} 3,76 \rho \frac{O_2^s}{N_2^s}. \quad (11)$$

Топочные газы. При устройстве возврата теплоносителя будет неправильно говорить о коэффициенте избытка воздуха в обыч-

ном смысле, так как окислителем в этом случае является не воздух, а смесь, близкая по составу к воздуху.

Вернее будет под α_T понимать коэффициент избытка кислорода (именно в этом смысле и была введена в соответствующие равенства величина α_T) или коэффициент избытка рециркулируемого теплоносителя α_s .

Соответственно последнему можно рассмотреть понятие о теоретически необходимом количестве возвращаемого теплоносителя V_0^s . Аналогично величине теоретически необходимого количества воздуха получим:

$$V_0^s = \frac{2,67C^P + 8H^P + S^P - O^P}{O_2^s} \dots \dots \dots (12)$$

Связь этой величины с теоретически необходимым количеством воздуха V_0 устанавливается равенством:

$$V_0^s = V_0 \frac{21}{O_2^s} \dots \dots \dots (13)$$

Очевидно, что V_0^s всегда несколько больше V_0 (в зависимости от величины O_2^s).

Коэффициент избытка рециркулируемого теплоносителя выразится соотношением

$$\alpha_s = \frac{V_{c.z.}^s}{V_0^s} \dots \dots \dots (14)$$

Здесь учитывается объем сухих газов $V_{c.z.}$, аналогично тому, что обычно делается при определении коэффициента избытка воздуха, при котором не принимается во внимание влага воздуха.

Коэффициент избытка кислорода α_T и коэффициент избытка теплоносителя α_s — величины тождественные. В этом легко убедиться, сделав подстановку формулы (13) в выражение (14). Так как

$$\alpha_s = \frac{V_{c.z.}^s}{V_0^s} = \frac{V_{c.z.} \cdot O_2^s}{V_0 \cdot 21} \quad \text{и} \quad O_2^s = \frac{21 \alpha_T V_0}{V_{c.z.}^s},$$

то

$$\alpha_s = \frac{V_{c.z.} \cdot 21 \alpha_T V_0}{V_0 \cdot 21 V_{c.z.}^s} = \alpha_T.$$

Таким образом, в дальнейшем можно не использовать, как равноправные, понятия α_s , V_0^s и α_T , V_0 .

Объем кислорода в топочных газах определится так:

$$V_{O_2}^T = \frac{O_2^s V_0^s}{100} (\alpha_T - 1) \dots \dots \dots (15)$$

или

$$V_{O_2}^T = 0,21 V_0 [\rho (\alpha_{os} - 1) - 1] = 0,21 V_0 (\alpha_T - 1) \dots \dots (16)$$

Объем азота остается прежним:

$$V_N^T = V_N^s = 0,79 \rho \alpha_{os} V_0 = 0,79 V_0 (\alpha_T + \rho) \dots \dots (17)$$

или

$$V_N^T = 0,01 N_2^s \alpha_s V_0^s \dots \dots \dots (18)$$

Объём трёхатомных газов и окиси углерода в топочных газах

$$V_{RO_2}^T + V_{CO}^T = V_{RO_2}^{T'} + V_{CO}^{T'} + \rho \frac{K^P}{53,6} = \frac{K^P}{53,6} (1 + \rho) \dots (19)$$

Объём сухих топочных газов

$$\begin{aligned} V_{c.z.}^T &= 0,21 (\alpha_T - 1) V_0 + 0,79 (\alpha_T + \rho) V_0 + (1 + \rho) \frac{K^P}{53,6} = \\ &= \alpha_T V_0 + (0,79\rho - 0,21) V_0 + (1 + \rho) \frac{K^P}{53,6} \dots (20) \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} V_{c.z.}^T &= 0,01 O_2^s (\alpha_s - 1) V_0^s + 0,01 N_2^s \alpha_s V_0^s + \\ &+ (1 + \rho) \frac{K^P}{53,6} \dots (21) \end{aligned}$$

Имея в виду выражения (15), (18) и (10), получим отношение процентного содержания кислорода и азота в топочных газах

$$\gamma^T = \frac{O_2^T}{N_2^T} = \frac{\alpha^s - 1}{\alpha^s} \frac{O_2^s}{N_2^s} = \frac{\alpha^s - 1}{\gamma^s \alpha^s} = \frac{\alpha_T - 1}{3,76 (\alpha_T + \rho)} \dots (22)$$

Из последнего выражения найдем коэффициент избытка теплоносителя (или кислорода) в топке:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2^T}{N_2^T}} \left(1 + 3,76 \rho \frac{O_2^T}{N_2^T} \right) \dots (23)$$

Здесь и в равенстве (11) в случае неполного сгорания, обычно учитываемого только для углерода, следует уменьшить процент избыточного кислорода на 0,5 CO^T. Нетрудно заметить, что при отсутствии рециркуляции $\rho = 0$ коэффициент α_T принимает свой обычный вид:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 - 3,76 O_2^T / N_2^T} \dots (23')$$

Выражение (23) позволяет определить α_T на основе анализа топочных газов. Очевидно, что в случае рециркуляции подсчет по обычной формуле даст неправильные, точнее — заниженные результаты.

Выражение для коэффициента избытка теплоносителя в топке может быть приведено к обычному виду. Для этого выразим коэффициент отбора через данные газового анализа, для чего используем равенства (11) и (23):

$$\rho = \frac{1 - 3,76 \frac{O_2^s}{N_2^s}}{3,76 \left(\frac{O_2^s}{N_2^s} - \frac{O_2^T}{N_2^T} \right)} \dots (24)$$

После подставки этого значения ρ в выражение (11) получим:

$$\alpha_T = \frac{3,76 \frac{O_2^s}{N_2^s}}{3,76 \left(\frac{O_2^s}{N_2^s} - \frac{O_2^T}{N_2^T} \right)} = \frac{1}{1 - \frac{N_2^s}{O_2^s} \frac{O_2^T}{N_2^T}} = \frac{1}{1 - \gamma^s \frac{O_2^T}{N_2^T}} \dots (25)$$

Этот же результат может быть получен из выражения (22). При неполном горении:

$$\alpha_T = \frac{1}{1 - \gamma^g \frac{O_2^T - 0,5 CO^T}{N_2^T}} \dots \dots \dots (26)$$

Формула (25) имеет ту же структуру, что и обыкновенная формула (23') и отличается от неё величиной коэффициента, характеризующего окислитель: $\gamma^g > 3,76$.

В отличие от прямой работы топки, при которой для определения α_T необходимо проводить только анализ топочных газов, для нахождения избытка теплоносителя следует анализировать и топочные и рециркулируемые газы (для нахождения γ^g).

Данные такого анализа также позволят по формуле (24) определить величину коэффициента рециркуляции ρ .

Так как объем водяных паров рециркулируемой смеси:

$$V_{в.п.}^g = V_{в.п.}^{c.г.} \cdot \rho = \frac{9H^P + W^P + 0,1\alpha_{ог} L_0 d}{80,5} \rho,$$

то объем водяных паров топочных газов составит:

$$V_{в.п.}^T = V_{в.п.}^{T.c.г.} + V_{в.п.}^g = \frac{(1 + \rho)(9H^P + W^P) + 0,1 L_0 d (\alpha_T + \rho\alpha_{ог})}{80,5} \quad (27)$$

Следовательно, полный объем газов:

$$V^T = V_{с.г.}^T + V_{в.п.}^T,$$

где соответствующие слагаемые могут определяться по выражениям (20) или (21) и (27).

Для расчета продуктов сгорания в топке с рециркуляцией важно установить значение характеристического коэффициента β , который обычно записывается в виде

$$\beta = 2,37 (H^P - 0,126 O_2^P + 0,05 S_{л}^P + 0,038 N_2^P) \frac{1}{K^P} \dots \dots (28)$$

Кнорре Г. Ф. [Л. 3] показал, что β является не только характеристикой топлива, но и окислителя. Последнее усматривается в структуре множителя $2,37 = 3(1 - R)$, где R , по Кнорре, — кислородное число. При изменении состава окислителя (при том же топливе) согласно этому положению, изменится значение R и, следовательно, β .

Так как в исследуемом случае окислитель несколько отличается от воздуха, то необходимо установить значение β , т. е. величину R .

Максимальное количество углекислоты CO_{2max} определяется выражением:

$$CO_{2max}^T = \frac{R}{1 + \beta},$$

где R — в процентах.

При горении чистого углерода максимально предельное процентное содержание углекислоты в топочных газах будет ($\beta = 0$):

$$CO_{2max}^T \cdot max = R.$$

Так как с другой стороны

$$CO_{p_{max,max}}^T = \frac{V_{CO_2}^T}{V_{CO_2}^T + (V_{N_2}^T)_0} 100,$$

то

$$R = \frac{100}{1 + \frac{(V_{N_2}^T)_0}{V_{CO_2}^T}}, \% \dots \dots \dots (29)$$

Величина $(V_{N_2}^T)_0$ — объем азота в продуктах сгорания при вводе в топку теоретически необходимого количества теплоносителя ($\alpha_T = 1$).

Подставляя с соответствующими изменениями выражения (17) и (19) в (29), получим:

$$R = \frac{C^P (1 + \rho) 100}{C_P (1 + \rho) + 0,536 \cdot 0,79 (1 + \rho) V_0} =$$

$$= \frac{100}{1 + 0,426 \cdot 8,89} = 21 \%.$$

Следовательно, выражение для β (28) можно применять в обычном виде и для случая устройства рециркуляции. При этом точность подсчета R , а следовательно и β , определяется принятым соотношением $\frac{V_{O_2}^s}{V_{O_2}^{c'}} = \frac{V_{N_2}^s}{V_{N_2}^{c'}} = \frac{V_{RO_2}^s}{V_{RO_2}^{c'}} = \dots = \rho$, которое достаточно верно для топочных устройств зерносушилок, где велико $\alpha_{об}$ и O_2^s близко к 21%.

Смесь (смесительная камера). Объем кислорода определится выражением:

$$V_{O_2}^c = V_{O_2}^T + 0,21 \alpha_{об} V_0 = 0,21 (\alpha_T - 1) V_0 + 0,21 \alpha_{об} V_0 =$$

$$= 0,21 V_0 (\alpha_{об} + \alpha_T - 1) = 0,21 (\alpha_{об} - 1) (1 + \rho) V_0.$$

Объем азота:

$$V_{N_2}^c = V_{N_2}^T + 0,79 \alpha_{об} V_0 = 0,79 \alpha_{об} V_0 (1 + \rho).$$

Объем трехатомных газов и окиси углерода:

$$V_{RO_2}^c + V_{CO}^c = \frac{KP}{53,6} (1 + \rho).$$

Объем сухих газов в смесительной камере:

$$V_{c.z.}^c = V_{c.z.}^{c'} (1 + \rho).$$

Объем водяных паров в смесительной камере:

$$V_{s.n.}^c = V_{s.n.}^T + \frac{0,1 d \alpha_{об} L_0}{80,5} = \frac{9HP + W^P + 0,1 d \alpha_{об} L_0}{80,5} (1 + \rho).$$

Полный объем смеси в камере:

$$V^c = V_{c.z.}^c + V_{s.n.}^c = V^{c'} (1 + \rho) \dots \dots \dots (30)$$

Следует отметить, что процентный состав газов в смесительной камере при рециркуляции тот же, что и при ее отсутствии. В этом легко убедиться, если записать, например, для кислорода.

$$O_2^s = \frac{V_{O_2}^s}{V_{c.z.}^s} 100 = \frac{0,21 (\alpha_{об} - 1) (1 + \rho) V_0}{V_{c.z.}^{C'} (1 + \rho)} 100 = \frac{V_{O_2}^{C'}}{V_{c.z.}^{C'}} 100 = O_2^{C'}$$

Следовательно, рециркуляция, изменяя процентный состав окислителя и топочных газов, оставляет неизменным процентный состав смеси, часть которой непрерывно циркулирует (рис. 1,а).

Количество смеси, забираемой на сушку V_{cy} , определится разницей:

$$V_{cy} = V^C - V^s,$$

т. к. $V^s = \rho V^{C'}$, а V^C определяется выражением 30, то $V_{cy} = V^C (1 + \rho) - \rho V^{C'} = V^{C'}$.

Таким образом, количество газов, отбираемое на сушку, остается тем же, что при прямоточном процессе.

Следовательно, устройство горячего дутья путем рециркуляции части смеси в топку не изменяет количество и процентный состав теплоносителя, отбираемого для зерносушения.

Пользуясь равенством $\gamma^C = \gamma^s$ и выражением 9, определим общий коэффициент избытка воздуха $\alpha_{об}$.

$$\alpha_{об} = \frac{1}{1 - 3,76 \frac{O_2^C}{N_2^C}} = \frac{1}{1 - \frac{3,76}{\gamma^s}}$$

Очевидно, что чем ближе γ^s к 3,76, тем больше будет $\alpha_{об}$.

Выводы

Для топок зерносушилок с возвратом теплоносителя с целью устройства горячего дутья:

1) Выяснены формулы подсчета состава рециркулируемых и топочных газов.

2) Показана возможность определения с помощью газового анализа общего коэффициента избытка воздуха, коэффициента избытка рециркулируемого теплоносителя и коэффициента отбора ρ . При этом выявлена необходимость параллельного ведения газового анализа и топочных и возвращаемых газов.

3) Показана возможность пользования обычным выражением для определения характеристического коэффициента β .

4) Установлено, что рециркуляция не изменяет количество и процентный состав смеси, забираемой для целей сушки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Горбис З. Р., Об устройстве горячего дутья в топках зерносушилок Труды ОТИ им. И. В. Сталина, том VII, 1955.
2. Масленников М. С., Уравнения процесса горения при наличии заворота части дымовых газов в топку, Труды ИЭИ им. В. И. Ленина, т. II—III, 1940.
3. Кнорре Г. Ф., Тепловые расчеты по газовому анализу, 1947.

Г. А. ЗАХАРЧЕНКО, Г. А. ВОДАТУРСКИЙ

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ В ГАЗИРОВАННОМ ЗЕРНЕ ХЛОРПИКРИНА И ДИХЛОРЕТАНА ПРИ ИХ СОВМЕСТНОМ ПРИСУТСТВИИ

В работе описан приближенный метод определения хлорпикрина и дихлорэтана в газированном зерне при общем их содержании порядка 0,02 — 0,4 г в навеске 400—500 г зерна. Точность определения выражается погрешностью до 8%.

Хлорпикрин и дихлорэтан применяются в смеси в качестве средства борьбы с вредителями зерна. Поэтому возникает необходимость исследования методов количественного определения названных веществ при их совместном присутствии в газированном зерне.

Метод гидрирования [Л. 1] дает вполне удовлетворительные результаты при определении сравнительно небольших количеств хлорпикрина в присутствии дихлорэтана.

Суммарное количество хлорпикрина и дихлорэтана может быть определено по одному из методов, применяемых для анализа хлорированных углеводов [Л. 2, 3, 4].

Количество дихлорэтана может быть рассчитано по разности.

Наиболее надежные методы определения общего количества хлорированных углеводов сводятся к сжиганию последних при температуре 850—900° в фарфоровых или кварцевых трубках, обогреваемых печью типа Марса.

В качестве катализатора необходима платиновая спираль. Продукты сгорания поглощаются раствором мышьяковистой кислоты и хлор определяют нефелометрически.

Метод, описанный в нашей работе [Л. 1], по точности не уступает вышеупомянутому, но является более простым и доступным. Он основан на разложении дихлорэтана при температуре приблизительно 600° в присутствии аммиака и катализатора—окиси железа. Продукты разложения поглощаются раствором едкого натра и сульфита натрия. Хлор определяется титрованием по Фольгарду.

Изучение этого метода для возможного его применения при суммарном определении хлорпикрина и дихлорэтана в газированном зерне и выполнено нами в данной работе.

Прибор, в котором производились опыты, показан на рис. 1.

Для приготовления катализатора смешивают одну часть короткого волокнистого асбеста с двумя частями химически чистого закисного

щавелевокислого железа и прокаливают в фарфоровой чашечке. Катализатор для каждого опыта лучше готовить свежий, на что затрачивается 10—15 минут.

Последовательный ход операций исследования выполнялся в следующем порядке.

Оттянутая пробирка взвешивалась. По разности взвешиваний определялся вес взятого зерна. После этого с помощью длинного капилляра в пробирку с зерном вносили одну, две и т. д. капли смеси, содержащей 91,08% дихлорэтана (точка кипения 83,7°) и 8,92% хлорпик-

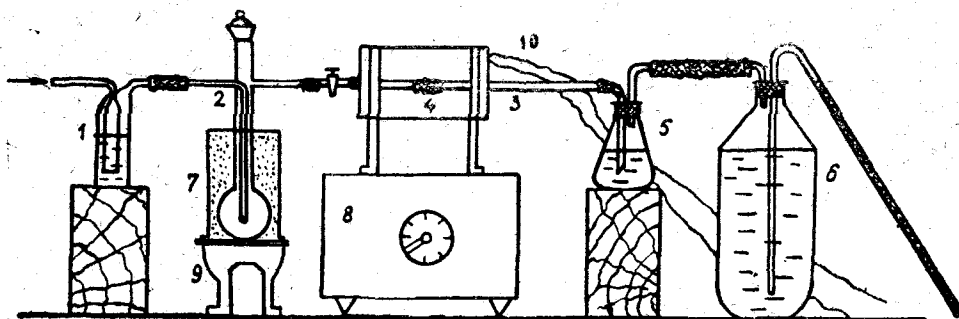


Рис. 1. Установка для определения хлорпикрина и дихлорэтана.

1—промывная склянка с концентрированным раствором аммиака; 2—сосуд для помещения анализируемых веществ; 3—трубка диаметром 1 см для сжигания; 4—слой катализатора; 5—колбочка-поглотитель с 5% раствором едкого натрия и 5% раствором сульфита; 6—аспиратор; 7—песчаная баня; 8—печь типа Марса; 9—электроплитка; 10—термомпара.

рина (точка кипения 113°). Пробирку запаивали и повторно взвешивали. По разности предыдущих взвешиваний и последнего определяли количество смеси хлорпикрина и дихлорэтана, взятое для газации зерна.

Состав смеси хлорпикрина и дихлорэтана соответствует приблизительно тому составу, который применяется для обеззараживания зерна на складах.

Прибор собирался по вышеописанной схеме. Включалась плитка в электросеть для нагрева песчаной бани и одновременно включалась печь. Устанавливалась скорость протягивания струи воздуха на два пузырька в секунду.

При температуре печи 600° пробирку с газированным зерном вносят в сосуд для анализа, открывая пробку сосуда, надрезая пробирку в оттянутом месте и разламывая ее по надрезу, бросают в сосуд, быстро закрывая пробку.

На протяжении всего опыта температуру печи поддерживают приблизительно 600°, температуру песчаной бани — 140—150°, так как при более низкой температуре хлорпикрин не полностью десорбируется из газированного зерна. При указанных условиях опыт заканчивается через 2 часа. После этого, выключив печь и баню, разъединяют поглотительную колбочку. Споласкивают струей дистиллированной воды соединительную каучуковую трубочку и колено отводной трубки, входящей в поглотительную колбочку, собирая жидкость в поглотитель.

Жидкость из поглотительной колбочки переносят в мерную колбу на 250 мл. Вынимают из печи трубку для сжигания и для охлаждения ее устанавливают с помощью кольца штатива вертикально таким об-

разом, чтобы конец трубки, отходящий к поглотительной колбочке, был помещен в чистый стакан на 100—150 мл, так как в этом конце трубки конденсируется некоторое количество жидкости, которая не должна быть потеряна. Можно также перед окончанием опыта выпарить жидкость в трубке, осторожно нагревая конец ее пламенем газовой горелки или спиртовки.

После охлаждения трубки все ее содержимое переносят в этот же стакан, в который была опущена своим концом трубка для сжигания. Для этого с помощью длинной стеклянной палочки с резиновым наконечником выталкивают сначала слой катализатора и после этого хорошо споласкивают внутренние стенки трубки и стеклянную палочку. Жидкость в стакане перемешивают, фильтруют через двойной фильтр при уменьшенном давлении и промывают осадок до отрицательной реакции на хлориды, для чего практически достаточно трехкратного промывания.

Фильтрат переносят в ту же мерную колбу, в которой находится жидкость из поглотительного сосуда. Доводят дистиллированной водой до метки и количество хлоридов определяют титрованием по методу Фольгарда. Для титрования необходимо применять бюретку с ценой деления 0,02 мл.

Концентрация растворов азотнокислого серебра и роданистого калия должна быть порядка 0,02N. При титровании избытка азотнокислого серебра осадок хлорида серебра следует отфильтровать, предварительно нагрев раствор до кипения для полной коагуляции осадка.

Главным источником ошибок является степень точности отсчета делений бюретки. Поэтому необходимо, чтобы конец бюретки был оттянут в достаточно тонкий капилляр, так как последнее обстоятельство обеспечивает капли небольших размеров.

Данные ряда опытов представлены ниже следующей таблицей.

Таблица 1.

Результаты проведенных опытов

№№ п/п	Вес зерна	Давность газа, часов	Взято грамм			Общее колич. хлора по расчету, г	Определено хлора, г	Отклонение от взятого количества, г	Отклонение от взятого количества, %
			Хлорпикрин + дихлорэтан	хлорпикрина	дихлорэтана				
1	8,5	24	0,0193	0,0017	0,0176	0,0137	0,0128	-0,0009	-6,57
2	10,3	120	0,0279	0,0025	0,0254	0,0199	0,0138	-0,0011	-5,53
3	9,4	120	0,0274	0,0024	0,0250	0,0195	0,0192	-0,0003	-1,50
4	10,7	144	0,0312	0,0028	0,0284	0,0221	0,0217	-0,0004	-1,81
5	9,3	168	0,0311	0,0028	0,0283	0,0221	0,0224	+0,0003	+1,40
6	10,6	192	0,0354	0,0032	0,0322	0,0252	0,0245	-0,0007	-2,77

Таблица показывает, что точность определения данным методом суммарного количества хлора лежит в пределах от 1,40 до -6,57%, т. е. максимальная погрешность достигает 8%. В наших опытах взятые

количества дихлорэтана и хлорпикрина превышают по отношению к весу зерна те их количества, с которыми практически приходится иметь дело при газации зерна. Для получения более точных результатов необходимо проводить параллельные контрольные опыты с негазированным зерном и в результате определений вносить соответствующие поправки.

Для отдельного учета хлорпикрина и дихлорэтана необходимо сначала определить хлорпикрин по азоту методом гидрирования [Л. 1] и затем рассчитать по разности количество хлора, связанного с хлорпикрином, после определения общего количества хлора описанным выше методом.

ВЫВОДЫ

1. Показана возможность определения суммарного количества дихлорэтана и хлорпикрина по хлору в зерне, газированном точным количеством данных фумигантов.

2. Из полученных результатов следует, что предлагаемый метод дает погрешность не выше 8% при анализе 0,0200—0,350 г смеси дихлорэтана с хлорпикрином в навеске газированного зерна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Захарченко Г. А., Водатурский Г. А., Определение хлорпикрина и дихлорэтана в газированном зерне и зернопродуктах, Труды Одесского технологического института, т. V, 1955.

2. Алексеева М. В., Андронов Б. В., Гурвиц С. С., Житкова А. С., Определение вредных веществ в воздухе производственных помещений, Госхимиздат, 1954.

3. Житкова А. С., Методика определения вредных газов и паров в воздухе, Оборонгиз, 1939.

4. Коренман И. М., Органические вещества в воздухе промышленных предприятий, ОНТИ, 1935.

М. С. ДУДКИН

**ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ НА ОСНОВЕ
АЦИЛЬНЫХ ПРОИЗВОДНЫХ МОЧЕВИНЫ**

(Сообщение IV — Взаимодействие ацетилмочевины с формальдегидом)

В работе описано взаимодействие ацетилмочевины с формальдегидом и приведен анализ синтезированных продуктов. Получены соединения со степенью полимеризации порядка 5—6 и молекулярным весом 600—700. Предложен вероятный механизм процесса поликонденсации, а также показана зависимость между величиной дипольного момента растворителя и удельной вязкостью полученных продуктов.

В одном из предыдущих сообщений [Л. 1] нами было описано взаимодействие уровых кислот (HOOCRCOONHCOONH_2) с формальдегидом.

Продолжая исследование реакций получения макромолекул на основе ацильных производных мочевины, целесообразно проследить влияние строения ацильного остатка, замещающего атом водорода в мочевины, на реакционную способность атомов водорода амидной и имидной группировок молекулы, на способность взаимодействовать с формальдегидом и образовывать макромолекулу.

Определение существующей закономерности позволит проанализировать возможность синтеза новых макромолекул на основе мочевины.

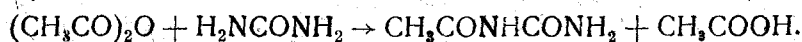
В настоящей статье излагается один из разделов этого исследования: взаимодействие ацетилмочевины с формальдегидом.

Взаимодействие ацетилмочевины с формальдегидом в литературе не описано, но известно, что сочетание ацетилмочевины с фурфуролом приводит к получению отверждающихся смол, растворимых в органических растворителях и пригодных для пропиток, литья, изготовления лаков [Л. 2].

1. Экспериментальная часть

Ацетилмочевина готовилась по методу Хигершоффа следующим путем: 30 г мочевины и 160 г уксусного ангидрида, непрерывно помешивая, нагревали в колбе с обратным холодильником на кипящей водяной бане в течение 6—7 часов.

В первоначальный момент нагревания раствор становился однородным, а затем постепенно в осадок выпадала ацетилмочевина:



Осадок многократно промывали водой, спиртом, эфиром. Сушили и анализировали.

Найдено: % N 27,48; 27,41.

$T_{\text{пл.}}$ 218°.

Вычислено для $\text{C}_3\text{H}_6\text{O}_2\text{N}_2$: % N 27,45. $T_{\text{пл.}}$ по Хигершоффу 218°.

А. Взаимодействие ацетилмочевины с формальдегидом

8 г ацетилмочевины и 16 г 30%-ного раствора перегнанного формальдегида нагревали на водяной бане в круглодонной колбе с обратным змеевиковым холодильником 3 часа.

Осадок, выпавший после охлаждения раствора, отфильтровывали, растворяли в этиловом спирте. Спиртовой раствор фракционировали следующим путем: к раствору добавляли бензол до появления устойчивой мути. Через 24 часа осадок отфильтровывали (вещество А), фильтрат упаривали до первоначального объема и вновь добавляли бензол. Осадок (вещество Б) отделяли.

Из оставшегося спирто-бензольного фильтрата выкристаллизовывали третий продукт (вещество В).

Анализируя все три продукта получили такие данные:

Вещество А

Найдено: % N 23,55; 23,50.

Удельная вязкость: в ацетоне для раствора концентрации 5,4 г/л—0,0714.

В этиловом спирте для раствора концентрации 6,3 г/л—0,0963.

В диоксане для раствора концентрации 5,3 г/л—0,4781.

Вычислено для $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2\text{N}_2$; $\left[\begin{array}{c} \text{—NCONHCH}_2\text{—} \\ | \\ \text{COCH}_3 \end{array} \right]$, звена макромолекулы, образовавшейся в результате уплотнения одной молекулы ацетилмочевины и одной молекулы формальдегида % N 24,53.

Вычислено для $\text{C}_5\text{H}_6\text{O}_3\text{N}_2$; $\left[\begin{array}{c} \text{—CH}_2\text{NCONHCH}_2\text{O—} \\ | \\ \text{COCH}_3 \end{array} \right]$, звена макромолекулы, образовавшейся в результате уплотнения одной молекулы ацетилмочевины и двух молекул формальдегида % N 19,42.

Вещество Б

Найдено: % N 24,87; 24,75.

Молекулярный вес криоскопически 649.

Вычислено для $\text{C}_4\text{H}_6\text{O}_2\text{N}_2$; % N 24,53.

Вещество В

Найдено: % N 20,89; 20,97.

Молекулярный вес криоскопически 138.

Содержание формальдегида пометрически 19,00—19,28%.

Вычислено для $C_4H_6O_3N_2$; $[CH_3CONHCONHCH_2OH] - \% N$ 21,19.

Наряду с этим были поставлены опыты взаимодействия ацетилмочевины и формальдегида в присутствии NH_4OH , так как гидрат окиси аммония обычно катализирует процесс взаимодействия формальдегида с амидами кислот, с амино группами органических соединений.

Б. Взаимодействие ацетилмочевины с формальдегидом в растворе гидрата окиси аммония

4 г ацетилмочевины и 8 г 30% формальдегида растворяли в 25 мл 0,1 н NH_4OH и нагревали в круглодонной колбе с обратным змеевиком на кипящей водяной бане 3 часа.

Выпавший осадок отфильтровывали, растворяли в этиловом спирте и осаждали бензолом до появления устойчивой мути. Осадок отфильтровывали, сушили в вакууме и анализировали.

Найдено: $\% N$ 24,86; 24,82.

Удельная вязкость: в ацетоне для раствора концентрации 5,62 г/л—0,0536.

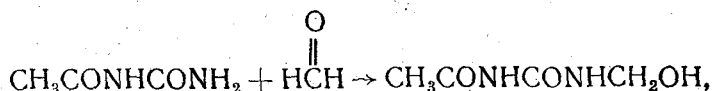
В этиловом спирте для раствора концентрации 5,28 г/л—0,1315.

В диоксане для раствора концентрации 5,69 г/л—0,1575.

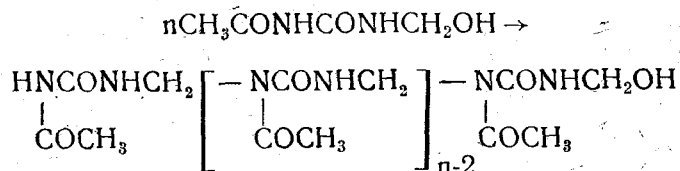
Вычислено для $C_4H_6O_3N_2$; $\% N$ 24,53.

2. Обсуждение результатов

Данные анализа позволяют считать, что первоначальным этапом взаимодействия ацетилмочевины с формальдегидом является образование метилолацетилмочевины (выделенное из смеси продуктов вещества В)



уплотняющееся далее с образованием макромолекулы (выделенные из смеси вещества А и Б, а также продукт, полученный в аммиачной среде)



Молекулярный вес полученных соединений не велик и степень полимеризации, например, для продукта фракции Б равна 5—6.

Величина удельной вязкости $\eta_{sp} = (\eta_c - \eta_o) / \eta_o$ зависит от природы растворителя и обуславливается величиной полярности растворителя. По данным таблицы видно, что с уменьшением дипольного момента растворителя удельная вязкость раствора возрастает.

Таблица

Зависимость удельной вязкости продуктов взаимодействия ацетилмочевины и формальдегида от полярности растворителя.

Наименование растворителя	Дипольный момент $M \cdot 10^{18}$ растворителя	Вещество Б—продукт взаимодействия ацетилмочевины и формальдегида, полученный без катализатора	Продукт взаимодействия ацетилмочевины и формальдегида, полученный в среде NH_4OH
Ацетон	2,95	0,0714	0,0536
Этанол	1,70	0,0063	0,1315
Диоксан	0,4	0,4781	0,1575

Эту зависимость возможно объяснить тем, что молекулы более полярного растворителя стремятся группироваться вокруг макромолекулы. В результате этого микромолекула находится как бы в эффективном более разбавленном растворе, что приводит к уменьшению количества столкновений макромолекул. В силу этого уменьшается и вязкость раствора [Л. 4].

Изменение удельной вязкости в зависимости от полярности растворителя позволяет сделать некоторые выводы и о форме макромолекулы в растворе.

В растворе ацетона макромолекула, вероятно, имеет более вытянутую форму в силу значительной сольватации и малой способности к агрегированию.

В растворе диоксана сольватация макромолекулы значительно меньше и степень агрегирования достигает большей величины. Одновременно и более вероятно образование скрученной формы молекулы. Все это приводит к увеличению вязкости раствора.

3. ВЫВОДЫ

1. Путем взаимодействия ацетилмочевины и формальдегида получены высокомолекулярные соединения со степенью полимеризации порядка 5—6 и молекулярным весом 600—700.
2. Приведен вероятный механизм процесса поликонденсации ацетилмочевины и формальдегида.
3. Показана зависимость между величиной дипольного момента растворителя и удельной вязкостью полученных продуктов поликонденсации.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дудкин М. С., Труды Одесского технологического института им. И. В. Сталина, т. VI, 1954.
2. Шайбер И., Химия и технология искусственных смол, Госхимиздат, 1949.
3. Hegerschoff A., Ber., т. 58, 1925, стр. 2482.
4. Коршак В. В., Химия высокомолекулярных соединений, АН СССР, 1950.

М. С. ДУДКИН

АЗОТНО-ЩЕЛОЧНОЙ МЕТОД ВЫДЕЛЕНИЯ ЦЕЛЛЮЛОЗЫ ИЗ ОТХОДОВ КРУПЯНОГО ПРОИЗВОДСТВА

В статье описаны опыты получения целлюлозы из лузги проса, риса и гречихи азотно-щелочным методом с отбелкой гипохлоритом кальция. Приведены наилучшие условия выделения целлюлозы, обеспечивающие ее выход порядка 30—39%. Показатели полученной целлюлозы соответствуют сульфитной целлюлозе древесины.

Лузга зерна крупяных культур: проса, риса, гречихи составляет от 16 до 26% веса переработанного зерна [Л. 1].

Лузга — отходы крупяного производства — частично используется как топливо, а большей частью не находит применения.

По данным ряда авторов [Л. 2] лузга содержит значительное количество целлюлозы, колеблющееся в зависимости от условий произрастания, сортности и методов определения от 48 до 76%.

Количество зерна, перерабатываемого на крупу в СССР, Китайской Народной Республике, странах народной демократии весьма велико и непрерывно растет. Отсюда лузга является большой, растущей сырьевой базой целлюлозной промышленности.

Так как крупяные заводы расположены большей частью в мало лесной или безлесной местностях, то в этих районах целлюлоза лузги сможет заменить привозную целлюлозу древесины.

Получение целлюлозы из лузги изучено недостаточно. Не описано в известной нам литературе применение для этой цели азотно-щелочного, сульфатного, хлорно-щелочного методов.

В данной статье описывается азотно-щелочной метод выделения целлюлозы из лузги проса, гречихи, риса.

Азотно-щелочной метод — один из наиболее современных методов выделения целлюлозы из древесины. И хотя его основные принципы известны давно, внедряется он в производство только последние десятилетия.

Преимуществом метода является:

1) возможность получения целлюлозы очень высокого качества, что соответствует современным требованиям производства пластических масс, искусственного волокна, лаков.

2) использование в качестве сырья древесины лиственных пород и сельскохозяйственных отходов.

1. Экспериментальная часть

Объектом исследования служила неизмельченная лузга проса, гречихи, риса (проход через металлическое сито 2 (10), сход с сита 1,2 (16) с влажностью: лузга проса — 9,6%, гречихи — 10%, риса — 9,3%.

А. Методика выделения целлюлозы азотно-щелочным методом

20 г лузги заливали в колбе 200 мл нагретого до 95° раствора азотной кислоты (гидромодуль 10) и нагревали с обратным холодильником при слабом кипении заданное время.

После фильтрования и промывания водой твердый продукт заливали 200 мл нагретого раствора едкого натра и нагревали.

Темноокрашенную целлюлозу отфильтровывали, промывали и отбеливали насыщенным раствором хлорной извести.

Отбеленную целлюлозу отфильтровывали и нагревали до кипения с 100 мл 1% HNO_3 .

Целлюлозу фильтровали, тщательно промывали, сушили и анализировали, определяя: содержание золы, лигнина по методу Комарова, α -целлюлозы [Л. 11].

Результаты опытов приведены в таблице 1 (в таблице показаны только те опыты, которые дали целлюлозу с наименьшим содержанием золы и лигнина и наибольшим α -целлюлозы).

Таблица 1
Характеристика целлюлозы, выделенной из лузги азотно-щелочным методом

№№ опытов	Наименование культуры	Условия обработки				Выход целлюлозы, %	Зола, %	Лигнин, %	α -целлюлоза, %	Окраска целлюлозы
		HNO_3		NaOH						
		Концентрация, %	Время нагревания, мин.	Концентрация, %	Время нагревания, мин.					
1	Рис . . .	1	30	3	120	39	0,2—0,3	2,5	94	светло-желтая
2	Рис . . .	3	30	3	120	37	0,5	1,5	84	белая
3	Просо . .	1	30	3	30	36	0,1—0,2	13	75	светло-желтая
4	Просо . .	3	30	3	30	33	0,3—0,4	2	80	белая
5	Гречиха	3	120	3	120	28—30	0,3—0,5	3	81	белая

Выделенная из лузги целлюлоза по содержанию золы не уступает сульфитной целлюлозе, но характеризуется несколько меньшим количеством α -целлюлозы (опыты 2, 3, 4, 5, см. таблицу 1) и несколько увеличенным количеством лигнина.

Большой интерес для разработки технологии выделения целлюлозы из лузги представляет определение того минимального количества азотной кислоты и едкого натра, которые необходимы для выделения

целлюлозы. Снижение количества азотной кислоты и едкого натра, используемого в производстве, приведет к уменьшению стоимости целлюлозы.

С этой целью было определено количество остаточной, не вступившей в реакцию азотной кислоты, примененной в рассмотренном выше азотно-кислотном методе выделения целлюлозы (см. табл. 2).

Таблица 2
Изменение концентрации азотной кислоты в процессе обработки лузги
(Гидромодуль 10, температура нагревания 103,5°).

Наименование культуры	Время нагревания, мин.	Концентрация HNO_3	
		до нагревания	после нагревания
Гречиха	30	30,4	20,8
	60	"	16,4
	90	"	16,4
	120	"	14,2
Просо	15	30,4	23,2
	30	"	21,4
	60	"	18,4
	90	"	17,0
Рис	15	30,4	23,3
	30	"	21,4
	60	"	19,6
	90	"	14,5

Опытные данные таблицы 2 показывают, что около половины азотной кислоты в этих условиях не реагирует.

Следовательно, при применении более жестких условий процесса обработки лузги (повышение температуры, давления) возможно более эффективное использование азотной кислоты и уменьшение стоимости полученной целлюлозы.

Одним из направлений уменьшения количества HNO_3 , вводимой в процесс, является снижение гидромодуля.

Обработывая лузгу риса азотной кислоты при гидромодуле 5, мы получили целлюлозу с выходом 40% и следующими показателями: золь 1,2—1,5%, α -целлюлозы 69—70%.

Представляет интерес выяснение возможности выделения целлюлозы из лузги путем только азотнокислой обработки и отбелки. С этой целью были поставлены следующие опыты.

Б. Методика выделения целлюлозы азотнокислым методом

20 г лузги гречихи заливали 200 мл 3% HNO_3 и нагревали 2 часа при слабом кипении.

Фильтровали, твердый продукт промывали и отбеливали 200 мл 5% раствора гипохлорита натрия (или насыщенным раствором хлорной извести).

Полученную целлюлозу отфильтровывали, промывали и нагревали до кипения с 200 мл 1% раствора HNO_3 .

Фильтровали, тщательно промывали водой, сушили и анализировали.

Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3
Характеристика целлюлозы, выделенной из лузги гречихи азотнокислым методом

Время нагревания HNO ₃ , мин.	Обработка 5% NaOCl			Обработка насыщенным раствором хлорной извести		
	Выход целлюло- зы, %	Золь- ность, %	Цвет	Выход целлюло- зы, %	Золь- ность, %	Цвет
30	30,4	0,46	желтый	36,5	0,64	сретлокориичневый
60	21,2	0,4	светло- желтый	27,29	0,59	желтый

Полученная целлюлоза характеризуется малым содержанием α -целлюлозы (60—70%) и повышенным содержанием лигнина. Это не дает возможности использовать ее для получения эфиров целлюлозы, но не исключает возможности ее применения для получения картона и в качестве наполнителя темноокрашенных пластических масс, например, фенолоформальдегидных.

2. Выводы

1. Лузга — отходы крупяного производства — может служить сырьем для получения целлюлозы, не уступающей по отдельным показателям (зола, α -целлюлоза) сульфитной целлюлозе, выделяемой из древесины.

2. Установлена возможность применения азотно-щелочного метода для выделения целлюлозы из отходов крупяного производства — лузги проса, риса, гречихи.

3. Дана характеристика полученной целлюлозы: определено содержание золы, лигнина, α -целлюлозы.

4. Показана возможность выделения целлюлозы из лузги путем только азотнокислой обработки; такая целлюлоза характеризуется высоким содержанием золы и лигнина.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гинзбург М. Е., Крупяное производство, Заготиздат, 1948.
2. Козьмина Н. П., Кретович В. Л., Биохимия зерна и продуктов его переработки, Заготиздат, 1950.
3. Жислин Я. М., Технология крупяного производства, Заготиздат, 1952.
4. Комаров Ф. П., Руководство к лабораторным работам по химии древесины и целлюлозы, Гостехиздат, 1934.

А. И. МАЛЫГИНА

**СТАТИСТИЧЕСКИЙ ПРЕДУПРЕДИТЕЛЬНЫЙ МЕТОД
КОНТРОЛЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА
НА МУКОМОЛЬНОМ ПРЕДПРИЯТИИ**

В работе показывается возможность и практическая целесообразность применения наиболее прогрессивного статистического метода контроля технологического процесса в условиях мукомольного производства.

Обобщение опыта некоторых мукомольных предприятий показывает, что существующая организация контрольно-аналитической работы, методы и средства контроля технологического процесса и качества вырабатываемой продукции значительно отстают от современных требований производства и не могут гарантировать полное использование сырья и выпуск продукции высокого качества.

Как известно из опыта советских и зарубежных предприятий других отраслей промышленности, более эффективными являются статистические методы контроля технологических процессов и качества продукции с помощью «карт статистического контроля».

Научной основой этих методов является теория вероятностей и математическая статистика, разработанная применительно к технике с марксистско-ленинских позиций советскими учеными Колмогоровым А. Н., Романовским В. И., Бородачевым Н. А. и др.

Попыток разработки этого метода для контроля мукомольного технологического процесса нами не встречено ни в литературе, ни на обследованных предприятиях.

Метод статистического контроля автоматического взвешивания мукомольной и комбикормовой продукции, внедряемый на предприятиях Англии и США [Л. 5, 6], разработан по трафарету, применяемому в машиностроении в силу сходности объектов статистического наблюдения. Технологический же процесс мельниц характеризуется рядом специфических особенностей, которые предопределяют разработку и применение методов его контроля.

В задачу настоящей работы входило статистическое исследование технологического процесса мельницы, выявление имеющихся закономерностей и затем, на основании полученных данных, — проверка возможности и практической целесообразности применения статистического метода контроля.

1. Выбор объектов статистического наблюдения

Известны два основных метода контроля, учитывающего взаимосвязь количественно-качественных показателей продукции и состояния технологического процесса. Это прямой метод «от процесса к продукции» и обратный — «от продукции к процессу».

В технологическом процессе мельниц количество и качество вырабатываемой продукции определяется большим комплексом регулируемых и случайных факторов. Влияние их на результаты производства при различных условиях варьирует, причем, сочетание этих вариаций не всегда пропорциональное. Иногда влияние отдельных факторов накладывается, усиливая, ослабляя или сводя на нет значение того или иного из них при выработке продукции.

Осуществление контроля и регулирования всего комплекса факторов по методу «от процесса к продукции» связано с большими материальными и трудовыми затратами, а контролирование отдельных параметров — мало эффективно.

Из вышесказанного и анализа применяемых методов вытекает, что наиболее экономичным и эффективным является метод «от продукции к процессу» с применением «карт статистического контроля». Поэтому основными объектами для текущего статистического наблюдения за ходом процесса размола зерна принимаются количественно-качественные показатели продукции при ее изготовлении.

Контроль количественных показателей разработан и для статистического метода требует только некоторых уточнений. В связи с этим задача исследования сводится к разработке статистического метода контроля технологического процесса по качеству продукции.

2. Методика исследования

Применение статистического контроля определяется наличием основных условий: массовость производства продукции; небольшое количество признаков, определяющих качество ее, и возможность измерять их быстро, с достаточной степенью точности, надежностью и минимальными затратами; относительная стабильность технологического процесса.

Исследование проводилось в производственных условиях на Одеском мелькомбинате № 2 производительностью 500 т/с сортового пшеничного помола.

С целью выявления законов распределения признаков качества муки и стабильности технологического процесса проведено его статистическое исследование по качеству продукции.

Наблюдение велось практически непрерывно во всех точках выделения муки в потоке через каждые 10 минут. По системам с несколькими точками, для лабораторного исследования качества муки, составлялся средний образец.

Выбор числа наблюдений производился по предварительным измерениям на основании теоремы Ляпунова [Л. 1].

