

ОДЕССКИЙ ИНСТИТУТ
ИНЖЕНЕРОВ МУКОМОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ЭЛЕВАТОРНОГО ХОЗЯЙСТВА ИМЕНИ И. В. СТАЛИНА

ВОПРОСЫ
МУКОМОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
И ЭЛЕВАТОРНО-СКЛАДСКОГО
ХОЗЯЙСТВА

ТРУДЫ ВЫПУСК III



ГОСУДАРСТВЕННОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
ТЕХНИЧЕСКОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ
ПО ВОПРОСАМ ЗАГОТОВОК
МОСКВА 1952

СОДЕРЖАНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
И. И. Ленарский, Д. А. Шихман. Денатурация белков и изменения поврежденного нагреванием зерна	5
Ф. Г. Криволапов. Кинетика набухания клейковины пшеницы в растворах электролитов	10
Б. С. Дмитриев, Н. И. Тарасюк. Влияние термической обработки на активность ферментов зерна пшеницы	15
Ф. Г. Криволапов, Л. Е. Синельникова. Влияние термической обработки (сушки) на набухание ячменя и пенсака	30
П. В. Попов. Быстрый метод количественного определения пентозанов в зерне	40
Б. С. Дмитриев, Н. И. Тарасюк. Об определении влажности зерна и продуктов его переработки	51
В. Ф. Миловская, Н. А. Кац. О гигроскопических свойствах и равновесной влажности кукурузы в початках	62
С. З. Хаит, Л. Г. Атанас. Микрофлора зерна пшеницы, подвергнутого термической обработке	68
В. Ф. Миловская. Изучение процесса хранения свежееубранной кукурузы	75
Д. М. Рафалович. Определение тепловых констант зерна методом мгновенной пластины	86
Н. В. Роменский. О биохимических и физиологических свойствах отдельных анатомических частей пшеничного зерна в связи с его технологией	91
В. М. Дацковский. Расчет процесса сушки в шахтных зерносушилках	105
В. М. Дацковский. Расчет кинетики сушки зерна	121
П. Н. Платонов. Некоторые вопросы теории быстроходных норий	135
В. Б. Фасман. Вопросы истечения сыпучих тел в связи с определением пропускной способности надвесовых задвижек	147
А. М. Дзядзио, П. Н. Платонов. Пневматический транспорт продуктов помола на мельницах	156
Г. Д. Домбровский, И. И. Ленарский, И. Е. Драгун. Приготовление овсяной коричневой крупы	166
П. Г. Демидов, И. К. Кравченко. Метод подготовки к помолу горькопольного зерна	177
А. В. Панченко. Групповые циклоны ОМЭИ	186
Г. Д. Домбровский, И. Е. Драгун. Исследование технологических свойств зерна чумизы	212
А. Я. Нохотович. Технологические исследования в области кондиционирования ржи	216
В. Я. Белецкий. Некоторые вопросы динамики самобалансирующихся рассевов	232
В. Я. Белецкий. Механика рабочего процесса мукомольного вальцевого станка	237

Замеченные опечатки

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать	По чьей вине
12	17-я сверху в колонке справа	$K_{срeдн} = 0,1327$	$K_{срeдн} = 0,1185$	Автора
110	8-я сверху	$c_2, \delta,$	$c_2, \delta, \delta,$	Типографии
142	6-я сверху	(13)	(18)	Автора
192	6-я сверху	3,0	3,2	"
192	27-я сверху	$0,107 \sqrt{Q_m}$	$0,107 \sqrt{Q_m} [M]$	Корректора
213	22-я снизу	2,37	2,07	Автора
215	34-я снизу	63,8	64,8	"
215	35-я снизу	73,6; 21,4	74,6; 25,4	"

На стр. 138, на рис. 3 значения угла α , начиная от нуля и ниже, следует читать со знаком минус.

Груды, вып. III.