Снятие балансов муки производилось по общепринятой методике. Определение зольности образцов, отобранных через каждый час, проводилось по основному стандартному методу. Содержание «сырой» клетчатки определялось по методу Генниберга и Штомана, уточненно-

му Поповым [Л. 3] по образцам, отобраным через каждые 4 часа. Измерение цвета всех образцов муки проводилось посредством фотоэлектрического прибора ЦМ-3, с встроенным сопротивлением для измерения цвета более темных потоков муки.

С целью выбора признаков качества муки для текущего статистического контроля проведен анализ объема и частоты выработки нестандартной продукции по данным обследованных предприятий.

Для выбора метода определения качества по основному признаку, определяющему сорт муки, проведено исследование зависимости между цветом в условных единицах, принятых для цветомера ЦМ-3, зольностью и содержанием «сырой» клетчатки в процентах на абсолютно сухое вещество. Для сравнительной оценки этих методов по длительности анализа и его трудоемкости в производственных условиях проводился хронометраж их по общепринятой методике.

3. Результаты исследования

Анализ объема и частоты выработки нестандартной продукции (табл. 1) показывает, что наибольшее количество ее (около 75%) и чаще всего (173 случая из 251) имеет место по основным признакам качества — зольности и цвету.

Таблица 1

Объем и частота выработки нестандартной продукции по обследованным предприятиям за период с 1949 по 1954 г.

	По признакам качества									Всего
	Зольность	Цвет	Металлопримесь	Крупнота	Клейковина	Вкус и запах	Влажность	Хруст	Прочие признаки	
Итого тонн	14911,15	962,4	2027,3	690,8	461,8	152,4	721,8	631,2	523,4	21082,25
Итого %	70,7	4,6	9,6	3,3	2,2	0,7	3,4	3,0	2,5	100,0
Итого частота (количество отчетных месяцев с выработкой нестандартной продукции по признаку)	166	7	34	14	3	4	8	11	4	251

Тщательный анализ объема, частоты и причин выработки нестандартной продукции по другим признакам показал отсутствие необходимости контролировать их оперативно.

Из анализа выведенных зависимостей между цветом, зольностью и клетчаткой (по 240 образцам в широком диапазоне муки с систем) вытекает наличие более положительной зависимости между цветом и клетчаткой по сравнению с зависимостью между зольностью и клетчаткой.

Это не противоречит данным Зибеля [Л. 2], исследовавшего связи между этими показателями для разных сортов пшениц по системам.

Как показали результаты опытов, зависимость между содержанием «сырой» клетчатки и цветом муки укладывается на прямой в полулогарифмической системе координат (рис. 1) и может быть выражена формулой:

$$y = a + vx, \quad (1)$$

где $y = \lg K$ (содержание «сырой» клетчатки, % на абсолютно сухое вещество), $x = Ц$ (цвет, условные единицы, принятые для цветомера ЦМ-3).

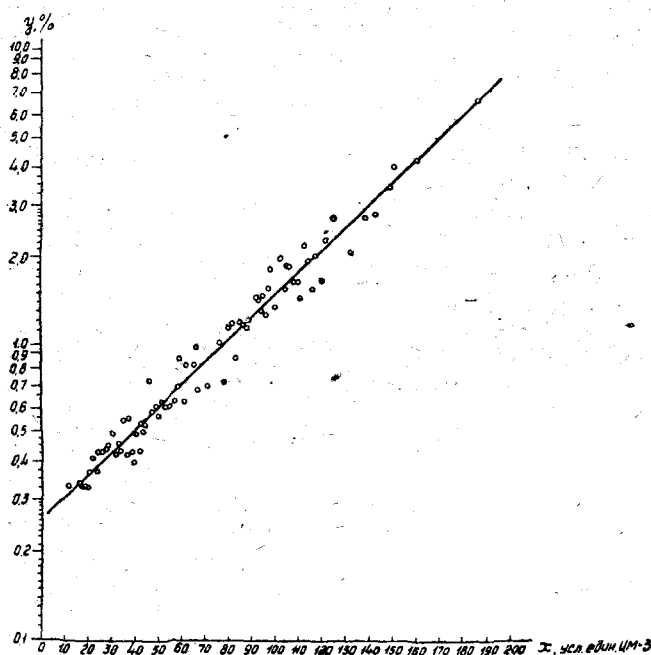


Рис. 1. Зависимость между содержанием клетчатки и цветом муки.

На основании математической обработки результатов наблюдений по способу наименьших квадратов эта зависимость в окончательном виде представляется:

$$K = 0,254 e^{0,017Ц}. \quad (2)$$

Установлено, что эмпирические данные содержания «сырой» клетчатки дают удовлетворительное совпадение с экспериментальными, так как относительные погрешности их близки (особенно для муки высшего и первого сортов).

Таким образом, при соответствующей градуировке шкалы прибора, показания цветомера ЦМ-3 могут быть использованы для определения клетчатки в муке.

Сравнение относительной погрешности, длительности и трудоемко-

сти анализов (табл. 2) показывает, что цвет определяется с наименьшей относительной погрешностью, быстрее зольности в 28 раз, клетчатки в 46 раз. Трудоемкость анализов одного образца по цвету меньше в 5 раз, чем по зольности, и в 8 раз по сравнению с клетчаткой. По цвету может быть выполнено наибольшее количество анализов одним человеком в смену.

Таблица 2
Сравнительная оценка методов определения качества муки

Наименование методов	Относительная погрешность анализа, %			Длительность анализа (по данным хронометража)		Трудоемкость анализа (по данным хронометража)			
	Сорт			Средняя продолжительность анализов одного образца в минутах	Соотношение продолжительности	Трудоемкость в чел/час оперативного времени на анализ одного образца	Соотношение трудоемкости	Количество образцов муки на одного чел. в смену по оператив. времени	Кол-во. анализов на одного чел. в смену по оперативному времени
	Высший	Первый	Второй						
Цвет, условные единицы, принятые для цветомера ЦМ-3	4,0	2,2	1,1	5,17	1	0,09	1	88,9	178
Зольность, % на абсолютно сухое вещество	9,1	6,7	3,6	144,49	27,9	0,45	5	17,8	36
Содержание „сырой“ клетчатки, % на абсолютно сухое вещество	13,9	10,2	3,5	238,76	46,2	0,72	8	11,1	22

Преимуществом этого метода является также возможность автоматизации контроля потоков муки, так как по зольности и клетчатке это мало вероятно.

Из вышеизложенного вытекает, что цвет муки является наиболее приемлемым методом определения качества для осуществления текущего статистического контроля.

На основании аналитической и математической обработки результатов статистического исследования процесса для всех систем построены точечные диаграммы (рис. 2), а также гистограммы и полигоны статистических распределений частостей цвета муки (рис. 3). Определены для них необходимые вероятностные характеристики: среднеарифметическое значение — \bar{X} , арифметическое отклонение — $\pm d$, среднеквадратическое отклонение — σ , дисперсия — σ^2 , коэффициент вариации — $\frac{\sigma}{\bar{X}}$, вероятность критерия Колмогорова — $p(\lambda)$ [Л. 4].

Из анализа точечных диаграмм, вероятностных характеристик, а также изменения качества муки по всем системам во времени следует: технологический процесс при переработке однородной технической партии зерна протекает относительно стабильно и однозначно.

Рассмотрение статистических распределений цвета муки по всем системам показало, что с достаточной величиной $p(\lambda)$ эти распределения подчиняются нормальному закону — закону Гаусса.

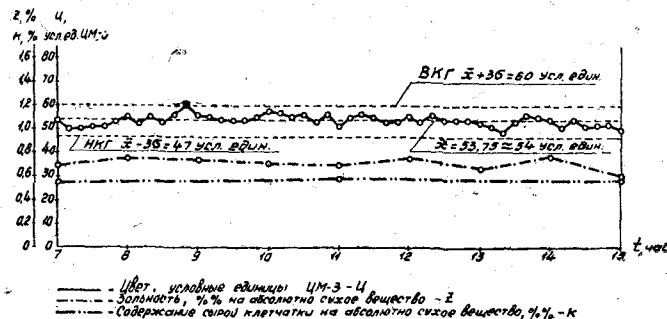


Рис. 2. Точечная диаграмма изменения качества муки первого сорта на 5 размольной системе.

Из результатов обработки балансов муки видно, что при соблюдении технологической дисциплины отклонения в выходах по системам находятся, повидимому, в пределах рассеяния по нормальному закону. При отклонении в режимах подготовки зерна к помолу колебания выходов усиливаются. Так как имеет место тесная зависимость между

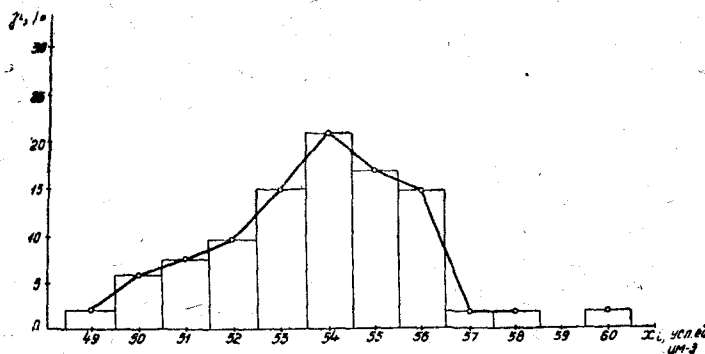


Рис. 3. Гистограмма и полигон статистического распределения частоты цвета муки первого сорта на 5 размольной системе.

количественными и качественными показателями, то эти колебания видны и по качеству вырабатываемой продукции.

Анализ изменения цвета муки по системам при переработке различных технических партий зерна IV типа и изменяющихся режимах подготовки его к помолу показывает: отсутствие отклонений в режимах вызывает колебания цвета муки в пределах, установленных для систем, контрольных границ, что свидетельствует об устойчивости среднего уровня показателей последнего. При наличии нарушений — на отдель-

ных системах показатели цвета муки выходят за контрольные границы, сигнализируя об отклонениях в технологическом процессе.

Так как закон распределения частостей цвета муки нормален, то расчет контрольных границ для «карт статистического контроля» производился по «правилу трех сигм», но с учетом специфики мукомольного производства. Величина поля рассеяния принимается $\bar{X} \pm 3\sigma$, т. е. равной шестикратному среднему квадратическому отклонению. Это гарантирует попадание 99,7% показателей в пределы контрольных границ, а выход за контрольные границы показателей качества возможен в

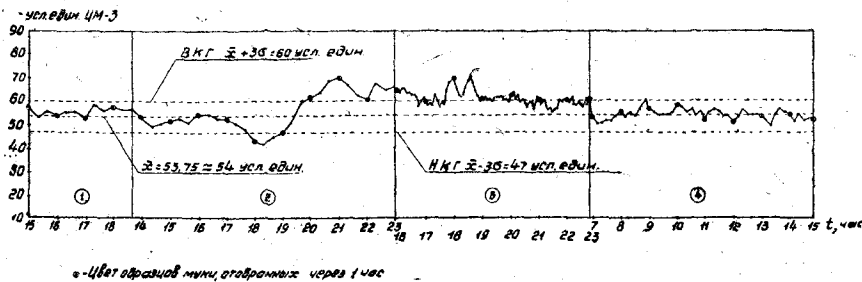


Рис. 4. Карта статистического контроля муки на 5 размольной системе.

3-х случаях из 1000, что практически достаточно надежно гарантирует качество выпускаемой продукции.

При внедрении статистического метода контроля и повышении стабильности технологического процесса поле рассеяния может постепенно сокращаться до $\bar{X} \pm 2\sigma$ и $\bar{X} \pm \sigma$.

Чувствительность контрольных карт к изменениям в технологическом процессе видна по рис. 4. Имеющие место отклонения (во 2 и 3 разделах карты) — результат нарушений в подготовке зерна к помолу и ходе технологического процесса. Рассмотрение контрольных карт с учетом условий размолла зерна и его качества в дни проведения опытов показывает, что «карта статистического контроля» в форме точечной диаграммы отдельных значений цвета муки чувствительна к отклонениям в технологическом процессе и может служить инструментом его наблюдения, регулирования и предупреждения выработки брака.

Репрезентативность отдельной выемки в потоке муки гарантируется сыпучестью продукта и его непрерывным перемешиванием в процессе производства. В силу этого отпадает необходимость в разработке «карт статистического контроля» по размахам, так как размах в данном случае в выемке равен нулю.

Текущий статистический метод предупредительного контроля по качеству продукции в процессе ее изготовления не противоречит возможности полной автоматизации производства, а является новым шагом к решению этой главной задачи мукомолья. Создание автоматического прибора, измеряющего цвет муки в потоке и записывающего результаты на «карту статистического контроля» с приспособлением сигнализации о выходе показателей за контрольные границы и возможностью автоматически сортировать муку в потоке готовой продукции — открывает для мельниц широкие перспективы наиболее полного исполь-

зования сырья и улучшения однородности качества выпускаемой продукции.

Однако и при наличии прибора ЦМ-3 с ведением «карт статистического контроля», рекомендуемый метод значительно эффективнее и экономичнее ныне применяемых.

В мукомольной промышленности (на основании предварительных заключений) эффективность этого метода может выразиться в следующих показателях:

а) уменьшение и затем сведение к нулю выработки нестандартной продукции,

б) экономия живого и овеществленного труда за счет исключения необоснованных и малоэффективных контрольных операций, наладки и подналадки процесса,

в) дальнейшее повышение ритма производства и улучшение стабильности процесса, что может привести к лучшему использованию сырья, технологического оборудования и выпуску продукции более однородной и высокого качества,

г) научно-обоснованный анализ технологического процесса и его дальнейшее совершенствование по данным «карт статистического контроля».

Выводы

1. В условиях мукомольного производства возможно и практически целесообразно применять статистический предупредительный метод контроля технологического процесса и качества продукции.

2. Метод оценки качества муки по цвету на цветомере является наиболее приемлемым для проведения текущего статистического контроля производства.

3. В качестве инструмента наблюдения и регулирования технологического процесса следует применять «карты статистического контроля» в форме точечных диаграмм отдельных значений цвета муки.

4. Применение статистического метода контроля может повысить экономичность и эффективность контрольно-аналитической работы на предприятии.

5. Этот метод с применением автоматического цветомера может явиться новым шагом к автоматизации мукомольного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Дунин-Барковский И. В. и Смирнов Н. В., Теория вероятностей и математическая статистика в технике. Государственное издательство технико-теоретической литературы, М., 1955, С. 228.

2. Зибель Б. Я., Опыт разработки метода объективной оценки качества муки по цвету, М., Заготиздат, 1952; ВНИИЗ, Труды, вып. 24.

3. Попов П. В., Об определении содержания клетчатки в продуктах переработки зерна. Сборник аннотаций научных работ ОТИС, 1955.

4. Унковский В. Л., Теория вероятностей, Военмориздат, М., 1953; С. 228.

5. Rudd I. K. Kontrollkarten für automatische Waagen. Aus Milling Production, № 12, 1954. Die Mühle, № 6, 1955.

6. Robbins D. H. Flour—Packing Weights. American Miller and Processor, v., 83, № 11, 1955.

А. М. КАЛЮЖНАЯ

ПИПЕТОЧНЫЙ СЕДИМЕНТОМЕТРИЧЕСКИЙ МЕТОД ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУПНОСТИ МУКИ

В работе рекомендуется дополнять ситовый метод лабораторных исследований дисперсности муки седиментометрическим анализом для частиц размером меньше 100 μ , а также описывается методика определения дисперсности сортовой муки и приводится конструкция прибора.

Для повышения пищевой ценности муки большое значение имеет изучение ее дисперсности.

Важнейшие хлебопекарные свойства муки зависят в значительной мере от степени ее измельчения.

Широко распространенный в практике лабораторных исследований муки ситовый метод не является совершенным, так как он не дает полного представления о содержании в муке частиц размерами меньше 100 μ , что затрудняет установление оптимальной крупности помола муки различных сортов. Дополнением к ситовому методу может быть рекомендован седиментометрический анализ [Л. 1], хорошо известный по исследованию строительных материалов, грунтов, порошкообразных катализаторов и других.

Для седиментометрических исследований дисперсности муки наиболее целесообразно пользоваться пипеточным методом, обеспечивающим, при несложной конструкции прибора, достаточную точность определений.

Существует несколько типов приборов-седиментометров [Л. 2], основными из них являются приборы Робинсона и Андреазена. Экспериментальной проверкой этих приборов установлены существенные недостатки в их конструкции.

Нами была разработана конструкция прибора, представляющего собой стеклянный цилиндр диаметром 4,8 см, градуированный по высоте на 25 делений с ценой деления 1 см. Емкость цилиндра 500 мл (рис. 1).

Сверху цилиндр закрывается резиновой пробкой, в середине которой имеется отверстие для пипетки. В верхней части пипетки находится стеклянный кран, а в нижней запаяной части ее сделаны 4 круглых отверстия диаметром 1,5 мм каждое. На боковой поверхности пипетки

но вертикали нанесены 15 делений. Цена каждого деления 1 мл. Благодаря цилиндрической форме пипетки не происходит значительного оседания суспендированного продукта.

При пипеточном методе определения дисперсности муки нами учитывается изменение высоты столба суспензии в приборе. Это изменение при каждом отборе проб составляет 0,8 см.

Погрешностью, вызванной близостью стенок в данном приборе, можно пренебречь, так как только 8% объема цилиндра подвержены их влиянию.

Наиболее благоприятной средой для исследования муки оказалась смесь четыреххлористого углерода и керосина с удельным весом $1,25 \text{ г/см}^3$ [Л. 3].

Абсолютная вязкость среды в температурном интервале $15-25^\circ$ в среднем равна $0,011 \text{ г см}^{-1} \text{ сек}^{-1}$. Плотность муки колеблется в зависимости от сорта в пределах $1,40-1,45 \text{ г/см}^3$.

Последовательный ход исследования складывается из следующих операций.

Образец муки весом 8 г вносят в цилиндр прибора, туда же добавляют приготовленную смесь четыреххлористого углерода с керосином в количестве 400 мл. Суспензию подвергают взбалтыванию вручную в течение 2-х минут.

Во время взбалтывания пипетка находится в суспензии. По истечении времени, необходимого по нашим расчетам для оседания частиц соответствующего радиуса, в пипетку при помощи резиновой груши набирается 15 мл суспензии. После этого кран пипетки закрывается, и она вместе с пробкой вынимается из цилиндра. Отобранная таким образом проба профильтровывается

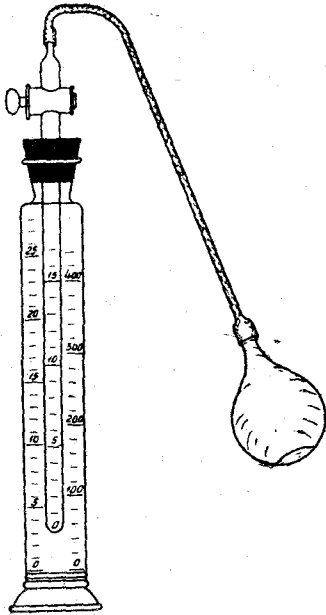


Рис. 1. Прибор для определения дисперсности сортовой муки.

через заранее высушенный и взвешенный бумажный фильтр. Затем фильтр вместе с осадком помещается в стеклянную бюксу и высушивается в сушильном шкафу до постоянного веса при 120° .

Тотчас же после фильтрования пипетка вновь погружается в цилиндр и суспензия снова взбалтывается. По истечении необходимого по расчетам промежутка времени вновь набирается проба и определение повторяется в отношении частиц других размеров.

В процессе исследования каждого образца отбирается 6 проб через разные точно фиксируемые промежутки времени. В течение каждого такого промежутка времени t успевают осесть частицы определенного радиуса r и, следовательно, в набранной пробе остаются частицы, размером меньшие этого радиуса.

Распространение закона Стокса на сортовую муку вполне возможно, так как некоторые отклонения формы ее частиц от шарообразной не вносят существенных изменений в скорость оседания [Л. 4].

Время оседания частиц в дисперсионной среде определяем по формуле:

$$t = \frac{H}{V}, \quad (1)$$

где H — высота падения частиц в приборе, см;

V — скорость падения частиц в приборе, $\frac{\text{см}}{\text{сек}}$, последняя находится из формулы Стокса

$$V = 218 \frac{(D_1 - D_2) a^2}{\eta}, \quad (2)$$

где: D_1 — плотность муки, г/см^3 ;

D_2 — плотность среды, г/см^3 ;

a — диаметр частиц, см;

η — абсолютная вязкость среды, $\text{гсм}^{-1}\text{сек}^{-1}$.

Подставляя в формулу (1) выражение скорости из (2), имеем:

$$t = \frac{H}{V} = \frac{4H\eta}{218(D_1 - D_2)a^2}, \text{ сек.}$$

Принимая вязкость $\eta = 0,011 \text{ гсм}^{-1}\text{сек}^{-1}$ и $D_2 = 1,25 \text{ г/см}^3$, получим время оседания частиц муки в сек:

$$t = \frac{H}{4955(D_1 - 1,25)a^2}.$$

Проверка точности описанного метода определения крупности муки производилась по:

а) сходимости результатов при трех параллельных определениях и

б) по сравнению результатов определения дисперсности общего образца со средневзвешенной дисперсностью в различных фракциях этой муки, полученных рассортированием этого образца на наборе сит.

Для установления времени оседания частиц муки в диапазоне размеров от 20 μ до 120 μ необходимо, пользуясь приведенной выше формулой, установить плотность муки D_1 пикнометрическим методом.

Производственные исследования показывают, что прибор, предложенный нами, может успешно применяться для определения дисперсности сортовой муки, так как относительная погрешность при определении процентного содержания взвешенных частиц величиной от 40 до 120 μ не превышают 5%, а частиц, меньших 40 μ — 10%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Фигуровский Н., Седиментометрический анализ, АН СССР, 1948.
2. Путилов К., К теории и практике седиментометрического анализа, Сборник исследований по физико-химии технических суспензий под ред. П. Ребиндера, 1933.
3. Козьмина Н. и Даленко Н., Отчет об исследовании образцов ржаной обойной муки, выработанной на вальцевых станках и молотковых мельницах, 1949.
4. Калужная А., Влияние дисперсности сортовой муки на ее хлебопекарные качества, Диссертация, 1951.

А. М. КАЛЮЖНАЯ, А. Я. НОХОТОВИЧ, Н. И. БЕЗДУШНЫЙ

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТЕСТА ИЗ МУКИ ДРАННЫХ И РАЗМОЛЬНЫХ СИСТЕМ

Предварительное сообщение

В работе приводятся результаты экспериментальных исследований физических свойств теста по альвеографу из отдельных потоков муки, полученной на драных и размольных системах при различных схемах помола, а также указывается целесообразность использования показателя физических свойств теста при формировании муки по сортам.

На мельницах сортового помола, где в технологическом процессе участвует значительное число драных и размольных систем, формирование муки по сортам из отдельных ее потоков является весьма сложной и ответственной операцией.

Вместе с тем на мельничных предприятиях этому вопросу не уделяется должного внимания.

В частности, не контролируются хлебопекарные достоинства муки объективными методами анализа — по физическим свойствам теста и свойствам клейковины по пластометру. Результаты исследований качества муки по системам, проведенных Теумином [Л. 1], не используются при комплектовании сортов.

Задачей данного исследования является изучение физических свойств теста из отдельных потоков муки, полученной при развитой и короткой схеме помола. Объектом исследования являлись пшеницы IV типа стекловидностью 40—50% с сильной и слабой клейковиной. Продукты получались с Киевского мельзавода № 1 и Одесского мельзавода № 18. Киевский мельзавод работал по трехсортной схеме помола (15+30%+33%), Одесский — по двухсортной (35+43%).

Испытание теста производилось в шести повторностях и выбирались средние значения альвеограмм.

Физические свойства теста оценивались по следующим основным показателям:

W — удельной работе на деформацию пластинки теста, *эрг*;

K — коэффициенту, характеризующему отношение упругости к растяжимости теста.

Для оптимальных хлебопекарных достоинств муки рекомендуются значения $W = (180 \div 200) 10^3$ *эрг* и $K = 0,8 - 1,5$.

Результаты исследования по мельзаводу № 1 представлены в таблице 1.

Характеристика физических свойств теста по альвеографу

Таблица 1

Система	В какой сорт направляется мука	W, 10 ³ эрг	K
I др.	1	29	0,3
II др. кр.	1	134	0,48
II др. м.	1	164	0,32
III др.	1	236	1,34
IV др.	2	156	1,06
V др.	2	229	2,14
VI др.	2	226	2,49
VII др.	2	186	3,20
1 р.	в.с.	165	1,49
2 р.	в.с.	196	1,29
3 р.	1	192	1,35
4 р.	1	223	1,69
5 р.	1	166	1,63
6 р.	1	155	1,0
7 р.	2	143	3,56
8 р.	2	146	3,7
9 р.	2	146	2,59

Результаты исследования по мельзаводу № 18 даны в таблице 2.

Характеристика физических свойств теста по альвеографу

Таблица 2

Система	В какой сорт направляется мука	W, 10 ³ эрг		K	
		При переработке сильных пшениц	При переработке слабых пшениц	При переработке сильных пшениц	При переработке слабых пшениц
I др.	II	256	109	0,43	0,47
II др.	I	170	93	0,174	0,32
III др.	I	237	148	0,82	1,27
IV др.	II	390	153	1,06	0,5
V др.	II	—	145	0,94	—
1 р.	I	300	169	0,81	1,25
2 р.	I	332	170	1,29	2,3
3 р.	I	263	170	0,83	2,2
4 р.	II	295	137	2,86	2,3
5 р.	II	252	120	2,16	2,23

Анализ полученных результатов исследования позволяет сделать следующие обобщения:

1. Мука, полученная в виде промежуточных потоков на отдельных драных и размольных системах, значительно отличается по физическим свойствам теста, особенно при короткой схеме помола, что следует учесть при формировании отдельных сортов муки.

2. Мука на I и II драных системах при развитой и короткой схеме характеризуется слабой упругостью теста *P* и большей растя-

жимостью его L (коэффициент $k = \frac{P}{L}$ изменяется от 0,30 до 0,48), а также низким значением величины W .

3. Мука последних драных систем (вымольных), в противоположность первым, характеризуется большой упругостью теста и слабой растяжимостью его (K —до 3,2 на VII др.) при высоком значении W .

4. Мука основных размольных систем (от 1-й до 6-й) при развитой схеме помола по физическим свойствам характеризуется оптимальными хлебопекарными достоинствами: $\frac{P}{L} = 1,0 - 1,69$; $W = (165 \div 223) \cdot 10^3$ эрг.

5. Мука последних размольных систем (от 7-й до 9-й) по показателю K аналогична муке с последних драных систем и характеризуется величинами $K = 2,59 - 3,70$, $W = (143 \div 146) \cdot 10^3$ эрг.

6. При переработке слабых пшениц необходимо выделять муку первых двух драных систем и использовать ее для специальных целей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Теумин С. и Зибель В., Альвеограф и его применение, 1941.

А. Я. НОХОТОВИЧ

К ВОПРОСУ ОБ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОВЕИВАНИЯ РЖАНЫХ КРУПОК

В статье описаны исследования по выявлению возможности эффективного применения процесса провеивания ржаных крупок при сортовых помолах. Установлено, что крупки, полученные при размоле предварительно кондиционированной ржи, могут эффективно провеиваться. Применение процесса провеивания ржаных крупок в производственных условиях способствует дополнительному извлечению муки лучшего качества и увеличению выхода высоких сортов.

Увеличение выхода и улучшение качества ржаной сортовой муки, как известно, достигается кондиционированием ржаного зерна перед помолом, что доказано исследованиями и практической работой отдельных мельниц у нас и за рубежом [Л. 4, 5, 9]. Однако этим еще не исчерпываются методы, направленные на лучшее использование свойств ржаного зерна. Последнее может быть достигнуто также и в процессе размола применением вечногo процесса.

До настоящего времени считалось, что ржаные крупки по своему качественному составу однородны, вследствие чего эффективность провеивания их предполагалась ничтожной [Л. 7, 8].

Известно, что кондиционирование ржи вызывает изменение консистенции эндосперма: вязкость его понижается, он становится более хрупким [Л. 5]. Это обстоятельство дает основание предполагать наличие изменений и в характере крупок.

Выяснению этого вопроса посвящено настоящее исследование с целью определения степени неоднородности качественного состава ржаных крупок, полученных из предварительно кондиционированной ржи.

Исследование базировалось на использовании различия аэродинамических свойств частиц крупок, выявленных под действием восходящего потока воздуха, по аналогии с методом, примененным в ряде исследований [Л. 1, 2, 3].

Опыты проводились на воздушном классификаторе с трубой диаметром 60 мм. Через определенный слой крупок пропусклся восходящий поток воздуха с переменным значением скоростей. Каждому значению скорости соответствовало определенное количество и качество крупок, оставшихся после уноса более легких частиц. Эти показатели сравнивались с показателями исходного образца. Соотношение эндо-

сперма и оболочек в остатках крупок характеризовалось зольностью этих остатков.

В основу оценки результатов были положены следующие соображения: а) если исследовался продукт по своему качественному составу однородный, то зольность остатков должна была незначительно отличаться от зольности исходного образца; б) если же продукт был неоднородным, то по мере уноса все большего количества легких фракций зольность остатков должна была заметно снижаться, по сравнению с исходным образцом.

Опыты проводились с крупками трех различных образцов зерна:

а) ржи сортовой — Одесская 1;

б) ржи рядовой;

в) пшеницы рядовой.

Пшеница использовалась для сравнения, ввиду отсутствия данных о ржаных крупках.

Таблица 1

Качественная характеристика зерна

Наименование культуры	Зольность, %	Влажность, %	Стекловидность, %	Натура, г/л	Абсолютный вес 1000 зерен, г
Рожь Од-1	2,13	13,3	30,0	715,0	31,0
Рожь рядовая	1,92	13,2	28,0	710,0	27,0

Перед размолем все подопытные образцы зерна были тщательно очищены и подвергнуты кондиционированию. Рожь увлажнялась водой, нагретой до 50—60°, и выдерживалась в термостате при 25—30° в течение 4-х часов. Конечная влажность ржи перед помолом составляла 14,5—15,0%.

Размол ржи производился на лабораторных вальцовых станках с валками диаметром 225 мм, применительно к режиму двухсортного помола ржи. Крупная крупка отбиралась на I и II драных системах на ситах 80/120 (22/32), а средняя крупка на I, II и III драных системах на ситах 120/160 (32/42).

Таблица 2

Выход крупок по системам

Наименование продукта	Рожь сортовая Од-1				Рожь рядовая				Пшеница рядовая			
	Системы				Системы				Системы			
	I, %	II, %	III, %	Всего, %	I, %	II, %	III, %	Всего, %	I, %	II, %	III, %	Всего, %
Кр. кр. 80/120 (22/32)	9,9	13,3	—	23,1	7,4	9,7	—	17,1	13,0	17,5	—	30,5
Ср. кр. 120/160 (32/42)	3,1	5,3	1,8	10,2	2,7	4,1	1,7	8,5	3,7	9,4	1,9	15,0

Пшеничные крупки были получены при аналогичном режиме. Классификации подвергалась смесь крупных крупок с I и II драных систем и смесь средних крупок с I, II и III драных систем. Предварительно, крупки рассортировывались на промежуточные фракции с попутным отсевом мучнистых частиц на сите № 35: крупные крупки на фракции 80/100 (22/26) и 100/120 (26/32), а средние крупки на фракции — 120/140 (32/36) и 140/160 (36/42).

Каждые три образца крупок одноименной фракции исследовались параллельно при одном и том же воздушном режиме. При этом, после каждой очередной продувки с последовательно возрастающей скоростью, определялся остаток крупок и их зольность. Сопоставляя между собой абсолютные показатели зольности остатков, можно было судить о степени неоднородности определенной фракции крупок по качественному составу. Оценка степени неоднородности крупок производилась также с помощью показателя эффективности очистки крупок C в воздушном классификаторе

$$C = \frac{a - a_1}{a} 100,$$

где a_1 — зольность остатка, %;

a — зольность исходного образца, %.

При проведении опытов скорости воздушного потока изменялись в следующих пределах:

для крупок фракции 80/100 (22/26)	$V =$ от 0 до 3,3 м/сек;
" " " 100/120 (26/32)	$V =$ от 0 до 2,7 м/сек;
" " " 120/140 (32/36)	$V =$ от 0 до 2,2 м/сек;
" " " 140/160 (36/42)	$V =$ от 0 до 2,0 м/сек.

Результаты исследований по всем фракциям крупных и средних крупок приведены ниже.

На рис. 1а показаны кривые, характеризующие изменение зольности и остатков крупных крупок фракции 80/100 (22/26) в зависимости от изменения скорости воздушного потока. Кривые характеризуют крупки трех образцов подопытного зерна (ржи сортовой, ржи рядовой и пшеницы).

По характеру этих кривых мы видим, что зольность остатков ржаных крупок, независимо от степени их уменьшения, с ростом уноса остается почти неизменной (в пределах от 2,2 и 2,3% до 1,9 и 1,95%).

Эти наблюдения подтверждают также характером кривых (рис. 1б), указывающих на весьма незначительные изменения показателя C при возрастании величины уноса. В это же время соответствующие показатели пшеничных крупок этой же фракции характеризуются более резкими изменениями. Так, например, по зольности от 2,02 до 0,79%.

Рассмотренные кривые дают основание полагать, что фракции крупных крупок 80/100 (22/26) из сортовой и рядовой ржи представляют в основном однородную по качественному составу смесь и при разделении воздушным потоком образуют фракции, почти одинаковые по своему качеству (по зольности).

На рис. 2а представлена аналогичная зависимость для следующей фракции крупных крупок — 100/120 (26/32). В этом случае изменение зольности остатков при их уменьшении, по мере возрастания уноса, имеет более резко выраженный характер. Снижение зольности проис-

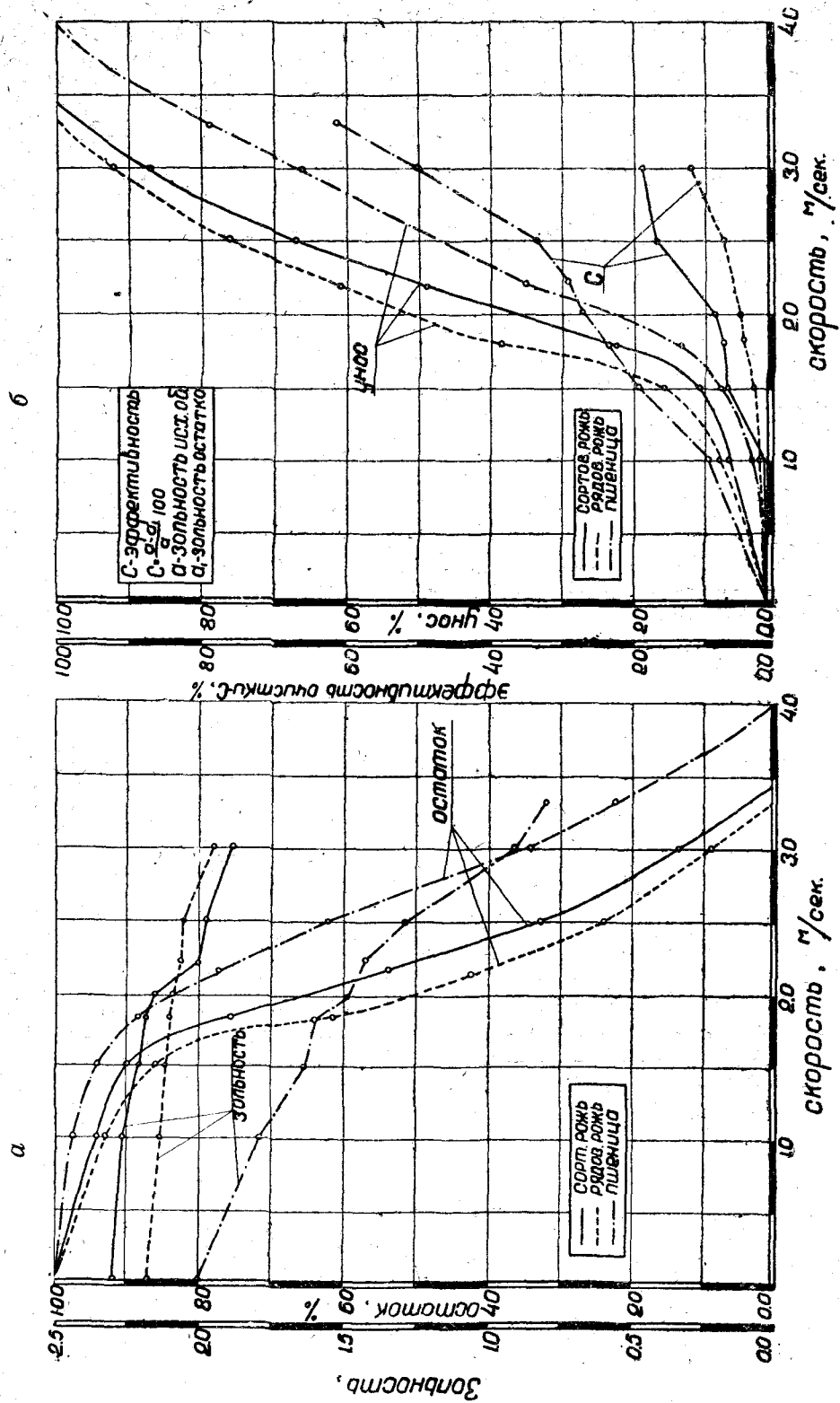


Рис. 1. Диаграммы исследования на воздушном классификаторе крупных крупок фракции 80/100 (22/26): а) — изменение зольности и остатка; б) — изменение уноса и эффективности очистки.

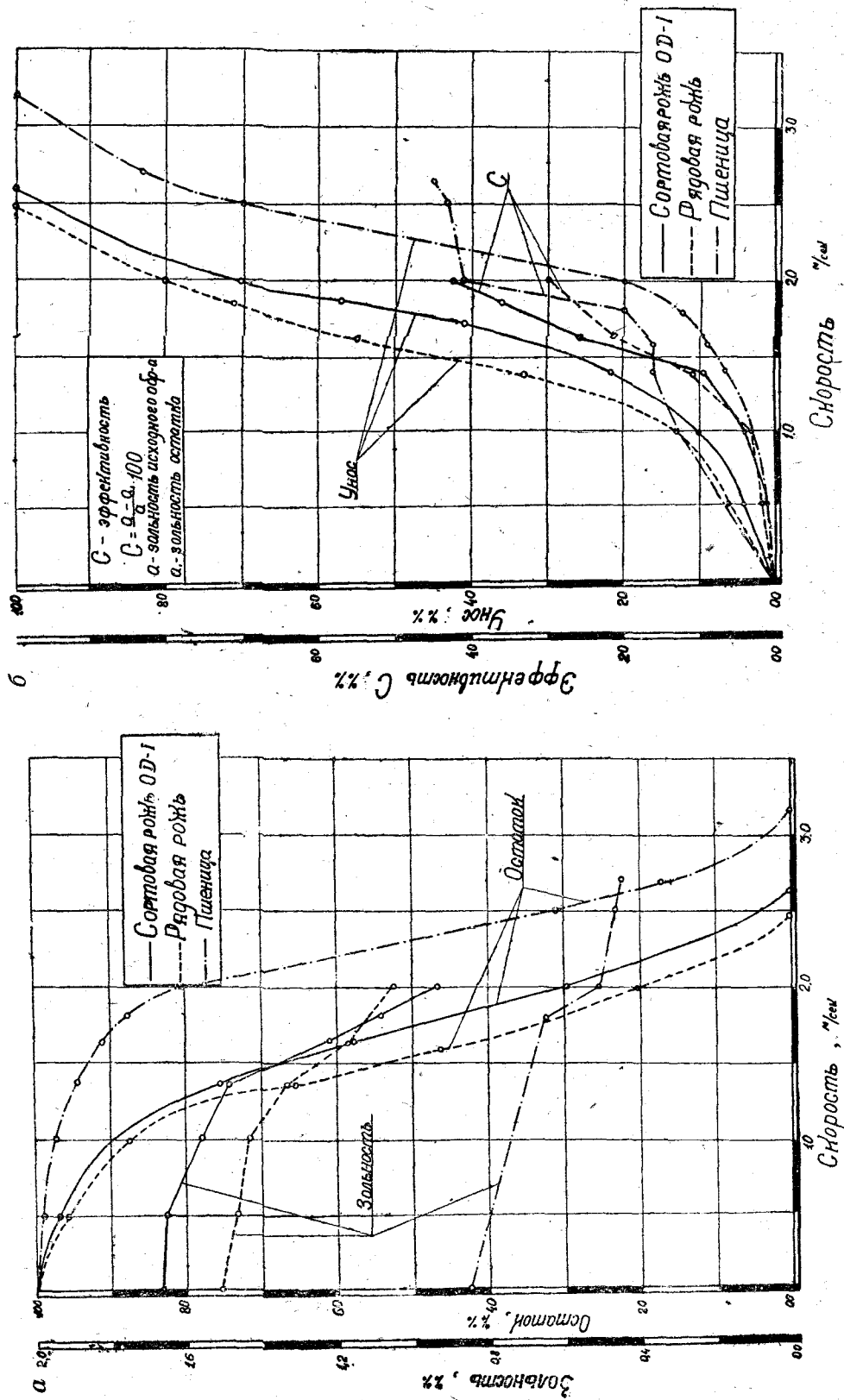


Рис. 2. Диаграммы исследования на воздушном классификаторе крупных крупок фракции 100/120 (26/32): а) изменение зольности и остатка; б) изменение уноса и эффективности очистки.

ходит более интенсивно в пределах от 1,52 и 1,68% до 0,95 и 1,06%. Эти наблюдения подтверждаются также изменением показателя C , которое характеризует его значительный рост (в пределах от 0 до 30—43%) (рис. 26).

В описанном случае изменение зольности остатков пшеничных круп находится в пределах от 0,86 до 0,46%, а изменение показателя C — в пределах от 0 до 46%. Исследуемая фракция ржаных крупных круп 100/120 (26/32) в отличие от фракции 80/100 (22/26) представляет более разнородную по своему составу смесь, которая при разделении воздушным потоком образует промежуточные фракции, различные по своему качеству (по зольности).

Изучение качественного состава средних круп фракции 120/140 (32/36) и фракции 140/160 (36/42) при помощи воздушной классификации также показало, что как в одном, так и в другом случае происходит значительное изменение зольности и показателя C по мере роста уноса. Так, для первой фракции зольность изменяется от 1,7 до 0,92%, а показатель C от 0 до 52,2%, для второй фракции зольность — от 1,42 до 0,87%, а C от 0 до 38,6%.

Следует отметить, что во всех сериях опытов рост показателей для круп сортовой ржи был более интенсивным, чем для ржи рядовой, ввиду более высоких качественных показателей таковой.

Последние две серии исследования показывают, что обе фракции средних круп представляют собой неоднородные смеси по своему качественному составу. Так же, как и в случае с мелкой фракцией крупных круп, они при воздушной классификации образуют промежуточные фракции, различные по своему качеству.

Сводный график (рис. 3) обобщает все четыре серии опытов.

Кривые, представленные на сводном графике, показывают степень изменения показателя эффективности очистки круп C в зависимости от изменения уноса легких частиц.

Считая, что в практических условиях может быть допустим унос в пределах 40—60% (по примеру режима работы вейки на пшеничных крупках второго качества), выявленный в нашем случае показатель эффективности очистки ржаных круп C может быть вполне приемлем (см. рис. 3, заштрихованные полосы на графиках).

Таков, например, показатель C для:

крупных круп	фракции 100/120 (26/32)	— $C = 28,0—32,0—38,0\%$,
средних круп	» 120/140 (32/36)	— $C = 35,0—40,0\%$ и
средних круп	» 140/160 (36/42)	— $C = 21,0—28,0—33,0\%$.

Следует иметь в виду, что приведенные данные еще не являются законченными нормативами, ими лишь в определенной степени можно руководствоваться в практических условиях при обогащении ржаных круп.

Проверка эффективности провеивания ржаных круп в производственных условиях была проведена на мельзаводе № 19 в г. Бердичеве. Испытание проводилось при участии главного инженера завода Гончарука В. М., крупчатника-инструктора треста Рашевского И. А. и крупчатника мельзавода Дронгала Т. Ф.

Провеиванию, по условиям коммуникации продуктов, подвергалась крупная крупка 1 драной системы на двойной ситовойке фирмы Каплер с шириной каждой половины сита 300 мм. Число колебаний сита — 500

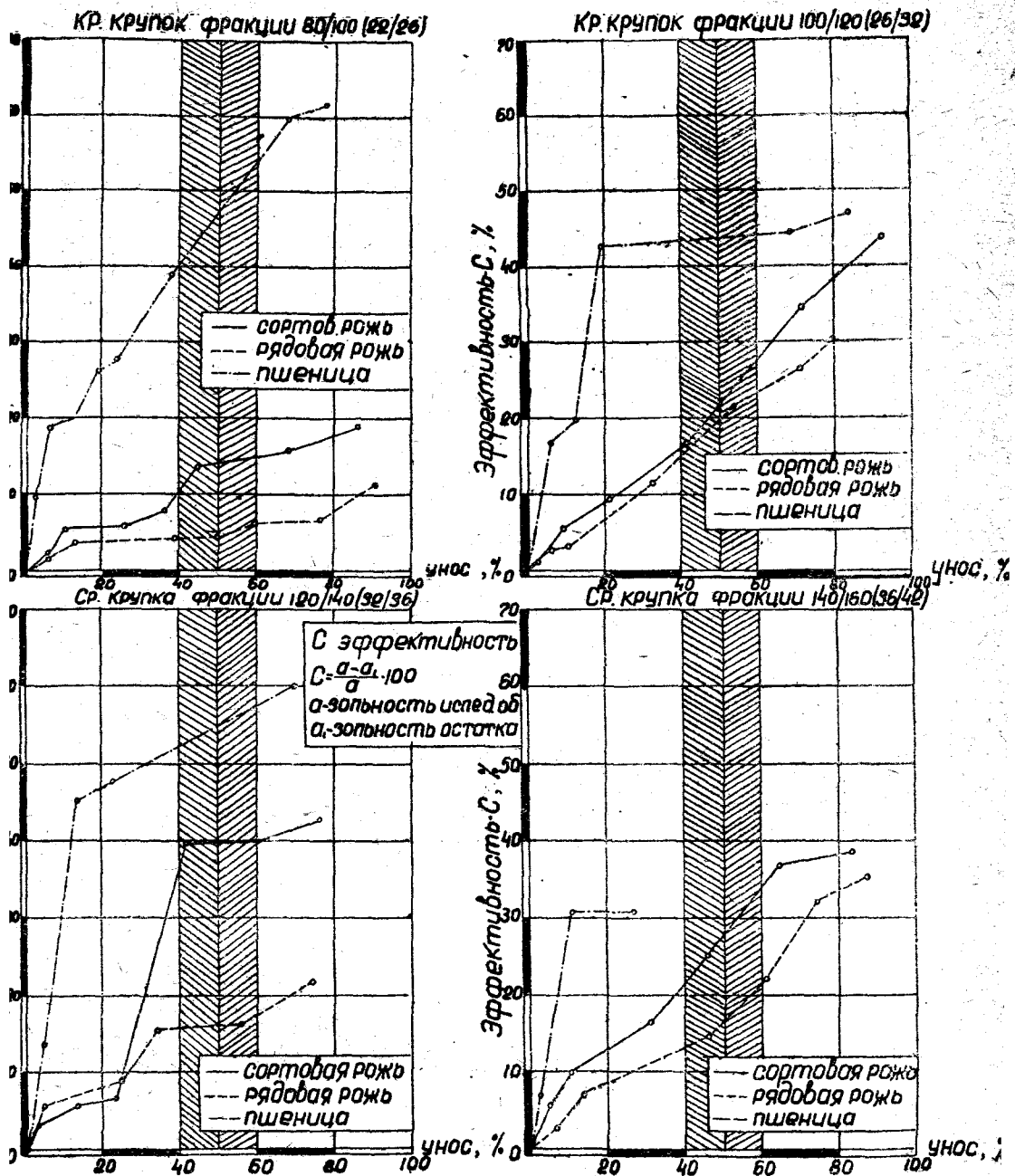


Рис. 3. Эффективность воздушной классификации крупок в зависимости от их уноса.
 Примечание: На графике для кр. крупок фракции 100/120 (26/32) сплошная кривая для
 говой ржи должна пересечь заштрихованную полосу в точках, соответствующих 28,0, 32,0, 38,0%.

в минуту. Ситовейка была оборудована двумя собственными вентиляторами, соединенными с группой циклонов «ВНИИЗ». Диаметр воздуховодов был рассчитан на перемещение 60 м^3 воздуха в минуту. Продукт интенсивно провеивался в месте поступления, на ситах и при выходе. Крупная крупка отбиралась на рассеве в диапазоне сит 80/140 (20/36). Нагрузка на вейку составляла 200—280 кг на 1 см в сутки.

Рожь, поступающая на мельницу имела влажность, достигавшую в отдельных случаях 15%, вследствие чего дополнительное увлажнение и отволаживание зерна было недостаточным: зерно увлажнялось на 0,2—0,3%, а отволаживание временами совершенно исключалось. Это неблагоприятно сказывалось на характере образуемых крупок.

Однако в процессе провеивания крупок выявилось, что при надлежащем подборе нумерации сит и нагрузке (расход воздуха оставался постоянным) достигается определенный эффект очистки крупок на ситовейке.

Так, исходная зольность крупок, поступавших на ситовейку, — 1,54—1,65% — снижалась после провеивания до 1,21—1,28%. При этом оптимальный показатель эффективности очистки крупок на ситовейке находился в пределах 21,5—26,0%. Проход крупок, соответствующий такому показателю составлял 48,6—53,8%, а сход — 36,5—39,5%.

Такое соотношение проходов и сходов считалось вполне приемлемым режимом работы ситовейки на ржаных крупках по аналогии с пшеничными крупками 2-го качества.

При провеивании смеси ржаных крупок наблюдалось попадание в аспирационные относы значительного количества свободных оболочек, благодаря интенсивному воздействию воздушного потока, проходящего через слой продукта на сите.

Количество таких отношений достигало 10—12% от общего количества крупок, поступающих на вейку.

Зольность отношений была невысокой и достигала 2,2%.

Применение высокостекловидной ржи (40—50%) могло дать более высокие показатели провеивания.

Проведенное производственное испытание по выявлению эффективности провеивания ржаных крупок, как это видно из приведенных данных, подтверждает целесообразность применения вечного процесса на ржаных крупках.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1. Исследования, проведенные методом воздушной классификации крупок, полученных в дражном процессе, при размоле предварительно кондиционированной ржи показали, что последние имеют в своем составе частицы относительно чистого эндосперма, частицы сростков и сравнительно свободные оболочки, могущие быть удаленными воздушным потоком.

2. Крупные крупки — 80/120 (22/32), рассортированные на две фракции — 80/100 (22/26) и 100/120 (26/32), образуют одну более крупную фракцию — однородную, почти не имеющую в своем составе таких свободных оболочек; другая фракция крупных крупок, а также средние крупки двух фракций — 120/140 (32/36) и 140/160 (36/42) — представляют неоднородную смесь крупок, содержащую в своем составе достаточное количество свободных оболочек.

3. Указанные свойства ржаных крупок, выявленные при их исследовании, дают основание ставить вопрос об эффективности очистки крупок при помощи провеивания.

4. Проведенное испытание работы ситовойежки на ржаных крупках в производственных условиях подтвердило справедливость сделанных выше выводов.

5. Процесс провеивания ржаных крупок при сортовом помоле может способствовать дополнительному извлечению муки лучшего качества и увеличению общего выхода муки высоких сортов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов П. Г., Скорости парения и коэффициент обтекания продуктов дробления зерна. Труды Одесского технологического института имени И. В. Сталина, т. II, 1948.
2. Дзядзио А. М., Эффективность ситовеек в зависимости от аспирируемых объемов воздуха, Диссертация, 1946.
3. Дрогалин К. В., Классификация частиц измельченной пшеницы по аэродинамическим свойствам, Труды ВНИИЗ, вып. № 24, 1952.
4. Куприца Я. Н., Физико-химические основы размола зерна, 1946.
5. Нохотович А. Я., Технологические исследования в области кондиционирования ржи, Труды Одесского технологического института им. И. В. Сталина, т. III, 1952.
6. Юрченко А. К., Освоение сортового помола ржи, Мукомольно-элеваторная промышленность, № 1, 1953.
7. Козьмин П. А. и др., Мукомольное производство, под ред. Куприца Я. Н., Заготиздат, 1940.
8. Технология мукомольного производства, под редакцией Куприца Я. Н., Заготиздат, 1952.
9. Mayer L. Roggenkonditionierung, Die Mühle, № 43, 1936.

Г. С. ЗЕЛИНСКИЙ, П. Н. ПЛАТОНОВ

ПЛОТНОСТЬ УКЛАДКИ ЧАСТИЦ СЫПУЧЕЙ СРЕДЫ¹

В работе предложен новый более точный метод определения основного параметра сыпучей среды — плотности укладки ее частиц в неподвижном и подвижном слое, установлены закономерности изменения плотности укладки частиц при формировании сыпучей среды и ее движении в шахте, дано объяснение физической сущности изменения плотности укладки частиц сыпучей среды.

Плотность укладки частиц сыпучей среды, как показывают исследования [Л. 1, 2, 3], относится к основному, если не к решающему, параметру, характеризующему ее физико-механические свойства.

Этот параметр оказывает существенное влияние на величину давления сыпучей среды на стенки сосуда, характеристику сил внутреннего и внешнего трения, гидродинамическое сопротивление слоя сыпучей среды и ряд других факторов.

Отсутствие обобщающих данных о характере изменения плотности укладки частиц сыпучей среды при различных условиях и достоверного метода ее определения в покое и в движении явились причиной проведения данного исследования.

1. Методика исследования

Количественную характеристику плотности укладки частиц сыпучей среды — коэффициент плотности укладки K — можно выразить отношением:

$$K = \frac{Y_c}{Y_{об}} = \frac{\gamma_{об}}{\gamma_{уд}} = 1 - m, \quad (1)$$

где Y_c — объем частиц, находящихся в объеме среды $Y_{об}$;

$\gamma_{об}$ — объемный вес сыпучей среды в данном объеме сосуда;

$\gamma_{уд}$ — удельный вес частиц сыпучей среды;

m — коэффициент пористости среды ($m = \frac{Y_n}{Y_{об}}$, где Y_n — объем пор).

¹ Статья содержит материалы исследования, выполненного в лаборатории механики сыпучей среды Одесского технологического института им. И. В. Сталина Зелинским Г. С. под руководством Платонова П. Н.

Величина коэффициента плотности укладки при равномерной укладке частиц по всему объему среды определяется из уравнения (1).

В общем же случае величина коэффициента плотности укладки сыпучей среды с большой точностью может быть определена методом аэродинамического сопротивления ее слоя.

Аэродинамическое сопротивление слоя сыпучей среды H_{nm} выражается [Л. 4] уравнением:

$$H_{nm} = \lambda \frac{l}{d_{экс}} \frac{6 \omega K}{(1-K)^3} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (2)$$

где l — толщина слоя сыпучей среды;

$d_{экс}$ — эквивалентный диаметр частиц (диаметр шара, объем которого равен объему частицы);

ω — коэффициент формы частиц (отношение площади поверхности частицы к площади поверхности шара, диаметр которого равен эквивалентному диаметру).

ρ — плотность воздуха;

v — скорость фильтрации воздуха в слое;

λ — коэффициент гидродинамического сопротивления слоя,

$$\lambda = \frac{A}{Re^n},$$

где

$$Re = \frac{v d_{экс}}{\nu} \frac{1}{6 \omega K}, \quad (3)$$

ν — кинематическая вязкость воздуха;

A, n — коэффициенты, зависящие от режима фильтрации.

Относительное аэродинамическое сопротивление слоя сыпучей среды равно

$$\frac{H_{nm}}{l} = \frac{\lambda}{d_{экс}} \frac{6 \omega K}{(1-K)^3} \frac{\rho v^2}{2}.$$

Для данной сыпучей среды ($d_{экс} = \text{const}$, $\omega = \text{const}$) и постоянной скорости фильтрации сопротивление слоя является функцией только коэффициента плотности, т. е.

$$\frac{H_{nm}}{l} = f(K) \quad (4)$$

Уравнение (4) позволяет находить плотность укладки частиц сыпучей среды в слое по величине относительного аэродинамического сопротивления, так как незначительному изменению коэффициента плотности, даже в четвертом знаке, соответствует существенное изменение величины $\frac{H_{nm}}{l}$, определяемое с большой точностью существующими приборами.

Величина коэффициента плотности укладки данной сыпучей среды определяется при помощи графиков, построенных для конкретной среды и различных величин скорости фильтрации (рис. 1).

При переменной плотности укладки частиц по высоте сосуда коэффициент плотности K_i определяется для слоя толщиной l_i , при этом погрешность определения коэффициента плотности в i -том слое будет тем меньше, чем меньше его высота, а относительная ошибка величины коэффициента плотности вычисляется из уравнения:

$$\Delta\sigma/\sigma = \frac{K_{cp} - K_{эка}}{K_{cp}} 100\% \quad (5)$$

где K_{cp} — величина коэффициента плотности, определенная из уравнения (1);

$K_{эка}$ — эквивалентный коэффициент плотности укладки, определяемый на основании опытных данных при помощи графика или уравнения (4).

В случае переменной плотности укладки по поперечному сечению сосуда коэффициент плотности K_i определяется на i -той площадке как $K_{эка}$.

2. Описание экспериментальной установки

Для определения коэффициента плотности укладки частиц сыпучей среды применялась экспериментальная установка (рис. 2), состоящая из шахты 1 со стеклянными стенками, загрузочного бункера 2, вентилятора 3, воздуховода 4 с задвижкой 5 для регулирования количества просасываемого через шахту воздуха и измерительной диафрагмы 6 для определения объемов воздуха, протекающего через шахту. Дно шахты 7 (из штампованного сита $1,5 \times 20$ мм) имело выпускное отверстие в центре. В боковой стенке шахты на расстоянии 100 мм друг от друга устанавливались штуцера для ввода в шахту шупов давления 8.

Опыты по определению коэффициента плотности укладки проводились в следующей очередности: в шахту через крышку загрузочного бункера засыпалась сыпучая среда с той или иной плотностью укладки частиц; затем крышка бункера герметически закрывалась; включался вентилятор, и при помощи задвижки 5 и измерительной шайбы 6 устанавливался требуемый режим фильтрации воздуха в шахте.

При помощи шупов, вводимых через штуцера на различной высоте шахты, и микроманометров 9 определялась величина потери давления

H_{nm_i} в слое l_i . По известной величине $\frac{H_{nm_i}}{l_i}$ и графику (рис. 1) при

данной величине скорости фильтрации определялся коэффициент плотности укладки сыпучей среды. При определении коэффициента плотности сыпучей среды в потоке открывалось выпускное отверстие, рас-

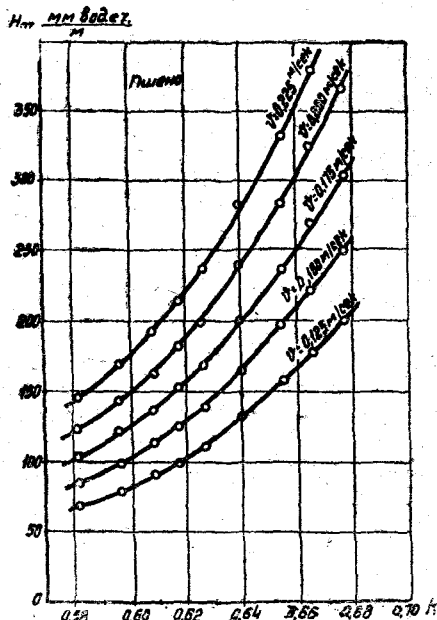


Рис. 1. Тарировочные зависимости

$$\frac{H_{nm}}{l} = f(K) \text{ при } v = \text{const.}$$

положенное в дне шахты (размер выпускного отверстия изменялся от 10×10 мм до 50×50 мм и определял скорость истечения, а следовательно, и скорость движения сыпучей среды в шахте), и включался вентилятор.

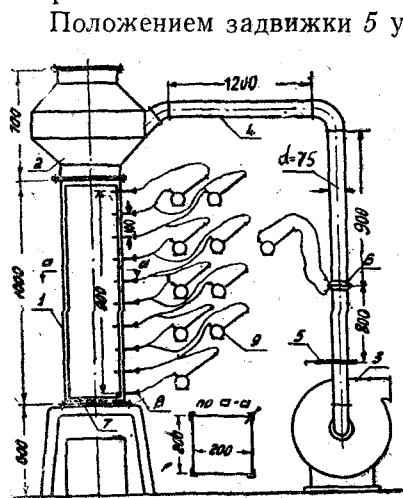


Рис. 2. Схема экспериментальной установки.

Положением задвижки 5 устанавливалась требуемая величина скорости фильтрации, после чего открывалось выпускное отверстие в дне шахты. После того, когда движение потока сыпучей среды являлось установившимся¹, производилось определение величины $H_{пт}$ в горизонтальных сечениях потока на различной высоте шахты.

При опытах с движущейся сыпучей средой коэффициент плотности укладки определялся при помощи графика (рис. 1) и по формуле (1), в которой величина $\gamma_{об}$ находилась

$$\gamma_{об} = \frac{q}{F u},$$

где q — весовая производительность истечения;

F — площадь поперечного сечения шахты;

u — скорость движения сыпучей среды в шахте (замерянная

во время опыта по движению поверхности среды).

В качестве опытного материала применялась сыпучая среда со следующими характеристиками (табл. 1).

Таблица 1

№ п/п	Наименование	Натуральный вес г/л	Абсолютный вес 1000 зер. в г.	Удельный вес г/см ³	Влажность, в %	Фракция	
						Сход с сита	Проход сита
1.	Пшеница	770	36,7	1,33	12,6	2х20	3,2х20
2.	"	730	39,0	1,32	16,3	"	"
3.	"	692	39,6	1,30	19,8	"	"
4.	"	685	41,5	1,29	22,6	"	"
5.	"	620	42,8	1,27	26,5	"	"
6.	Рожь	745	26,2	1,28	11,8	2х20	3,2х20
7.	Ячмень	760	39,8	1,29	12,0	3х20	3,8х20
8.	Кукуруза	718	219,0	1,31	13,8	6,2	10
9.	Гречиха	648	22,8	1,18	12,5	3,2х20	3,8х20
10.	Пшено	805	6,03	1,34	12,0	2,2	2,5
11.	Крупа чумизы	812	2,15	1,36	11,0	1,5	1,8

¹ Под установившимся потоком сыпучей среды понимаем такое ее движение, при котором отсутствует заметное относительное движение отдельных частиц.

При опытах отдельные параметры изменялись в широких пределах (таблица 2).

Таблица 2

№№ п/п	П а р а м е т р ы	Обоз- наче- ние	Размер- ность	Пределы изменения	
				от	до
1.	Скорость движения зерна в шахте .	u	м/сек	0,001	0,250
2.	Высота падения зерна в шахту . .	h	м	0,0	2,0
3.	Производительность истечения за- грузки зерна, отнесенная к едини- це площади сечения шахты	q'	$\frac{г}{сек \cdot см^2}$	0,016	0,350
4.	Высота слоя зерна	l	м	0,1	1,0

Для определения погрешности найденной величины коэффициента плотности укладки применялся метод наименьших квадратов. При этом относительная вероятная ошибка при всех принятых значениях скорости движения потока не превышала $\pm 1,5\%$. Для всех других случаев погрешность определения величины коэффициента плотности находилась по формуле (5), причем, относительное отклонение $K_{ср}$ от $K_{экв}$ во всех случаях не превышало $\pm 6\%$.

3. Результаты экспериментального исследования

Опыты показывают, что на величину коэффициента плотности укладки сыпучей среды влияет целый ряд факторов, в том числе условия формирования сыпучей среды, состояние поверхности частиц, условия движения сыпучей среды и ряд других.

Условия формирования сыпучей среды определяют начальную величину коэффициента плотности укладки и могут ее изменять в значительных пределах.

Это изменение находится в тесной связи с числом контактов, приходящихся в среднем на одну частицу сыпучей среды. Нетрудно показать, что между плотностью укладки и числом контактов существует прямая зависимость.

Для того, чтобы частицы сыпучей среды образовали неизменяемую совокупность и были лишены подвижности, необходимо, чтобы на каждую частицу было наложено, как минимум, шесть связей. Так как в общем случае каждый контакт эквивалентен трем связям (одной связи одностороннего сжатия и двум связям трения), то наименьшее число контактов, приходящихся на одну частицу, будет равно двум (при четырех частицах в среднем, касающихся данной).

Если по каким-нибудь причинам одна из связей трения нарушается, то сохранение неподвижности частиц возможно только при наложении новой связи, что связано с включением нового контакта, а следовательно, и повышением плотности укладки сыпучей среды.

Выключение связей трения происходит при действии на частицы сыпучей среды динамической нагрузки. В зависимости от величины и продолжительности действия этой нагрузки можно полностью выключить все связи трения, заменив их связями одностороннего сжатия. Полное

выключение связей трения, при сохранении обязательных условий — отсутствия подвижности частиц среды, потребует наличие шести связей одностороннего сжатия — шести контактов, приходящихся в среднем на одну частицу, что влечет за собой уплотнение сыпучей среды, т. е. рост величины коэффициента плотности укладки ее частиц.

Таким образом, изменение плотности укладки частиц сыпучей среды в процессе ее формирования должно рассматриваться с позиций выявления причин, способствующих изменению числа контактов частиц сыпучей среды.

Так как в процессе формирования сыпучей среды на ее частицы могут действовать силы веса и инерционные силы — силы удара, то целе-

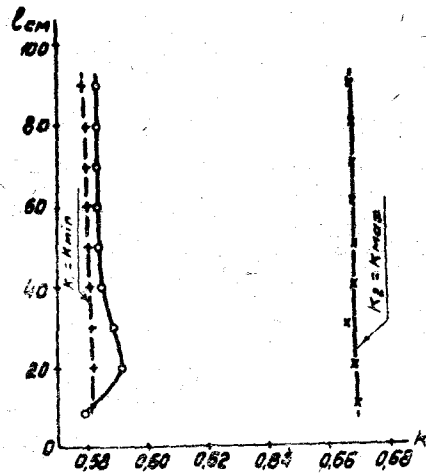


Рис. 3. Зависимость плотности укладки частиц пшена по высоте шахты от способов их загрузки. Загрузки:

а) гравитационная — + — струей с высоты $h=0$; о — перекачкой на себя с производительностью $q^1 = 0,3$ г/сек $см^2$; инерционная — x — дождем с высоты $h > h_{пр}$

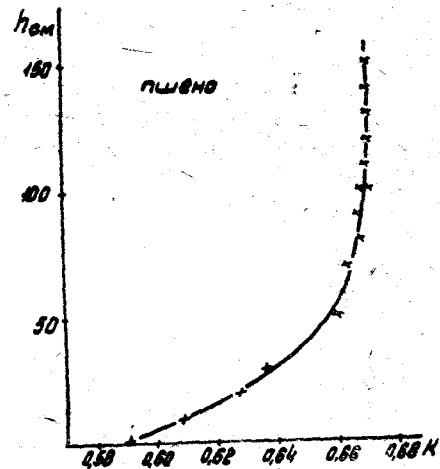


Рис. 4. Зависимость плотности укладки частиц от высоты их загрузки в шахту.

сообразным является рассмотрение двух способов укладки: инерционного, при котором силы удара несравнимо велики по сравнению с силой тяжести, и гравитационного, при котором силы тяжести значительно превышают по величине инерционные силы.

При гравитационном способе укладки, которому соответствует загрузка сосуда струей, падающей с незначительной высоты (близкой и равной нулю), динамические силы малы по сравнению с силами тяжести. Вследствие этого частицы, поступающие в сосуд, лишаются подвижности наложением на них связей одностороннего сжатия и трения при минимальном числе контактов, что соответствует минимальному значению величины коэффициента плотности укладки (рис. 3).

При инерционном способе укладки, которому соответствует загрузка сосуда сыпучей средой при высоте падения ее частиц, отличной от нуля, динамический фактор начинает оказывать свое влияние. Происходит уплотнение сыпучей среды за счет увеличения числа контактов ее частиц,

С увеличением высоты падения частиц энергия падающих частиц возрастает, возрастает влияние динамического фактора на плотность укладки частиц сыпучей среды (рис. 4). Влияние высоты падения наблюдается до тех пор, пока величина коэффициента плотности укладки не достигает своего максимально возможного значения для данных условий, после чего дальнейшее увеличение высоты падения не оказывает заметного влияния на уплотнение среды. Следовательно, существует некоторая предельная высота падения частиц сыпучей среды — $h_{пр}$, при которой их энергия по своей величине достаточна для частичного снятия связей трения и замены их связями одностороннего сжатия, что приводит к росту числа контактов частиц и связанному с этим уплотнению сыпучей среды.

Производительность загрузки сосуда сыпучей средой, как показал опыт, незначительно влияет на изменение величины коэффициента плотности укладки. Так, при увеличении производительности загрузки «струей» и «дождем»¹ в 30 раз величина коэффициента плотности укладки возросла только на 3%.

В зависимости от способа укладки и условий загрузки величина коэффициента плотности укладки частиц, по данным опыта, для некоторых зерновых культур приведена в таблице (таблица 3). Эти данные в первом приближении можно принимать для практических расчетов.

Пределы изменения плотности укладки зерна
(Влажность зерна 12,5—13,0%)

Таблица 3

№№ п/п	Сыпучая среда	Величина коэффициента плотности укладки	
		минимум	максимум
1.	Пшеница	0,580	0,635
2.	Рожь	0,560	0,630
3.	Гречиха	0,540	0,620
4.	Ячмень	0,495	0,595
5.	Кукуруза (зерно)	0,555	0,615
6.	Соя	0,565	0,625
7.	Пшено	0,595	0,640

Высказанное положение о механизме изменения плотности укладки частиц сыпучей среды подтверждается опытами с сыпучей средой, у которой изменялось состояние поверхности частиц и, следовательно, коэффициент внутреннего трения.

С ростом коэффициента внутреннего трения или сил сцепления связи трения становятся более устойчивыми и, как следствие этого, величина коэффициента плотности укладки уменьшается.

Сказанное подтверждается результатами опытов с пшеницей, у которой с увеличением влажности от 12,6% до 26,5% коэффициент внутреннего трения, определяемый через угол естественного откоса, возрос почти в два раза (от 0,61 до 1,18), а величина коэффициента плотности

¹ Загрузка «дождем» представляет собой подачу сыпучей среды в сосуд частями, равномерно падающими по всей площади поперечного сечения сосуда.

укладки при неизменных условиях загрузки, уменьшалась при гравитационной укладке на 19%, а при инерционной на 5,5% (рис. 5).

Иная картина изменения плотности укладки имеет место при движении сыпучей среды в сосудах.

Наличие относительного перемещения частиц среды при ее движении в сосуде создает благоприятные условия для замены одних видов связей другими (связи одностороннего сжатия связями трения или наоборот). При этом величина коэффициента плотности укладки частиц сыпучей среды, в результате частичного уплотнения или разрыхления,

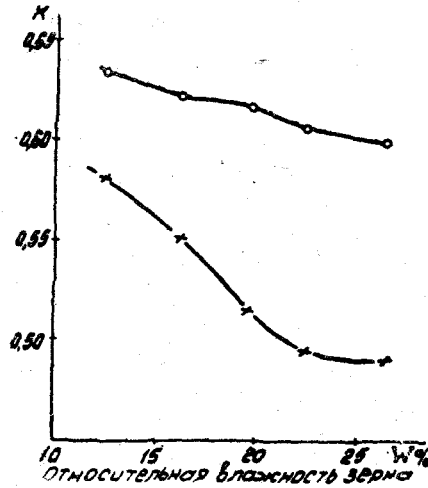


Рис. 5. Зависимость плотности укладки зерна пшеницы от относительной его влажности при гравитационной загрузке x и инерционной — o .

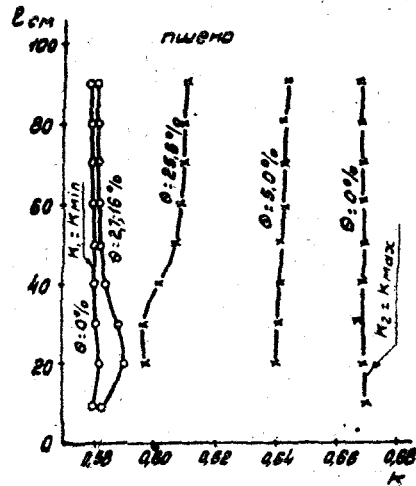


Рис. 6. Изменение плотности укладки частиц пшеницы по высоте шахты при выпуске из нее частиц.

стремится к некоторому постоянному для данной сыпучей среды значению $K_{кр}$, соответствующему «критической» плотности укладки [Л. 2., 7]. В зависимости от начальной плотности укладки процесс изменения плотности сопровождается ростом коэффициента плотности при рыхлой укладке, когда $K_{min} < K_{кр}$ или его уменьшением при первоначальной плотной укладке, когда $K_{max} < K$ (рис. 6).

Экспериментальное исследование процесса изменения плотности укладки сыпучей среды при ее движении в сосуде показало, что изменение величины коэффициента плотности укладки находится в прямой зависимости от относительного объема материала, выпущенного из сосуда:

$$\theta = \frac{Y_t}{Y_0}, \quad (6)$$

где Y_t — объем сыпучей среды, выпущенной из сосуда;

Y_0 — объем сыпучей среды до начала ее движения.

Как видно из приведенного графика (рис. 6), в случае рыхлой укладки (K_{min}) величина коэффициента плотности укладки изменяется незначительно. При первоначальной плотной укладке (K_{max}) с ростом θ величина коэффициента плотности укладки падает, приближаясь к некоторому его значению, соответствующему критической плотности. При

этом изменение плотности укладки практически происходит почти равномерно по всей высоте сосуда.

Если рассматривать изменение величины коэффициента плотности укладки в любом слое, расположенном над воронкой из неподвижных

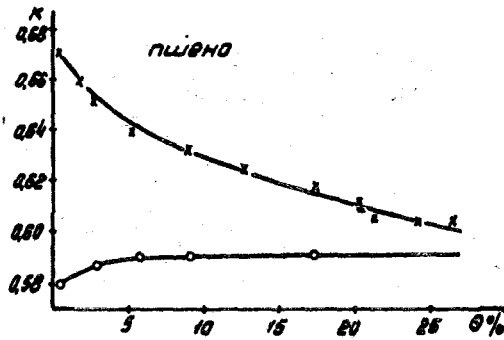


Рис. 7. Зависимость плотности укладки частиц от величины θ при различных начальных укладках.

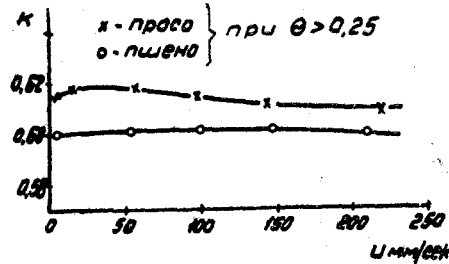


Рис. 8. Зависимость плотности укладки частиц пшеницы и проса от скорости их движения в шахте.

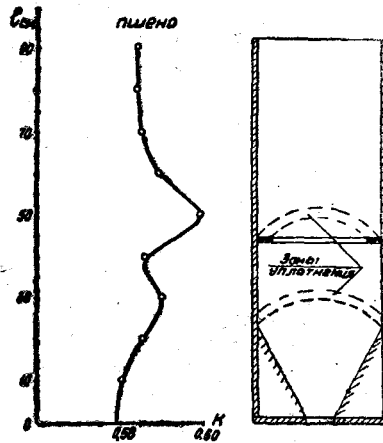


Рис. 9. Изменение укладки частиц пшеницы в зонах сужения потока сыпучей среды.

зерен, образующейся в сыпучей среде при ее выпуске из отверстия в дне сосуда, то это изменение подчинено определенному закону, характеризующему процесс изменения плотности сыпучей среды (рис. 7).

Как видно из приведенного графика, независимо от первоначальной плотности величина коэффициента плотности укладки частиц сыпучей среды с ростом θ приближается к своему критическому значению, достигая этого значения при $\theta > 0,25$. При этом характерно то, что изменение скорости движения потока сыпучей среды, как и производительность истечения из сосуда, в большом диапазоне не оказывает заметного влияния на эту закономерность (рис. 8).

Исследование показало, что величина плотности укладки движущейся сыпучей среды в сосуде может быть, в известных пределах, регулируема за счет изменения условий движения потока.

Если создать условия, при которых происходит сужение потока (установка диафрагмы в потоке, образование воронки у выпускного отверстия), в местах сужения происходит местное уплотнение (рис. 9).

4. Выводы

1. Предложенный метод определения плотности укладки частиц сыпучей среды по величине аэродинамического сопротивления слоя частиц является более точным, чем ранее известные методы, и может применяться для определения плотности укладки частиц при неподвижном и подвижном слое сыпучей среды.

2. При формировании сыпучей среды гравитационной укладкой частиц величина плотности укладки будет наименьшей, а при инерционной укладке плотность укладки увеличивается до наибольшего значения прямо пропорционально росту сил инерции частиц в момент образования сыпучей среды.

3. Плотность укладки частиц сыпучей среды при установившемся ее движении равна «критической» плотности, величина которой постоянна для данной сыпучей среды.

4. Величина «критической» плотности несколько больше (на 2—3%) наименьшей плотности укладки частиц сыпучей среды.

5. Местное сужение потока сыпучей среды вызывает заметное повышение коэффициента плотности укладки частиц в зоне этого сужения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн М. С., Иммерман Л. Г., О статических свойствах несвязного сыпучего тела в предельном равновесии. Массивные и стержневые конструкции. Госиздат литературы по строительству и архитектуре, 1952.
2. Герсеванов Н. М., Польшин Д. Е., Теоретические основы механики грунтов и их практические применения, Стройиздат, 1948.
3. Дрогалин К. В., К вопросу о вентилировании зерновых масс, Мукомолье № 1 и № 5, 1937.
4. Зелинский Г. С., Платонов П. Н., Аэродинамическое сопротивление слоя зерна. Труды ОТИ, т. IX, 1958.
5. Зенков Р. Л., Механика насыпных грузов. Гостехиздат машиностроительной литературы, 1952.
6. Иммерман А. Г., Экспериментальное исследование плотности сыпучего тела, Сборник трудов научно-исследовательского института по строительству, № 1, 1949.
7. Сидоров Н. Н., Некоторые результаты исследования критической пористости песков. В книге: «Новое в области оснований гидросооружений», Лениздат, 1955.

А. В. АНАТОЛЬЕВ, П. Н. ПЛАТОНОВ

МЕХАНИЗМ ПЕРЕДАЧИ УСИЛИЙ В ИДЕАЛЬНОЙ СЫПУЧЕЙ СРЕДЕ

В работе описан механизм передачи усилий в идеальной сыпучей среде, возникающий вследствие предварительного смещения частиц среды и сопутствующего ему явления, подобного сводообразованию.

Определение усилий, действующих как в идеальной сыпучей среде, так и на поверхности, ее ограничивающие, с помощью методов, применяемых для твердых тел, дает результаты, не совпадающие с фактически наблюдаемыми. Герсеванов Н. М. [Л. 1] объясняет это тем, что механика сыпучих сред, в отличие от сплошных тел, опирается на значительно более широкую физическую базу. Наличие между соседними частицами сыпучей среды только сил одностороннего сжатия и трения, делает эту среду с механической стороны отличной от среды твердого тела. Модель механизма передачи усилий в сыпучей среде остается до настоящего времени не выясненной. Поэтому, физическая сторона явлений, происходящих в сыпучей среде,— представление о модели механизма передачи усилий в сыпучей среде, является одной из первоочередных задач механики сыпучих сред.

1. Определение идеальной сыпучей среды

Существенные расхождения между данными теории и практики при определении давления сыпучей среды на дно и стены глубокого цилиндрического сосуда можно объяснить отсутствием правильного представления о физико-механических свойствах сыпучей среды и механизме передачи давления.

Существующее определение идеальной сыпучей среды, как совокупности мелких частиц, занимающих определенный объем и связанных между собою силами одностороннего сжатия и трения [Л. 2], является неполным.

Исходя из представления о сыпучей среде как о механической смеси, оно не выявляет физической стороны явлений, не раскрывает играющей важную роль механизма передачи усилий в сыпучей среде.

В настоящей статье изложены результаты диссертационной работы Анато́льева А. В., научный руководитель Платонов П. Н.

Передача усилий в сыпучей среде происходит через точки контакта ее частиц. Не трудно видеть, что при этом каждая обособленная частица представляет собой отдельное звено сложной кинематической цепи. На каждую отдельно взятую частицу сыпучей среды, представляющую собой достаточно прочное тело и испытывающие частично упругие, частично пластические микродеформации, наложены связи одностороннего сжатия и трения. Это позволяет, пользуясь общепринятой классификацией [Л. 3], соседние частицы среды отнести к кинематическим парам, которые, при определенных условиях, под действием объемных и реактивных сил замыкаются в сложную кинематическую цепь, определяющую собой механизм передачи усилий в сыпучей среде.

Исходя из сказанного, можно расширить существующее определение идеальной сыпучей среды, отразив полнее ее физико-механические свойства.

Идеальная сыпучая среда — совокупность твердых частиц, образующих кинематические пары, которые под действием объемных и реактивных сил замыкаются в сложную кинематическую цепь, определяющую механизм передачи усилий.

Рассматривая идеальную сыпучую среду, как сложную кинематическую цепь, условия замыкания этой цепи необходимо рассматривать, исходя из основных законов трения.

В науке о трении известно [Л. 4], что всякие перемещения между двумя трущимися парами связаны с изменением силы трения и неизбежно с микроскопическим изменением конфигурации трущихся тел, локализованным в поверхностных слоях, в пределах контурной площади соприкосновения.

В зависимости от величины относительного смещения и сдвигающего усилия между трущимися парами различают:

а) неполная сила трения покоя — сила трения, соответствующая очень малым, частично обратимым перемещениям, величина которых пропорциональна приложенной силе. Перемещение, соответствующее неполной силе трения, называется предварительным смещением;

б) полная сила трения покоя (которую обычно называют просто силой трения покоя) — сила трения, соответствующая предельной величине предварительного смещения, при котором предварительное смещение переходит в относительное;

в) сила трения движения — сила трения, соответствующая очень большим необратимым относительным перемещениям, величина которых не зависит от приложенной силы.

Если к покоящемуся на твердой поверхности телу приложить сдвигающую силу, равную по величине неполной силе трения, то возникает лишь деформирование в области соприкосновения двух тел, которое перейдет в скольжение лишь в том случае, если сила будет равна полной силе трения покоя. Это явление называется предварительным смещением.

2. Рабочая гипотеза о сводообразовании в сыпучей среде

Рассмотрим плоскую осисимметричную задачу. Идеальная сыпучая среда ограничена только с одной стороны плоскостью, поверхность ко-

торой обладает постоянной шероховатостью и жесткостью во всех точках (рис. 1).

Удельная нагрузка по поверхности постоянна и равна N . На плоскости выделим конечных размеров площадку ω , совершающую поступательное движение вниз, при котором не нарушается контакт между поверхностью площадки и сыпучей средой.

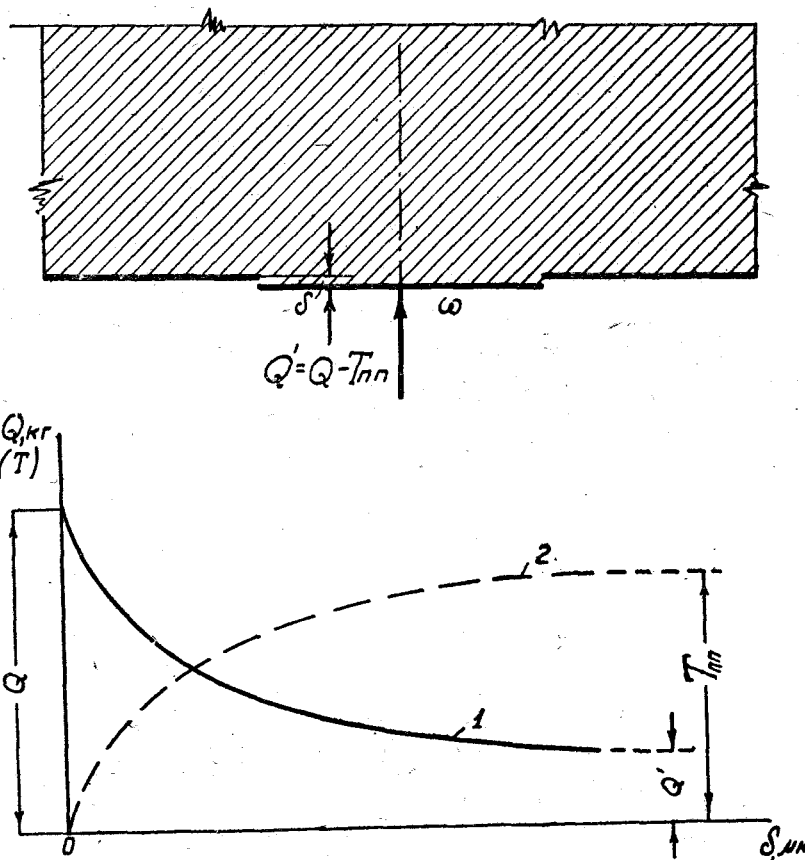


Рис. 1. Изменение сил при смещении площадки ω :
 1 — кривая изменения сил, действующих на площадку; 2 — кривая изменения сил трения между частицами сыпучей среды.

С началом перемещения площадки ω связи в области соприкосновения частиц сыпучей среды начнут деформироваться и, как следствие этого, неполные силы трения покоя возрастут до полных сил трения покоя. Это произойдет при перемещении площадки ω на некоторую величину δ . Если до начала смещения площадки ω нагрузка на нее была $Q = \omega N$, то после ее смещения на величину δ нагрузка на нее будет $Q' = Q - T_{пп}$, где $T_{пп}$ — сумма проекций на ось oo' полных сил трения покоя между частицами сыпучей среды, расположенными над площадкой ω . Изменение величины нагрузки на площадку выразится некоторой кривой (рис. 1), закон изменения которой обратно пропорциональный изменению силы трения между частицами сыпучей среды.

При смещении площадки ω условия равновесия в сыпучей среде будут изменяться, и когда смещение достигнет величины δ , сдвигающее усилие S не сможет быть уравновешено силами трения покоя $F_{пп}$. Произойдет сдвиг в сыпучей среде по линии $n-n'$ под углом обрушения $\varphi_{пп}$ (рис. 2).

Следует полагать, что всем промежуточным положениям площадки ω при ее смещении δ_i , удовлетворяющему условию $0 < \delta_i < \delta$ отвечают сдвигающие усилия, уравновешиваемые неполными силами трения покоя $F_{пп}$, направление которых определится углами $\varphi_{пп} < \varphi_{пп}$ и со-

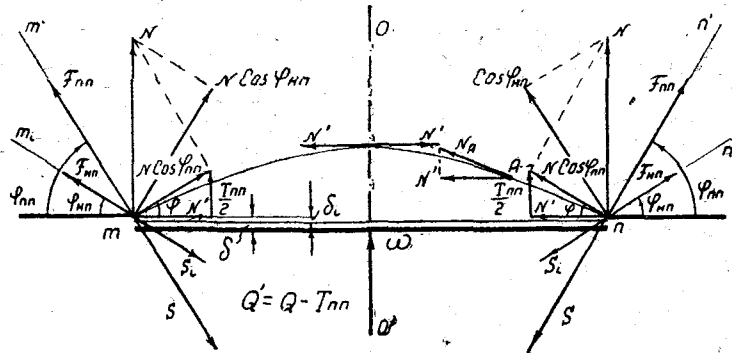


Рис. 2. Условия равновесия площадки.

ответствующие нормальные силы, величина которых определится как $N \cos \varphi_{пп}$.

В каждом отдельном случае величина нормальной силы к поверхности сдвига есть среднестатистическая сумма векторов нормальных сил к касательной, проведенной через точку контакта между частицами сыпучей среды.

Действительно, при формировании структуры сыпучей среды взаимное расположение частиц оказывается таким, при котором между частицами B , расположенными на одной прямой, может вклиниться вышележащая частица C (рис. 3). Вес частицы C и вес вышележащих частиц, воспринимаемый ею, — G_0 в точке контакта O вызывает сдвигающее усилие S_0 и нормальную силу N_0 . Сдвигающее усилие S_0 уравновешивается силой трения $F_{0пп}$.

Проекция силы N_0 на горизонталь определяет величину возникающего распора N'_0 .

Таким образом, при всех возможных перемещениях площадки ω , δ_i в пределах $0 < \delta_i < \delta$ будет иметь место приращение неполных сил трения покоя. Приращение неполных сил трения покоя будет происходить до тех пор, пока они не окажутся равными силам трения покоя $F_{пп}$, что будет соответствовать началу необратимых перемещений.

Следовательно, с началом перемещения площадки ω на сыпучую среду, расположенную над ней, будет действовать сила $N \cos \varphi_{пп}$, направление которой, после смещения площадки ω на величину δ , определяется углом $\varphi = \frac{\pi}{2} - \varphi_{пп}$.

Сила $N \cos \varphi_{пп}$ есть равнодействующая сил, возникающих между частицами сыпучей среды. Силы $N' = N \cos \varphi_{пп} \cos \varphi$ или распор и сила $\frac{T_{пп}}{2}$ являются горизонтальной и вертикальной составляющей силы $N \cos \varphi_{пп}$.