И. И. ЛЕНАРСКИЙ,
канд. химических наук,
доцент
Д. А. ШИХМАН,
инженер

ДЕНАТУРАЦИЯ БЕЛКОВ И ИЗМЕНЕНИЯ ПОВРЕЖДЕННОГО НАГРЕВАНИЕМ ЗЕРНА

Изменения белков, вызываемые действием тепла и известные как их денатурация, привлекают к себе внимание как с теоретической, так и с практической точек зрения. Денатурация белков зерна оказывает глубокое влияние на биологические и технологические его свойства. С переходом белков в денатурированное состояние безвозвратно теряется всхожесть зерна, а белки клейковины становятся не способными образовывать клейковинный студень.

Тепловая денатурация белков обычно считается необратимым процессом (7). В связи с этим режимы тепловой обработки зерна, в частности сушки, строго ограничены сравнительно низкой температурой.

Скорость же сушки зерна находится в прямой зависимости от температуры: чем выше последняя, тем больше скорость сушки. В условиях лабораторных опытов повышение температуры на 30° увеличивает скорость сушки в 2—3 раза (8).

Поэтому изучение реакции тепловой денатурации белков с точки зрения обратимости представляет многосторонний интерес.

С теоретической точки зрения нет оснований относить реакцию тепловой денатурации белков к необратимым процессам.

Огромное количество реакций является обратимым и не течет до конца. Предел, до которого доходят такие реакции, является результатом двух противоположных реакций: прямой и обратной, находящихся в состоянии химического равновесия. По мнению Вант-Гоффа «...Явление химического равновесия является общим выражением завершения всякого химического превращения» (1).

Сторонниками признания того, что любую реакцию в принципе можно рассматривать как обратимую, являются Б. Н. Меншуткин (3), К. С. Тейлор (10) и др.

Принимая реакцию денатурации белков за обратимую, ее можно схематически изобразить следующим уравнением:

Белок нативный + вода \rightleftharpoons белок денатурированный. Без участия воды реакция денатурации не протекает (7, 9). Наши исследования привели нас к выводу, что при этом вода присоединяется к белку (2).

Представление о реакции тепловой денатурации белков как обратимом процессе противоречит установившимся на этот счет взглядам. Можно полагать, однако, что отнесение этой реакции к необратимым является ошибочным и могло возникнуть вследствие того, что обратный переход денатурированного белка в нативный (ренативация) протекает с еще меньшей скоростью, чем медленный процесс денатурации, так как охлаждение может замедлить ход процесса и привести систему в состояние ложного равновесия.

На белках зерна значительно удобнее, чем на белковых растворах, проверить возможности ренативации. Зерно после соответствующей обработки теплом можно выдерживать долго в условиях, исключающих участие других процессов. Кроме того, зерно как биологический объект дает возможность проверить ход изменений в белках не только химическим, но и биологическим методом. Всхожесть зерна, его жизнеспособность зависят от большого числа биологических факторов, в том числе и от состояния протоплазмы клеток и зародыша в целом. «Протоплазма,— пишет А. И. Опарин,— материальный субстрат жизни, представляет определенное сочетание в единой организованной системе взаимодействующих между собой химических компонентов, среди которых на первый план выступают белковые вещества» (6).

Роль белковых веществ в жизненных процессах оценена Энгельсом в его знаменитой формуле: «Жизнь есть способ существования белковых тел и этот способ существования состоит по своему существу в постоянном самообновлении химических составных частей этих тел»¹.

Современные познания не оставляют сомнения в том, что белки в их нативном состоянии стоят в центре обмена веществ и являются важнейшей материальной основой жизненного процесса.

Действительно, переход белков из нативного состояния в денатурированное давно связывают с потерей жизнеспособности (7).

В соответствии с денатурированной теорией повреждения, развитой Д. Н. Насоновым и В. А. Александровым (5), биологический эффект нагревания зерна в зависимости от степени воздействия может быть различным: возбуждающим, повреждающим — ослабляющим жизнеспособность и, наконец, вызывающим смерть.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Экспериментальную проверку возможности ренативации денатурированных теплом белков мы решили проверить следующим методом. Применяя различные по степени воздействия условия нагревания, получить образцы зерна с такой хорошо уловимой анализами степенью денатурации, при которой жизнеспособность зерна не терялась бы окончательно, а только понижалась. Если ренативация белков имеет место, то очевидно, с течением времени должны наступать как изменения в степени денатурации, так и изменения в жизнеспособности — энергии прорастания.

¹ Ф. Энгельс. Анти-Дюринг, стр. 77. Госполитиздат, 1950.

Опыты проводились в двух сериях. Первый ряд опытов был проведен с твердой пшеницей Мелипоус 069 и ячменем 014. Зерно урожая 1947 и 1948 гг. было получено из Одесского селекционно-генетического института им. акад. Т. Д. Лысенко. С целью получения большего разнообразия по степени воздействия тепла зерно было взято влажностью 12 и 18%. Нагревание зерна велось в закрытых сосудах (без изменения влажности) и открытых (с постепенным подсыханием зерна).

Одна часть приготовленного таким способом материала подвергалась анализу тотчас после нагревания, а другая выдерживалась при комнатной температуре и анализировалась через 3 месяца. Для того чтобы условия и приемы анализов были как можно более сходными, химические анализы проводились с одними реактивами при прочих равных условиях.

В этих же целях определение энергии прорастания и всхожести делалось все время одним исполнителем при строго одинаковой температуре и одинаково точном соблюдении всех требований стандартного метода (4). Чтобы учесть изменение свойств исходного материала во времени, контрольное зерно анализировалось как в начале опытов, так и после хранения. Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Растворимость белков и энергия прорастания зерна пшеницы непосредственно после нагревания и через 90 дней

№ опытов	Температура нагрева в °С	Время нагревания в мин.	Условия нагревания	Влажность в %	Непосредственно после нагревания				Через 90 дней				Изменения	
					растворимость азота в %	энергия прорастания	всхожесть в %	растворимость азота в %	энергия прорастания	всхожесть в %	растворимость	энергия прорастания		
1	Без нагревания	0	—	—	0,605	82,5	88,5	0,604	81,0	89,0				
2	60	60	Закрыт	18,0	0,579	46,5	88,0	0,596	59,0	88,5	+	+		
3	60	90	.	18,0	0,569	21,0	87,0	0,583	47,5	86,5	+	+		
4	65	30	.	18,0	0,589	43,5	85,5	0,603	74,0	85,0	+	+		
5	70	30	Открыт	18,0	0,592	60,5	87,0	0,602	78,5	84,0	±	±		
6	75	90	.	12,0	0,578	51,0	84,5	0,599	77,5	84,0	+	+		
7	80	30	.	12,0	0,546	9,0	80,5	0,571	45,0	82,0	+	+		
8	80	60	.	12,0	0,545	8,5	69,0	0,589	64,0	82,5	+	+		

Анализ приведенных в табл. 1 данных позволяет сделать вывод, что биологические свойства подвергнувшегося нагреванию зерна изменяются. Зерно, сохранившее после нагревания жизнеспособность, повышает энергию прорастания. Сопоставление соответствующих величин во всех опытах полностью обосновывает этот вывод. Особенно резко бросается это в глаза на образцах зерна,

подвергавшихся более резкому тепловому воздействию. В опытах 7 и 8 цифры, выражающие энергию прорастания, увеличились в 5—7 раз.

Результаты опытов, приведенные в той же таблице, показывают далее, что растворимость белков в 5%-ном растворе сульфата калия альбуминов и глобулинов (белков зародыша в зерне, подвергнутому нагреванию) с течением времени повышается. Наблюдаемое в большинстве опытов повышение растворимости белков в несколько раз превышает предел ошибки анализа. Так, при максимальной ошибке в наших условиях опыта 0,01% повышение растворимости в опытах 7 и 8 в процентах азота составляет 0,025—0,044.

Поскольку растворимость белков в не подвергнутому нагреванию зерне не только не увеличилась, а, наоборот, уменьшилась, единственное возможное объяснение этого явления можно найти в частичном переходе денатурированных белков из нерастворимого состояния в растворимое.