Принимаем, что в сыпучей среде величина вертикальной составляющей силы трения между частицами убывает по мере удаления частиц от неподвижной плоскости в направлении к оси симметрии,

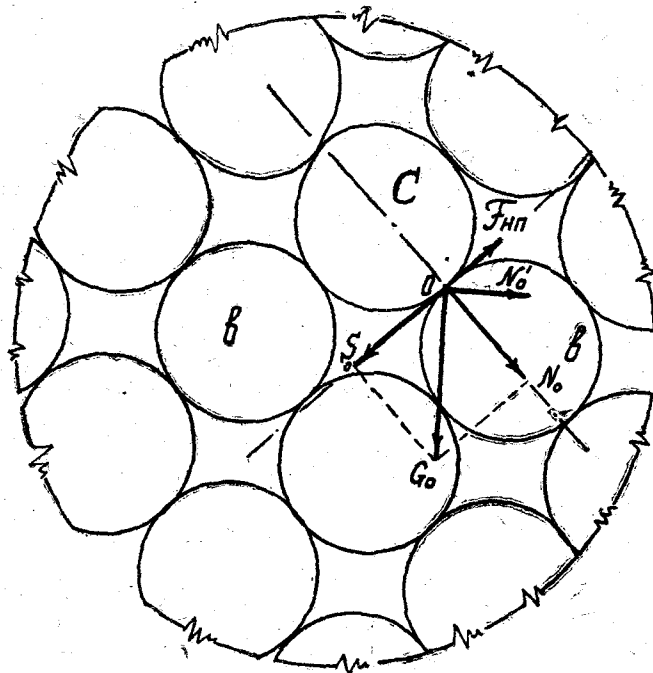


Рис. 3. Силы в контакте частиц сыпучей среды.

при этом сумма этих сил остается равной силе $T_{пп}$. В силу осевой симметрии распор N' своей величины не изменяет, поэтому в произвольной точке A направление силы, действующей на сыпучую среду N_A , будет определяться углом $\varphi_A < \varphi$.

На оси oo' отсутствует относительное смещение между частицами сыпучей среды, и они окажутся сжатыми силой распора N' , что может иметь место только при замыкании кинематических пар подобно своду.

Из сказанного следует, что при перемещении площадки ω на некотором ее пути δ в сыпучей среде происходит явление, подобное сводобразованию, такое явление, при котором частицы сыпучей среды, образующие кинематические пары, под действием силы тяжести и сил реакции замыкают кинематическую цепь и образуют конструкцию подобно своду, воспринимающую определенные нагрузки вышележащих слоев.

Очертание образовавшегося «свода» может быть получено соединением концов векторов сил взаимодействия между частицами сыпучей

среды. Полученная при этом линия есть ничто иное, как линия передачи распора, которую условимся называть линией давления.

Таким образом, в сыпучей среде переход неполной силы трения покоя к полной силе трения покоя связан с образованием конструкции, обладающей определенной несущей способностью, и в силу этого сыпучая среда приобретает новые механические свойства. При этом переходе одновременно с изменением величины неполной силы

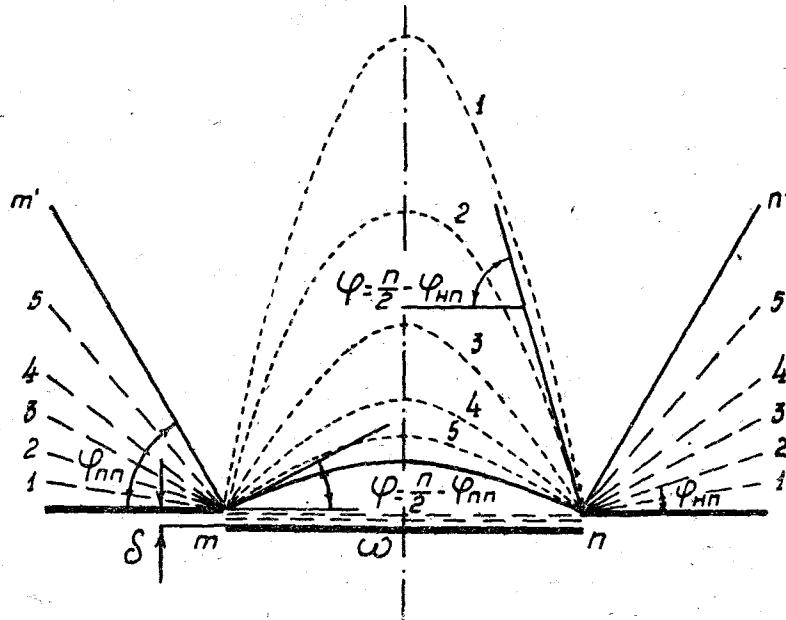


Рис. 4. Изменение кривизны линии давления.

трения покоя, в пределах $0 < F_{нп} < F_{пп}$ изменяется и угол $\varphi_{нп}$ в области $0 < \varphi_{нп} < \varphi_{пп}$. Как следствие изменения величины угла $\varphi_{нп}$ меняется и кривизна линии давления (рис 4).

Аналогичный процесс замыкания кинематической цепи (явление подобное сводообразованию) имеет место при загрузке идеального сыпучего в глубокий¹ цилиндрический сосуд. Под действием сил собственного веса и реактивных сил со стороны стен сосуда происходит деформация связей (деформирование в области контактов) между частицами внутри среды и одновременно между частицами и стеной сосуда.

Следовательно, по мере увеличения высоты столба сыпучей среды до некоторой предельной высоты $h_{п}$ неполные силы трения покоя между частицами, а также между частицами и стеной сосуда, будут возрастать до полных сил трения покоя, т. е. будет происходить явление предварительного смещения и сопутствующее ему явление сводообразования. Кривизна линий давления в пределах высоты от 0 до $h_{п}$ будет изменяться (рис. 5а). Начиная с высоты $h_{п}$ и выше до высоты H непрерывному смещению слоев (вследствие деформации нижележащих слоев) будет непрерывно сопутствовать сводообразование.

¹ Под глубоким цилиндрическим сосудом мы имеем в виду такой сосуд, у которого высота в несколько раз больше наибольшего размера его поперечного сечения.

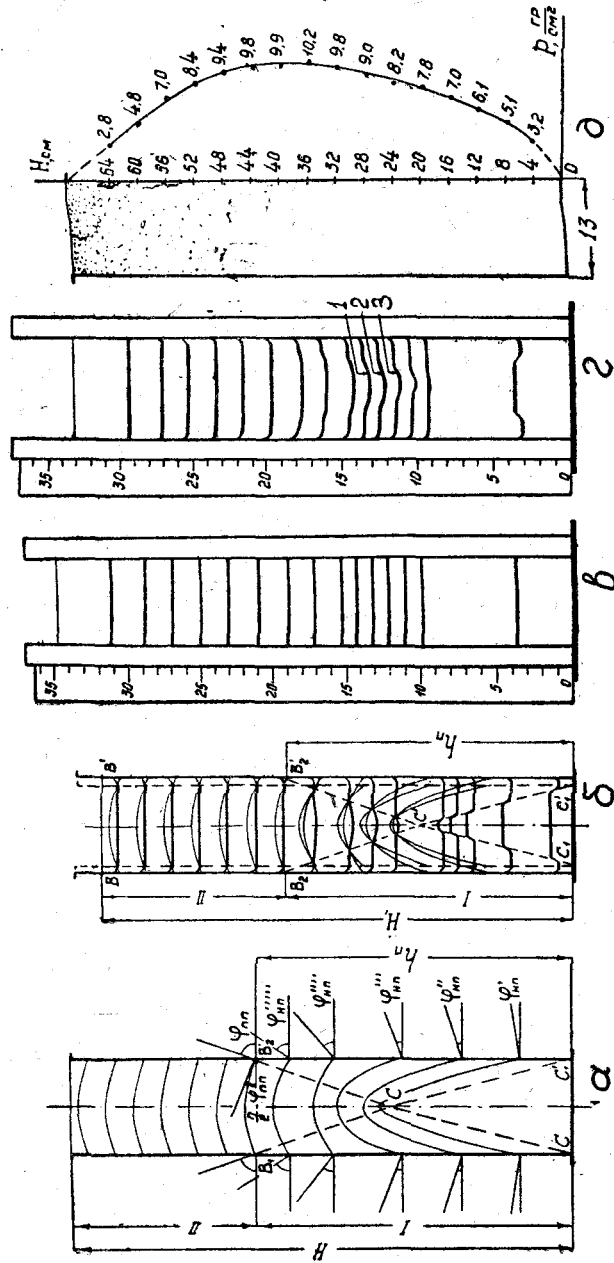


Рис. 5. Сферообразование в глубоком цилиндрическом сосуде.
 а — схема сферообразования; б — предполагаемая (после раздвижки стен) картина смещения в столбе сыпучей среды; б' — фактическая картина столба сыпучей среды до раздвижки стен; в — фактическая картина после осыпания; в' — изменение нормального давления на датчик, установленный в стене при изменении его положения в пределах высоты стены сосуда.

Так как условия сводообразования на высоте, превышающей $h_{\text{п}}$, неизменны, то неизменным будет и кривизна линий давлений.

3. Экспериментальная проверка рабочей гипотезы

Экспериментальная проверка рабочей гипотезы состояла в создании необратимых-относительных перемещений частиц сыпучей среды при одновременном измерении нормальных давлений на стены. Для

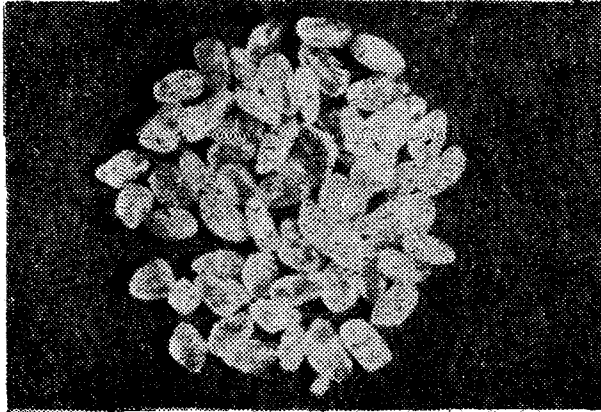


Рис. 6. Частицы песка, увеличенные в 20 раз.

этой цели был применен глубокий сосуд прямоугольного сечения с плоским дном, у которого две стенки перемещались, оставаясь параллельными друг к другу. Для наблюдения за сыпучей средой две другие стенки сосуда были стеклянными.

Установка позволила создать условия, подобные плоской осесимметричной задаче, поскольку с началом перемещения стен изменение в направлении и величине сил, действующих в сыпучей среде, происходит в одной плоскости, а совершаемые относительные перемещения частиц можно рассматривать, как следствие этих изменений.

Наблюдение за относительными необратимыми смещениями частиц производилось при помощи закрашенных слоев. Сосуд засыпался привольским кварцевым песком — ГОСТ 6139-52 (рис. 6).

Однородность структуры сыпучей среды по слоям достигалась путем засыпки «дождем» через сито.

Горизонтальное давление (относительная величина) измерялась датчиком, закрепленным в одну из перемещаемых стенок. При перемещении датчика в пределах высоты сосуда его положение относительно плоскости стены не изменялось. Показания датчика фиксировались осциллограммой.

В соответствии с рабочей гипотезой, при раздвижке стен, закрашенные слои, расположенные выше некоторой высоты $h_{\text{п}}$, останутся горизонтальными, поскольку на этой высоте и выше ее от слоя к слою кривизна линии давлений не изменяется. На высоте от 0 до $h_{\text{п}}$, в сыпучей среде должен произойти сдвиг (обрушение) по линиям, соединяющим точки, где силы трения между частицами достигли величины

гольных сил трения покоя — линии BV_1CC_1 и симметрично $B'V_1CC_1$ (рис. 5,а).

На участке между линиями сдвига B_1C и симметрично B'_1C частицы придут в относительное движение, вследствие чего закрашенные слои не должны будут оставаться горизонтальными.

Учитывая сплошность сыпучей среды и ее неразрывность во время раздвижки стен, следует при этом ожидать, что изменение структуры среды и кривизны линий давлений будут непрерывны.

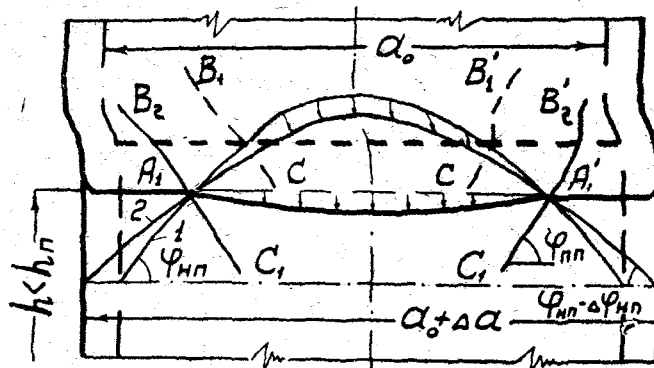


Рис. 7. Изменение кривизны линий давления в горизонтальном слое:

1 — до раздвижки стен; 2 — после раздвижки стен.

Для некоторого слоя среды, расположенного в пределах высоты $h < h_{np}$ линия давления до раздвижки стен — 1, после раздвижки примет положение 2 (рис. 7).

Рассматривая горизонтальный закрашенный слой, проведенный через две точки A и A' , принадлежащие обеим кривым линиям давлений, можно видеть, что его частицы при совместном движении вниз совершат разные необратимые перемещения. Их перемещения будут равны разнице ординат соответствующих линий давлений. Вследствие этого, закрашенные горизонтальные слои на участке между линиями сдвига B_1C и симметрично B'_1C соответственно искривятся. Закон изменения кривой закрашенного слоя можно рассматривать как закон изменения линии давления. На рис. 5 показана фактическая картина столба сыпучей среды до раздвижки (рис. 5,в), предполагаемая, на основании гипотезы о сводообразовании, картина смещения после раздвижки стен (рис. 5,б) и фактическая картина смещения после раздвижки стен (рис. 5,г).

Искривленные слои 1, 2, 3 (рис. 5,г) были увеличены и обработаны для установления закона их изменения. С точностью, не превышающей 5% вероятной ошибки, было установлено, что кривые соответствуют закону квадратной параболы.

Полученная закономерность позволяет определить высоту линии давления. Так если x и y — текущие координаты, b — высота линии давления и a — ширина сосуда, то (рис. 8):

$$\frac{2b}{a} = \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{np} \right), \quad (1)$$

откуда высота линии давления

$$b = \frac{a}{4} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{\text{пп}} \right). \quad (2)$$

Измерение нормального давления на датчик в пределах высоты стены показало, что давление возрастает, начиная от твердого дна¹ и на высоте $h_{\text{п}}$ принимает максимальное значение (рис. 5,д).

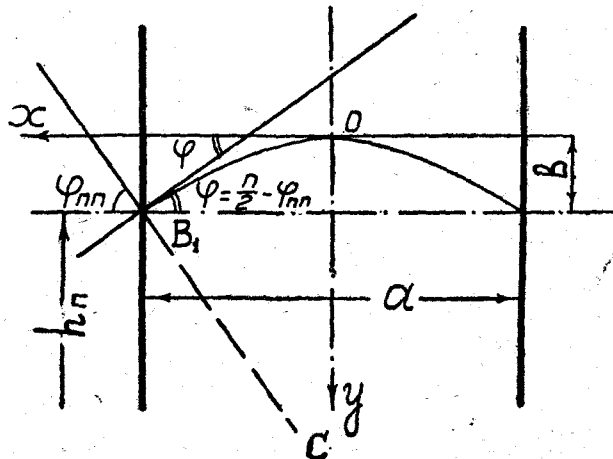


Рис. 8. Линия давления в горизонтальном слое сыпучей среды.

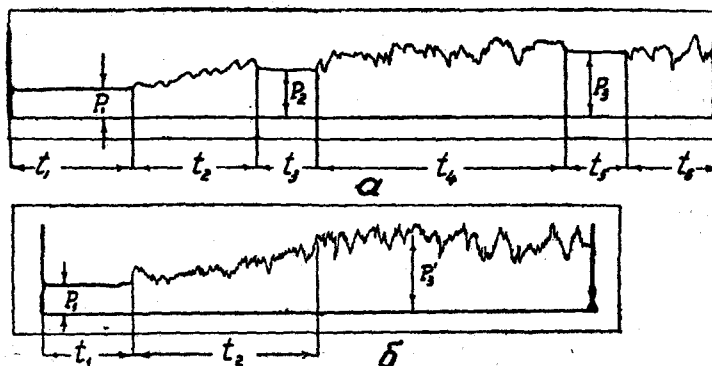


Рис. 9. Осциллограммы нормального давления на датчик, установленный в стене сосуда:
а — при раздвижке и выпуске; б — при выпуске без предварительной раздвижки стен.

Вместе с тем, при раздвижке стен, нормальное давление на них в пределах высоты от 0 до $h_{\text{п}}$ возрастает.

Если после раздвижки стен производить выпуск через отверстие в центре дна, то рост давления продолжается только в пределах высоты

¹ Твердое дно — такое дно, которое не совершает перемещения от нагрузки сыпучей среды.

о до h_{Π} . Это соответствует нашим предположениям, ибо рост давления должен продолжаться до тех пор, пока между частицами сыпучей среды у стены сосуда силы трения возрастут до полных сил трения покоя, т. е. пока не произойдут необратимые смещения относительно стен сосуда и начнется движение всем столбом. Действительно, опыт показывает, что давление растет до тех пор, пока не прекращается искривление закрашенных слоев и не происходит сдвиг относительно стен.

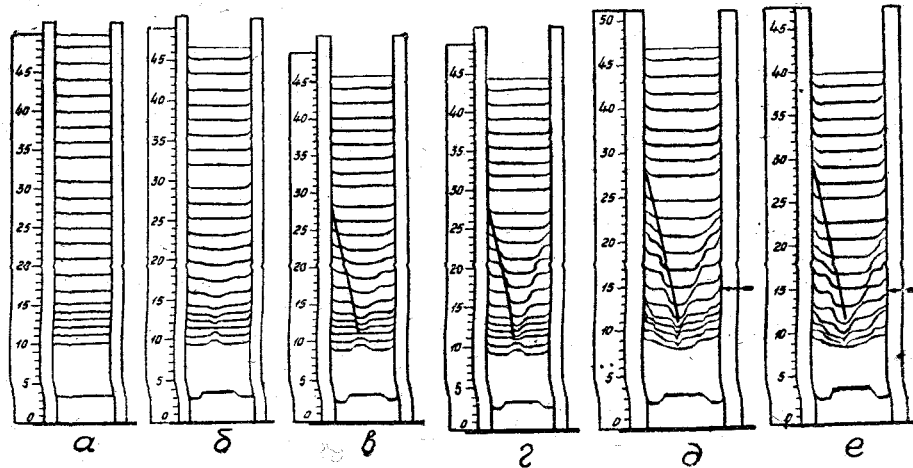


Рис. 10. Картина необратимых смещений закрашенных частиц столба сыпучей среды во время опыта:

а — до раздвижки стен; б, в — после раздвижки стен; г, д, е — в процессе выпуска.

На рис 9-а показана осциллограмма нормального давления на датчик, установленный в стене сосуда на высоте $\frac{h_{\Pi}}{2}$. Размер столба сыпучей среды до раздвижки стен — 70x70x500 мм.

Участки осциллограммы:

t_1 — время после окончания засыпки сосуда, — давление P_1 (см. фактическую картину столба сыпучей среды рис. 10,а);

t_2 — время раздвижки стен (см. отдельные моменты раздвижки стен — рис. 10,б, в);

t_3 — время ожидания после раздвижки и до открытия выпускного отверстия, — давление P_2 (см. рис. — 10,в).

Линии обрушения после раздвижки стен обозначены наклеенной на стекло полоской черной бумаги).

t_4 — время выпуска частиц (см. рис. 10, г — дальнейшее искривление закрашенных слоев и рис. 10,д — момент необратимых смещений относительно стен);

t_5 — выпуск частиц не производится, — давление P_3 ;

t_6 — снова происходит выпуск частиц (см. рис. 10,е).

Также наблюдается рост давления на стену сосуда в пределах высоты от $\frac{h_{\Pi}}{2}$ до h_{Π} , в начале выпуска частиц из отверстия в центре

дна сосуда, если выпуск частиц происходит без предварительной раздвижки стен. На рис. 9,б показана осциллограмма нормального давления на датчик, установленный в стене сосуда на высоте $\frac{h_{II}}{2}$.

Размер столба сыпучей среды до раздвижки стен 70x70x500 мм.

Участки осциллограммы:

t_1 — время после окончания засыпки сосуда, — давление P_1 ;

t_2 — время выпуска частиц и соответственно рост давления на датчик до величины P_2' .

Таким образом, сопоставляя картину необратимых перемещений с изменением нормальных давлений на стену сосуда, можно судить о справедливости наших предположений.

Выводы

1. В идеальной сыпучей среде, при возрастании объемных и реактивных сил, явлению предварительного смещения частиц сопутствует явление, подобное сводообразованию.

В этом следует видеть объяснение модели механизма передачи усилий в идеальной сыпучей среде.

2. Во время загрузки и образования столба сыпучей среды в глубоком цилиндрическом сосуде, вследствие явления предварительного смещения между частицами и сопутствующему ему явлению сводообразования, горизонтальные давления по высоте стены возрастают, начиная от твердого дна. Высота, на которой давление принимает максимальное значение, определяется уравнением:

$$h \leq h_{II} = a \operatorname{tg} \varphi_{III},$$

где a — наибольший размер поперечного сечения сосуда.

3. Линии давления в идеальной сыпучей среде представляют собой квадратные параболы. Высота этих парабол после предварительного смещения может быть определена уравнением:

$$b = \frac{a}{4} \operatorname{tg} \left(\frac{\pi}{2} - \varphi_{III} \right),$$

где a — размер сечения сосуда или отверстия на поверхности в плоскости кривой линии давления.

4. Наблюдаемое, в начале истечения через отверстие в дне сосуда, повышение давления на стены — есть следствие явления предварительного смещения между частицами сыпучей среды и сопутствующего ему явления сводообразования.

ЛИТЕРАТУРА

1. Герсеванов Н. М., Известия АН СССР, ОТИ, 1950.
2. Бернштейн М. С., Иммерман А. Г., Исследования. Массивные и стержневые конструкции. Стройиздат, 1952.
3. Артоболевский И. И., Курс теории механизмов и машин, Машгиз, 1946.
4. Крагельский И. В., Виноградов И. Э., Коэффициенты трения, Машгиз, 1955.

В. Г. ЛЕБЕДИНСКИЙ, П. Н. ПЛАТОНОВ

ХАРАКТЕР ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНОВОГО ПОТОКА ПРИ ОБТЕКАНИИ ТЕЛ РАЗЛИЧНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ¹

В работе приведены результаты экспериментального исследования характера движения потока сыпучей среды в сосуде при обтекании им тел различной формы, даются рекомендации по выбору рациональной формы поперечного сечения обтекаемых тел, а также рассматривается случай обтекания потоком ряда тел, образующих плоскую и пространственную решетки.

При конструировании рабочих органов машин и устройств, перерабатывающих сыпучие смеси, необходимо знать основные закономерности, характеризующие движение потока сыпучей смеси в условиях, когда его «смоченный» периметр равен полному периметру поперечного сечения сосуда. Такое движение, как правило, имеет место в вертикальных цилиндрических сосудах.

Настоящая работа посвящена исследованию одного из случаев такого движения, когда поток сыпучей смеси «обтекает» твердые тела различной формы, неподвижные по отношению к потоку.

В литературе этому вопросу посвящено небольшое исследование Брука и Глаголева [1, 2], относящееся к решению одного частного вопроса.

Исследование движения потока сыпучей смеси проводилось в вертикальной прямоугольной шахте размером в плане 220×220 мм, высотой 800 мм. Одна из стен шахты — стеклянная.

Движение потока создавалось путем выпуска зерна из отверстия, расположенного в дне сосуда.

Размер отверстия определял скорость движения потока. Величина скорости потока смеси изменялась от 0,06 мм/сек до 16 мм/сек. В качестве сыпучей смеси применялось зерно пшеницы, ячменя, крупа из чумизы и пшено.

Наблюдение за движением потока смеси в момент обтекания твердых тел производилось через стеклянную стенку, к которой со стороны

¹ Работа выполнена в лаборатории механики сыпучих тел Лебединским В. Г. под руководством Платонова П. Н.

потока крепились исследуемые твердые тела, различной формы, располагаемые в зоне установившегося движения потока¹.

Как показали исследования [Л. 2], установившееся движение потока сыпучей смеси, у которого «смоченный» периметр равен периметру поперечного сечения сосуда, носит пульсационный характер. Частота пульсации потока зависит от средней скорости его движения и с увеличением последней быстро возрастает, достигая величины, обнаруживаемой только специальными чувствительными вибрографами.

При обтекании потоком сыпучей смеси твердого тела, у которого лобовая часть очерчена плоскостью, нормальной к оси потока,

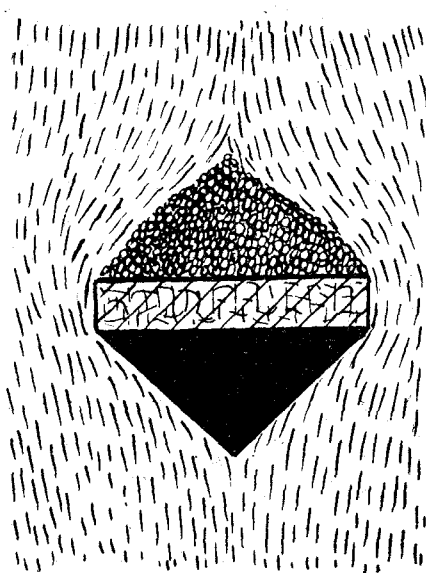


Рис. 1. Фотография процесса обтекания пластины при $V < 10$ мм/сек.

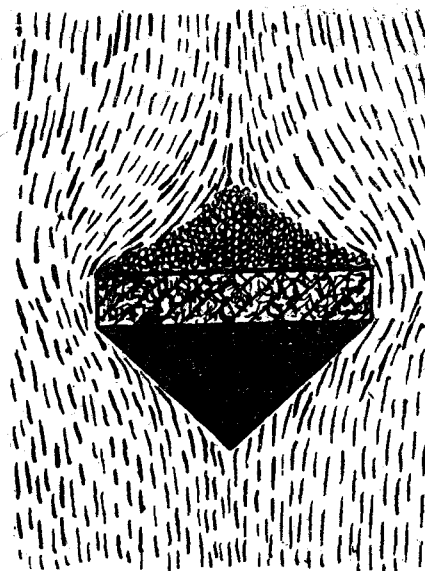


Рис. 2. Фотография процесса обтекания пластины при $V > 10$ мм/сек.

над ней образуется пирамидальная зона, в которой скорость движения частиц смеси равна нулю (рис. 1). Боковые грани, ограничивающие застойную зону, изменяют свою форму в зависимости от скорости потока. Так, при скорости $V_{п} < 10$ мм/сек эти грани выгнуты наружу или прямые (рис. 1), при $V_{п} > 10$ мм/сек происходит «вымывание» частиц и грани становятся вогнутыми внутрь (рис. 2).

Величина зоны застоя может быть характеризована углом θ , между плоскостью, соединяющей основание пирамиды с вершиной и горизонталью (рис. 3). Величина этого угла, как показали исследования,

¹ Под установившимся движением потока сыпучей смеси понимаем такое движение, при котором относительная скорость частиц внутри потока равна нулю.

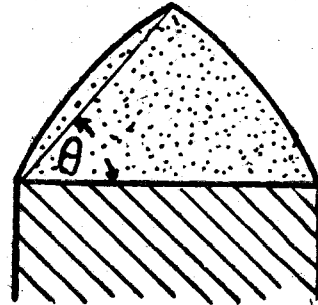
зависит от скорости потока. Угол Θ уменьшается по мере роста скорости и остается все время больше угла естественного откоса, определенного для данной смеси общепринятыми методами.

Зависимость угла Θ от угла естественного откоса ρ_0 выражается уравнением

$$\operatorname{tg} \Theta = A \cdot \operatorname{tg} \rho_0. \quad (1)$$

Величина A зависит от скорости потока смеси (рис. 4) и может быть определена по эмпирической формуле:

$$A = aV^{-0,006} - c, \dots (2)$$



где a и c постоянные величины для данной сыпучей смеси (для пшеницы $a = 33,16$; $c = 30,79$, для крупы чумизы $a = 47,85$; $c = 45,65$)¹.

Рис. 3. Застойная зона над лобовой поверхностью тела.

Образование застойной зоны наблюдается во всех случаях, когда форма лобовой части твердого тела отличается от пирамиды, подобной застойной зоне. В том случае, когда лобовая часть представляет собой

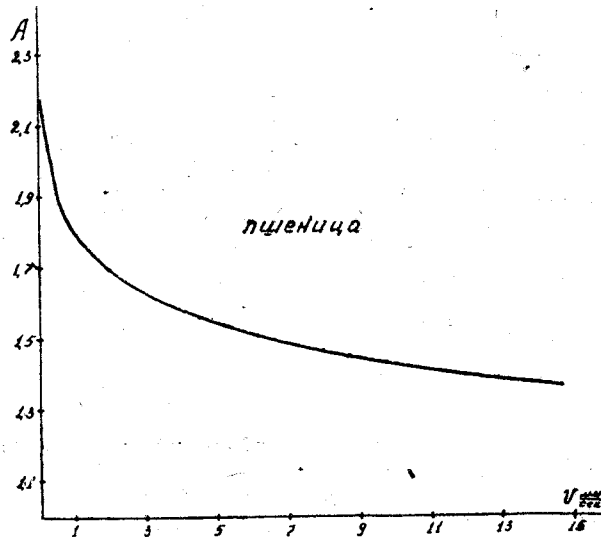


Рис. 4. График $A = \Phi(V)$ для пшеницы.

пирамиду или конус, угол Θ которой больше чем его значение, получаемое из уравнения (1), застойная зона не образуется (рис. 5).

¹ Опыты проводились с пшеницей влажностью $W = 12,6\%$ с зернами следующих средних размеров: длина $B = 6,55$ мм, ширина $Ш = 3,06$ мм, толщина $T = 2,68$ мм и чумизой крупой $W = 11\%$; $B = 1,55$ мм; $Ш = 1,4$ мм, $T = 1,23$ мм.

Как показали опыты, размеры застойной зоны зависят от расположения тела относительно свободной поверхности сыпучей смеси. При определенных расстояниях лобовой части тела от свободной поверхности смеси, застойная зона расширяется, достигая свободной поверхности. При этом форма застойной зоны близка к параллелепипеду, у которого основанием является площадь миделевого сечения тела.

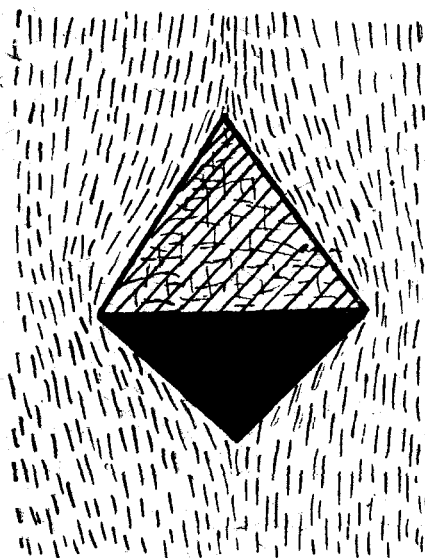


Рис. 5. Фотография процесса обтекания конуса.

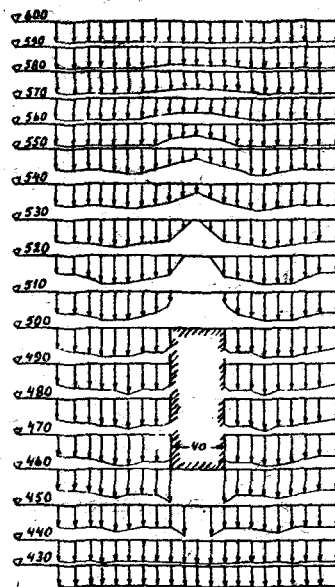


Рис. 6. Эпюра скоростей движения зерен при обтекании цилиндра.

Расстояние тела от свободной поверхности потока, вызывающее резкое развитие застойной зоны и ее выход на свободную поверхность, может быть определено из уравнения:

$$H_{\Pi} = b \cdot d \cdot \operatorname{tg} \rho_0, \quad (3)$$

где b — постоянная, зависящая от вида сыпучей смеси, скорости потока и размеров поперечного сечения сосуда.
 d — наименьший размер тела в поперечном сечении.

При обтекании тела потоком сыпучей смеси, с момента его встречи с образовавшейся застойной зоной, происходит изменение характера потока. Это изменение характеризуется эпюрой скорости частиц потока (рис. 6). Как видно из приведенной эпюры, скорость движения потока увеличивается с момента встречи с застойной зоной, достигая своего максимума в сечении максимального сужения потока. Однако рост скорости потока происходит не в прямой зависимости от сужения потока, что объясняется некоторым уплотнением смеси в суженной зоне. Процесс уплотнения для смеси, составленной из зерен неправильной формы (пшеница, ячмень), характеризуется упорядочением расположения отдельных частиц, которые в месте сужения потока ориентируются своей большой осью вдоль его оси (рис. 7).

Процесс обтекания завершается выходом потока сыпучей смеси из участка с уменьшенной площадью поперечного сечения. Этот выход сопровождается частичным разрыхлением сыпучей смеси, в силу чего ее плотность приобретает первоначальное значение. В том случае, когда хвостовая часть тела ограничена плоскостью, нормальной к его оси, поток, соединяясь за телом, ограничивает пространство, не заполненное сыпучей смесью (рис. 1, 2).

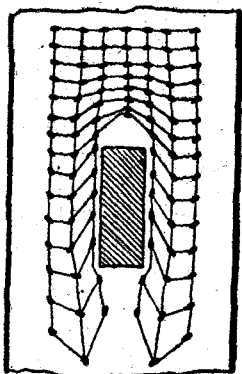


Рис. 7. Траектория движения зерен пшеницы при обтекании цилиндра.

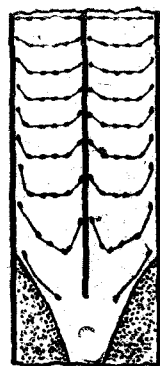


Рис. 8. Траектория движения зерен при обтекании гладкого стержня.

Величина угла, характеризующего скос потока при соединении за телом, как показывают исследования, не зависит от скорости потока и всегда больше угла естественного откоса на 35—60% (меньшая величина для частиц правильной формы, большая — для неправильной формы).

В том случае, когда на пути движения потока установлено тело, имеющее значительную длину, характер обтекания несколько видоизменяется. За счет замедленного движения потока в пограничных зонах (рис. 8) происходит выравнивание плотности потока, вызванное внедрением в него твердого тела. При этом градиент скорости потока тем больше, чем больше коэффициент трения поверхности обтекаемого тела и смеси (рис. 9).

В том случае, когда на пути движения потока устанавливаются решетки, составленные из твердых тел правильной геометрической формы, расположенных в один или несколько рядов, характер обтекания каждого отдельного тела остается тем же. При расположении прутьев решетки в одной вертикальной плоскости, поток разбивается верхним рядом на отдельные струйки, которые, обтекая вертикальный ряд прутьев, у каждого отдельного прутка повторяют описанный ранее процесс.

В том случае, когда прутья решетки расположены в шахматном порядке (рис. 10), имеет место перемешивание отдельных струй потока. В отдельных случаях отмечается образование застойных зон. Как показали опыты, образование застойных зон наблюдается там, где сам

пруток или его часть располагаются в непосредственной близости у стены.

Это явление необходимо учитывать при решении вопроса расположения тел по поперечному сечению шахты.

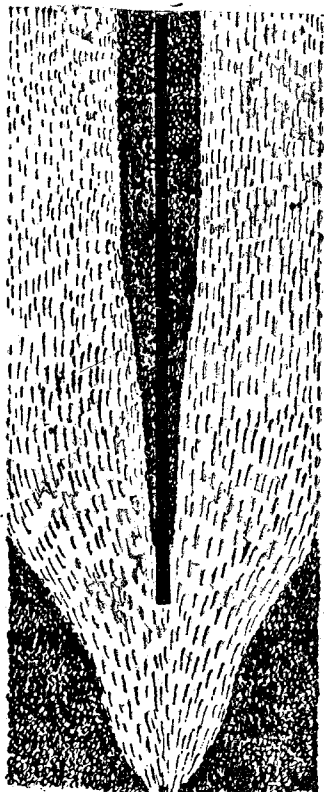


Рис. 9. Траектория движения зерен при обтекании шероховатого стержня.

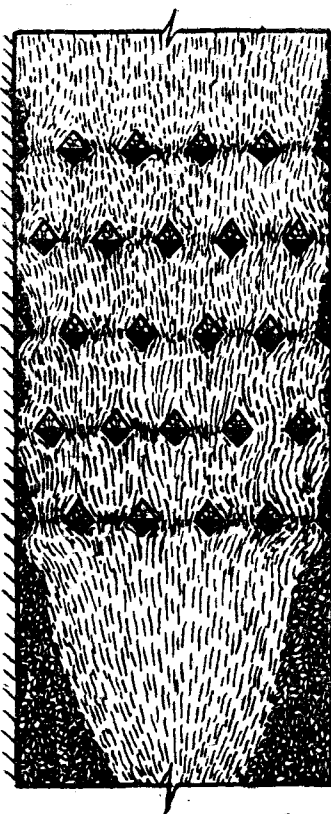


Рис. 10. Фотография процесса обтекания решетки.

Для лучшего обтекания, форма поперечного сечения прутьев решетки должна подчиняться тем же требованиям, что и одиночное тело.

ЛИТЕРАТУРА

1. Брук Я., Глаголев С., Движение зерна в шахтных сушилках, Советское мукомолье, № 3—4, 1939.
2. Платонов П. Н., Лебединский В. Г., Сопротивление тел, погруженных в зерновой поток. Пищевое машиностроение, № 10, 1958.

Г. С. ЗЕЛИНСКИЙ, П. Н. ПЛАТОНОВ

АЭРОДИНАМИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ СЛОЯ ЗЕРНА

В работе приведены результаты исследования движения воздуха в зерновом слое, даны формулы для расчета аэродинамического сопротивления неподвижного и подвижного слоя зерна, а также для определения коэффициента гидравлического сопротивления слоя от числа Рейнольдса.

Существующие методы расчета движения воздуха в слое зерна не удовлетворяют требованиям практики.

Проведенные исследования аэродинамического сопротивления слоя зерна [Л. 1, 2, 3, 4] не вскрыли общих закономерностей движения воздуха в зерновом слое; предлагаемые расчетные формулы являются эмпирическими и позволяют получать только приближенные величины потерь давления потока воздуха в слое зерна некоторых культур в небольших пределах изменения отдельных параметров зернового массива и скорости воздуха.

Теоретическое и экспериментальное исследование установившейся прямолинейной фильтрации воздуха в слое зерна, проведенное в лабораториях Одесского технологического института, дало возможность получить общую формулу для расчета потерь давления потока воздуха в слое зерна различных культур в сравнительно больших пределах изменения отдельных их параметров.

По аналогии с трубной гидравликой общая формула аэродинамического сопротивления слоя зерна принята в виде

$$H_{nm} = \lambda \frac{l}{r} \frac{\rho u^2}{2}, \quad (1)$$

где H_{nm} — потери давления потока воздуха на толщине слоя зерна l , кг/м².

λ — коэффициент гидравлического сопротивления слоя зерна;

l — толщина слоя зерна, м;

r — осредненный гидравлический радиус межзерновых каналов, равный отношению площади поперечного сечения фильтрационного потока к смоченному периметру, м;

ρ — плотность воздуха, кг.сек²/м³;

u — осредненная скорость воздуха в межзерновых каналах, м/сек;

Критерием подобия движения воздуха в слое зерна принято число Рейнольдса

$$R_e = \frac{ur}{\nu}, \quad (2)$$

где ν — кинематический коэффициент вязкости воздуха, $m^2/сек.$

Для практического применения в уравнении (1) необходимо величины r и u выразить через параметры слоя зерна и потока воздуха, определяемые непосредственным измерением, а также найти зависимость

$$\lambda = f(Re). \quad (3)$$

Осредненный гидравлический радиус r межзерновых каналов может быть найден из соотношения

$$r = \frac{V_n}{S}, \quad (4)$$

где V_n и S соответственно объем межзерновых каналов и площадь поверхности зерен в объеме слоя $V_{об}$.

Площадь поверхности зерен в данном объеме слоя будет определяться количеством зерен и их размером и формой.

Пусть в объеме слоя $V_{об}$ содержится N зерен, тогда

$$S = \pi d_{экс}^2 \omega N, \quad (5)$$

где $d_{экс}$ — эквивалентный диаметр зерновки, равный диаметру шара одинакового с зерновкой объема¹;

ω — коэффициент формы зерновки, равный отношению площади поверхности зерновки к площади поверхности шара эквивалентного диаметра.

Объем межзерновых каналов зависит от коэффициента плотности укладки зерна κ , равного

$$\kappa = \frac{V_r}{V_{об}} = \frac{\gamma_{об}}{\gamma_{уд}}, \quad (6)$$

где V_r — объем зерен в объеме слоя $V_{об}$;

$\gamma_{об}$, $\gamma_{уд}$ — соответственно объемный и удельный вес зерна.

Так как в объеме слоя $V_{об}$ содержится N зерен, то, учитывая соотношение (6), найдем

$$V_n = V_{об} - V_r = \frac{1}{6} \pi d_{экс}^3 N \frac{1-\kappa}{\kappa}. \quad (7)$$

Из соотношения (4), учитывая выражения (5) и (7), получим

$$r = \frac{d_{экс} (1-\kappa)}{6 \omega \kappa}. \quad (8)$$

Скорость воздуха u в межзерновых каналах можно выразить через скорость фильтрации v (скорость, отнесенная ко всему

¹ Эквивалентный диаметр определяется по формуле $d_{экс} = 0,00124 \sqrt[3]{P/\gamma_{уд}}$, где P — вес 1000 зерен, г, $\gamma_{уд}$ — удельный вес зерен, г/см³.

поперечному сечению слоя) и коэффициент живого сечения слоя зерна ϵ как

$$u = \frac{v}{\epsilon}. \quad (9)$$

Коэффициент ϵ равен

$$\epsilon = \frac{F_n}{F}, \quad (10)$$

где F_n — площадь сечения межзерновых каналов;
 F — общая площадь сечения слоя.

Исходя из известного положения петрографии о количественном анализе многокомпонентных сред [Л. 6], можно записать

$$V_r : V_n = F_r : F_n, \quad (11)$$

где F_r — площадь сечения зерен в общей площади сечения слоя F .

Из выражения (10), учитывая уравнение (11) и (6), а также и то, что $F = F_n + F_r$, получим

$$\epsilon = 1 - \kappa. \quad (12)$$

Подставляя в уравнение (9) значение коэффициента живого сечения из уравнения (12), найдем, что

$$u = \frac{v}{1 - \kappa}. \quad (13)$$

Заменяя в уравнениях (1) и (2) величины r и u их значениями из выражений (8) и (13), получим общую формулу аэродинамического сопротивления слоя зерна в виде

$$H_{nm} = \lambda \frac{l}{d_{экс}} \frac{6 \omega \kappa}{(1 - \kappa)^3} \frac{\rho v^2}{2}, \quad (14)$$

а число Рейнольдса —

$$Re = \frac{v d_{экс}}{\nu} \cdot \frac{1}{6 \omega \kappa}. \quad (15)$$

Из уравнений (14) и (15) при известной величине коэффициента формы ω , можно найти выражение функции $\lambda = f(Re)$, исследуя аэродинамическое сопротивление слоя зерна для различных условий.

Коэффициент формы ω для зерна различных культур можно определить методом аэродинамического сопротивления слоя, в основу которого положена однозначная зависимость коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса как для слоя зерна, так и для слоя сыпучей смеси, состоящего из шаров одинакового диаметра с гладкой поверхностью, для которых коэффициент ω равен единице.

В логарифмической системе координат (рис. 1) на основании данных опытов получена зависимость $\lambda = f(Re)$ для слоя, состоящего из шаров, которая принята за эталонную. В этой же системе координат на основании опытных данных строится зависимость $\lambda = f(Re)$ для слоя исследуемой культуры зерна, принимая для него коэффициент $\omega = 1$. Действительное значение коэффициента формы зерен получится при условии, когда полученная зависимость для зерна $\lambda = f(Re)$ совместится с эталонной зависимостью.

Исследованием установлено, что размеры шахты оказывают влияние на аэродинамическое сопротивление слоя до определенного их

значения, которое определяется условием $D : d_{\text{вкс}} \leq 50$, где D — поперечный размер шахты.