Для большей уверенности в полученных данных были проведены аналогичные опыты с зерном пшеницы Мелянопус 069 урожая 1948 г. и с зерном ячменя 014. Результаты этих опытов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Изменения растворимости денатурированных белков и энергия прорастания при хранении зерна

№ опытов	Образцы зерна	Температура нагрева в °С	Непосредственно после нагревания					Через 90 дней				
			энергия прорастания	всхожесть в % за дней			содержание азот в %	энергия прорастания	всхожесть в % за дней			содержание азот в %
				6	8	10			6	8	10	
1	Пшеница	Без нагрева	70,5	88,0	88,5	89,0	0,618	78,0	90,0	90,0	90,5	0,601
2	"	65	8,0	67,5	87,5	87,5	0,560	70,5	83,0	83,5	88,0	0,581
3	"	70	0	28,5	—	39,0	0,538	1,0	35,5	—	48,0	0,563
4	"	75	0	0	0	10,0	0,515	0	4,5	4,5	35,5	0,536
5	Ячмень		93,5	94,0	94,5	94,5	0,531	96,5	96,5	—	96,5	0,525
6	"	65	90,0	91,0	91,5	93,5	—	91,5	91,5	—	93,5	—
7	"	70	73,0	92,0	92,0	92,0	—	81,0	90,5	—	92,0	—
8	"	75	0	7,0	7,0	7,0	0,483	53,0	58,5	—	61,5	0,506

В этих опытах так же, как и в предшествующих, наблюдается повышение энергии прорастания и растворимости белков в зерне, подвергнутому действию тепла. При этом оба изменения идут параллельно. Зерно ячменя ведет себя так же, как и зерно пшеницы.

Опыт 8 особенно показателен. Энергия прорастания после 90 дней здесь увеличилась с 7,0 до 53,0%, т. е. почти в 8 раз. Растворимость белков, снизившаяся в результате нагревания с 0,531 до 0,483% азота, достигла такой же величины, как и в зерне, не нагревавшемся (т. е. в контроле), но хранившемся в тех же условиях и в то же время.

ВЫВОДЫ

1. Денатурированные нагреванием и перешедшие в нерастворимое состояние белки зерна пшеницы и ячменя при длительном хранении переходят в растворимое состояние.
2. Параллельно с изменением растворимости белков в 5%-ном сернокислом калии идет изменение энергии прорастания. Уменьшение растворимости сопровождается падением энергии прорастания; частичный переход из нерастворимого состояния в растворимое сопровождается повышением энергии прорастания.
3. Свойства зерна, прошедшего сушку, в процессе хранения претерпевают существенные изменения и поэтому их следует рассматривать в динамике.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вант-Гофф Я. Г. Очерки по химической динамике. ОНТИ, 1936.
2. Ленарский И. И. Биохимия зерна, сборник 1. А. Н. СССР, 1951.
3. Меншуткин Б. Н. Курс общей химии, стр. 195. Госхимиздат, 1933.
4. Методы лабораторного испытания семенного материала ОСТ 7014 (1935 г.).
5. Насонов Д. Н. и Александров В. А. Реакция живого вещества на внешние воздействия А. Н. СССР, 1940.
6. Опарин А. И. Белок как основа жизненных процессов. Сборник докладов на совещании по белку. А. Н. СССР, 1948.
7. Паули В. и Ванько Э. Коллоидная химия белковых веществ, стр. 149. Госхимиздат, 1936.
8. Платонов П. Н. и Ленарский И. И. Журн. «Заготовки с.-х. продуктов» № 7, 1951.
9. Талмуд Д. Л. Строение белка. А. Н. СССР, 1940.
10. Тейлор Х. С. Физическая химия, т. II, стр. 891. ОНТИ, 1936.

Ф. Г. КРИВОЛАПОВ,
канд. химических наук, доцент

КИНЕТИКА НАБУХАНИЯ КЛЕЙКОВИНЫ ПШЕНИЦЫ В РАСТВОРАХ ЭЛЕКТРОЛИТОВ

При изучении набухания пшеничной клейковины главное внимание уделяется конечному этапу — набухаемости, которое характеризуется предельным количеством жидкости, поглощаемой единицей веса или объема коллоида.

Кинетике процесса набухания клейковины уделялось мало внимания, несмотря на то что она, кроме теоретического интереса, имеет и практическое значение для процессов тестообразования, набухания зерна, муки и т. д. (1).

В настоящей работе приводятся результаты изучения кинетики набухания пшеничной клейковины в водных растворах некоторых электролитов и проверки применимости к этому процессу формулы:

$$K = \frac{\delta}{t_2 - t_1} \frac{Q_\infty - Q_2}{Q_\infty - Q_1},$$

где K — константа;

δ — толщина набухающей пластинки;

Q_∞ — максимальное приращение веса при набухании;

Q_1 — приращение веса для момента времени t_1 ;

Q_2 — приращение веса для момента времени t_2 .

Для опытов готовились воздушно-сухие пластинки клейковины по возможности одинаковой толщины, в среднем 0,7—0,8 мм.

Величина набухания измерялась каждые 5 мин. весовым методом — наиболее удобным и точным для пластинок.

Набухание клейковины другими авторами обычно измерялось через большие промежутки времени (порядка 1 часа), так как они интересовались только конечными результатами набухания. За это время процесс набухания клейковины практически уже заканчивается (4), вследствие этого в первые минуты процесса кинетику набухания не фиксировали.

Кинетика набухания изучалась как в водопроводной воде (табл. 1), так и в растворах некоторых электролитов (табл. 2—6). Интерес представляет кинетика набухания не только в растворах неорганических электролитов, но и органических, в связи с чем изучалось набухание в растворах аминокислот, а также в смеси соляной кислоты и хлористого кальция.

Таблица 1

Кинетика набухания клейковины в водопроводной воде Одессы

Время в мин.	Вес бюксы + сухая клейковина = 6,1732 г.						35
	5	10	15	20	25	30	
	6,1884 6,1732	6,1980 6,1732	6,2049 6,1732	6,2108 6,1732	6,2158 6,1732	6,2229 6,1732	6,2265 6,1732
Прирост в г	0,0152	0,0248	0,0317	0,0376	0,0426	0,0497	0,0533
	Продолжение						
	40	45	50	55	60	65	
Время в мин.	6,2294 6,1732	6,2339 6,1732	6,2355 6,1732	6,2367 6,1732	6,2389 6,1732	6,2408 6,1732	
Прирост в г	0,0562	0,0607	0,0623	0,0635	0,0657	0,0676	

$t^\circ = 17,5^\circ$; $\delta = 0,72$ мм.

Вес бюксы = 6,0749 г.

Вес бюксы + сухая клейковина = 6,1732 г.

$t^\circ = 17,5^\circ$; $\delta = 0,72$ мм.

Таблица 2

Значение K
$K_5 = 0,1445$
$K_{10} = 0,1474$
$K_{15} = 0,1486$
$K_{20} = 0,1498$
$K_{25} = 0,1454$
$K_{30} = 0,1411$
$K_{35} = 0,1490$
$K_{40} = 0,1402$
$K_{45} = 0,1360$
$K_{50} = 0,1329$
$K_{55} = 0,1345$
$K_{60} = 0,1200$
$K_{65} = 0,1208$
$K_{70} = 0,0901$
$K_{75} = 0,0943$
$K_{\text{средн}} = 0,1119$

Кинетика набухания клейковины в 0,1 N растворе аламина

Время в мин.	Вес бюксы + сухая клейковина = 6,1758 г.						45
	5	10	15	20	25	30	
	6,1908 6,1758	6,1975 6,1758	6,2020 6,1758	6,2065 6,1758	6,2102 6,1758	6,2142 6,1758	6,2206 6,1758
Прирост в г	0,0151	0,0217	0,0262	0,0307	0,0344	0,0384	0,0448
	Продолжение						
	50	55	60	65	70	75	80
Время в мин.	6,2268 6,1758	6,2292 6,1758	6,2310 6,1758	6,2330 6,1758	6,2344 6,1758	6,2360 6,1758	6,2378 6,1758
Прирост в г	0,0510	0,0534	0,0552	0,0572	0,0586	0,0602	0,0620

$t^\circ = 17^\circ$; $\delta = 0,85$ мм.

Вес бюксы + сухая клейковина = 6,1758 г.

Вес бюксы = 6,0757 г.

Таблица 3
Кинетика набухания клейковины в 0,1 N растворе лейцина

$t^{\circ} = 17^{\circ}$; $\delta = 0,70$ м.м.

Вес бюксы + сухая клейковина = 6,1570 г. Вес бюксы = 6,0756 г.