Для определения эмпирической зависимости коэффициента гидравлического сопротивления от числа Рейнольдса и величины коэффициента формы зерен были произведены опыты с зерном пшеницы,

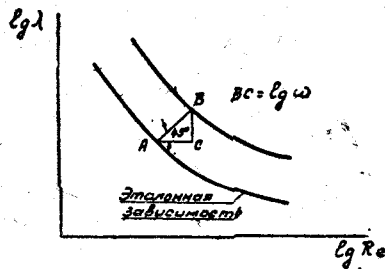


Рис. 1.

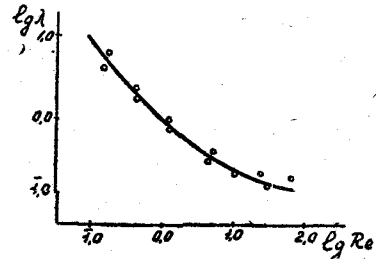


Рис. 2.

относительная влажность которого изменялась от 12,6 до 26,5%, сухим зерном ржи, ячменя, кукурузы, гречихи, проса, чумизы, сои.

Для определения эталонной зависимости $\lambda = f(Re)$, опыты производились со стальными шарами диаметром $d = 8$ мм.

Отдельные параметры слоя зерна и потока воздуха при опытах изменялись в значительных пределах (см. таблицу 1).

Таблица 1

Пределы изменения параметров слоя зерна и потока воздуха при опытах

№ № п. п.	Параметры	Пределы изменения	
		от	до
1	Скорость фильтрации воздуха, м/сек	0,01	1,50
2	Толщина слоя, м	0,1	1,0
3	Коэффициент плотности укладки зерен	0,47	0,67
4	Эквивалентный диаметр зерен, мм	1,5	8,0
5	Потери давления потока воздуха, отнесенные к единице толщины слоя, кг·м ² /м	2	800

Опыты производились при неподвижном и подвижном слое, а также при взвешенном слое зерна восходящим потоком воздуха.

В результате опытов при неподвижном слое было найдено, что в принятых пределах изменения числа Рейнольдса ($0,1 \leq Re \leq 200$) имеют место два режима фильтрации воздуха в зерновом слое: при $Re < 1$ — ламинарная, а при $Re > 1$ — прогрессирующая турбулентная фильтрация.

Для этих режимов найдена зависимость вида (рис. 2):
при ламинарной фильтрации ($Re < 1$)

$$\lambda = \frac{9}{Re}$$

а при турбулентной ($Re > 1$)

$$\lambda = \frac{9}{Re} + \frac{1}{Re^{0,15}} \quad (17)$$

при средней погрешности $\pm 5\%$.

В результате опытов определены коэффициенты формы зерен различных культур (таблица 2).

Таблица 2
Коэффициенты формы зерен

№№ п/п	Культура	Коэффициент формы
1	Пшеница	1,55
2	Рожь	1,55
3	Кукуруза (зерно)	1,65
4	Ячмень	2,05
5	Гречиха	1,70
6	Просо	1,10
7	Чумиза	1,10
8	Соя	1,20
9	Стальные шары	1,00

Опыты показали, что изменение влажности зерна не оказывает влияния на коэффициент формы ω и коэффициент λ .

Опыты с подвижным слоем показали, что аэродинамическое сопротивление потока зерна, движущегося со скоростью u , определяется по формуле (14), в которую вместо величины v подставляется относительная скорость фильтрации v_r , равная

$$v_r = v_a \pm u, (1 - \kappa), \quad (16)$$

где v_a — скорость фильтрации воздуха через слой зерна, отнесенная к неподвижной системе координат, причем знак $+$ ставится при движении фильтрационного потока и слоя зерна в противоположных направлениях, а знак $-$ при движении в одном направлении.

В результате опытов, при которых слой зерна взвешивался восходящим потоком воздуха, установлено, что аэродинамическое сопротивление взвешенного слоя зерна можно определять по формуле (14). Потери давления во взвешенном слое практически равны весу слоя, приходящемуся на единицу площади поперечного сечения слоя, и не зависят от скорости фильтрации.

При обработке опытных данных других исследователей, полученных при исследовании фильтрации различных жидкостей и газов в пористых (сыпучих) средах [Л. 1, 5, 7], по формулам (14) и (15) установлено (в исследуемых пределах изменения числа Re), что полученные ими значения гидравлического сопротивления различных пористых сред удовлетворительно согласуются с найденной зависимостью (16) и (17).

ЛИТЕРАТУРА

1. Дрогадин К. В. К вопросу о вентилировании зерновых масс, „Мукомолье“, № 1, 1937.
2. Дрогадин К. В. Сопротивление зерновой насыпи вентилированию, применяемому при борьбе с развитием микрофлоры, труды ВНИИЗ, выпуск XXX, 1955.
3. Шелд С. К. Сопротивление семян потоку воздуха, Сельское хозяйство за рубежом, Сб. переводов и обзоров иностранной периодической литературы, № 3, 1954.
4. Hukill W. V., Ives N. S., Radial air flow resistance of grain, Agricultural engineering, May, 1955.
5. Минц Д. М. Движение жидкости через взвешенные в восходящем потоке зернистые слои и стесненное осаждение частиц в жидкости, Труды Строительного института Мосгорисполкома, Сборн. IV, 1953.
6. Глаголев А. А. Геометрические методы количественного анализа агрегатов под микроскопом, Труды Всесоюзного научно-исследовательского института минерального сырья, выпуск 170, 1941.
7. Жаворонков Н. М. Гидро- и аэродинамика насадок скрубберных и ректификационных колонн, „Химическая промышленность“, № 9, 1948.

А. И. ЩЕРБАК

К ВОПРОСУ О РАСПРОСТРАНЕНИИ ВОЛН В ТОНКИХ СЛОЯХ СЫПУЧИХ СРЕД

В работе описан метод экспериментального определения скоростей волн в тонких слоях чумизы, песка, пшеницы и продуктах ее размола, приведены величины этих скоростей, показан характер убывания амплитуд движения и коэффициентов возврата и изложен способ определения периодов движения частиц среды при распространении волн. Приводится вывод формулы скорости волны в многокомпонентной гетерогенной среде.

С тонкими слоями сыпучих сред имеют дело различные отрасли промышленности, как-то: горно-обогатительная, строительная, мукомольная и др.

В частности, мукомольная промышленность имеет дело с сыпучими средами, толщина которых на просеивающих машинах достигает 60—70 мм.

При работе указанных машин, процессы самосортирования продуктов на ситах играют существенную роль, так как... «рост производительности мельничных машин происходит от концентрации проходových частиц, приближающихся непосредственно к поверхности сита» [Л. 1, стр. 283].

Знание законов самосортирования и движения частиц продукта относительно сита, очевидно, дало бы возможность выбирать такие параметры работы мельничных машин, при которых явления просеивания протекали бы наилучшим образом.

Исходя из этого, и была поставлена задача изучить, хотя бы в некоторой мере те явления, которые возникают в тонких слоях сыпучих сред, когда они подвергаются воздействию внешних сил.

Задача решалась опытным путем.

1. Краткое описание опытной установки

Опытная установка представляет собой специально сконструированную вибрационную машину. Основная часть ее — деревянный ящик, загружаемый сыпучей средой, основание которого составляет 40×17 см, а высота 15 см.

Ящику сообщались вертикальные колебательные движения с амплитудой колебания 1,1 мм и частотой, обеспечивающей ускорение колеба-

ния порядка $1100-1200 \text{ см/сек}^2$. Уже это ускорение придавало сыпучей массе, находящейся в ящике, квазижидкое состояние.

Движение в сыпучих телах возбуждалось физическим маятником, изготовленным в виде молота весом 1025 г и длиной 44 см .

Энергия маятника передавалась сыпучей среде через посредство одной подвижной поперечной стенки ящика, способной перемещаться параллельно самой себе (мембрана).

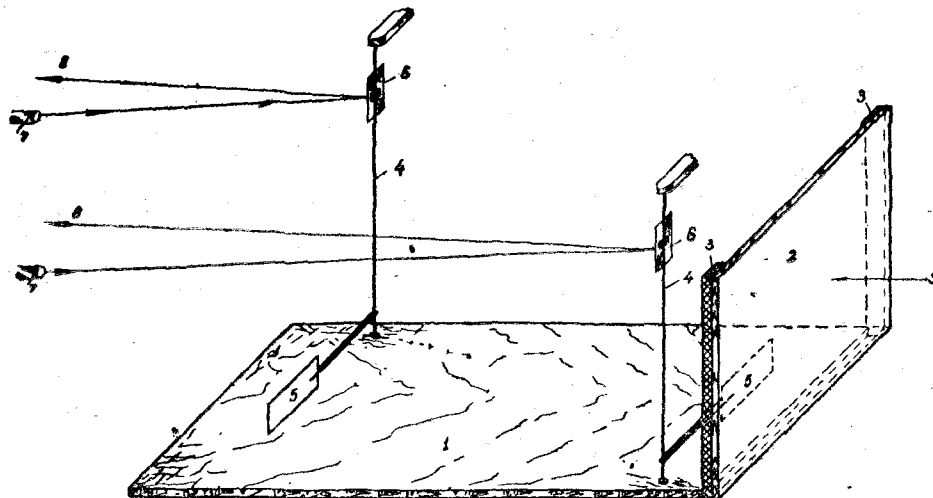


Рис. 1 Схематическое изображение экспериментальной установки (три боковые стенки ящика не показаны)

1 — дно ящика; 2 — мембрана; 3 — прокладка из пористой резины между мембраной и стенками ящика; 4 — механические датчики; 5 — картонные пластинки датчиков; 6 — зеркала датчиков; 7 — осветители; 8 — лучи, отраженные от зеркал датчиков и направляемые к фотозаписывающим устройствам; 9 — стрелка, показывающая направление удара маятника по мембране.

При помощи транспортера, находящегося на оси подвеса маятника и неподвижного указателя, можно было отклонять маятник на заданный угол, создавая тем самым определенный запас энергии в нем.

Исходя из условий толщины слоя сыпучей массы в ящике и объемного его веса, маятнику задавались такие углы отклонения, что один см^2 поверхности данного продукта, независимо от его толщины, получал от мембраны, примерно, одну и ту же энергию.

В ящике помещались механические датчики.

Устройство датчика заключалось в следующем: к стержню, устанавливаемому в ящике вертикально, на одном его конце припаивалась стальная пластинка, плоскость которой была перпендикулярна к его оси; на конце этой пластинки укреплялась жесткая картонная прямоугольная пластинка ($40 \times 25 \text{ мм}$), плоскость которой находилась в плоскости, проходящей через ось стержня датчика. При таком устройстве датчика, нижняя его часть представляла собой «флажок».

К верхней части стержня датчика крепилось прямоугольное зеркало из тонкого стекла (рис. 1).

При установлении стержня датчика у стенки ящика, картонная пластинка находилась в сыпучей массе посередине ящика на расстоянии, равном $4-5 \text{ мм}$ от дна ящика.

Стержень датчика мог свободно вращаться в удерживающих его гнездах.

На зеркало датчика, выступающего над ящиком, посылался луч от осветителя. Луч, отраженный от зеркала датчика, падал рядом с фотоэлементом ФЭСС-У2, находящимся на расстоянии 1,8—2 м от датчика. Последний включался непосредственно на шлейф узкоплечного осциллографа типа МПО-2. Кроме того, на столе перед мембраной устанавливалось контактное реле для пуска в ход механизма осциллографа, протягивающего фотопленку.

2. Измерение скорости распространения волн

В основу измерения скорости волн в тонких слоях сыпучих сред был положен принцип прихода волны в разные точки среды в разные времена. Этим принципом широко пользуются в сейсмометрии и других измерениях [Л. 2, 3, 4 и др.].

Для осуществления этого принципа в ящик ставились два датчика на некотором расстоянии друг от друга (база). Соответственно двум датчикам устанавливались два осветителя и два фотоэлемента.

Скорость распространения волн измерялась как в покоящейся сыпучей массе в ящике, так и при непрерывных вибрациях ящика, т. е. при условиях постоянного разрыхления продукта.

В покоящейся сыпучей массе скорость измерялась так: ящик с продуктом подвергался, примерно, десятисекундной вибрации и останавливался, и после установки в осциллографе кадрика пленки величиной 5—6 см, последний запускался в ход.

Отклоненный затем маятник, свободно падая, включал упомянутое реле и наносил удар по мембране, которая уплотняла продукт, вследствие чего по нему распространялась продольная волна, обусловленная наличием упругой составляющей в продукте.

Так как пластинки датчиков, находящиеся в сыпучей массе, перемещались по ходу волны, то зеркала поворачивались в этот момент на определенный угол, отчего лучи пробегали по фотоэлементам, давая на движущейся пленке осциллограмму в виде двух пиков (рис. 2).

По относительному смещению пиков друг относительно друга, можно заключить, что волны в таком слое сыпучей массы распространяются во времени с определенной скоростью.

Вследствие наличия в тонком слое сыпучей среды необратимых «деформаций», датчики после пробегания волны не возвращаются полностью в исходное положение и для нового опыта пластинки датчиков ставились на прежние места.

Перед возбуждением нового импульса сыпучий продукт снова подвергался вибрации и после прекращения ее по мембране производился новый удар маятником и т. д. Когда же измерялась скорость волны в разрыхленной сыпучей среде, ящик находился в состоянии непрерывной вибрации.

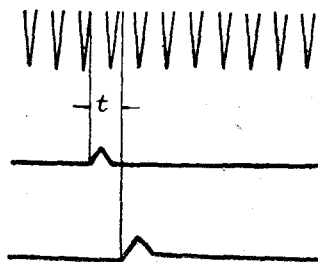


Рис. 2. К определению времени t пробегания волны между датчиками.

По осциллограмме определялось время пробегания волны от одного датчика к другому, при этом был использован проекционный фонарь.

Две риски, проведенные через начало пиков (под большой лупой), облегчали эту операцию.

Период отметчика времени равен $2 \cdot 10^{-3}$ секунды.

3. Скорость распространения волн

Скорости волн были измерены в таких сыпучих средах: чумизе, песке, пшенице и продукте размола пшеницы (1-ое дранье) при толщине слоев их, равной 30, 50 и 70 мм.

Расстояние между датчиками бралось равным 50, 75 и 100 мм (база), а расстояние между мембраной и первым датчиком не превышало 50 мм.

Влажность продуктов составляла 12—13%.

В таблице 1 приводятся средние значения скоростей волн, найденные на разных базах.

Таблица 1
Величина скоростей волн в разных сыпучих средах

Название сыпучей среды	Толщина слоя сыпучей среды, мм	Скорости волн, м/сек	
		при покое	при вибрации
Чумиза	30	19,1	17,7
	50	22,5	19,3
	70	24,5	22,1
Песок	30	20,4	16,2
	50	21,8	18,7
	70	24,3	22,2
Пшеница	30	18,2	15,7
	50	20,6	17,9
	70	23,2	21,7
Дранье	30	17,5	15,4
	50	20,6	18,1
	70	22,4	20,6

Как видим из таблицы, скорости волн в разных сыпучих продуктах близки друг к другу, что объясняется гетерогенностью среды, т. е. разнородностью компонентов, входящих в данную сыпучую среду и ничтожно малым взаимным давлением соприкасающихся твердых частиц.

Из таблиц также видно, что скорости волн при вибрации всегда меньше, чем при покое. Это объясняется тем, что при вибрации растет объем сыпучей массы, т. е. меняется соотношение между объемами компонентов, входящих в данную сыпучую среду (воздуха становится больше).

Абсолютная ошибка определялась как средняя квадратичная среднего арифметического. При такой абсолютной ошибке относительная — не превышает 4—5%.

4. О теоретическом способе подсчета скорости распространения волн

Ризниченко Ю. В. в одной из своих работ [Л. 5] дал формулу для вычисления сверхмалых скоростей волн в двухкомпонентных гетерогенных средах.

Под сверхмалой скоростью волн Ризниченко Ю. В. подразумевает такую величину скорости волн в данной зернистой среде, которая значительно меньше, чем скорости волн в компонентах, ее составляющих.

Формула Ризниченко Ю. В. выводится для слоистой гетерогенной среды, в предположении, что между одноименными элементами среды давление отсутствует (практически это давление отсутствует и в слоях сыпучих сред, с какими мы имели дело), а затем переносится на зернистые среды.

Эта формула имеет вид

$$v = v_1 \frac{1 + \frac{l_2}{l_1}}{\sqrt{\left(1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{K_1}{K_2}\right) \left(1 + \frac{l_2}{l_1} \cdot \frac{\rho_2}{\rho_1}\right)}}, \quad (1)$$

где

v — сверхмалая скорость,

v_1 — скорость в одном компоненте среды;

l_1 и l_2 — толщины слоев двухкомпонентной среды; они же выражают и объемы компонентов, входящих в данную гетерогенную зернистую среду;

K_1 и K_2 — модули компонентов среды одноосной деформации, имеющие место в средах безграничной протяженности (они связаны определенным образом с модулем упругости (Юнга) для тех же компонентов [Л. 6, стр. 621].

ρ_1 и ρ_2 — плотности компонентов гетерогенной зернистой среды.

Если одним из компонентов среды является воздух, то вторым слагаемым в первой скобке под радикалом можно пренебречь, так как эта величина по сравнению с единицей очень мала. Для песка, например, при скважности 30% эта величина равна $4 \cdot 10^{-6}$.

Полагая, что и в веществе зерен пшеницы, чумизы скорость волн значительно больше, чем в воздухе, тем же слагаемым в первой скобке также можно пренебречь. Это обстоятельство позволило вычислить скорости волн и в этих сыпучих средах. В таблице 2 приведены константы, необходимые для вычисления сверхмалых скоростей в рассмотренных ранее продуктах, и скорости, вычисленные по формуле (1), с использованием этих констант.

Таблица 2

Некоторые константы, относящиеся к зерновым сыпучим средам и скорости, вычисленные по ним

Название продукта	Плотность зерна, $\frac{g}{cm^3}$	Скважность, %	Объем зерна, %	Вычисленная скорость волн, м/сек
Пшеница	1,32	40,0	60,0	21,0
Чумиза	1,26	42,4	57,6	22,0
Дранье	1,36	54,5	45,5	20,6

(Полученная плотность дранья несколько большая, чем пшеницы, объясняется, по-видимому, тем, что при откачке воздуха насосом из пикнометра, последний полнее выходит из частей зерна, чем из целого зерна).

В последнем столбце приведены скорости волн, *м/сек*, вычисленные по выше рассмотренной формуле.

Эти скорости хорошо совпадают со скоростями, полученными экспериментально для толщины продуктов в 50 *мм* при покое и 70 *мм* при вибрации.

Ризниченко Ю. В. по своей формуле вычислил скорость распространения волн в песке. Она оказалась равной ~ 16 *м/сек*, что хорошо совпадает со скоростью волн в песке, определенной нами экспериментально при вибрации и толщине слоя песка 30 *мм* (табл. 1).

5. Затухание амплитуды движения частиц среды при распространении волны

Максимальное отклонение частиц среды при распространении волны условно будем называть амплитудой движения.

Для изучения изменения амплитуды был использован один датчик, при этом расстояние между мембраной и датчиком изменялось (увеличивалось) на 25 *мм*.

Луч, отраженный от зеркала датчика, падал на длинную шкалу, устанавливаемую на расстояниях от 2 до 5 метров от зеркала датчика. Шкале придавалась форма дуги соответствующего радиуса (2—5 *м*).

При возбуждении волны маятником визуально наблюдались как максимальное отклонение луча по шкале, так и величина его перемещения в обратном направлении. Зная величину максимального смещения луча (зайчика) на шкале, расстояние между зеркалом и шкалой и длину флажка датчика, легко вычислить амплитуду движения частиц сыпучей среды при распространении волны.

На рис. 3 показаны кривые *A* затухания амплитуд для чумизы. Здесь на оси абсцисс отложены (*X*, *мм*) расстояния между мембраной и пластинкой датчика, а по оси ординат — амплитуды (*a*, *мк*) частиц. Кривые для других сыпучих масс (включая и дранье) имеют точно такой же вид.

Графики приводятся для чумизы по той причине, что чумиза ближе всего, в силу формы зерен и малого внутреннего трения, отождествляет собой сыпучую среду.

Характер кривых *A* дал основание предположить, что кривые должны описываться показательной функцией.

Из двух уравнений

$$\begin{aligned} a_1 &= a_0 e^{-\kappa x_1} \\ \text{и } a_2 &= a_0 e^{-\kappa x_2} \end{aligned} \quad (2)$$

были вычислены коэффициенты затухания κ , а по ним уже были построены действительно экспоненциальные кривые *B*.

Оказывается, что только для толщины продукта в 70 *мм* обе кривые — экспериментальная *A* и теоретическая *B* — хорошо совпадают. В других случаях, как это видно из графиков, этого нет. Последнее объясняется тем, что при тонких слоях энергия мембраны, полученная от маятника, не вся расходуется на возбуждение волн в продукте, а часть ее идет на частичное отбрасывание продукта, прилегающего к ней. При толщине же слоя в 70 *мм* это отбрасывание меньше сказывается на убывании амплитуды.

Что же касается вообще затухания смещения с расстоянием, то, очевидно, здесь справедливо утверждение Кастерина Н. П. [Л. 7, стр. XVI] о том, что волна, идущая в неоднородной среде, теряет свою энергию вследствие постепенного отражения ее от последующих слоев.

Кроме того, на основании данных, приведенных в таблице 1, можно утверждать, что скорости волн в разных прослойках данного слоя продукта будут разные, при этом скорость при данной толщине слоя

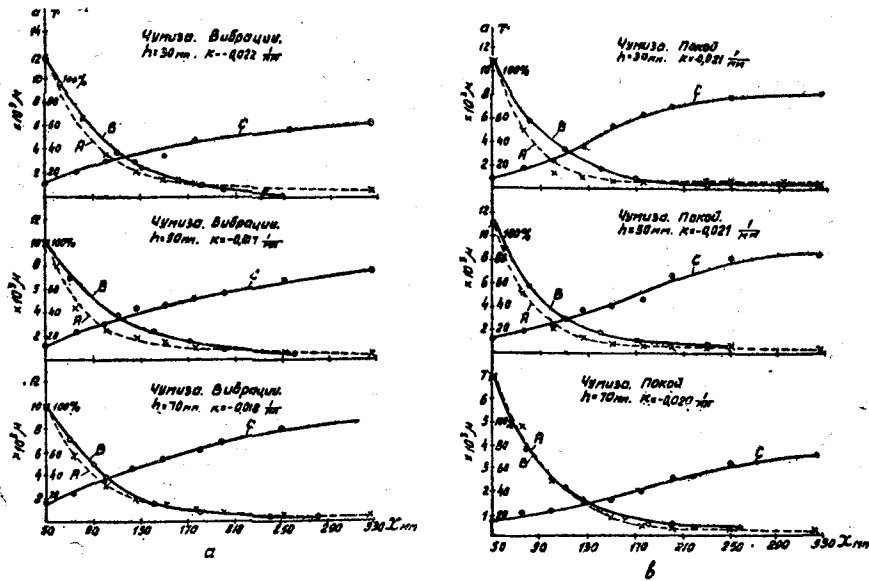


Рис. 3 Кривые изменения амплитуд и коэффициентов возврата в функции расстояния от мембраны (для чумизы):

a — для случая вибрации; *b* — для случая покоя; *A* — убывания амплитуд, определенных экспериментально; *B* — убывания амплитуд, вычисленных аналитически; *C* — изменения коэффициентов возврата.

продукта будет убывать по мере удаления прослойки от дна ящика. Благодаря и этому явлению частицы будут расходовать свою энергию на трение между ними.

Вообще пластинка датчика усредняет скорости волн по своей высоте.

На тех же рисунках ординаты кривых *C* представляют собой отношение величины возврата частицы к величине ее амплитуды. Это отношение γ по мере удаления от мембраны увеличивается хотя абсолютная величина амплитуды частиц уменьшается, и приближается к единице для частиц, далеко лежащих от мембраны. На рисунках это отношение выражено в процентах.

Условимся это отношение называть коэффициентом возврата частиц среды.

Из этих исследований видно, что частицы среды при распространении по ней волны движутся особо: частица, отклоняясь от положения равновесия по ходу волны на некоторую величину, возвращается обратно, стремясь к положению равновесия, но редко его достигая, и только на расстояниях от мембраны порядка 200—250 мм (для чумизы и дранья) коэффициент возврата близок к единице.

6. Измерение периода движения частиц при пробегании волны в сыпучей среде

Время движения частиц в прямом и обратном направлениях, названное условно периодом движения, удалось измерить при помощи одного датчика и одного фотоэлемента, причем датчик ставился в таком месте, где коэффициент возврата частиц достигал 60—80%, при соответственно малой амплитуде. Зайчик луча брался широкий, с резкими очертаниями (кинопроекторная лампа).

При распространении волны луч набегал на фотоэлемент (но не пробегал его), а затем сходил с него в обратном направлении. На осциллограмме получается своеобразный подъем (или провал) (рис. 4).



Рис. 4. К определению периода движения частиц сыпучей среды при распространении по ней волн.

Время движения частиц среды измеряется числом периодов отметчика времени, вкладываемых между началом кривой и ее концом.

В таблице 3 приведены для четырех сред величины периодов движения частиц в миллисекундах.

Таблица 3

Периоды движения частиц среды при распространении волн

Название сыпучей массы	Удаленность датчика от мембраны, мм	Толщина продукта 30 мм		Толщина продукта 50 мм		Толщина продукта 70 мм	
		Вибрация	Покой	Вибрация	Покой	Вибрация	Покой
Чумиза . .	225	37,5	35,5	35,2	34,2	33,0	33,4
Песок . .	150	42,7	39,8	40,1	37,0	38,2	34,6
Пшеница .	175	42,5	40,0	41,8	38,9	40,0	36,4
Дранье . .	200	40,1	36,1	38,8	35,0	36,2	33,6

Во втором столбце табл. 3 показаны расстояния, на которых устанавливался датчик от мембраны.

Каждая величина, приведенная в таблице, является средним арифметическим десяти измерений. Ошибка достигает 4—5%.

Нужно думать, что при построении теории самосортирования самой важной величиной будет являться период движения частиц.

7. Формула скорости волн в многокомпонентной гетерогенной среде

Приводим вывод формулы, которая определяет скорость волн в сложной гетерогенной среде.

В основу ее вывода положен закон Гука, примененный к каждому компоненту гетерогенной среды.

На рис. 5 условно показана многослойная гетерогенная среда. Она состоит из многих групп, в каждой из которых под одним и тем

же номером повторяются тонкие слои из одного и того же вещества. Число всех слоев, простирающихся в бесконечность, в группе будет n , площадь каждого слоя — s , толщина — l_i ($i=1, 2, \dots, n$), а плотность вещества слоя ρ_i .

Тогда толщина всех слоев группы будет равна

$$l = \sum_{i=1}^n l_i, \quad (3)$$

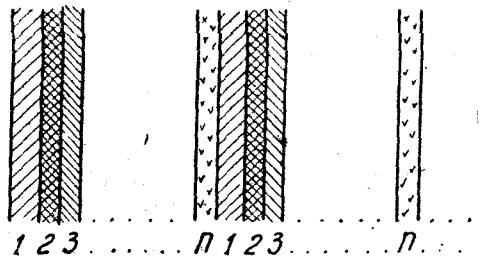


Рис. 5. Схематическое изображение многослойной гетерогенной среды.

а масса выразится через плотность как

$$\rho s \sum_{i=1}^n l_i = s \sum_{i=1}^n \rho_i l_i, \quad (4)$$

где ρ средняя плотность группы, которая и определяется из [4] как

$$\rho = \frac{\sum_{i=1}^n \rho_i l_i}{\sum_{i=1}^n l_i}. \quad (5)$$

При воздействии на эту среду мгновенной силой, перпендикулярной плоскостям слоев, по ней побежит продольная волна. Но если толщина слоев во много раз меньше длины волны (что бывает при отсутствии фактора давления между компонентами), то отстаиванием фаз в отдельных слоях можно пренебречь, и процесс деформации можно рассматривать стационарно.

Тогда общая одновременная деформация всех слоев группы будет:

$$\Delta l = \sum_{i=1}^n \Delta l_i. \quad (6)$$

Возникшее напряжение σ будет во всех слоях одним и тем же. Каждый слой группы имеет свой модуль одноосного сжатия [Л. 6, стр. 621]

$$K_1, K_2, \dots, K_n.$$

Абсолютная деформация каждого слоя по закону Гука запишется так:

$$\begin{aligned}\Delta l_1 &= \frac{l_1}{K_1} \cdot \sigma, \\ \Delta l_2 &= \frac{l_2}{K_2} \cdot \sigma, \\ &\dots \dots \dots \\ \Delta l_n &= \frac{l_n}{K_n} \cdot \sigma.\end{aligned}\quad (7)$$

Суммируя левые и правые части уравнений, получим

$$\sum_{i=1}^n \Delta l_i = \sigma \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_i}. \quad (8)$$

Введем для группы в целом эквивалентный модуль одноосного сжатия K . Принимая во внимание [3] и [8], можно записать такое выражение

$$\sigma \sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_i} = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{K} \sigma, \quad (9)$$

из которого получаем значение эквивалентного модуля одноосного сжатия

$$K = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_i}}. \quad (10)$$

Скорость плоских волн в безграничной среде определяется формулой:

$$v = \sqrt{\frac{\lambda + 2\mu}{\rho}}, \quad (11)$$

где $\lambda + 2\mu = K$ и есть модуль одноосного сжатия, λ и μ — постоянные Ляме [Л. 8, стр. 435].

Подставляя в формулу (11) значения K и ρ из формулы (10) и (5), получим окончательную формулу в таком виде

$$v = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{l_i}{K_i} \cdot \sum_{i=1}^n \rho_i l_i}}, \quad (11)$$

из которой вытекают формулы для двухкомпонентной среды (форм. 1), трехкомпонентной и т. д.

Выводы

1. Результаты исследований, изложенные в данной работе, вскрывают сущность явлений, протекающих в тонких слоях сыпучих сред при мгновенных воздействиях на них внешними силами.

2. Данная работа расширяет существующие представления о распространении волн в сыпучих средах, толщина слоев которых очень мала.

3. Впервые исследовалось распространение волн в пшенице, дробленой пшенице и чумизе, т. е. объектах, связанных с технологией мукомольно-крупяного производства и к тому же в слоях технологической толщины (30—70 мм).

4. Можно предположить, что результаты проведенных исследований могут послужить данными для решения практических задач, связанных с процессами просеивания, что очень важно как для практики мукомольно-крупяной промышленности, так и для других отраслей промышленности, имеющих просеивающие машины.

5. Можно также предположить, что приведенные в данной работе исследования могут быть использованы в соответствующих разделах физики сыпучих тел для теории волн в сыпучих средах малой толщины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технология мукомольного производства, под редакцией Куприца Я. И., 1951.
2. Кириллов Ф. А. и Пучков С. В., Распространение колебаний грунта от источника типа импульса, 1935.
3. Воюцкий В. С. Применение биноруального эффекта к измерению скоростей распространения упругих волн в твердых средах. Бюллетень нефтяной геофизики, № 2, 1936.
4. Островский Л. Е., Измерение скоростей распространения упругих колебаний на малых базах. ДАН, СССР, т. XVIII, 1936.
5. Ризниченко Ю. В. О распространении сейсмических волн в дискретных и гетерогенных средах. Изв. АН СССР. Серия географическая и геофизическая, т. XIII, № 2, 1949.
6. Физический словарь, т. 3, 1937.
7. Кастерин Н. П. О распространении волн в неоднородной среде, ч. I. Звуковые волны, 1903.
8. Тимошенко С. П. Теория упругости. 1934.

П. Н. ПЛАТОНОВ, Н. К. НАРЕМСКИЙ

ФИЗИЧЕСКАЯ СУЩНОСТЬ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЦЕНТРОБЕЖНОГО РАЗГРУЗИТЕЛЯ ПНЕВМАТИЧЕСКОГО ТРАНСПОРТА

В статье описан рабочий процесс центробежного разгрузителя пневматического транспорта сыпучих материалов, выяснены наиболее целесообразные формы конструктивных элементов, предложена гипотеза, объясняющая изменение гидравлического сопротивления центробежного разгрузителя и приведены результаты экспериментального исследования.

Широкое применение пневматического транспорта на пищевых предприятиях для целей внутрицехового перемещения сырья, полуфабрикатов и готовой продукции требует всестороннего исследования процессов, протекающих в его рабочих органах, и, в частности, процессов выделения из потока перемещаемого материала.

Для выделения транспортируемого материала из двухфазного¹ потока в установках внутрицехового пневматического транспорта, нашли широкое применение центробежные разгрузители.

Выделяя из потока транспортируемый материал в заданном месте, центробежный разгрузитель должен обеспечивать высокую степень выделения при минимальном расходе энергии. Для того, чтобы создать такую конструкцию разгрузителя, необходимо знать и уметь управлять его рабочими процессами.

Наши знания природы рабочего процесса центробежных разгрузителей, основанные на результатах отдельных незаконченных наблюдений, несовершенны. Попытки использовать для этой цели богатый опыт пылеотделения не позволяют решить задачу, так как условия работы центробежных разгрузителей в пневмотранспортных и вентиляционных установках различны.

Настоящая статья посвящена исследованию природы рабочего процесса центробежных разгрузителей, работающих в сетях пневматического транспорта, знание которого позволит правильно выбрать конструкцию разгрузителя [Л. 6].

При исследовании рабочего процесса применялись два типа центробежных разгрузителей: тип А — цилиндрический и тип Б — конический (рис. 1) с прозрачными стенками (стекло, оргстекло). Характер движения твердой фазы потока изучался при помощи фото-

¹ Под термином фаза понимаем материальные комплексы, обладающие одинаковыми физическими свойствами.

графирования и по отложениям мелкодисперсных частиц материала на внутренней поверхности отделителя. Движение газовой фазы исследовалось при помощи специальных пневмометрических трубок, позволяющих определить величину и направление скорости потока.

Наблюдение за рабочим процессом разделения двухфазного потока в центробежном разгрузителе позволяет условно весь процесс разделить на три отдельных этапа:

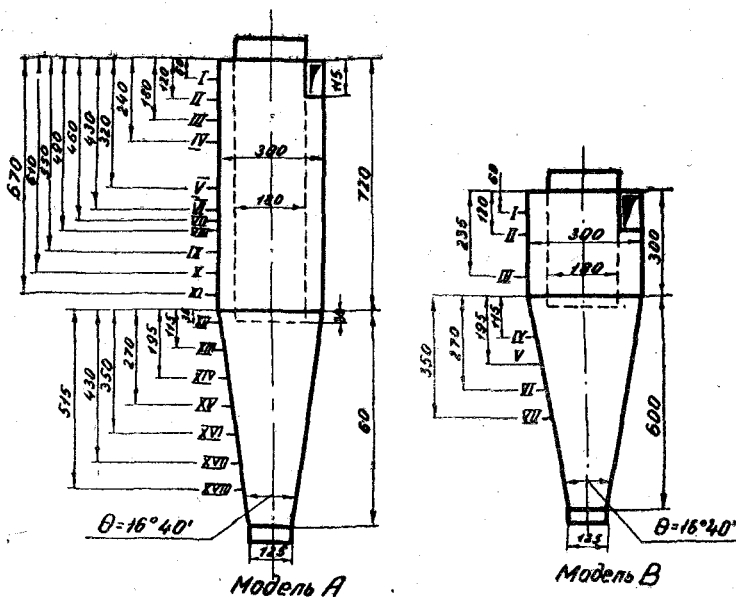


Рис. 1. Типы центробежных отделителей.

первый этап — выделение основной массы твердой фазы из двухфазного потока;

второй этап — раздельное движение твердой и газовой фаз в цилиндрической части отделителя при продолжающемся процессе разделения потока;

третий этап — раздельное движение и вывод из отделителя газовой и твердой фаз при наличии условий, устраняющих возможность смешивания разделенных фаз.

На первом этапе процесс разделения двухфазного потока происходит под действием сил инерции и эффекта ортокинетической коагуляции¹. Поток твердой фазы, имея несравненно большую массу, чем масса потока воздуха, сохраняет инерцию движения и, встречая на своем пути цилиндрическую стенку отделителя, ударяется о нее, теряет энергию, изменяет при этом направление своего движения (рис. 2). В том случае, когда поток твердой фазы состоит из сравнительно крупных частиц (зерно пшеницы и др.), наблюдается отражение некоторой части частиц потока, порождающее скачкообразный характер движения материала (рис. 2,а). По мере движения потока материала в кольцевом

¹ Под эффектом ортокинетической коагуляции следует понимать захват мелких частиц аэрозоля более крупными частицами во время их движения к наружной стенке центробежного отделителя.

пространстве разгрузителя, скачкообразный характер движения материала быстро затухает, и к концу первого витка поток начинает скользить по внутренней поверхности отделителя. Снижение размера частиц материала в потоке уменьшает продолжительность скачкообразного движения материала, скольжение частиц в этом случае наступает значительно раньше (рис. 2,б).

На первом этапе происходит выделение основной массы твердой фазы потока и задается характер движения разделенным фазам. Впол-

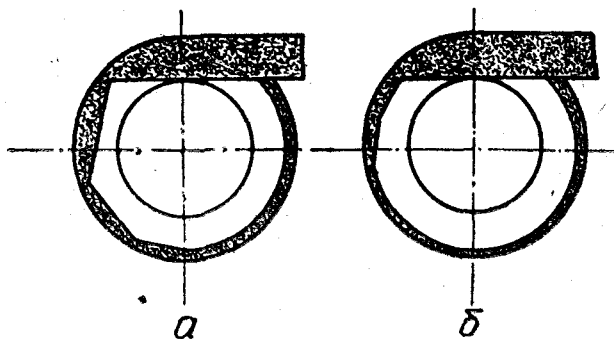


Рис. 2. Движение материала в первом витке центробежного отделителя.

не понятно, что характер процесса на этом этапе зависит от величины входной скорости потока.

На втором этапе продолжается разделение двухфазного потока, происходит выделение из газового потока мелких частиц твердой фазы, которые не были выделены на первом этапе.

Наряду с этим на втором этапе поток материала приобретает скорость движения, которая как по величине, так и по направлению обеспечивает нормальное течение процесса на третьем этапе.

Третий этап рабочего процесса центробежного разгрузителя, протекающий в его конической части, обеспечивает вывод разделенных фаз при минимально возможном их смешивании. Последнее достигается путем создания таких инерционных сил, которые смогли бы удерживать частицы материала на внутренней поверхности разгрузителя вплоть до выхода их через разгрузочное отверстие, что может иметь место при определенных значениях величины скорости потока в конической части разгрузителя.

Для определения условий, обеспечивающих нормальное течение процесса на третьем этапе, рассмотрим движение некоторого объема материала массой m по внутренней поверхности конической части разгрузителя, пренебрегая при этом силами воздействия газовой фазы на поток материала.

Минимальная величина силы инерции, удерживающая объем материала на внутренней поверхности конической части разгрузителя, действующая в любом его горизонтальном сечении, будет равна

$$P_{min} = \frac{mv^2 \cos^2 \beta}{r}, \quad (1)$$

где m — масса выделенного объема;
 v — минимальная скорость движения материала;

β — угол между касательной к траектории и горизонтальной плоскостью;

r — радиус вращения выделенного объема вокруг оси разгрузителя.

Для того, чтобы сила инерции не снижалась ниже некоторого минимального значения как в начале, так и в конце третьего этапа, необходимо чтобы соблюдалось условие:

$$P_{min} = \frac{mv_1^2 \cos^2 \beta_1}{r_1} = \frac{mv_2^2 \cos^2 \beta_2}{r_2}, \quad (2)$$

где v_1 и v_2 — минимальная величина скорости движения материала в конической части разгрузителя соответственно при входе и выходе.

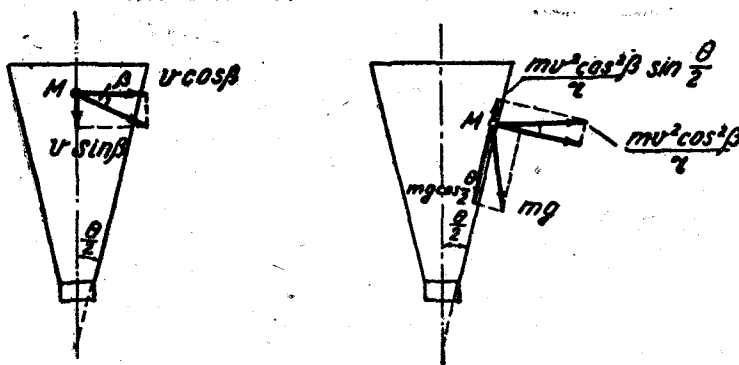


Рис. 3. Схема действия сил на частицу материала при движении в конусе.

β_1 и β_2 — углы между касательной к траектории и горизонтальной плоскостью у входа и выхода;

r_1 и r_2 — радиусы вращения частиц на входе и выходе из разгрузителя.

Наблюдения за процессом на третьем этапе показали, что условие (2) выполняется в случае, когда $\beta_1 = \beta_2$, т. е. когда крутизна траектории в конической части остаётся неизменной. Постоянство крутизны траектории движения потока материала будет иметь место при условии, когда составляющая силы веса уравнивает составляющую силы инерции (рис. 3), т. е.:

$$mg \cos \frac{\theta}{2} = \frac{mv^2 \cos^2 \beta}{r} \sin \frac{\theta}{2} = \frac{mv_1^2 \cos^2 \beta_1}{r_1} \sin \frac{\theta}{2}. \quad (3)$$

Из уравнения (3) горизонтальная составляющая скорости движения потока материала при его входе в коническую часть разгрузителя находится как

$$V_{r_1} = v_1 \cos \beta_1 = \sqrt{rg \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}} \dots \dots \dots (4)$$

Уравнение движения частицы M по внутренней поверхности цилиндрической части разгрузителя (рис. 4) может быть записано в виде [Л. 3]:

$$m \frac{d^2 \varphi}{dt^2} + mrf \left(\frac{d\varphi}{dt} \right)^2 = 0. \dots \dots \dots (5)$$

Решение этого уравнения при начальных условиях $t=0, \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v_{ax} \cos \alpha}{r}$ будет иметь вид:

$$V_{r_1} = \frac{v_{ax} \cos \alpha}{r} e^{-f\varphi_1}, \dots \dots \dots (6)$$

где α — угол наклона направляющего аппарата;
 φ_1 — угол поворота выделенного объема в цилиндрической части разгрузителя;
 f — коэффициент трения материала о стенку разгрузителя;
 v_{ax} — величина скорости входа материала в разгрузитель.

Для создания оптимальных условий течения процесса на третьем этапе необходимо, чтобы горизонтальные составляющие скорости движения потока материала на границе второго и третьего этапов были бы равны, т. е.

$$\frac{v_{ax} \cos \alpha}{r} e^{-f\varphi_1} = \sqrt{rg \operatorname{ctg} \frac{\theta}{2}}. (7)$$

Отсюда угол φ_1 , определяющий высоту цилиндрической части разгрузителя, при которой рабочие процессы в цилиндрической и конической части будут увязаны между собой, равен:

$$\varphi_1 = \frac{1}{2f} \ln \left[\frac{v_{ax}^2 \cos^2 \alpha}{r^3 g} \operatorname{tg} \frac{\theta}{2} \right]. (8)$$

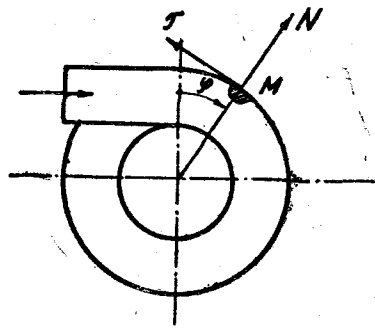


Рис. 4. Схема сил, действующих на частицу при движении ее в цилиндрической части.

Уравнение (8) количественно связывает три этапа процесса разделения двухфазного потока. Из этого уравнения видно, что параметры, определяющие оптимальные условия входа потока материала в коническую часть отделителя, задаются условиями течения процесса на первом и втором этапах. Так, изменяя скорость входа материала v_{ax} и угол наклона направляющего аппарата α разгрузителя, можно существенным образом влиять на величину скорости V и крутизну траектории β при входе потока в коническую часть. С другой стороны, при увеличении высоты цилиндрической части разгрузителя скорость движения и крутизна траектории потока будет изменяться: первая уменьшаться, вторая увеличиваться, что несомненно окажет свое влияние на эффективность работы разгрузителя.

Полное устранение цилиндрической части не создает нормальные условия работы разгрузителя, так как не позволяет создать оптимальные условия при входе потока материала в коническую часть, что, несомненно, отразится на эффективности процесса разделения.

Таким образом, анализ процесса отделения позволяет сделать вывод о целесообразности форм центробежного разгрузителя для пневматического транспорта сыпучих материалов, которые предусматривают наличие оптимальных углов наклона направляющего аппарата, высоты цилиндрической части и угла раскрытия конической части разгрузителя.

Движение газовой фазы в центробежном разгрузителе находится

9. Труды Одесского технологического института, т. IX.

в тесной зависимости от формы отделителя и коэффициента концентрации смеси μ .

Полученные при исследовании характеристики газовых потоков при различных условиях работы разгрузителя приведены на рисунках 5 и 6 (сплошные линии относятся к однофазному (газовому) потоку, пунктирные линии к двухфазному при различных значениях μ).

Для центробежных разгрузителей типа А (рис. 5, а) скос газового потока в верхних сечениях (сечение II—IV) имеет максимальное значение у наружной стенки. По мере движения потока к конусу, его ко-

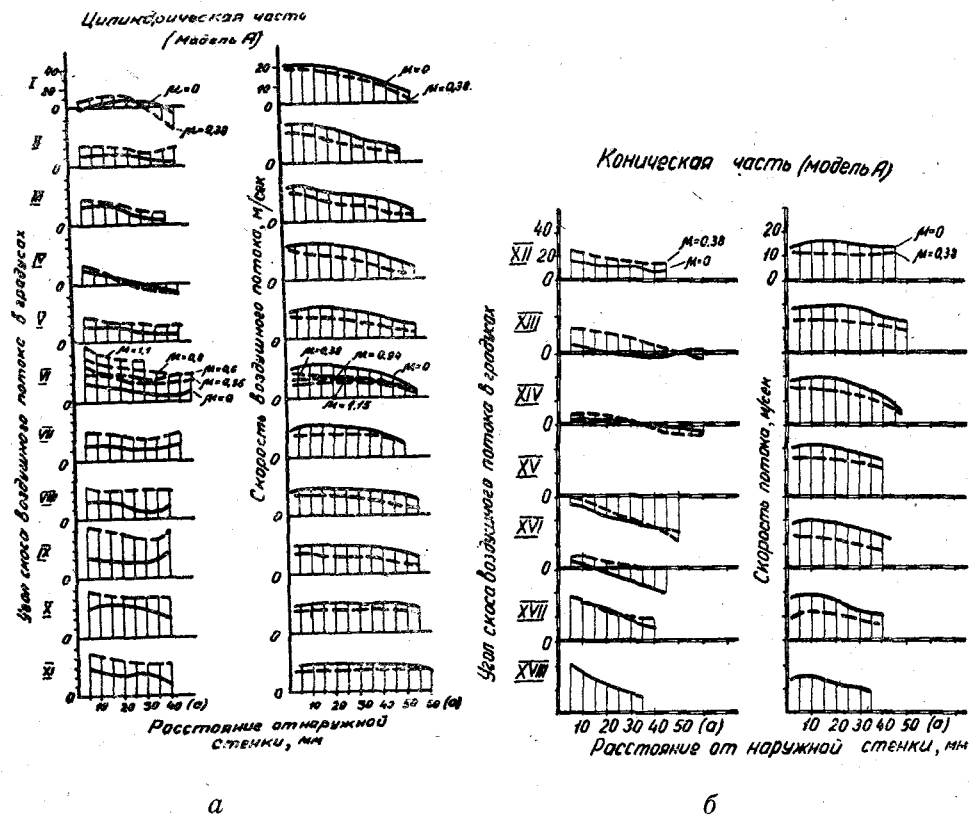


Рис. 5. Картина изменения скорости и углов скоса газовой фазы в центробежном отделителе с развитой цилиндрической частью.

сизна несколько возрастает и становится более равномерной для всех точек потока по ширине кольцевого пространства (сечение V—IX). Увеличение к о с и з н ы потока по мере его движения к конической части связано с ростом крутизны траектории движения твердой фазы.

Заметное влияние на движение газового потока оказывает твердая фаза. С ростом коэффициента концентрации μ характер движения газового потока резко изменяется и в первую очередь за счет роста к о с и з н ы потока, за счет изменения крутизны его траектории. С ростом коэффициента концентрации смеси μ растет крутизна траектории, что сказывается на уменьшении скорости потока.

Картина скоростей воздушного потока в разгрузителе типа А (рис. 5, а) в сечениях, прилегающих к входу (I—VI), изменяется по за-

кону, подобному распределению скоростей в твердом теле. По мере продвижения потока к конической части разгрузителя характер распределения скорости по сечению изменяется (сечение VII—XI), скорость потока по сечению выравнивается.

При переходе потока в коническую часть разгрузителя (рис. 5,б) движение газовой фазы изменяется. Выравненный газовый поток в цилиндрической части отделителя, в связи с наличием восходящего потока газа, меняет характер распределения скорости и резко изменяет координату потока. Отрицательные углы скоса потока указывают на наличие восходящего потока, который охватывает своим влиянием всю площадь поперечного сечения конической части разгрузителя (сечение XIV—XVI). При двухфазном потоке влияние твердой фазы несколько сглаживает изменения характера движения газовой фазы, однако наметившиеся тенденции остаются в силе.

Очевидно, что в центробежных разгрузителях типа А, в результате значительного увеличения шага винтовой траектории газового потока, переход нисходящего потока в восходящий происходит в средней части конуса (сечение XIV—XVI), лежащей значительно ниже нижней кромки выхлопной трубы.

В силу этого восходящий вихрь охватывает все поперечное сечение конуса, омывает его стенки и, как следствие этого, вовлекает частицы твердой фазы, снижает эффективность процесса разделения.

Характерным для этого типа разгрузителя является то, что величина скорости газового потока в его конической части падает, что, несомненно, является следствием увеличения шага винтовой траектории потока.

Для разгрузителей типа В скос и скорость газового потока (рис. 6), в общем, изменяются почти по тем же законам, что и для отделителя типа А. Однако этот тип разгрузителя имеет свои характерные особенности, которые заключаются в наличии отрицательных углов скоса потока в сечении, лежащем в непосредственной близости от перехода цилиндрической части в коническую. Такое явление свидетельствует об образовании в разгрузителе типа В восходящего вихря значительно раньше, чем в разгрузителе типа А.

Влияние восходящего вихря в этом случае не распространяется по

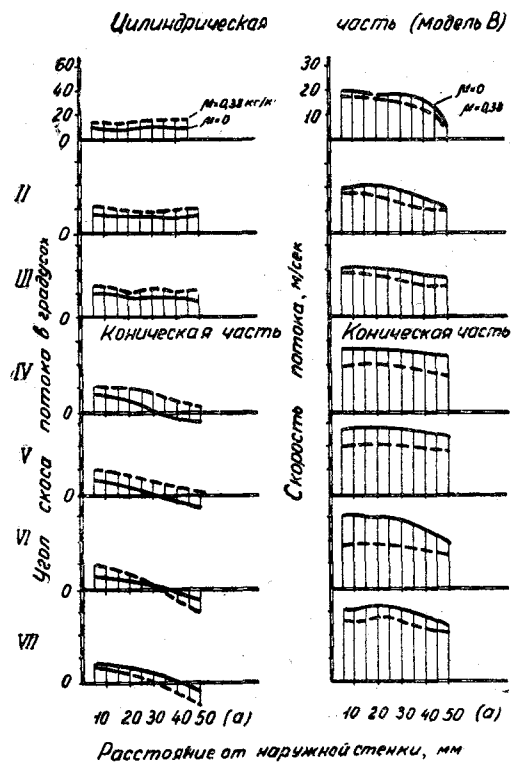


Рис. 6. Картина изменения скорости и углов скоса газовой фазы в центробежном отделителе с укороченной цилиндрической частью.

всему поперечному сечению конуса, о чем свидетельствует наличие положительных углов скоса потока (сечение V—VII).

Величина скорости газового потока в цилиндрической части разгрузителя типа Б почти ничем не отличается от разгрузителя типа А. После перехода газового потока в коническую часть величина его скорости возрастает, что является следствием уменьшения радиуса вращения потока при неизменной крутизне его траектории.

Таким образом, в разгрузителе типа Б процессы в конической части протекают в значительно более благоприятных условиях, чем в разгрузителе типа А.

Обобщая данные исследования процесса разделения двухфазного потока в центробежных разгрузителях, можно сделать вывод, что наиболее благоприятно эти процессы протекают в разгрузителях с развитой конической и укороченной цилиндрической частью, которым, очевидно, должно быть отдано предпочтение при разделении двухфазного потока в пневматическом транспорте сыпучих материалов.

Величина гидравлического сопротивления центробежных разгрузителей при их работе на разделении двухфазного потока в пневматическом транспорте сыпучих материалов обычно определялась уравнением

$$H_0 = \zeta_0 \frac{\gamma V_{ax}^2}{2g}, \dots \dots \dots (9)$$

где ζ_0 — коэффициент сопротивления;

γ — удельный вес воздуха;

V_{ax} — скорость газового потока на входе в отделитель.

Применение уравнения (9) для условий пневматического транспорта дает значение величины H_0 больше, чем фактически наблюдаемые.

Ряд исследователей [Л. 1, 2, 4, 6] при определении гидравлического сопротивления центробежного разгрузителя, работающего в сети пневматического транспорта, установили, что с ростом концентрации смеси происходит не увеличение, а падение гидравлического сопротивления. Попытки объяснения этого явления не дали положительных результатов [Л. 5].

На основании данных, полученных при исследовании, падение гидравлического сопротивления разгрузителя можно объяснить следующим образом.

После входа потока в разгрузитель основная масса частиц материала (первый этап) выделяется из потока и начинает свое движение по внутренней поверхности разгрузителя по винтовой траектории.

Поток частиц материала, движущийся вдоль внутренней поверхности разгрузителя, будет нарушать структуру пограничного слоя, создавая как бы подвижный слой между стенками разгрузителя и потоком газовой фазы, снижая при этом вязкости потока газа со стенкой. Кроме того, подвижная поверхность, представляющая собой поток частиц материала, перемещаясь по винтовой траектории, воздействуя на поток газовой фазы, увеличивает крутизну его траектории, снижает скорость потока газовой фазы, что влечет за собой снижение гидравлического сопротивления разгрузителя.

С ростом концентрации смеси увеличивается шаг траектории движения потока частиц твердой фазы и возрастает ее свободная поверх-

ность, увеличивается воздействие потока частиц материала на поток газа и, как следствие этого, наблюдается дальнейшее снижение гидравлического сопротивления разгрузителя.

Снижение гидравлического сопротивления разгрузителя, очевидно, будет наблюдаться до тех пор пока поток твердой фазы полностью покрывает внутреннюю поверхность отделителя. Дальнейшее увеличение концентрации смеси не будет оказывать заметного влияния на падение гидравлического сопротивления разгрузителя. Наоборот, с ростом концентрации потока будет возрастать закручивание потока газовой фазы, что может повлечь за собой некоторый рост гидравлического сопротивления.

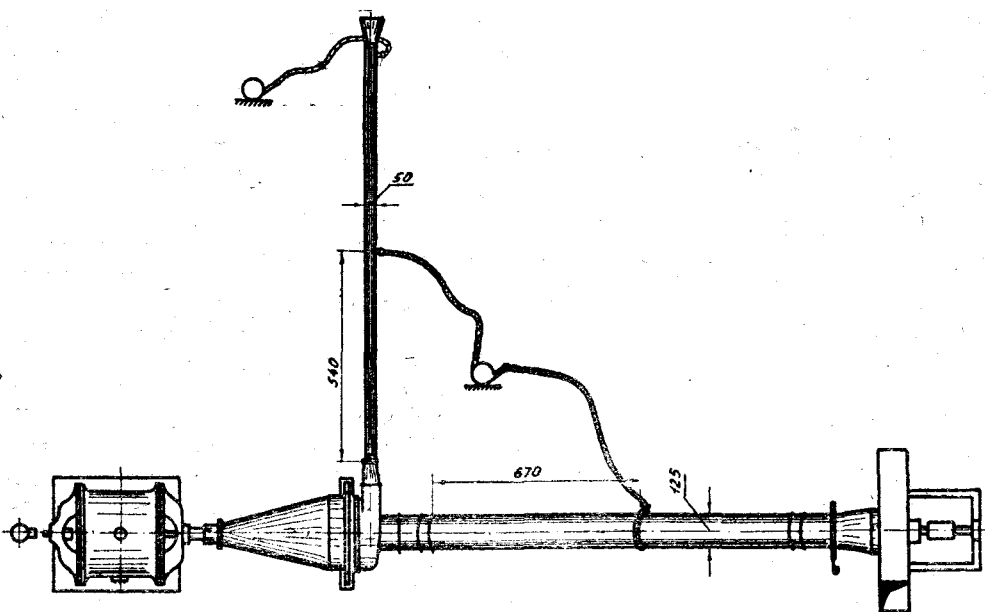


Рис. 7. Установка для испытания отделителя с вращающейся конической частью.

Подтвердить высказанную гипотезу можно путем воспроизводства процесса. Для этой цели необходимо создать такие условия, при которых движущийся по внутренней поверхности разгрузителя поток твердой фазы был заменен подвижной стенкой при отсутствии искажения характера движения газовой фазы.

В качестве такой модели может быть принят центробежный разгрузитель с вращающейся цилиндрической и конической частью (рис. 7).

Если придать вращательное движение нижней части разгрузителя и подключить выхлопное его отверстие к всасывающему отверстию вентилятора, то в разгрузителе будут созданы условия, аналогичные тем, которые наблюдаются в нем при раздельном движении твердой и газовой фаз.

Рассмотрим движение точки M_1 , принадлежащей стенке разгрузителя, и точки M_2 , принадлежащей газовой фазе и находящейся у поверхности стенки разгрузителя (рис. 8).

Обозначим:

\bar{V}_1 — вектор скорости точки, принадлежащей разгрузителю;

\bar{V}_2 — вектор скорости точки M_2 , принадлежащей газовой фазе;

β_0 — угол между вектором скорости \bar{V}_2 и горизонтальной плоскостью.

Рассмотрим случай, когда направление движения газового потока и вращение корпуса разгрузителя совпадают.

Точка M_2 , принадлежащая газовой фазе, совершает движение относительно неподвижной стенки разгрузителя со скоростью V_2 , направленной под углом β_0 к горизонту (рис. 8). При вращении разгрузителя вокруг оси, в силу наличия сил вязкости, точка M_2 будет увлекаться в направлении движения M_1 с некоторой скоростью V . Действительная скорость движения точки M_2 будет равна геометрической сумме скоростей V_1 и V_2 , т. е.

$$\bar{V} = \bar{V}_1 + \bar{V}_2. \dots \dots \dots (10)$$

Нетрудно видеть, что угол β_0 определяющий направление вектора скорости V_2 , изменится и станет равным углу β_1 .

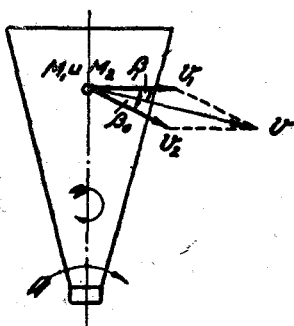


Рис. 8. Изменение направления и величины скорости газовой фазы при вращении наружной стенки центробежного отделителя.

При увеличении скорости вращения корпуса разгрузителя, т. е. при росте скорости V_1 , величина угла β_1 будет уменьшаться, следовательно, будет уменьшаться скос траектории газовой фазы, что повлечет за собой уменьшение крутизны потока и, как следствие, рост его скорости, что увеличит гидравлическое сопротивление разгрузителя.

Нетрудно показать, что с изменением направления вращения корпуса разгрузителя угол β_0 будет увеличиваться — шаг траектории газового потока будет возрастать, сопротивление разгрузителя будет падать.

Результаты опытов, проведенных с моделью разгрузителя, сведены в график (рис. 9). По оси абсцисс влево от 0 отложены данные, полученные при противоположных направлениях скорости воздуха и наружной стенки разгрузителя, вправо — при совпадении направлений движений.

Как видно из графика, вращение конической части разгрузителя вызывает изменение его гидравлического сопротивления. Если коническая часть вращается по ходу вращения газового потока, то регистрируется возрастание гидравлического сопротивления, и, наоборот, при вращении конуса против вращения газового потока — снижение гидравлического сопротивления разгрузителя по сравнению с его значением при неподвижном конусе. Таким образом, поставленные опыты подтверждают выдвинутую гипотезу.

Исходя из предложенной гипотезы, можно ожидать, что если приблизить траекторию движения газовой фазы к твердой, то можно получить дальнейшее снижение величины гидравлического сопротивления разгрузителя.

Приблизить траекторию движения газовой фазы к траектории движения твердой фазы возможно двумя путями: уменьшить скорость вхо-

да в разгрузитель или увеличить угол наклона направляющего аппарата.

Можно ожидать, что мероприятия, направленные на снижение гидравлического сопротивления отделителя, окажут положительное влия-

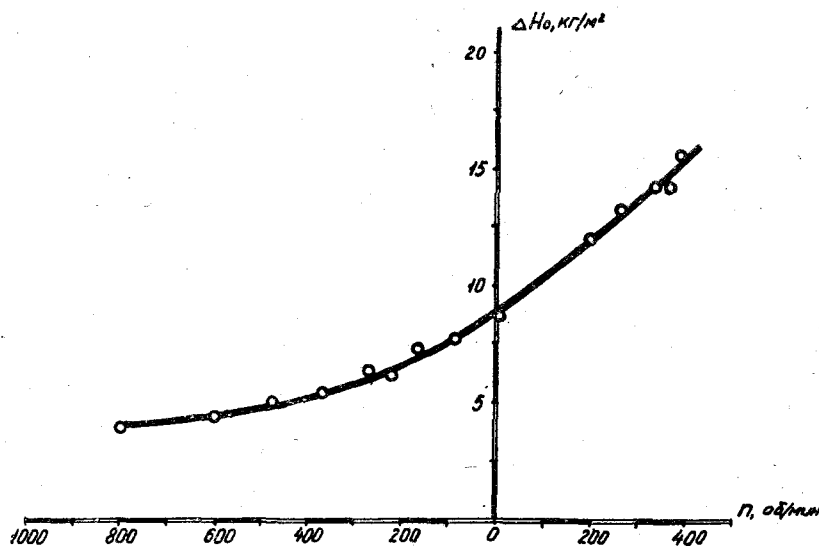


Рис. 9. Изменение гидравлического сопротивления отделителя при вращении конуса.

ние на технологический эффект его работы, так как чем ближе траектория движения газовой фазы к твердой, тем меньше возможность срыва частиц с поверхности потока твердой фазы и, как следствие этого, — снижение величины уноса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бурсиан В. Р., Некоторые вопросы теории и расчета пневмотранспорта пищевой промышленности и пути их развития, Труды ВНИИЗ, вып. XXIX, 1954.
2. Зверев Н. И., Изучение концентраций и критических скоростей при пневмотранспорте золы для расчета и проектирования установок пневматического золоудаления. Отчет по теме исследования, ВТИ, 1938.
3. Платонов П. Н., Вопросы теории равномерной загрузки зерном вагонов и трюмов, «Мукомольно-элеваторная промышленность», № 12, 1956.
4. Платонов П. Н. и Дзядзио А. М., Пневматический транспорт продуктов помола на мельницах, Труды ОИИМП и ЭХ им. Сталина, вып. III, 1952.
5. Фукс Н. А., Влияние пыли на турбулентность газового потока, Журнал технической физики, вып. 6, т. XXI, 1951.
6. Платонов П. Н., Наремский Н. К., Исследование работы центробежных разгрузителей пневматического транспорта, Труды ВНИТО мукомольно-крупяной промышленности, т. III, Заготиздат, 1956.
7. Briggs L. W., Effect of Dust Collection on Cyclon Performance, Transactions of American Institute of Chemical Engineers, 25/VI-1946.

В. Б. ФАСМАН

К ВОПРОСУ РАСЧЕТА ПНЕВМАТИЧЕСКИХ ТРАНСПОРТНЫХ УСТАНОВОК ВЫСОКОГО ВАКУУМА

В работе дана сравнительная оценка некоторых методов и описан новый способ расчета пневматических транспортных установок высокого вакуума, приближающийся к расчету вентиляционных устройств. Изложен метод определения весовой концентрации в начале расчета, исключающий необходимость перерасчетов.

Известные методы расчета пневматических транспортных установок высокого вакуума [Л. 1, 2, 3, 4] значительно отличаются друг от друга, в большинстве случаев страдают громоздкостью и дают различные результаты. Применяемые методы определения весовой концентрации излишне сложны и не дают необходимой точности.

Ниже излагается новый метод расчета этих установок.

1. Основные обозначения

- p — давление воздуха, кг/м^2 ;
- $\rho = \frac{\gamma}{g}$ — плотность воздуха, $\text{кг сек}^2/\text{м}^4$;
- v — скорость воздуха, м/сек ;
- H_0 — динамическое давление, кг/м^2 ;
- $H_{пт}$ — потеря давления при движении чистого воздуха, кг/м^2 ;
- $H_{см}$ — потеря давления при движении смеси воздуха и материала, кг/м^2 ;
- l — длина трубопровода, м ;
- D — диаметр трубопровода, м ;
- λ — коэффициент сопротивления единицы относительной длины прямолинейной трубы;
- ζ — коэффициент сопротивления фасонной части трубопровода (коэффициент местного сопротивления);
- μ — весовая концентрация смеси;
- n — порядковый номер участка;
- 1 и 2 — индексы параметров воздуха в начале и конце участка;
- k — коэффициент зависимости $H_{см}$ от $H_{пт}$.

2. Вывод основного уравнения

А. Основное уравнение. Из уравнения Д. Бернулли для элементарного участка трубы длиной dl можно получить следующее дифференциальное уравнение движения газа [Л. 5]:

$$dh + \frac{dp}{\gamma} + \frac{v dv}{g} + \frac{dU}{A} + dH = 0, \quad (1)$$

где h — нивелирная высота,

$\frac{U}{A}$ — высота, эквивалентная количеству внутренней энергии газа.

Высота потерь давления на элементарном участке трубы, как известно из гидравлики, равна:

$$dH = \lambda \frac{v^2 dl}{2gD}. \quad (2)$$

Предполагая $dh = 0$ и принимая для изотермического процесса $dU = 0$, уравнение (1) можно переписать с учетом равенства (2) следующим образом:

$$\frac{dp}{\gamma} + \frac{v dv}{g} + \lambda \frac{v^2 dl}{2gD} = 0. \quad (3)$$

Для изотермического процесса:

$$\frac{p_1}{\gamma_1} = \frac{p_2}{\gamma_2} = \frac{p}{\gamma} = \text{const.} \quad (4)$$

Согласно теореме сплошности движения для трубы постоянного сечения ($F_1 = F_2$)

$$\gamma_1 v_1 = \gamma_2 v_2 = \gamma v = \text{const.} \quad (5)$$

Из (4) и (5) имеем:

$$\frac{v}{v_1} = \frac{p_1}{p}; \quad \frac{\gamma}{\gamma_1} = \frac{p}{p_1}. \quad (6)$$

Из уравнений (3) и (6) получаем:

$$\frac{dv}{gv} + \frac{1}{\gamma_1 v_1^2 p_1} p dp + \frac{\lambda}{2gD} dl = 0.$$

Интегрирование этого уравнения на участке 1—2 дает:

$$\frac{1}{g} \ln \frac{v_2}{v_1} + \frac{1}{\gamma_1 v_1^2 p_1} \frac{p_2^2 - p_1^2}{2} + \frac{\lambda l}{2gD} = 0.$$

После несложного преобразования получаем основное уравнение движения газа в прямолинейном трубопроводе постоянного сечения с большим падением давления:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2} = \left(\lambda \frac{l}{D} + 2 \ln \frac{p_1}{p_2} \right) p_1 \frac{p_1 v_1^2}{2}. \quad (7)$$

Пренебрегая увеличением кинетической энергии, можно заменить это уравнение следующим приближенным:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 p_1} = \lambda \frac{l}{D} \frac{p_1 v_1^2}{2}. \quad (8)$$

Назовем условным такое падение давления, которое имело бы

место при постоянном удельном весе воздуха, равном удельному весу γ_1 в начале трубопровода. Обозначим

$$H_{усл} = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = \lambda \frac{l}{D} H_{01}. \quad (9)$$

Тогда уравнение (8) принимает вид:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2 p_1} = H_{усл}. \quad (10)$$

Относительная погрешность уравнения (8), вычисленная по формуле

$$\psi = \frac{2 \ln \frac{p_1}{p_2}}{\lambda \frac{l}{D} + 2 \ln \frac{p_1}{p_2}} = \frac{2 \ln \frac{p_1}{p_2}}{\frac{H_{усл}}{H_0} + 2 \ln \frac{p_1}{p_2}} \quad (11)$$

для значений $H_{усл}$ в широких пределах (от 100 до 4000 $\kappa\Gamma/\text{м}^2$), не превышает 1% и колеблется в пределах $\psi = 0,72 \div 0,91\%$, т. е. не выходит за пределы точности λ и является вполне допустимой для технических расчетов. Таким образом, уравнения (8) и (10) могут быть приняты для расчетов трубопроводов с большим падением давления.

Из уравнения (10) получаем следующую расчетную формулу:

$$H_{nm} = p_1 - p_2 = p_1 - \sqrt{p_1(p_1 - 2 H_{усл})}. \quad (12)$$

Из уравнения (3) для $\gamma = \text{const}$ и $v = \text{const}$ можно получить обычное уравнение, применяемое в расчетах вентиляционных установок:

$$H_{nm} = p_1 - p_2 = \lambda \frac{l}{D} \frac{\rho v^2}{2}. \quad (13)$$

Б. Условное падение давления. Обобщим понятие $H_{усл}$, распространив его на фасонные части трубопровода и на движение смеси воздуха с материалом.

Общую формулу, применяемую для расчетов вентиляционных установок, пользуясь понятием об эквивалентной длине, можно преобразовать следующим образом:

$$H_{nm} = \left(\lambda \frac{l}{D} + \Sigma \zeta \right) \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \frac{l + l_{эkv}}{D} \frac{\rho v^2}{2} = \lambda \frac{L}{D} \frac{\rho v^2}{2},$$

где $l_{эkv} = \frac{D}{\lambda} \Sigma \zeta$ — длина, эквивалентная сумме сопротивлений фасонных частей,

$L = l + l_{эkv}$ — приведенная длина участка.

Как известно

$$H_{см} = H_{nm} (1 + \kappa \mu) = \lambda \frac{l}{D} (1 + \kappa \mu) \frac{\rho v^2}{2} = \lambda_{см} \frac{l}{D} \frac{\rho v^2}{2},$$

где $\lambda_{см} = \lambda (1 + \kappa \mu)$ — коэффициент сопротивления при транспортировании смеси воздуха и материала.

Распространив понятие $l_{эkv}$ и L на трубы с высоким падением давления и введя понятие $\lambda_{см}$, можно считать уравнения (7), (8) и (10) применимыми и для случая движения смеси воздуха с материалом по трубопроводам, содержащим фасонные части.

Тогда уравнение (8) запишется в общем виде следующим образом:

$$\frac{p_1^2 - p_2^2}{2p_1} = \lambda_{cm} \frac{L}{D} \frac{\rho_1 v_1^2}{2}.$$

Обобщенное понятие об условном падении давления дает следующее равенство:

$$H_{усл} = \lambda_{cm} \frac{L}{D} \frac{\rho_1 v_1^2}{2} = \left(\lambda \frac{l}{D} + \Sigma \zeta \right) (1 + \kappa \mu) H_{д1}. \quad (14)$$

В. Средняя скорость воздуха в трубопроводе. Из уравнений (10) и (6) получаем:

$$\frac{v_2^2 - v_1^2}{v_2^2} = 2 \frac{H_{усл}}{p_1};$$

отсюда скорость в конце трубопровода

$$v_2 = v_1 \sqrt{\frac{p_1}{p_1 - 2H_{усл}}}. \quad (15)$$

Средняя скорость воздуха в трубопроводе на участке 1—2 может быть найдена из следующего выражения:

$$v_{cp} = \frac{\int_0^l v_2 dl}{l}.$$

Числитель этой дроби, с учетом формул (15) и (9), может быть представлен в таком виде:

$$\begin{aligned} \int_0^l v_2 dl &= \int_0^l v_1 \sqrt{\frac{p_1}{p_1 - 2H_{усл}}} dl = v_1 \sqrt{p_1} \int_0^l \frac{dl}{\sqrt{p_1 - \lambda \frac{l}{D} \rho_1 v_1^2}} = \\ &= -\frac{2v_1 \sqrt{p_1}}{\lambda \rho_1 v_1^2} \left(\sqrt{p_1 - \lambda \frac{l}{D} \rho_1 v_1^2} - \sqrt{p_1} \right) = \frac{v_1 l}{H_{усл}} (p_1 - \sqrt{p_1^2 - 2p_1 H_{усл}}). \end{aligned}$$

Тогда:

$$v_{cp} = \frac{\int_0^l v_2 dl}{l} = \frac{v_1}{H_{усл}} (p_1 - \sqrt{p_1^2 - 2p_1 H_{усл}}).$$

Принимая во внимание уравнение (12), окончательно получим:

$$v_{cp} = v_1 \frac{H_{nm}}{H_{усл}}. \quad (16)$$

3. Методика расчета

А. Сравнение различных методов расчета. Сравним результаты, получаемые по методам Козьмина П. С. [Л. 1], Спиваковского А. О. [Л. 3], Страховича К. И. [Л. 4], по изохорическому

процессу и по основному уравнению (12). С целью сравнения результатов вычислений величина H_{nm} в первых трех методах выражена через $H_{усл}$. Расчетные уравнения приведены на рис. 1.

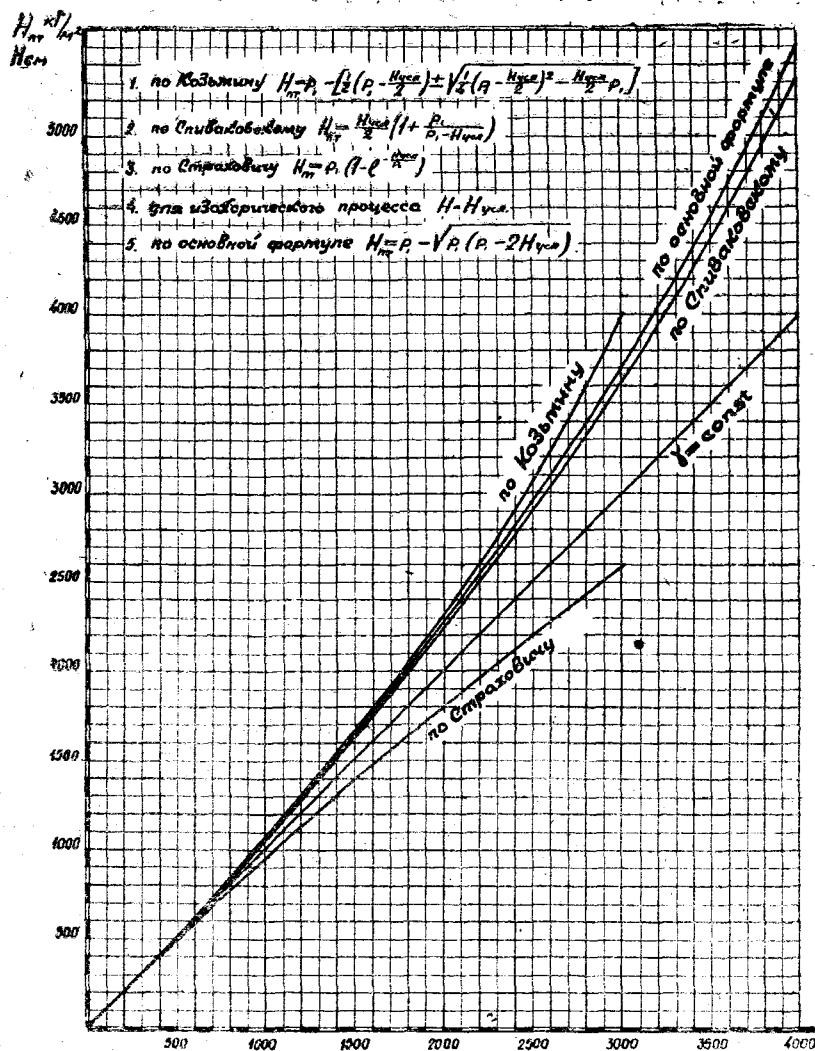


Рис. 1. Графическое изображение результатов расчета установок пневматического транспорта высокого вакуума различными методами (при $P_1 = 1 \text{ кг/см}^2$).

По полученным результатам наиболее приближаются к основной формуле методы Спиваковского и Козьмина. Результаты по этим методам при $H_{nm} \leq 1000 \text{ кг/см}^2$ почти полностью совпадают с результатами по основной формуле.

Формула Страховича К. И. дает результаты значительно меньшие по сравнению не только с основной формулой, но и с величинами

$H_{пт} = H_{усл}$, что является результатом ошибки, допущенной при выводе расчетного уравнения, а именно, что $v = \text{const}$. Действительно, расчетное уравнение Страховича К. И. можно получить из уравнения (3), заменяя $\gamma = \frac{P}{RT}$ и ошибочно предполагая $v = \text{const}$.

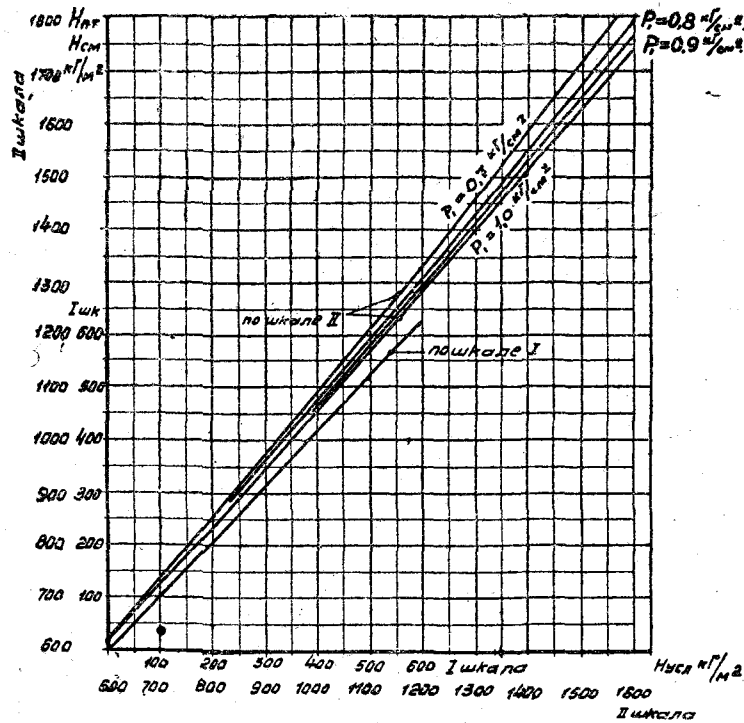


Рис. 2 График I для расчета пневматических транспортных установок высокого вакуума по методу условного падения давления.

Определение потерь давления по изохорическому процессу допустимо лишь при $H_{пт} \leq 200$ кг/м². При больших $H_{пт}$ пользование формулой (13) приводит к ошибкам, превышающим 1%, причем относительная погрешность резко увеличивается с увеличением $H_{пт}$ и уменьшением p_1 .

Выведенное выше уравнение (8) встречается в литературе [Л. 6, 7], но до сих пор для расчета пневматических транспортных установок в предлагаемом нами виде не применялось. Применение Кругловым А. Н. уравнения Зеглера привело к значительному усложнению расчета.

Б. Расчет участка установки. Для удобства пользования формулами (10) и (12) по этим уравнениям составлены графики I и II (рис. 2 и 3). С целью получения достаточной точности при определении $H_{см}$ по $H_{усл}$ в графике II по оси ординат отложены величины $\Delta H = H_{см} - H_{усл}$. Таким образом, фактическое падение давления находится путем прибавления к условному падению давления величины ΔH , определяемой по графику II:

$$H_{см} = H_{усл} + \Delta H,$$

По этим графикам можно решить задачи двух типов, а именно:
 а) определить $H_{усл}$ по $H_{см}$, p_1 и p_2 (график I); б) определить $H_{см}$ по $H_{усл}$ и p_1 (график II).

Участком при расчете пневматических транспортных установок следует считать отрезок трубопровода, характеризующийся постоянными D и весовым расходом воздуха G .

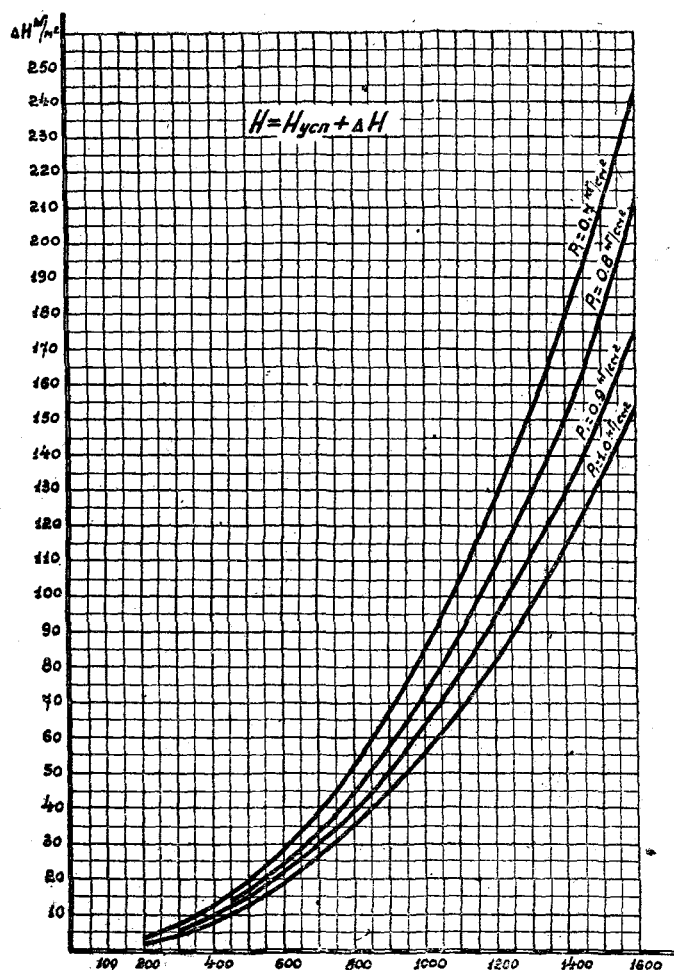


Рис. 3. График II для расчета пневматических транспортных установок высокого вакуума по методу условного падения давления.

В расчете этих установок возможны два случая:

а) нахождение длины участка по заданному давлению p_2 в его конце;

б) нахождение давления p_2 в конце участка по заданной длине.

Первый случай встречается при нахождении перехода трубопровода от одного диаметра D_n к другому D_{n+1} . Определение длины участка удобно производить в следующем порядке: по уравнению (10)

или графику I определяют $H_{усл}$ (заданы p_1 и p_2); затем, из выражения (14) определяют геометрическую длину l участка. При наличии в участке падения давления на подъём материала и на создание скорости выражение (14) в самом общем виде запишется так:

$$H_{усл} = \left(\lambda \frac{l}{D} + \Sigma \zeta \right) (1 + k \mu) H_{01} + (1 + \mu) \gamma_1 h + (1 + \varphi^2 \mu) H_{01}. \quad (17)$$

Второй случай встречается тогда, когда известна длина участка, но не известны параметры воздуха в конце его. Эту задачу легче всего решать по расчетной формуле (12) или графику II, определив предварительно $H_{усл}$ по формуле (14) или (17).

Задачу по определению давления воздуха в месте перехода от одного стандартного диаметра к другому стандартному, большему, можно решить, исходя из того, что переход производят в таком месте, где увеличенный объем воздуха после перехода к новому диаметру будет иметь скорость, равную минимальной v_{min} . При рассмотрении двух соседних участков трубопровода с диаметрами D_n и D_{n+1} , обозначая параметры воздуха через p_{n1} и v_{n1} — в начале n -ого участка, p_{n2} и v_{n2} — в конце его, $p_{(n+1)1}$ и $v_{(n+1)1}$ — в начале $(n+1)$ -го участка можно записать:

$$D_n^2 v_{n2} = D_{n+1}^2 v_{(n+1)1},$$

так как в месте перехода объемы воздуха равны. Отсюда, принимая во внимание, что $v_{(n+1)1} = v_{min}$, имеем:

$$v_{n2} = v_{min} \frac{D_{n+1}^2}{D_n^2}. \quad (18)$$

Согласно (6) находим:

$$p_{n2} = p_{n1} \frac{v_{n1}}{v_{n2}},$$

или, после подстановки найденного значения v_{n2} ,

$$p_{n2} = p_{n1} \frac{v_{n1}}{v_{min}} \frac{D_n^2}{D_{n+1}^2}. \quad (19)$$

Таким образом, давление в конце рассчитываемого участка может быть определено непосредственно по формуле (19).

В. Определение весовой концентрации. При заданном вакууме воздухоудовки экономически выгодно выбрать максимально возможное μ .

Обозначая через:

y — число участков материального трубопровода,

z — число участков воздуховода,

можно определить общую потерю давления H в установке, т. е. сумму потерь на отдельных участках, из уравнения:

$$H = \sum_1^y H_{см} + \sum_1^z H_{nm}. \quad (20)$$

В этом уравнении можно заменить действительное падение дав-

ления на n -ом участке (H_n) условным падением давления, т. е. написать, что

$$H_n = \frac{H_{n\text{ усл}}}{\alpha_n}$$

где α_n — отношение условного падения давления к соответствующему действительному.

Для отдельного участка материального трубопровода условное падение определяется, согласно (17), таким образом:

$$H_{n\text{ усл}} = \left(\lambda_n \frac{l_n}{D_n} + \Sigma \zeta_n \right) H_{\partial n1} (1 + \kappa \mu) + (1 + \mu) \gamma_{n1} h_n + (1 + \varphi^2 \mu) H_{\partial n1}. \quad (21)$$

Для участка воздуховода можно записать:

$$H_{n\text{ усл}} = \left[\lambda_n \frac{l_n}{D_n} + \Sigma \zeta_n + \zeta_{\text{разр}} (1 + \kappa \mu) \right] H_{\partial n1}. \quad (22)$$

На основании (20), (21) и (22) получим:

$$H = \sum_1^y \frac{1}{\alpha_n} \left[\left(\lambda_n \frac{l_n}{D_n} + \Sigma \zeta \right) H_{\partial n1} (1 + \kappa \mu) + (1 + \mu) \gamma_{n1} h_n + (1 + \varphi^2 \mu) H_{\partial n1} \right] + \sum_1^z \frac{1}{\alpha_n} \left[\lambda_n \frac{l_n}{D_n} + \Sigma \zeta_n + \zeta_{\text{разр}} (1 + \kappa \mu) \right] H_{\partial n1}. \quad (23)$$

Как видно из (23), H есть функция от μ . Эта функция, благодаря зависимости величин γ_{n1} , D_n , λ_n и α_n от μ , имеет очень сложный вид, поэтому нахождение μ при помощи уравнения (23) равносильно перерасчетам.

Для упрощения выражения (23) без всякого ущерба для точности расчета, введем следующие величины:

а) средняя для всей установки удельный вес воздуха $\gamma_{cp} = \frac{\gamma_1 + \gamma_2}{2}$,

где γ_1 и γ_2 относятся к концам установки;

б) средняя скорость воздуха и диаметр воздуховода v_s и D_s ;

в) средний диаметр материального трубопровода D_{cp} ;

г) среднее значение $\alpha = \frac{H_{\text{усл}}}{H}$.

Для отыскания α рассмотрим место перехода от D_n к D_{n+1} (здесь взяты два соседних стандартных диаметра, ближайших к D_{cp}).

Приближенно можно принять, что

$$v_{cp} = \frac{v_{(n+1)1} + v_{n2}}{2},$$

или, подставляя значение v_{n2} из (18),

$$v_{cp} = \frac{v_{min}}{2} \left(1 + \frac{D_{n+1}^2}{D_n^2} \right).$$

Сравнивая это выражение с уравнением (16) и имея в виду, что $v_1 = v_{min}$, получаем:

$$v_{min} \frac{H}{H_{усл}} = \frac{v_{min}}{2} \left(1 + \frac{D_{n+1}^2}{D_n^2} \right),$$

отсюда

$$\alpha = \frac{H_{усл}}{H} = \frac{2D_n^2}{D_n^2 + D_{n+1}^2}. \quad (24)$$

Произведя замену указанными средними величинами, получим из (23):

$$\left. \begin{aligned} \mu &= \frac{\alpha H - A}{B}; \\ A &= \left(1 + \lambda_{cp} \frac{l}{D_{cp}} + \Sigma \zeta \right) H_{\partial} + \gamma_{cp} h + \left(\lambda_a \frac{l_a}{D_a} + \Sigma \zeta_a + \zeta_{разгр} \right) H_{\partial a}; \\ B &= \left[\left(\lambda_{cp} \frac{l}{D_{cp}} + \Sigma \zeta \right) \kappa + \varphi^2 \right] H_{\partial} + \gamma_{cp} h + \kappa \zeta_{разгр} H_{\partial a}. \end{aligned} \right\} \quad (25)$$

В формуле (25) $l = \sum_1^y l_n$; $l_a = \sum_1^z l_n$; $h = \sum_1^y h_n$; λ_{cp} определяется по D_{cp} и v_{min} ; λ_a — по D_a и v_a ; H_{∂} — по v_{min} и γ_{cp} ; $H_{\partial a}$ — по v_a и γ_{cp} .

Формула (25) представляет собой простую зависимость, по которой в начале расчета при заданном вакууме находится то единственное значение μ , при котором может быть осуществлен расчетный режим установки.

4. Выводы

1. В настоящей работе дано сравнение результатов расчета пневматических транспортных установок высокого вакуума по некоторым методам и предложен новый способ — метод условного падения давления.

2. Метод условного падения давления не противоречит физической сущности рассматриваемых явлений и отличается простотой при вполне достаточной точности. Введение нового понятия — «условное падение давления», а также применение графиков для основного расчетного уравнения дало возможность приблизить расчет пневматических транспортных установок высокого вакуума к расчету вентиляционных установок.

3. В работе изложен новый метод определения весовой концентрации в начале расчета, исключающий необходимость перерасчетов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Козьмин П. С., Портовые и судовые машины непрерывного транспорта, «Морской транспорт», 1947.
2. Круглов А. Н., Пневматический транспорт зерна и его отходов, Заготиздат, ч. I, 1944, ч. II, 1947.
3. Спиваковский А. О., Конвейерные установки, ч. IV, ГНТИ Украины, 1935.
4. Страхович К. И., Основы теории и расчета пневматических транспортных установок, ОНТИ НКТП, 1937.

5. Панченко А. В., Вентиляционные установки элеваторов, мельниц, крупных и комбикормовых заводов, Заготиздат, 1954.
6. Гастерштадт И., Пневматический транспорт, Сев. Зап. Промбюро ВСНХ, Ленинград, 1927.
7. Зеглер Г. и Шредер П., Транспортирование зерна пневматическим способом, ДНТВУ, 1937.
8. Успенский В. А., Пневматический транспорт материалов во взвешенном состоянии, Metallurgizdat, 1952.

А. А. ИВАНОВ, А. А. ПИКЕРСГИЛЬ

ПРИМЕНЕНИЕ СИГНАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ НА ЗЕРНОВЫХ ЭЛЕВАТОРАХ

В работе рассматриваются схемы использования электронных индикаторов типа 6Е5С для определения величины загрузки приводных электродвигателей транспортных устройств зерновых элеваторов и предлагается бесконтактная схема сигнализации о режиме работы отдельных рабочих машин.

На автоматизированных зерновых элеваторах осуществление определенной очередности включения электроприводов рабочих машин достигается применением специальных электрических схем, обеспечивающих подачу напряжения к приводным электродвигателям в необходимой последовательности, определяемой принятой схемой работы основного технологического оборудования [Д. I, стр. 155].

Осведомление дежурного персонала диспетчерской о состоянии работы электроприводов отдельных рабочих машин часто осуществляется сигнальными лампами накаливания, устанавливаемыми на светящемся щите с мнемонической схемой, включение и отключение которых выполняется блокировочными контактами магнитных пускателей приводных электродвигателей.

Такая система сигнализации дает возможность диспетчеру судить лишь об остановке или о работе электродвигателей, входящих в данную группу автоматизированного электропривода, но не позволяет контролировать загрузку отдельных рабочих машин. Помимо этого, при сложных технологических схемах со значительным количеством рабочих машин, работающих в различных комбинациях, серьезным недостатком таких схем сигнализации является наличие большого количества проводов сигнализационных цепей, идущих к центральному пульту управления.

Значительное количество проводов сигнализационных цепей, а также включение сигнальных ламп накаливания блокировочными контактами магнитных пускателей вносят определенный элемент ненадежности в работу сигнализации.

Применение сигнальных ламп на напряжение 220 в, при питании их от силовой электросети с напряжением 380 в, обычно требует установки специального понижающего трансформатора, что является также недостатком описываемой схемы.

Использование электронных индикаторов типа 6Е5С в специальных бесконтактных схемах позволяет предложить простые устройства для сигнализации о режиме работы и величине загрузки отдельных электроприводов рабочих машин со значительным сокращением числа проводов в цепях сигнализации.

1. Использование электронного индикатора для определения величины загрузки приводного электродвигателя

Электронный индикатор типа 6Е5С является комбинированным вакуумным прибором, состоящим из индикатора, расположенного в верхней части лампы, и триода, находящегося в ее нижней части (рис. 1, а). Индикатор и триод имеют общий подогревный катод 8, который проходит через всю лампу и в верхней своей части прикрыт колпачком 9.

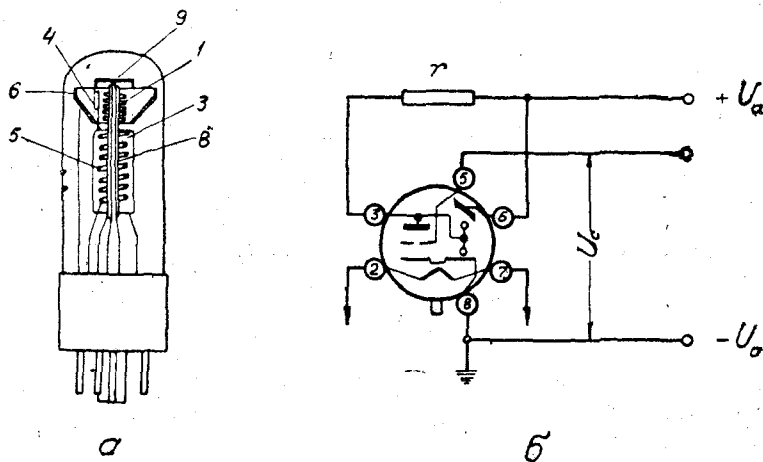


Рис. 1. Электронный индикатор типа 6Е5С:
а — схематический разрез; б — схема включения (вид снизу).

Индикатор состоит из конусообразного экрана 6, внутренняя поверхность которого, обращенная к верхней части подогревного катода, покрыта тонким слоем люминесцирующего вещества виллемита, излучающего при бомбардировке его электронами ярко-зеленое свечение, и ножевидного управляющего электрода 4, соединенного с анодом 3 триода, на сетку 5 которого подается управляющее напряжение U_c (рис. 1, б). Нижняя часть катода используется в триодной части лампы 6Е5С.

На экран индикатора подается значительный положительный потенциал по отношению к катоду, порядка $U_a = 200 \dots 250$ в, а анод присоединяется к экрану через сопротивление $r = 1 \dots 1,5$ мгом.

Во избежание установления при этом значительного тока в верхней части катода, близкого к току насыщения, и приводящего к быстрому выходу электронного индикатора из строя, между экраном и ка-

тодом располагают специальную сетку I , которая соединяется с катодом и способствует образованию у его поверхности пространственного заряда, ограничивающего величину тока I_a .

В триодной части электронного индикатора значение анодного тока I_a , а следовательно и величина потенциала на аноде и на управляющем электроде, зависит от величины напряжения U_c на управляющей сетке лампы.

При напряжении, близком к нулю, анодный ток I_a имеет большое значение, что приводит к значительному падению напряжения на сопротивлении r и резкому понижению потенциала на управляющем электроде по отношению к экрану.

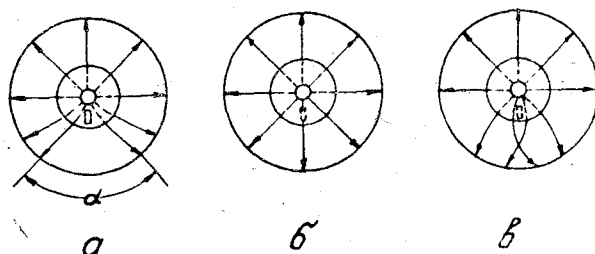


Рис. 2. Траектории электронов при различном потенциале на управляющем электроде:
 a — сектор открыт — $\alpha > 0$; $б$ — сектор закрыт — $\alpha = 0$; $в$ — сектор перекрыт — $\alpha < 0$.

В результате этой конфигурации электрического поля между экраном и катодом искажается, траектории электронов искривляются, и они на некоторую часть экрана не попадают, вследствие чего на нем появляется затемненный сектор, характеризуемый углом раскрытия $\alpha \cong 90^\circ$ (рис. 2,а). Остальная часть экрана подвергается бомбардировке электронами и светится ярко-зеленым цветом.

Появление на управляющей сетке некоторого отрицательного напряжения U_c уменьшает величину анодного тока I_a и повышает потенциал управляющего электрода индикатора. При этом искривление траекторий электронов ослабляется и угол раскрытия α затемненного сектора становится меньше.

В электронном индикаторе типа 6Е5С при $U_c = -8$ в угол $\alpha = 0^\circ$ и весь экран светится ярко-зеленым цветом (рис. 2,б),

Дальнейшее увеличение отрицательного напряжения на сетке лампы приводит к тому, что движущиеся электроны начинают огибать с двух сторон управляющий электрод, находящийся под значительным положительным потенциалом и подвергать узкий сектор поверхности экрана усиленной бомбардировке, вследствие чего интенсивность свечения в этом месте возрастает и края светящегося сектора как бы перекрывают друг друга (рис. 2,в).

На рис. 3 приведена зависимость угла раскрытия α от величины напряжения U_c на сетке триода для электронного индикатора типа 6Е5С [Л. 2, стр. 343].

Пользуясь зависимостью $\alpha = f(U_c)$, можно предложить бесконтактную схему сигнализации для определения величины загрузки приводного электродвигателя (рис. 4).

При разомкнутом линейном контакторе \mathcal{L} накаленный катод электронного индикатора вызывает слабое темно-красное свечение экрана вследствие отражения в нем верхней части разогретого катода, что сигнализирует о выключении приводного электродвигателя.

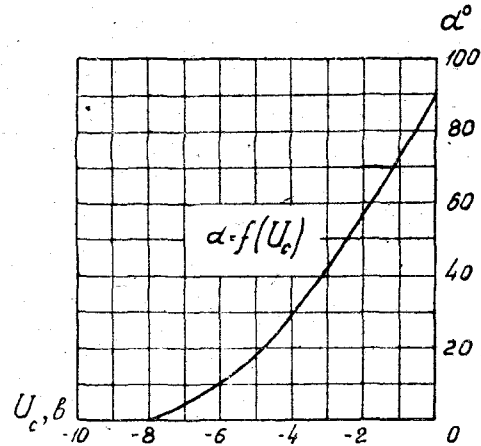


Рис. 3. Зависимость угла раскрытия α затемненного сектора электронного индикатора типа 6Е5С от величины напряжения U_c на сетке триодной части.

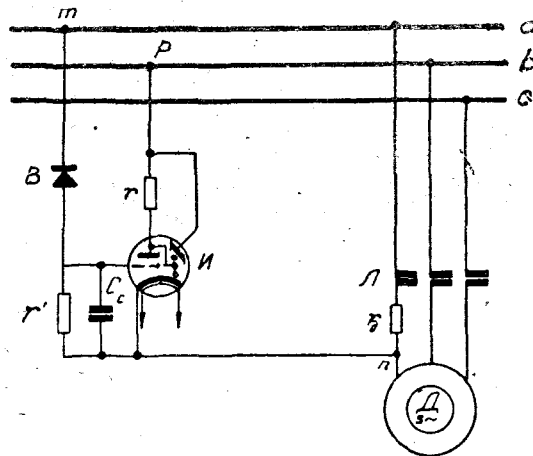


Рис. 4. Схема включения электронного индикатора для определения величины загрузки приводного электродвигателя, питающегося от радиальной сети незначительной протяженности.

Замыкание линейного контактора, сопровождающееся пуском электродвигателя в ход, приводит к установлению разности потенциалов между анодом и катодом электронного индикатора, который начинает при этом работать как однополупериодный выпрямитель переменного тока и экран его светится ярко-зеленым цветом.

Управляющее напряжение U_c снимается с сопротивления r_o и подается через полупроводниковый германиевый вентиль B типа ДГ-Ц24 на сетку триодной части.

Так как в цепи сетки лампы отсутствует сопротивление, то для качественной фильтрации выпрямленного напряжения в схеме предусмотрен электролитический конденсатор C_c емкостью порядка 50 мкф, без которого наблюдается дрожание краев затемненного сектора на экране электронного индикатора и снижение чувствительности схемы. Параллельно конденсатору C_c включается стабильное непроволочное сопротивление $r = 5 \div 10$ ком.

Величина добавочного сопротивления r_o выбирается небольшой из такого расчета, чтобы при номинальной нагрузке электродвигателя величина напряжения на сетке была близка к значению $U_c = -8$ в, которому отвечает угол раскрытия затемненного сектора $\alpha = 0^\circ$.

Предлагаемая схема обеспечивает при холостом ходе приводного электродвигателя, когда потребляемый ток небольшой, значение угла $\alpha \cong 90^\circ$, а при перегрузке — появление на экране электронного индикатора узкой полосы интенсивного свечения, образуемой перекрывающимися краями светящегося сектора.

Таким образом, по величине угла α затемненного сектора можно с достаточной для практики точностью судить о величине загрузки электродвигателя, а следовательно, и о полноте использования приводимой от него рабочей машины.

Существенным преимуществом бесконтактной схемы сигнализации (рис. 4), по сравнению с обычно используемыми схемами сигнализации с лампами накаливания, включаемыми блокировочными контактами магнитных пускателей, является необходимость в прокладке к центральному пульту управления, где всегда поддерживается практически неизменное напряжение и имеются три фазы a, b, c всего лишь одного провода (фазы a) от зажимов электродвигателя. Сечение этого провода определяется как минимально допустимое из условий механической прочности, ибо протекающий ток по нему ничтожно мал.

При значительном расстоянии между центральным пультом управления, между фазами которого подключается сигнализационная схема (точки m и p , рис. 4) и местом расположения электродвигателя приходится учитывать величину сопротивления провода длиной mn , прокладываемого при радиальной схеме питания электроприемников от центрального пульта управления до электродвигателя и находить величину потребного сопротивления r_o из соотношения

$$r_o = \frac{8}{\sqrt{2} I_a} - r_a$$

где I_a — ток, протекающий в линии;

r_a — сопротивление провода на участке mn .

При значительной протяженности радиальной сети, питающей электродвигатель, можно вообще обойтись без сопротивления r_o за счет существующей потери напряжения на участке mn .

Так как в силовых цепях допускается потеря напряжения до 5%, то при напряжении 380 в в отдельных случаях придется даже снизить величину потери напряжения в проводе m до значения, обеспечивающего напряжение на сетке $U_c = -8$ в, при номиналь-

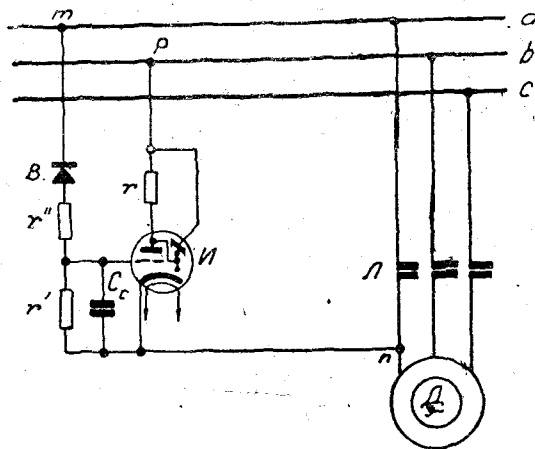


Рис. 5. Схема включения электронного индикатора для определения величины загрузки приводного электродвигателя, питающегося от радиальной сети значительной протяженности.

ной нагрузке электродвигателя, что легко выполнить применением обычного делителя напряжения из стабильных непроволочных сопротивлений r' и r'' (рис. 5).

2. Бесконтактная схема сигнализации о режиме работы отдельных рабочих машин зерновых элеваторов

На рис. 6 представлена контактно-релейная схема управления автоматизированными электроприводами рабочих машин зернового элеватора с бесконтактной сигнализацией о режиме их работы, в которой нажимом пусковой кнопки Π осуществляется поочередный пуск электродвигателей D_1, D_2, D_3 , питающихся радиальными сетями от шин a, b, c центрального пульта управления. Необходимые выдержки времени между включениями в работу отдельных электродвигателей достигаются использованием реле времени $1PB$ и $2PB$.

В отличие от существующих схем управления [Л. I, стр. 155] схема рис. 6 может быть осуществлена на простейших магнитных пускателях без дополнительных блокировочных контактов при отсутствии дорогостоящих и мало надежных в работе центробежных реле.

Наличие электронных индикаторов $1И, 2И, 3И$, находящихся на центральном пульте управления, к которым идет от каждого электродвигателя всего лишь по одному проводу, позволяет судить о режиме работы отдельных электродвигателей.

В случае сложных транспортных установок набор на центральном пульте управления той или иной технологической схемы работы машин завершается подачей напряжения от шин a, b, c , на концы цепи управления и сигнализации, в результате чего через 25—30 сек. катоды электронных индикаторов, питаемых от небольшого трансформатора нака-

ла 380/6,3 в, накалятся, и экраны электронных индикаторов начнут светиться слабым темно-красным цветом, сигнализируя о готовности установки к пуску.

При нажатии пусковой кнопки П будет происходить поочередное, с установленными выдержками времени, включение тяговых катушек 1Л, 2Л, 3Л магнитных пускателей, вызывающих их срабатывание и пуск соответствующих электродвигателей Д₁, Д₂, Д₃ в ход.

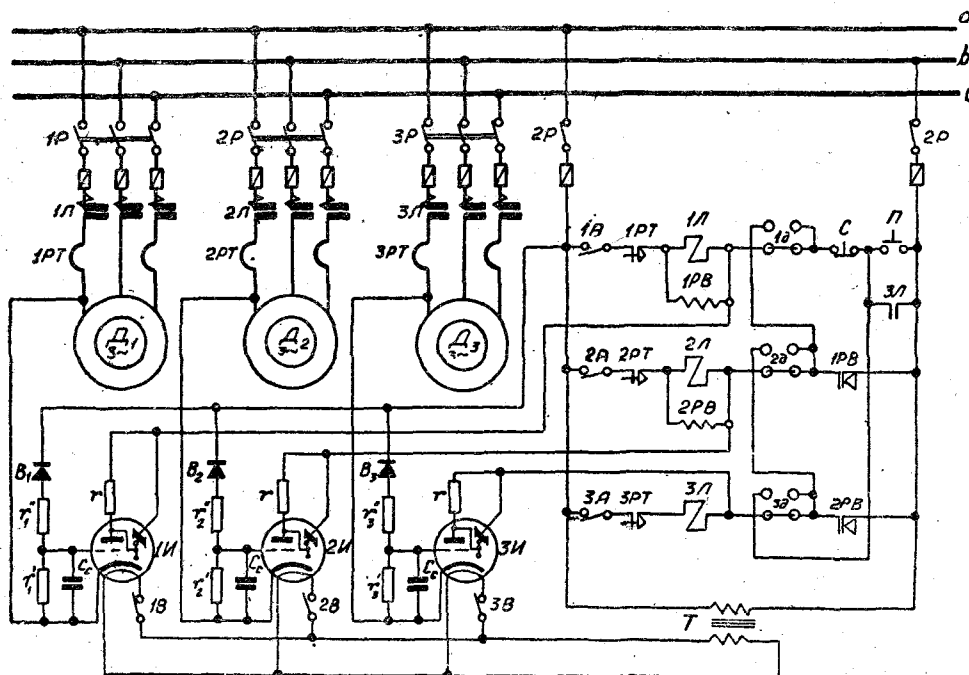


Рис. 6. Автоматизированная схема управления и бесконтактной сигнализации в режиме работы рабочих машин зерновых элеваторов.

Включение каждого электродвигателя в работу будет сопровождаться появлением ярко-зеленого свечения соответствующего электронного индикатора с затемненным сектором, центральный угол которого приблизительно пропорционален величине загрузки отдельного электрифицированного агрегата.

Наблюдение за величинами углов затемненных секторов экранов электронных индикаторов позволяет оператору диспетчерской контролировать работу отдельных электродвигателей автоматизированных электроприводов машин непрерывного транспорта и, в случае необходимости, останавливать установку нажимом остановочной кнопки С.

Наличие аварийных выключателей 1А, 2А, 3А, находящихся у рабочих машин, позволяет обслуживающему персоналу при авариях прекратить работу установки, а деблокирующие устройства 1Д, 2Д, 3Д дают возможность осуществить отдельный пуск отдельных рабочих машин.

3. Особенности сигнализационной схемы с электронными индикаторами

Предлагаемая схема, испытанная в лабораториях кафедры электротехники, выгодно отличается от существующих схем отсутствием значительного количества проводов сигнализационных цепей, на что затрачи-

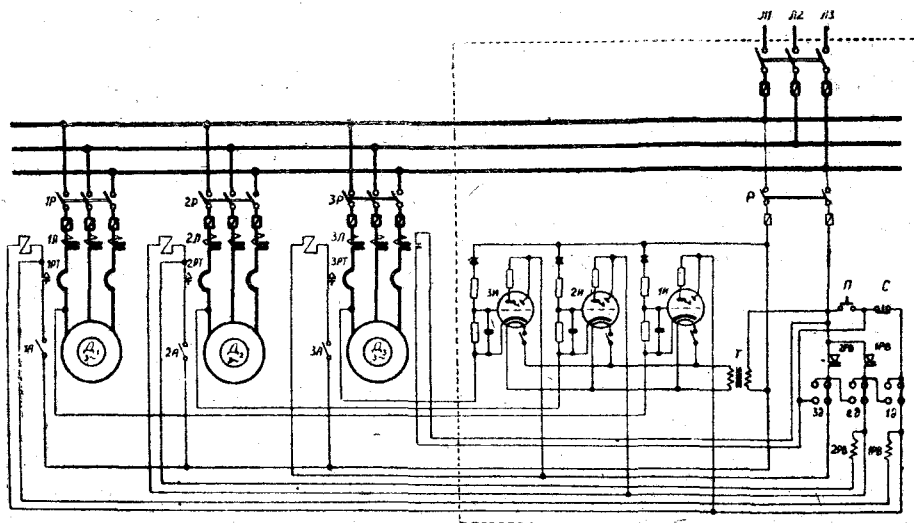


Рис. 7. Монтажная схема электроприводов машин зерновых элеваторов при использовании сигнальных электронных индикаторов.

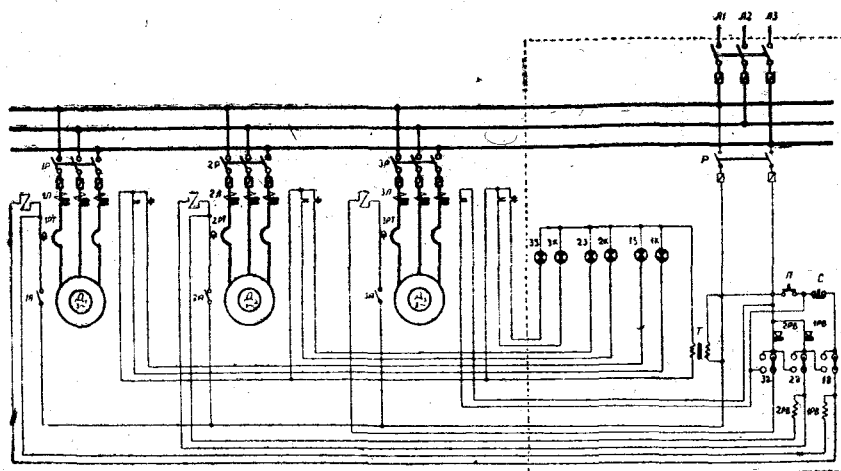


Рис. 8. Монтажная схема электроприводов машин зерновых элеваторов при использовании сигнальных ламп накаливания.

вается много материала, средств и времени на монтаж, не требует наличия относительно громоздкого понижающего трансформатора 380/220 в для питания сигнальных ламп накаливания напряжением 220 в и характеризуется полной бесконтактностью всех сигнальных элементов.

Все сигнальное устройство состоит из небольших электронных индикаторов типа 6Е5С, малогабаритных электролитических конденсаторов, миниатюрных селеновых или германиевых выпрямителей, весьма малых стабильных непроволочных сопротивлений, которые с успехом могут быть заключены в небольшие габариты, что позволит значительно сократить размеры пульта управления.

Сопоставление рис. 7 и 8, где приведены монтажные схемы электроприводов машин зерновых элеваторов, наглядно подчеркивает, что при числе рабочих машин, равном n , число сигнальных проводов при электронных индикаторах будет также n , в то время как при сигнализации лампами накаливания, питаемыми через понижающий трансформатор T , число их должно быть $2n+1$.

Помимо этого, в первом случае сигнальные цепи могут быть выполнены стандартными кабелями облегченного сечения, вплоть до телефонных с полихлорвиниловой изоляцией отдельных жил, а во втором случае необходимы провода большего сечения, что вызывает повышенный расход цветного металла и большую сложность выполнения монтажных работ.

Последнее обстоятельство весьма существенно при значительном числе рабочих машин, что имеет место на современных автоматизированных элеваторах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. А., Электрооборудование пищевых предприятий, Гостехиздат УССР, 1956.
2. Власов В. Ф., Электроракумные приборы, Связьиздат, 1949.

*А. М. ДЗЯДЗИО, А. А. ИВАНОВ, В. А. СОМОВ,
С. П. БОЯР-СОЗОНОВИЧ, Г. Д. ГАЛЬПЕРИН*

ИЗ ОПЫТА РАБОТЫ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ВИБРОПРИВОДА ПРОСЕИВАЮЩИХ МАШИН ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

В работе рассматриваются некоторые основные соотношения в динамике машины, имеющей возвратно-поступательное движение исполнительного органа, приводимой от электромагнитного двигателя, а также описаны схемы инерционного и параметрического электромагнитного вибропривода, испытанные в лабораториях Одесского технологического института им. И. В. Сталина.

Современное развитие электропривода в большинстве отраслей промышленности идет по пути полного сращивания исполнительного механизма и приводного двигателя. Преимуществом электромагнитного вибропривода является отсутствие в нем какого-либо передающего элемента, так как все устройство представляет собой одну колебательную систему. В последние годы электромагнитный вибропривод с успехом применяется в различных отраслях промышленности, как то: в угледобывающей [Л. 1], химической [Л. 4] и других. Недавно такому виду привода начали уделять внимание и в мукомольном производстве. В этом отношении известны работы, выполненные в нашем институте [Л. 2, 3] и во ВНИИЗ'е [Л. 5].

За рубежом, в Германии, также оживился интерес к применению электромагнитного вибропривода в мельничном машиностроении. Так в [Л. 4] рекомендуется заимствовать из других отраслей промышленности вибратор АЕG, который своим основанием может крепиться непосредственно к ситовому корпусу, а обмотки электромагнита питаются от сети переменного тока с частотой 50 гц, что вызывает возникновение колебаний механической системы с двойной частотой.

На рис. 1 и 2 сопоставлены два вида привода ситовых корпусов. Здесь наглядно видно конструктивное преимущество электромагнитного вибропривода перед эксцентриковым.

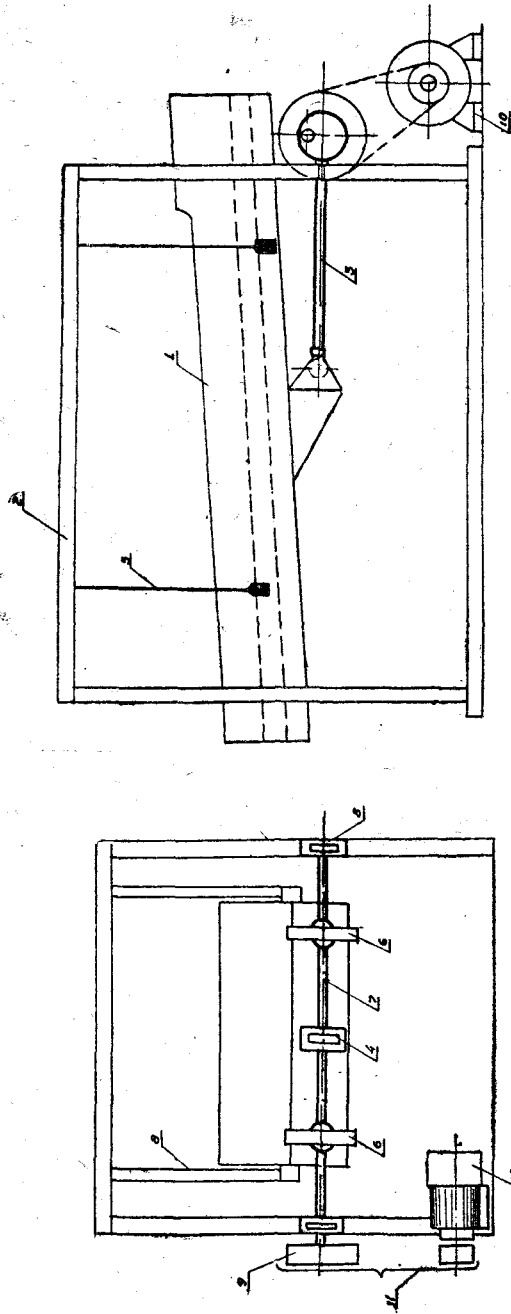


Рис. 1. Схема просеивающего устройства с эксцентриковым приводом:

1 — ситовый корпус.

2 — станина.

3 — подвесные пружины;

* 4 — эксцентрик;

* 5 — тяга;

* 6 — противовесы;

* 7 — вал;

* 8 — подшипники;

** 9 — приводной шкив;

** 10 — приводной электродвигатель;

* 11 — защитное ограждение.

Примечание: Детали с индексом * устраниваются при переходе к электромагнитному виброприводу, а детали с индексом ** подлежат замене другими.

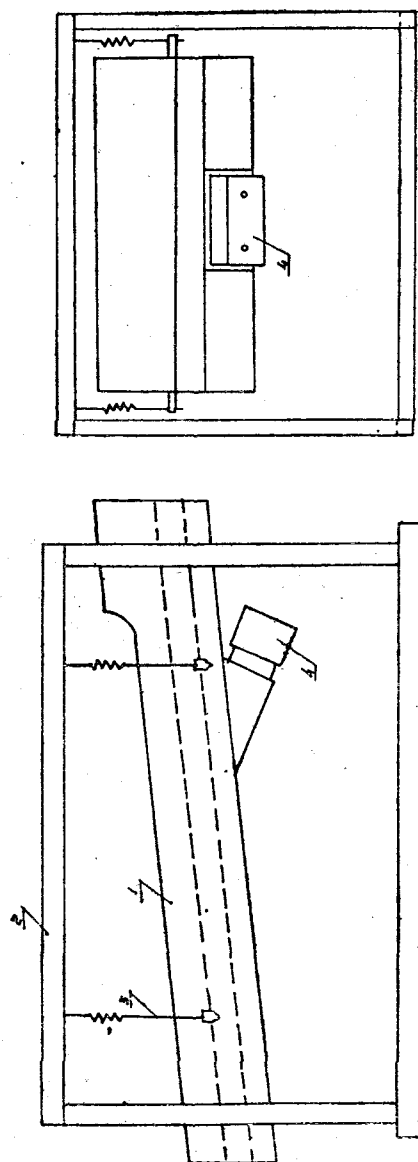


Рис. 2. Схема просеивающего устройства с электромагнитным виброприводом:

1 — ситовый корпус;

2 — станина;

3 — подвесные пружины;

4 — электромагнитный вибратор.

1. Некоторые соотношения в динамике просеивающих машин с возвратно-поступательным движением

Допустим, что некоторая материальная жесткая система, обладающая массой m , под влиянием внешней силы F совершает возвратно-поступательное движение вдоль оси x .

Пусть эта система при своем движении испытывает силу сопротивления со стороны окружающей среды. Силу сопротивления принимаем пропорциональной первой степени скорости.

Тогда сила F , приложенная к возвратно-поступательно движущейся массе m , определится из уравнения

$$F = m \frac{d^2x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt}. \quad (1)$$

Применим уравнение (1) к реальным условиям движения корпуса сепаратора, которое по ряду причин должно быть гармоническим, то-есть перемещение его любой точки x может быть представлено уравнением

$$x = X_M \cdot \sin \omega t, \quad (2)$$

где X_M — амплитуда колебаний корпуса,

ω — угловая частота колебаний.

Тогда оно представится в таком виде

$$F = -X_M m \omega^2 \left(\sin \omega t - \frac{k}{m\omega} \cos \omega t \right) \quad (3)$$

или

$$F = -\frac{4\pi^2 f^2 G}{g} X_M \left(\sin \omega t - \frac{kg}{2\pi f G} \cos \omega t \right), \quad (4)$$

где f — число колебаний корпуса сепаратора в секунду,

G — вес движущихся частей, кг.

Так как в существующих конструкциях машин $f = 8,33 \frac{\text{пер}}{\text{сек}} = 500 \frac{\text{пер}}{\text{мин}}$, $G = 80 \div 500$ кг, $X_M = 5 \div 10$ мм, а коэффициент k , зависящий от массы и свойств обрабатываемого продукта, изменяется от весьма малых значений до $10 \div 15 \frac{\text{кг сек}}{\text{м}}$, то даже в наименее выгодных условиях величина

$$\frac{kg}{2\pi f G} = \frac{15 \cdot 9,81}{2\pi \cdot 8,33 \cdot 80} \cong 0,035,$$

что указывает на возможность пренебречь вторым членом выражения, стоящего в скобках, в уравнении (4).

Тогда абсолютное значение силы F , которая должна быть приложена к реальному виброкорпусу для сообщения ему возвратно-поступательного движения с заданной амплитудой X_M , частотой f и гармоническим перемещением, будет

$$F = \frac{4\pi^2 f^2 G}{g} X_M \cdot \sin \omega t, \quad (5)$$

а ее амплитуда

$$F_M = \frac{4\pi^2 f^2 G}{g} X_M. \quad (6)$$

Применительно к средним значениям отдельных величин, имеющих место в практических условиях, имеем

$$F_M = \frac{4\pi^2 f^2 G}{g} X_M = \frac{4\pi^2 \cdot 8,33^2 \cdot 400}{9,81} \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cong 550 \text{ кг.}$$

Создание электромагнита с меняющимся синусоидально по времени тяговым усилием F , максимальная величина которого равна 550 кг, связано с очень большими техническими трудностями и затратами. Выполненный в таком виде привод будет во много раз дороже чем уже существующие системы.

Отсюда вытекает, что применение электромагнитного привода для принудительного возвратно-поступательного движения свободно подвешенного виброкорпуса просеивающих машин практически нецелесообразно.

Совершенно другие требования будут предъявлены к тяговому электромагниту, если вибросистему предварительно настроить с помощью пружины на необходимую частоту свободных механических колебаний.

Тогда уравнение (1) примет вид:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k \frac{dx}{dt} + cx = F_M \cdot \sin \omega t, \quad (7)$$

где c — жёсткость пружины.

Интегрируя это уравнение, найдём, что в данном случае наибольшая сила, требуемая от тягового электромагнита, будет

$$F_M = 2\pi f k X_M. \quad (8)$$

Кроме того, можно показать, что сила, развиваемая электромагнитом, может быть в этом случае не синусоидальной по времени, а только периодической с периодом, равным периоду свободных механических колебаний вибросистемы.

Принимая прежние условия, получим, что

$$F_M = 2\pi f k X_M = 2\pi \cdot 8,33 \cdot 10 \cdot 5 \cdot 10^{-3} \cong 2,6 \text{ кг,}$$

то-есть, что наибольшая сила, полученная из уравнения (8), примерно в двести раз меньше чем таковая, полученная по уравнению (6).

Отсюда вытекает, что в реальных условиях применение электромагнитного вибропривода целесообразно только к резонансной механической системе.

В первых экспериментальных образцах механический резонанс получался с помощью пружины, закрепленной одним концом к виброкорпусу и другим к станине машины (рис. 3).

В механическом отношении такой привод имел большой недостаток, заключающийся в том, что силы инерции подвижных масс не уравновешивались, а передавались с помощью пружины на станину машины.

Так как в реальных производственных условиях применение такого неуравновешенного привода совершенно недопустимо, то поэтому

был разработан самобалансный электромагнитный вибропривод, в котором силы инерции полностью уравновешены.

Конструкция такого привода показана на рис. 4.

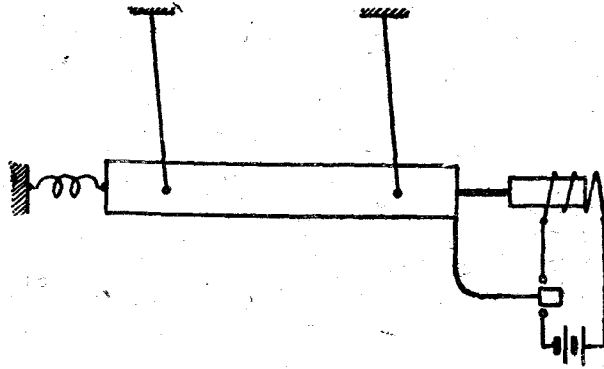


Рис. 3. Простейшая схема электромагнитного привода корпуса просеивающей машины.

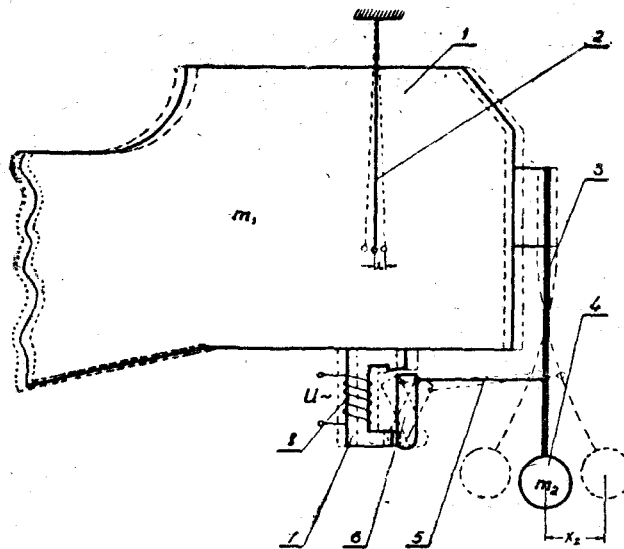


Рис. 4. Схема самобалансного электромагнитного вибропривода.

К стовому корпусу 1, свободно подвешенному на подвесках 2, с помощью плоской пружины 3 прикреплен груз 4.

К этому же корпусу прикреплен сердечник электромагнита 7.

Якорь электромагнита 6 связан с пружиной 3 тягой 5.

В катушку электромагнита 8 подаются импульсы тока с частотой, равной частоте свободных механических колебаний упругой системы, состоящей из груза 4 и пружины 3.

Под влиянием возмущающей силы электромагнита упругая система 3—4 совершает незатухающее колебательное движение.

В свою очередь, упругая система 3—4 входит в состав изолированной от внешней среды системы, состоящей из массы $m_1 + m_2$ свободно подвешенного ситового корпуса со всеми его деталями. По закону движения центра масс при отсутствии внешних возмущающих сил центр масс изолированной системы должен оставаться неподвижным. Отсюда вытекает следующее простое соотношение:

$$(m_1 + m_2)x_1 = m_2 x_2 \dots \dots \dots (9)$$

или

$$x_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} x_2, \dots \dots \dots (10)$$

где m_1 и m_2 — подвижные массы,

x_1 и x_2 — перемещения, которые соответственно проходит каждая из этих масс.

Так как при упругих колебаниях системы 3—4

$$x_2 = X_{2M} \cdot \sin \omega t, \quad (11)$$

то

$$x_1 = \frac{m_2}{m_1 + m_2} X_{2M} \cdot \sin \omega t, \quad (12)$$

где X_{2M} — наибольшее отклонение груза от вертикали,

ω — угловая частота колебаний системы.

Из последнего соотношения (12) следует, что ситовой корпус будет совершать гармоническое возвратно-поступательное движение с амплитудой

$$X_{1M} = \frac{m_2}{m_1 + m_2} X_{2M} \dots \dots \dots (13)$$

и угловой частотой

$$\omega = 2\pi f. \dots \dots \dots (14)$$

По отношению к станине система с электромагнитным приводом, изображенная на рис. 4, является полностью уравновешенной.

Описанный привод был осуществлен в лабораториях Одесского технологического института имени И. В. Сталина на сепараторе с весом ситового корпуса 80 кг, где в качестве пружины использовалась рессора от автомобиля ЗИС-5.

Питание катушки тягового электромагнита обеспечивалось источником переменного тока при частоте около 4 гц.

2. Требования, предъявляемые к электрическим схемам управления тяговым электромагнитом

К электрической схеме управления электромагнитом предъявляются следующие требования:

1) схема должна обеспечить подачу на электромагнит импульсов постоянного или переменного тока с частотой, равной частоте свободных механических колебаний системы;

2) питание схемы должно осуществляться от заводской сети переменного тока;

3) в схеме должны отсутствовать какие-либо искрящие контакты и она должна быть приспособлена для работы в запыленных взрывоопасных цехах;

4) схема должна удовлетворять современным технико-экономическим требованиям, то-есть иметь высокий к. п. д. и $\cos \varphi$.

В процессе работы был испытан ряд различных электрических схем управления тяговым электромагнитом.

Две из них, описанные ниже, представляют интерес для внедрения в условиях приводов просеивающих машин.

3. Электромагнитный колебатель ситовых корпусов с ионным приводом

Полная электро-кинематическая схема ионного привода показана на рис. 5.

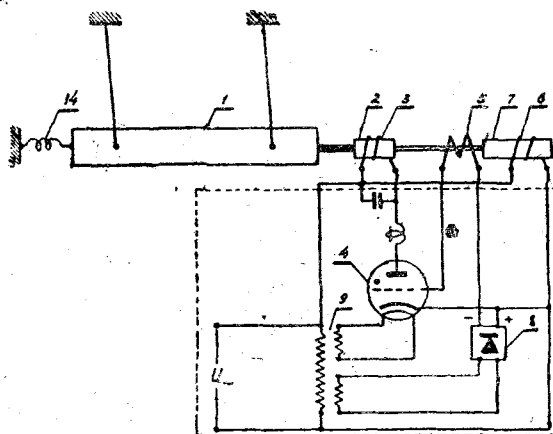


Рис. 5. Электро-кинематическая схема ионного привода.

На ней цифрой 1 обозначен приводимый в движение ситовой корпус, цифрами 2 и 3 — тяговый электромагнит, якорь которого 2 непосредственно соединен с корпусом.

Остальные элементы схемы являются органами управления электромагнитом, подающими на него импульсы напряжения требуемой частотой.

Элементы схемы, обведенные пунктирной линией, смонтированы в автономном взрывобезопасном блоке или удалены за пределы цеха, например, в цеховой распределительный пункт.

Элементы схемы 2, 3, 5, 6, 7, представляющие из себя неизменные электрические цепи, находятся на самой машине и выполнены в закрытом исполнении.

Таким образом, система полностью удовлетворяет требованиям техники безопасности и, в этом отношении, ничем не отличается от

применяемого электрооборудования пищевых предприятий со взрывоопасной средой.

Катушка тягового электромагнита 3 включена в сеть переменного тока последовательно с тиратроном 4.

При открытии тиратрона она оказывается под током и якорь электромагнита втягивается, увлекая за собой ситовой корпус.

При закрытии тиратрона электромагнит будет обесточен, и якорь его совместно с ситовым корпусом, под действием пружины 14, возвратится в исходное положение.

Периодическое открытие и закрытие тиратрона с определенной частотой приводит к соответствующим колебаниям якоря электромагнита и ситового корпуса.

Это достигается подачей на сетку тиратрона с определенной частотой напряжения, запирающего и отпирающего тиратрон.

Запирающее напряжение подается от небольшого селенового выпрямителя 8 с соответствующими фильтрами, который питается от дополнительной обмотки трансформатора накала 9.

Отпирающее напряжение подводится от вспомогательного трансформатора 5, 6, 7, подающего на сетку тиратрона переменное напряжение, находящееся в фазе с анодным напряжением.

Вспомогательный трансформатор 5, 6, 7 имеет переменную связь между первичной обмоткой 6 и вторичной обмоткой 5, осуществляемую с помощью подвижного сердечника 7. Когда сердечник 7 находится между катушками, — связь максимальная, когда он находится вне катушек, — связь минимальная.

Соответственно открывающее напряжение на обмотке 5 меняет свою величину в определенных пределах от максимума до минимума.

Схема рассчитана так, чтобы эти изменения напряжения на обмотке 5 были достаточны для управления тиратроном.

Таким образом, возвратно-поступательное движение сердечника вспомогательного трансформатора 7 вызывает периодические открытия и закрытия тиратрона и, соответственно, возвратно-поступательное движение сердечника тягового электромагнита.

Перемещение сердечника 7 осуществляется, в свою очередь, от якоря тягового электромагнита 2.

Для этого они механически жестко связаны между собой. Эта связь отрегулирована так, чтобы тиратрон выключался после втягивания сердечника 2 и включался при выходе сердечника 2 из катушки.

Такой способ связи сеточной цепи тиратрона с анодной цепью его обеспечивает непрерывное возвратно-поступательное движение всей системы совместно с ситовым корпусом.

Трансформатор 5, 6, 7 практически не несет никакой токовой нагрузки, поэтому он выполнен малых размеров.

Как показывают производственные эксперименты, схема устойчива в работе и имеет при правильной регулировке высокий к. п. д.

Недостатком ее следует считать наличие тиратрона, срок службы которого ограничен, а также присущие ей явления некоторого периодического изменения амплитуды колебаний вибросистемы с весьма малой частотой, для устранения которых требуется провести еще некоторые дополнительные разработки.

4. Параметрический электромагнитный вибропривод

Описываемый привод (рис. 6) представляет собой электромагнит переменного тока I , якорь которого 2 непосредственно связан с виброкорпусом 3 , а в цепь тяговой катушки последовательно включен конденсатор 4 .

Несмотря на отсутствие какого-либо коммутатора, подвижная часть электромагнитного двигателя, при определенных условиях, совершает колебания, частота которых может быть на много меньше частоты питающего напряжения.

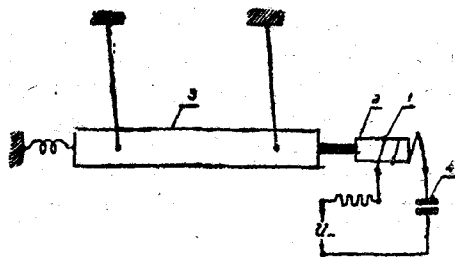


Рис. 6. Схема параметрического электромагнитного вибропривода.

На экспериментальной установке удавалось получать частоты от 50 до 800 периодов в минуту при частоте питающего напряжения $f = 50$ гц.

Работа параметрического электромагнитного двигателя протекает следующим образом: сила, действующая на якорь электромагнита, зависит от протекающего через тяговую катушку тока и от положения сердечника в ней, то-есть: $F = \psi(I, l)$.

В свою очередь ток I , протекающий через катушку, зависит от параметров цепи r, L, C и от приложенного напряжения U и находится как

$$I = \frac{U}{z}, \quad (15)$$

где

$$z = \sqrt{r^2 + \left(2\pi fL - \frac{1}{2\pi fC}\right)^2}. \quad (16)$$

Сопrotивление цепи рассчитывается так, чтобы в положении, соответствующем выдвинутому из катушки якорю электромагнита, в ней наступал резонанс напряжений.

В квазистатическом режиме, при котором якорь электромагнита теоретически бесконечно медленно перемещается от точки к точке, функция тока от положения сердечника не будет зависеть от направления движения якоря. Ток будет меняться по одной и той же кривой, и работа, совершаемая электромагнитными силами при этом за один полный замкнутый цикл, будет равна:

$$W = \int_a^b \psi(I, l) dl - \int_b^a \psi(I, l) dl = 0. \quad (17)$$

В динамическом режиме, при котором якорь электромагнита перемещается между крайними точками с определенной скоростью, вступают в силу переходные электрические процессы, и функция $i = \varphi(l)$ становится зависимой от направления движения якоря.

При движении якоря электромагнита вправо, к положению резонанса, кривая реального тока отстает от квазистатической кривой. При движении якоря электромагнита влево от положения резонанса, кривая реального тока опережает эту кривую.

В этом случае работа электромагнитной силы за один полный цикл будет отличаться от нуля, и если она способна покрыть сумму механических потерь и полезную работу, совершаемую якорем за один цикл, двигатель будет совершать непрерывное возвратно-поступательное движение.

Схема описанного электромагнитного параметрического двигателя отличается чрезвычайной простотой и в этом отношении имеет явное преимущество, но к. п. д. и $\cos \varphi$ ее — весьма низки, улучшение которых требует дальнейших дополнительных исканий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Москвитин А. И., Электрические машины возвратно-поступательного движения (электрические молотки, вибраторы, быстроходный электромагнитный привод). Издание АН СССР, 1950.
2. Сомов В. А., Гальперин Г. Д., Банит П. А., Электромагнитный вибратор с ионным управлением. ИТЭИН АН СССР, «Приборы и стенды», тема № 1, ПС-55-426, 1955.
3. Сомов В. А., Некоторые элементы теории возвратно-поступательного параметрического двигателя. Труды ОТИ имени И. В. Сталина, т. VII, 1955.
4. Ertel K. H. Электромагнитная вибротехника и ее применение в мукомолье, Die Mühle, N. 21, 1955.
5. Гернет М. М., Цециновский В. Н. Однокомпонентный однороторный вибратор, «Пищевое машиностроение», № 3, 1954.
6. Цециновский В. М., К теории расчета динамически уравновешенной резонансно-вибрационной просеивающей машины. «Пищевое машиностроение», № 5, 1956.
7. Нитусов Ю. Е., Об одной схеме электромагнитного вибратора. «Электричество», № 5, 1956.

Г. Д. ГАЛЬПЕРИН

ЦИРКУЛЯЦИЯ И РАСПРЕДЕЛЕНИЕ МОЩНОСТИ В МЕЛЬНИЧНЫХ И КРУПЯНЫХ МАШИНАХ С ЗАМЫКАЮЩЕЙ КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ЦЕПЬЮ

В работе излагается расчет мощности, передаваемой различными звеньями замыкающей кинематической цепи с учетом циркуляции и распределения мощности. В виде примеров приводятся расчеты применительно к центробежному бурату, вертикальной щеточной машине и автоматическому крупяному станку.

В мукомольной и крупяной промышленности применяется ряд машин, работающих в условиях замыкания кинематической цепи, т. е. начальное и конечное звенья такой цепи оказываются связанными с одним и тем же основным валом механизма; при этом может возникать:

а) явление *циркуляции мощности* через замыкающую кинематическую цепь (циркулирующая мощность может значительно превышать подводимую [Л. 1]) либо

б) явление *распределения мощности* между звеньями замыкающей кинематической цепи; при этом мощность, загружающая отдельные звенья, может быть равной или меньшей, чем подводимая к механизму.

Без учета явлений циркуляции или распределения мощности нельзя обоснованно подойти к расчету таких машин как вальцовый станок, голлендер, щеточные машины с вращающимися ситовыми и бичевыми барабанами.

Если в рабочей зоне такой машины скорости движения рабочих органов направлены в одну и ту же сторону, то возможно возникновение замкнутого контура циркулирующей мощности; если же эти скорости направлены в противоположные стороны, то следует ожидать явления распределения мощности в механизме с замыкающей кинематической цепью.

1. Циркуляция мощности в центробежном бурате

В буратах одновременно участвует в просеивании лишь $\frac{1}{4} \div \frac{1}{6}$ часть поверхности ситового барабана. С целью интенсификации процесса просеивания внутрь ситового барабана встраивается более быстросходный бичевой барабан. Переоборудованный таким образом бу-

рат именуется центробежным буратом или центрофугалом. Быстро-вращающийся (n_B об/мин) бичевой барабан увлекает во вращение ситовой барабан, который притормаживается внутренней передачей до числа оборотов ($n_C = n_B \frac{1}{i}$), где i — передаточное отношение внутренних передач центрофугала, связывающих бичевой и ситовой барабаны.

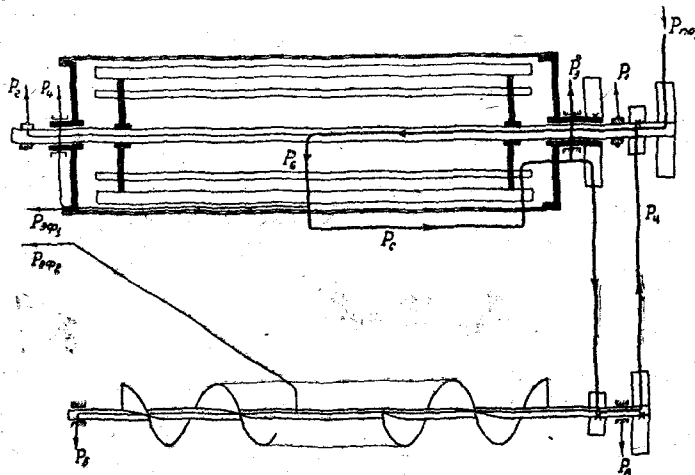


Рис. 1. Циркуляция мощности в замкнутой кинематической цепи центрофугала.

При этом ситовой барабан через внутренние передачи отдает бичевому барабану мощность $P_{ц}$, циркулирующую в замкнутой кинематической цепи центрофугала, как это схематически представлено на рис. 1.

Таким образом, на бичевой барабан поступает мощность $P_{под}$ от привода и мощность $P_{ц}$ со стороны замыкающей цепи. Следовательно, с поверхности бичевого барабана в рабочую зону просеивания отдается мощность, всегда большая, чем $P_{под}$.

В практике эксплуатации таких машин имели место аварии, именуемые „взрывом“ центрофугалов. Причиной аварий был выход из строя одной из внутренних передач, т. е. разобщение бичевого и ситового барабанов; при этом ситовой барабан увлекался во вращение с числом оборотов в минуту в $n_C \approx n_B$ и, будучи неприспособленным к столь быстрому вращению, разрывался силами инерции.

Вследствии по этой причине внутренние передачи центрофугала стали выполняться жесткими, т. е. осуществленными посредством приводных цепей либо зубчатых колес.

Для подсчета величины циркулирующей мощности введем следующие обозначения:

- $P_{эф_1}$ — мощность, затрачиваемая в рабочей зоне при просеивании;
- $P_{эф_2}$ — мощность, затрачиваемая шнеком на перемещение продукта;
- P_B — мощность, отдаваемая в рабочую зону с поверхности бичевого барабана;

P_C — мощность, получаемая из рабочей зоны ситовым барабаном;
 $P_{Ц}$ — циркулирующая мощность, т. е. поступающая на вал бичевого барабана со стороны замыкающей цепи;
 P_1, P_2 — потери мощности в подшипниках бичевого барабана;
 P_3, P_4 — потери мощности в подшипниках ситового барабана;
 P_5, P_6 — потери мощности в подшипниках шнека;
 P_7, P_8 — потери мощности во внутренних передачах;
 η_7, η_8 — КПД внутренних передач центрофугала.

На бичевой барабан поступает мощность со стороны привода $P_{под}$ и циркулирующая мощность со стороны замыкающей цепи

$$P_{Ц} = [(P_C - P_3 - P_4)\eta_7 - (P_{эф_2} + P_5 + P_6)]\eta_8 \dots \dots \dots (1)$$

Тогда бичевой барабан отдает рабочую зону

$$P_B = P_{под} + [(P_C - P_3 - P_4)\eta_7 - (P_{эф_2} + P_5 + P_6)]\eta_8 - (P_1 + P_2) \quad (2)$$

Ситовой барабан получает из рабочей зоны

$$P_C = P_B - P_{эф_1} = P_{под} + [(P_C - P_3 - P_4)\eta_7 - (P_{эф_2} + P_5 + P_6)]\eta_8 - (P_1 + P_2) - P_{эф_1}$$

или

$$P_C = \frac{P_{под} - [(P_3 + P_4)\eta_7 + (P_{эф_2} + P_5 + P_6)]\eta_8 - (P_{эф_1} + P_1 + P_2)}{1 - \eta_7\eta_8} \quad (3)$$

С другой стороны

$$P_B = T_B V_B \quad \text{и} \quad P_C = T_C V_C,$$

где T_B и T_C — касательные усилия на поверхностях, соответственно, бичевого и ситового барабанов;

V_B и V_C — окружные скорости бичевого и ситового барабанов.

Учитывая закон равенства действия и противодействия, можно положить

$$T_B = T_C = T = 2 \frac{M}{D},$$

где M — крутящий момент на валах ситового и бичевого барабанов;
 D — диаметр бичевого барабана.

Крутящий момент

$$M = 716,2 \frac{P_{эф_1}}{n_p}, \dots \dots \dots (4)$$

где

$$n_p = n_B - n_C.$$

Этот момент, притормаживая бичевой барабан, будет для него отрицательным и, увлекая во вращение ситовой барабан, будет для него положительным

$$P_C = \frac{M n_C}{716,2} = P_{эф_1} \frac{n_C}{n_B - n_C} = \frac{P_{эф_1}}{i - 1} \quad (5)$$

Заменив в выражении (3) мощность $P_{эф_1}$ ее значением из соотношения (5) и обозначив потребляемую мощность шнека $P_{эф_2} + P_5 + P_6$ через $P_{ш}$, имеем

$$P_C = \frac{P_{под} - [(P_3 + P_4)\eta_7 + P_{ш}]\eta_8 - (P_1 + P_2)}{i - \eta_7\eta_8} \quad (6)$$

Если пренебречь потерями в подшипниках, то мощность, получаемая ситовым барабаном из рабочей зоны и передаваемая внутренними передачами, может быть представлена в виде

$$P_C = \frac{P_{под} - P_{эф_2} \eta_6}{i - \eta_7 \eta_8} \quad (7)$$

Положив $P_{под} = 3 \text{ л. с.}$; $P_{эф_2} = 0,1 \text{ л. с.}$; $\eta_7 \cdot \eta_8 = 0,98$; $i = 10$, получим

$$P_C = \frac{3 - 0,1 \cdot 0,98}{10 - 0,98^2} = 0,32 \text{ л. с.}$$

Если в выражение (1) подставить вместо P_C ее значение из выражения (6), то получим величину мощности, получаемую бичевым барабаном со стороны замыкающей цепи

$$P_{Ц} = \frac{[P_{под} - (P_1 + P_2)] \eta_7 \eta_8 - i \eta_8 (P_3 + P_4 + P_{ш})}{i - \eta_7 \eta_8} \quad (8)$$

Следует отметить, что при скольжении ремней внутренних передач центрофугала будет возрастать скорость вращения ситового барабана V_C , что вызовет пропорциональное увеличение $P_{Ц}$, которая в свою очередь вызовет увеличение скольжения ремней, т. е. процесс, имеющий конечным результатом „взрыв“ центрофугала, будет нарастать лавинообразно.

2. Циркуляция мощности в механизме вертикальной щеточной машины

Бичевой и ситовой барабаны вертикальной щеточной машины вращаются в одну сторону. Характер передачи циркулирующей мощности ($P_{Ц}$) через внутренние передачи машины будет таким же, как и для центробежного бурата и представлен на рис. 2.

По аналогии с выражением (8) и учитывая отсутствие шнека, можно записать

$$P_{Ц} = \frac{[P_{под} - (P_1 + P_2)] \eta_7 \eta_8 - i \eta_8 (P_3 + P_4 + P_5 + P_6)}{i - \eta_7 \eta_8} \quad (9)$$

Следует отметить, что наличие жесткой внутренней передачи предотвращает возможные аварии, а большое передаточное отношение $i \approx 34$ обеспечивает величину циркулирующей мощности ($P_{Ц}$), значительно меньшую подводимой ($P_{под}$).

3. Распределение мощности в механизме автоматического крупяного станка

Кроме ранее рассмотренных машин, у которых при работе происходит замыкание кинематической цепи и, как следствие, циркуляция мощности через внутреннюю передачу, имеется другая группа машин (голландры, щеточные и полировальные машины), у которых имеет место такое же замыкание, но скорости движения рабочих органов (в рабочей зоне) противоположны по направлению. Последнее обстоятельство вызывает явление распределения мощности, т. е. разветвление пути ее прохождения в рабочую зону этих машин.

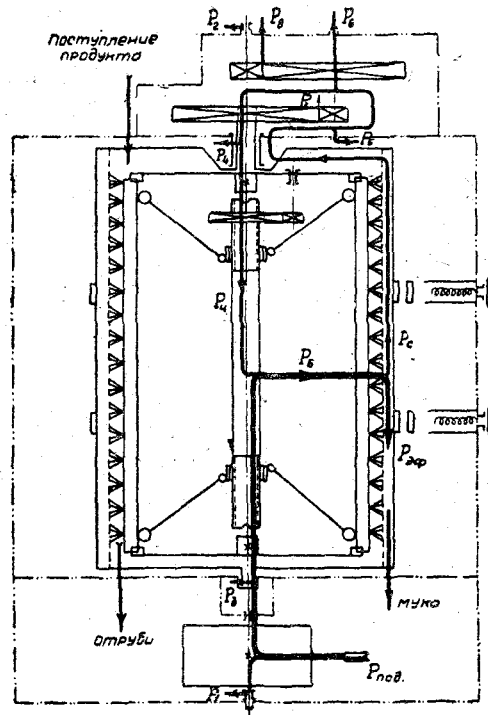


Рис. 2. Циркуляция мощности в замкнутой кинематической цепи вертикальной щеточной машины.

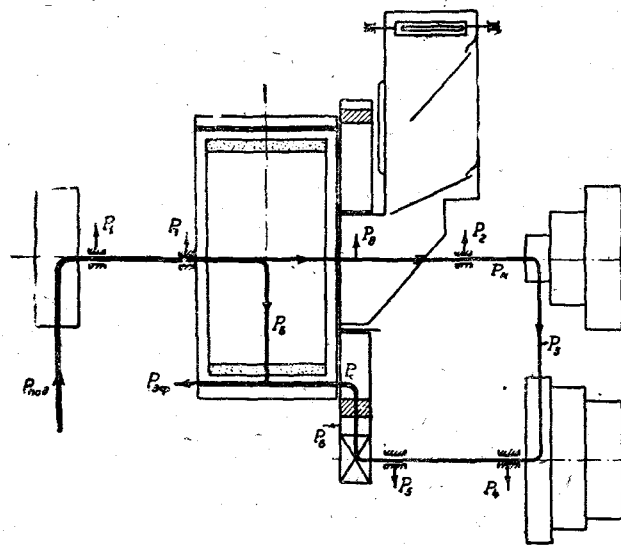


Рис. 3. Распределение мощности в замкнутой кинематической цепи автоматического крупяного станка.

Распределение мощности в механизме автоматического крупяного станка (голлendra) представлено на рис. 3.

На вал наждачного барабана от внешнего двигателя поступает мощность $P_{под}$. Эта мощность подводится в рабочую зону с поверхности наждачного барабана P_B и ситового кожуха P_C . При этом

$$P_B = T_B V_B \text{ и } P_C = T_C V_C,$$

где T_B и T_C — суммарная величина касательных усилий на поверхностях, соответственно, наждачного барабана и ситового кожуха.

На основе закона равенства действия и противодействия можно касательные усилия считать равными по величине, т. е.

$$T_B = T_C = T.$$

Тогда

$$\frac{P_B}{P_C} = \frac{V_B}{V_C}. \quad (10)$$

Следует оговориться, что мы не располагаем опытными данными о равенстве по величине касательных усилий T_B и T_C . Косвенно же это положение подтверждается, например, тем, что в машинах с аналогичным распределением касательных усилий на поверхностях рабочих органов—эти усилия примерно равны. В качестве примера такой машины можно принять бесцентровый круглошлифовальный станок. Касательные усилия на поверхностях шлифующего и регулирующего кругов, вычисленные по величинам мощностей и числам оборотов в минуту приводных электродвигателей, оказываются примерно равными.

Крутящий момент на валах наждачного барабана и ситового кожуха будет равным

$$M = 716,2 \frac{P_{эф}}{n_0}, \quad (11)$$

где $P_{эф}$ —эффективная мощность;

$$n_0 = n_B + n_C.$$

Тогда выражения для P_B и P_C можно представить так:

$$P_B = \frac{M n_B}{716,2} = \frac{P_{эф} \cdot n_B}{n_0}. \quad (12)$$

$$P_C = \frac{M n_C}{716,2} = \frac{P_{эф} \cdot n_C}{n_0}. \quad (13)$$

Сумма мощностей, отдаваемых с поверхности наждачного барабана и ситового кожуха в рабочую зону

$$P_B + P_C = P_{эф} \frac{n_B + n_C}{n_0} = P_{эф}. \quad (14)$$

Из выражения (13) можно определить мощность, отдаваемую в рабочую зону со стороны ситового кожуха

$$P_C = P_{эф} \frac{n_C}{n_B + n_C} = \frac{P_{эф}}{\frac{n_B}{n_C} + 1} = \frac{P_{эф}}{i + 1}. \quad (15)$$

В практике легко поддается измерению мощность, подводимая к станку $P_{под}$.

Тогда выражения для P_B и P_C можно переписать так:

$$P_B = P_{под} - (P_1 + P_2) - P_k, \quad (16)$$

где P_k — мощность, отводимая от вала барабана для привода ситового кожуха.

$$P_C = [P_k \eta_p - (P_4 + P_5)] \eta_s - (P_7 + P_8), \quad (17)$$

где η_p, η_s — к.п.д. внутренних передач голлендра, ременной и зубчатой.

При этом эффективная мощность

$$P_{эф} = P_B + P_C = P_{под} - P_k (1 - \eta_p \eta_s) - (P_1 + P_2) - (P_4 + P_5) \eta_s - (P_7 + P_8) \quad (18)$$

или

$$P_{эф} = P_{под} - P_{ПГ}, \quad (19)$$

где $P_{ПГ} = [P_k (1 - \eta_p \eta_s) + (P_1 + P_2) + (P_4 + P_5) \eta_s + (P_7 + P_8)]$ — (20)

потери мощности в механизмах голлендра.

Тогда

$$P_C = \frac{P_{под} - P_{ПГ}}{i + 1}. \quad (21)$$

Если принять $P_{под} = 10$ л. с.; $i = 25 \div 56$ и не учитывать потери, то

$$(P_C)_{max} = \frac{10}{25 \div 56 + 1} = 0,385 \div 0,175 \text{ л. с.}$$

При проскальзывании ремня внутренней передачи голлендра, вначале окружная скорость ситового кожуха V_c и, следовательно, мощность P_C будут стремиться к нулю. Таким образом, выходящая из строя передача попадает в более благоприятные условия работы, т. е. явление, прямо противоположное тому, что имеет место в внутренних передачах центробежного бурата. Вероятно это является одной из причин того, что и до настоящего времени внутренняя передача голлендра не претерпела реконструкцию, а лишь оборудована храповым механизмом, предотвращающим возможный реверс ситового кожуха.

ЛИТЕРАТУРА

1. Панченко А. В. и Гальперин Г. Д. Циркуляция мощности в механизме вальцевой пары. Труды НТО мукомольной и крупяной промышленности, выпуск IV, 1956.

А. В. ПАНЧЕНКО, Г. Д. ГАЛЬПЕРИН

К ВОПРОСУ ОБ АВТОМАТИЗАЦИИ МЕЛЬНИЧНОГО ВАЛЬЦОВОГО СТАНКА

В статье описана саморегулирующаяся гидравлическая межвальцовая передача, которая автоматически настраивает размольные вальцовые станки на такое отношение окружных скоростей валцов, при котором достигается максимальное извлечение муки.

Мельничные вальцовые станки, работающие в промышленности и называемые автоматическими, в действительности не являются таковыми: настройку их на режимы работы, приближающиеся к оптимальным, приходится производить вручную. Полностью настроить вальцовый станок на оптимальный режим не представляется возможным. Так например, работами Одесского технологического института им. И. В. Сталина [Л. 1] доказана желательность регулирования «дифференции», т. е. отношения окружных скоростей валцов i , в то время как межвальцовая передача вальцового станка имеет постоянное передаточное отношение.

Мы вполне согласны с мнением Дрекса Г. В. [Л. 2], который считает, что даже вальцовый станок ВНИИЗа (ВСА-1) необоснованно назван автоматическим, так как он, имеющий большое количество прогрессивных усовершенствований, все же не приспособлен к автоматической настройке на оптимальные режимы измельчения.

На рис. 1 представлены результаты опытов по измельчению промежуточных продуктов размола зерна ненарезными шероховатыми вальцами, из рассмотрения которых следует, что с изменением i изменяется извлечение муки $U_{\%}$, а также величина мощности $N_{мл}$, циркулирующей через межвальцовую передачу; при этом максимумы этих кривых либо совпадают, либо весьма близки между собой. Другими словами, максимальное извлечение муки ненарезными вальцами имеет место при таком значении i , при котором валец B (быстровращающийся) передает через измельчаемый продукт вальцу M (медленновращающемуся) максимальную мощность.

Однако при изменении условий измельчения, представленных на рис. 1, максимумы этих кривых перемещаются в пределах от $i=1,1$ до $i=1,5$.

Следовательно, автоматически управляемый размольный вальцовый станок должен быть оборудован вариационной межвальцовой

передачей, которая автоматически изменяла бы отношение окружных скоростей валцов i до величины, соответствующей максимуму кривой $N_{мп} = f(i)$.

В 1949—1950 гг. авторы настоящей статьи оборудовали вальцовый станок вариационной межвальцовой передачей и испытали его в

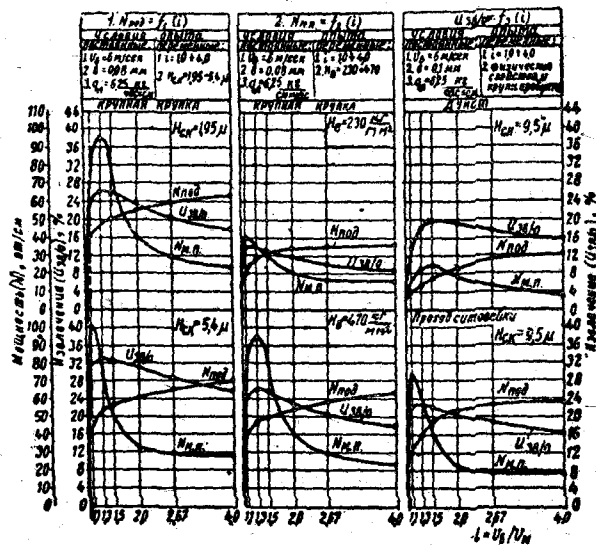


Рис. 1. Влияние отношения окружных скоростей валцов на результаты работы ненарезных вальцовых станков;

- V_B — окружная скорость быстровращающегося валца;
- b — межвальцовый зазор;
- q_d — весовая подача продукта;
- H_B — твердость поверхности мелющих валцов в кг/мм^2 ;
- $H_{ск}$ — величина средней квадратичной неровности поверхности валцов;
- $N_{под}$ — мощность, подводимая к вальцовой паре;
- $N_{мп}$ — мощность, циркулирующая через межвальцовую передачу;
- $U_{изв}$ — извлечение муки.

производственных условиях мельзавода № 18 Одесского треста Главмуки. Испытание дало положительные результаты [Л. II], однако настройка валцов производилась вручную. Автоматизация такой передачи требовала дополнительных сложных устройств. Поэтому была разработана гидравлическая саморегулирующаяся межвальцовая передача, как более простая, не имеющая быстро изнашивающихся деталей и обеспечивающая автоматизацию узла межвальцовой передачи размольного вальцового станка.

1. Саморегулирующаяся межвальцовая гидротурбопередача вальцового станка

Предложенная нами в 1950 г. гидротурбопередача, наряду с более простой и более надежной конструкцией, обладает свойством саморегулирования «дифференции» i . Вальцовая пара при этом, по изложенным

ниже причинам, будет настраиваться на максимум межвальцовой мощности, что соответствует максимальному извлечению муки при данном межвальцовом зазоре.

Такая межвальцовая передача состоит из гидравлического турботрансформатора и зубчато-цепной (бесшумной) передачи¹.

На рис. 2. представлен общий вид вальцового станка, оборудованного саморегулирующейся гидротурбопередачей.

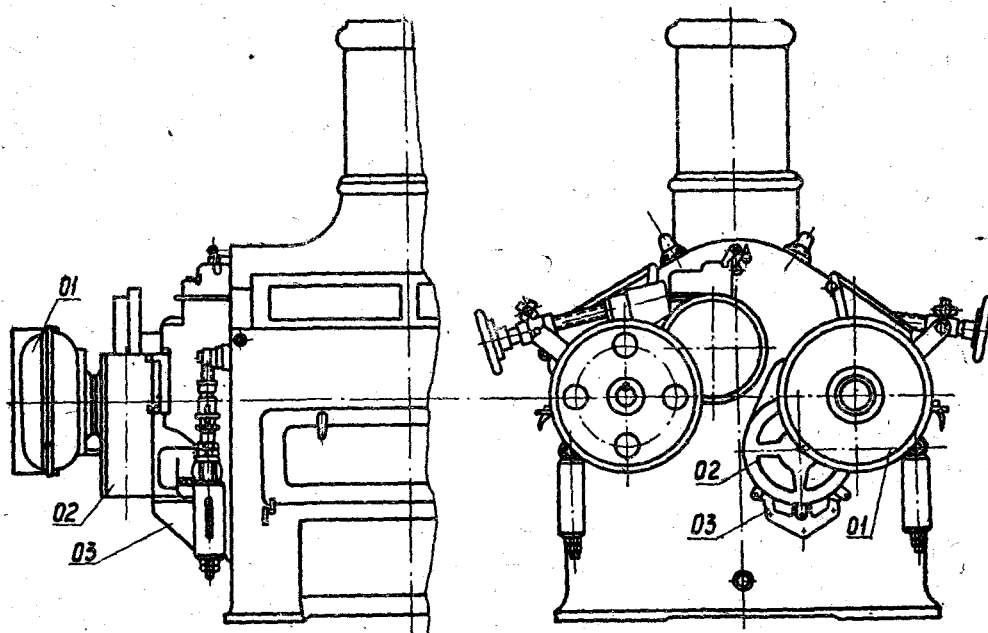


Рис. 2. Общий вид вальцового станка, оборудованного межвальцовой гидротурбопередачей:

01 — гидравлический турботрансформатор; 02 — кожух зубчато-цепной передачи; 03 — кронштейн.

Гидравлический турботрансформатор 01, посаженный на шейке вальца Б, соединен с кожухом 02 цепной передачи, который крепится к станине вальцового станка посредством кронштейна 03.

Детали гидротурбопередачи вписываются в габарит вальцового станка по длине.

На рис. 3 представлен турботрансформатор в разрезе.

Цифрой 06 обозначена фасонная втулка, посаженная на шейку вальца Б и закрепленная винтом 04. На втулке 06 неподвижно посажено турбинное колесо 09. Насосное колесо 11 скреплено со втулкой, соединенной со звездочкой 14, и свободно вращается на подшипниках качения 10 и 16. Звездочка 14 посредством зубчатой цепи связана со звездочкой вальца М.

Таким образом, при работе нагруженной вальцовой пары межвальцовая мощность будет передаваться от звездочки вальца М к звездоч-

¹ В разработке конструкции передачи принимали участие студенты Одесского технологического института им. И. В. Сталина, Мерко И. Т. и Банчик И. В.

ке 14, связанной с насосным колесом трансформатора. Последнее, преобразуя механическую энергию в энергию потока рабочей жидкости, передает ее через направляющий аппарат 12 (жестко связанный с кожухом 08) турбинному колесу, т. е. валцу Б. Профиль лопаток направляющего аппарата 12 предусматривает изменение направления вращения насосного колеса 11 на противоположное вращению турбинного колеса 09.

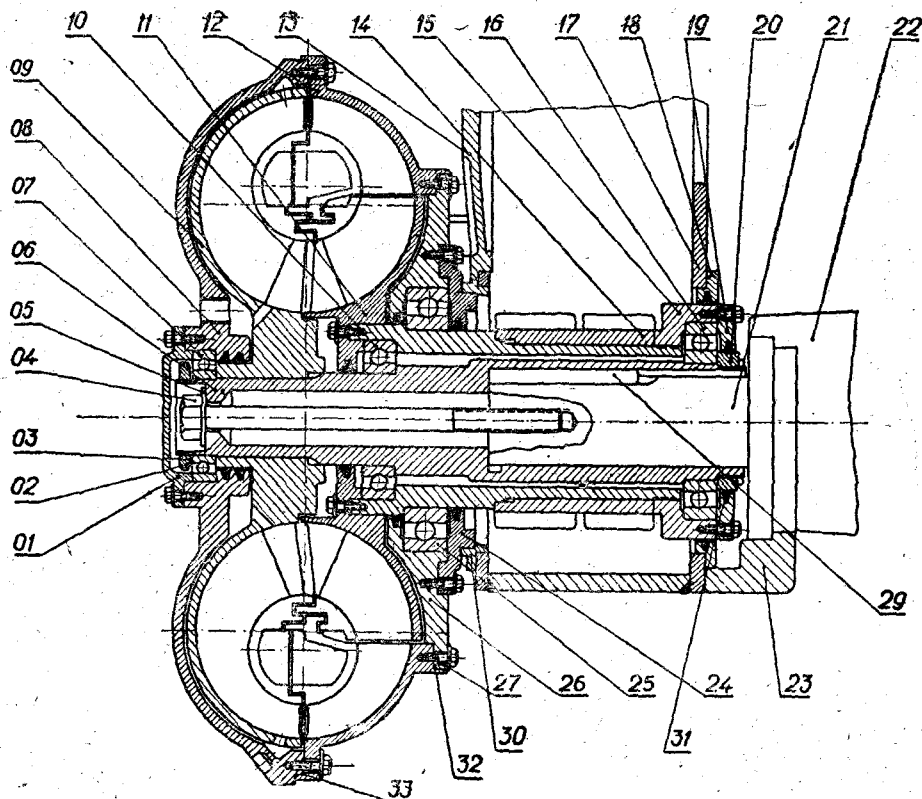


Рис. 3. Межвальцовая гидротурбопередача:

01 — крышка; 02 — затяжная гайка; 03, 05 — шайбы; 04 — затяжной винт; 06 — втулка; 07, 10, 16 и 25 — шарикоподшипники; 08 — передняя крышка; 09 — колесо турбины; 11 — насосное колесо; 12 — колесо направляющего аппарата; 13 — крышка кожуха; 14 — звездочка; 15 и 22 — корпуса подшипников; 17 — кожух цепной передачи; 18 и 30 — фланцы; 19, 24 и 31 — сальниковые уплотнения; 20 — затяжная гайка; 21 — валец Б; 23 — опорная дуга; 26 — задняя крышка корпуса; 27 — винт; 28 — втулка; 29 — шпонка; 32 и 33 — прокладки.

В качестве рабочей жидкости принята вода, подводимая из напорного бака к отверстию в центральной части передней крышки и далее внутрь рабочей полости трансформатора. Отвод жидкости с целью охлаждения производится от периферийной части той же крышки.

Высота современных мельниц позволит осуществить такое размещение напорного бака, при котором будет обеспечено необходимое давление в 2—3 атм.

Цепная передача заключена в кожухе 17. Зубчатая цепь с внутренним направляющим звеном огибает звездочку вальца М, звездочку 14 вальца Б и эксцентрично закрепленную в кожухе 17 натяжную звездочку. Натяжение производится пружиной.

2. Принцип саморегулирования «дифференции»

На рис. 4а представлена схема циркуляции мощности через межвальцовую гидротурбопередачу.

Направляющий аппарат гидротрансформатора находится на пути передачи мощности $N_{мп}$ от ведущего вальца M к ведомому валцу B и служит для преобразования величины вращающего момента. Следовательно, гидротрансформатор может быть назван гидроредуктором,

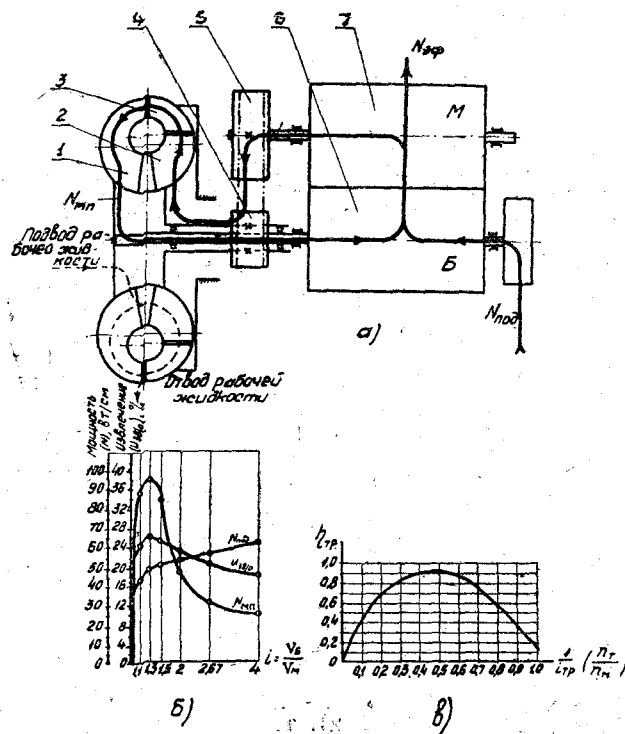


Рис. 4. Схема циркуляции мощности через межвальцовую гидротурбопередачу:

а) схема циркуляции мощности через межвальцовую гидротурбопередачу:

1 — турбинное колесо; 2 — насосное колесо; 3 — направляющий аппарат; 4 — звездочка цепной передачи, связанная с насосным колесом; 5 — звездочка цепной передачи, связанная с валцом M ; 6 — валец B ; 7 — валец M .

б) связь извлечения муки с величиной межвальцовой мощности.

в) зависимость кпд гидротурботрансформатора от его передаточного отношения.

однако он существенно отличен, например, от механических зубчатых редукторов переменным коэффициентом трансформации или, другими словами, переменным передаточным числом, зависящим от момента сопротивления на ведомом валу. Так, например, Максимов А. Б. пишет [Л. 3]:

«Переменный коэффициент трансформации, увеличивающийся при росте момента сопротивления и уменьшающийся при падении нагрузки на ведомом валу, обеспечивает приблизительно постоянный момент сопротивления на ведущем валу».

Таким образом, в условиях нагруженной вальцовой пары при изменении величины межвальцовой мощности, передаваемой от вальца M к вальцу B , будет изменяться «дифференция», что, в свою очередь, изменит величину передаваемой мощности до максимального ее значения.

На рис. 4,6 представлена зависимость межвальцовой мощности от «дифференции» i .

Для различных по качеству поверхности вальцов и различных режимов измельчения продуктов максимум этой кривой перемещается в области от $i=1,1$ до $i=1,5$.

Примем следующие обозначения:

n_B — число оборотов в минуту вальца B ;

n_M — число оборотов в минуту вальца M ;

n_T — число оборотов в минуту турбинного колеса;

n_H — число оборотов в минуту насосного колеса;

$i_{TP} = \frac{n_H}{n_T}$ — передаточное отношение трансформатора;

$i_{Ц}$ — передаточное отношение цепной передачи;

i — передаточное отношение межвальцовой передачи.

По условиям монтажа $n_B = n_T$ и $n_M = \frac{n_H}{i_{Ц}}$, тогда

$$i = \frac{n_B}{n_M} = \frac{n_T}{\frac{n_H}{i_{Ц}}} = \frac{i_{Ц}}{i_{TP}}$$

Гидротрансформатор рассчитан на передаточное отношение $i=1,5$.

Режим работы гидротрансформатора характерен некоторым проскальзыванием (которое можно регулировать степенью заполнения жидкостью его рабочей полости), т. е. при передаче им мощности

$N_{мп}$ число оборотов в минуту n_M и следовательно, $i_{TP} = \frac{n_H}{n_T}$ будет

больше расчетного, что вызовет уменьшение «дифференции» (i). Однако при этом гидротрансформатор попадает, как это видно из рис. 4, б, в условия передачи большей мощности и «дифференция» при этом будет далее уменьшаться до значения, соответствующего максимальному значению межвальцовой мощности, которое обуславливает максимальное извлечение муки.

Рассмотрим как такое проскальзывание насосного колеса будет отражаться на механическом к. п. д. гидротрансформатора, определяемом из выражения:

$$\eta_{TP} = \frac{M_T n_T}{M_H n_H}$$

где M_T — крутящий момент на ведомом валу;

M_H — крутящий момент на ведущем валу.

Так как $\frac{M_T}{M_H} = K$ является коэффициентом трансформации мо-

мента, а $\frac{n_H}{n_T}$ — передаточным отношением трансформатора, то

$$\eta_{ГР} = \frac{K}{i_{ГР}}.$$

При проскальзывании насосного колеса и числитель и знаменатель этого выражения возрастают и поэтому в пределах саморегулирования межвальцовой передачи величина $\eta_{ГР}$ будет изменяться незначительно. Как видно из рис. 4, в при саморегулировании в пределах дифференции $i = 1,1 \div 1,5$ или, что то же самое, при изменении $\frac{n_T}{n_H}$ в пределах $0,44 \div 0,60$ к.п.д. остается в пределах $0,85 \div 0,90$.

Главным в настоящем предложении является следующее:

1. Для осуществления межвальцовой передачи применен гидравлический одноступенчатый турботрансформатор.

2. Использована «непрозрачность» характеристики одноступенчатого гидротурботрансформатора, т. е. его способность к трансформации крутящего момента в зависимости от сопротивления на ведомом валу для автоматической настройки вальцовой пары на максимальное извлечение муки по максимуму мощности, циркулирующей через межвальцовую передачу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гальперин Г. Д., Технологическое значение и величина мощности, циркулирующей через межкатковую передачу вальцовых станков мукомольных мельниц. Диссертация, 1951.

2. Дреус Г. В., Первоочередные задачи в области автоматизации элеваторов и мельниц, «Мукомолье и элеваторно-складское хозяйство», № 1, 1953.

3. Максимов А. Б., Гидроэлектропривод рудничных подъемных машин, Углетехиздат, 1951.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Стр.

1. Н. В. Роменский, В. А. Яковенко. О температурных условиях хранения зародышей кукурузы	5
2. Н. В. Роменский, Л. Е. Синельникова. Биохимические свойства зерна некоторых сортов озимых пшениц в связи с их выбором для орошаемых земель юга Украины	9
3. Л. Р. Торжинская, Н. В. Роменский. О биохимических свойствах крупного и мелкого зерна пшеницы	19
4. Д. М. Рафалович. Определение тепловых констант пшеницы методом регулярного режима	25
5. З. Р. Горбис. Определение состава газов и коэффициентов избытка воздуха в топках зерносушилок с рециркуляцией части теплоносителя	33
6. Г. А. Захарченко, Г. А. Водатурский. К вопросу об определении в газированном зерне хлорпикрина и дихлорэтана при их совместном присутствии	41
7. М. С. Дудкин. Высокомолекулярные соединения на основе ацильных производных мочевины	45
8. М. С. Дудкин. Азотно-щелочной метод выделения целлюлозы из отходов крупяного производства	49
9. А. И. Малыгина. Статистический предупредительный метод контроля технологического процесса на мукомольном предприятии	53
10. А. М. Калюжная. Пипеточный седиментометрический метод определения крупности муки	61
11. А. М. Калюжная, А. Я. Нохотович, Н. И. Бездушный. Физические свойства теста из муки драных и размольных систем	65
12. А. Я. Нохотович. К вопросу об эффективности провенания ржаных крупок	69
13. Г. С. Зелинский, П. Н. Платонов. Плотность укладки частиц сыпучей среды	79
14. А. В. Анатольев, П. Н. Платонов. Механизм передачи усилий в идеальной сыпучей среде	89
15. В. Г. Лебединский, П. Н. Платонов. Характер движения зернового потока при обтекании тел различной геометрической формы	101
16. Г. С. Зелинский, П. Н. Платонов. Аэродинамическое сопротивление слоя зерна	107
17. А. И. Шербак. К вопросу о распространении волн в тонких слоях сыпучих сред	113
18. П. Н. Платонов, Н. К. Наремский. Физическая сущность рабочего процесса центробежного разгрузителя пневматического транспорта	125
19. В. Б. Фасман. К вопросу расчета пневматических транспортных установок вакуума	137
20. А. А. Иванов, А. А. Пикерсгиль. Применение сигнальных электронных устройств на зерновых элеваторах	149
21. А. М. Дзядзио, А. А. Иванов, В. А. Сомов, С. П. Бояр-Созонович, Г. Д. Гальперин. Из опыта работы по применению электромагнитного вибропривода просеивающих машин пищевой промышленности	159
22. Г. Д. Гальперин. Циркуляция и распределение мощности в мельничных и крупяных машинах с замыкающей кинематической цепью	171
23. А. В. Панченко, Г. Д. Гальперин. К вопросу об автоматизации мельничного вальцового станка	179

О П Е Ч А Т К И

Страница	Строка	Напечатано	Следует читать
5	7 снизу	абсолютное	абсолютно
7	11 снизу	$\vartheta - 16 - 21^\circ$	$\vartheta = 16 - 21^\circ$
9	7 снизу	местных	частных
35	10 сверху	$V_{RO_2}^a + V_{CO_2}^a = \rho(V_{RO_2}^{c'} + V_{CO_2}^{c'}) = V_{RO_2}^a + V_{CO}^a = \rho(V_{RO_2}^{c'} + V_{CO}^{c'}) =$	$V_{RO_2}^a + V_{CO}^a = \rho(V_{RO_2}^{c'} + V_{CO}^{c'}) =$
48	29 снизу	микромолекула	макромолекула
75	рис. 3 и 2 снизу	крупок	крупки
86	14 снизу	$K_{\max} < K$	$K_{\max} < K_{кр}$
161	рис. 2	фигуры поменять местами	
180	2 сверху	скростей	скоростей

Зак. 1252