Время в мин.	5	10	15	20	25	30	35	40	45
	6,1680	6,1752	6,1803	6,1847	6,1895	6,1916	6,1950	6,1975	6,1999
	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	7,1570	6,1570	6,1570
Прирост в г	0,0110	0,0182	0,0233	0,0277	0,0325	0,0346	0,0380	0,0405	0,0429
Продолжение									
Время в мин.	50	55	60	65	70	75	80	85	
	6,2025	6,2033	6,2049	6,2063	6,2080	6,2098	6,2336	6,2142	
	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	6,1570	
Прирост в г	0,0455	0,0468	0,0479	0,0493	0,0510	0,0528	0,0566	0,0572	

$K_{\text{средн}} = 0,1327$

Таблица 4

Кинетика набухания клейковины в 0,1 N растворе HCl

$t^{\circ} = 17^{\circ}$; $\delta = 0,70$ м.м.

Вес бюксы + клейковина = 6,1952 г. Вес бюксы = 6,0750 г.

Время в мин.	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50
	6,2220	6,2384	6,2510	6,2608	6,2707	6,2804	6,2884	6,2968	6,3046	6,3110
	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952
Прирост в г	0,0268	0,0432	0,0558	0,0658	0,0755	0,0852	0,0932	0,1016	0,1094	0,1158
Продолжение										
Время в мин.	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100
	6,3172	6,3240	6,3294	6,3337	6,3380	6,3404	6,3430	6,3450	6,3457	6,3479
	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952	6,1952
Прирост в г	0,1220	0,1288	0,1342	0,1385	0,1428	0,1452	0,1478	0,1498	0,1505	0,1517

$K_{\text{средн}} = 0,1136$

Таблица 5

Кинетика набухания клейковины в 1,0 N растворе CaCl_2

$t^{\circ} = 17,5^{\circ}$; $\delta = 0,78$ м.м.

Вес бюксы + клейковина = 6,1914 г. Вес бюксы = 6,0756 г.

Время в мин.	5	10	15	20	25	30
	6,2073	6,2184	6,2258	6,2327	6,2382	6,2438
	6,1914	6,1914	6,1914	6,1914	6,1914	6,1914
Прирост в г	0,0159	0,0270	0,0344	0,0413	0,0468	0,0524
Продолжение						
Время в мин.	35	40	45	50		
	6,2493	6,2536	6,2576	6,2658		
	0,1914	0,1914	0,1914	0,1914		
Прирост в г	0,0579	0,0622	0,0622	0,0744		

$K_{\text{средн}} = 0,1293$

Таблица 6

Кинетика набухания клейковины в растворе
0,1n HCl + 1,0n CaCl_2

$t^{\circ} = 17,5^{\circ}$; $\delta = 0,8$ м.м.

Вес бюксы + клейковина = 6,1442 г. Вес бюксы = 6,0748 г.

Время в мин.	5	10	15	20	25	30	35	40
	6,1562	6,1632	6,1684	6,1740	6,1710	6,1798	6,1828	6,1846
	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442
Прирост в г	0,0120	0,0190	0,0242	0,0298	0,0328	0,0356	0,0386	0,0404
Продолжение								
Время в мин.	45	50	55	60	65	70	75	
	6,1869	6,1880	6,1910	6,1922	6,1984	6,1942	6,1946	
	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	6,1442	
Прирост в г	0,0427	0,0438	0,0468	0,0480	0,0492	0,0500	0,0504	

$K_{\text{средн}} = 0,1316$

Приведенные таблицы характеризуют полученный опытный материал и применимость к набуханию пшеничной клейковины в различных электролитах указанного выше уравнения.

Как видно из таблиц кинетика процесса набухания пшеничной клейковины в водных растворах различных электролитов удовлетворительно подчиняется этой формуле, что выражается постоянством величины K . Это постоянство относительное, так как значение K со временем все же падает.

Следует отметить, что падение константы скорости набухания со временем наблюдается и в случае набухания лиофильных коллоидов в различных органических растворителях и в воде.

Так, например, Догадкин (3), рассчитывая значение константы при набухании бутадиенового синтата в бензоле, получил через 10 мин. после начала набухания $K=0,00863$, а через 90 мин. $K=0,00432$. При набухании каучука в бензоле через 60 мин. K наблюдалось равным 0,0284, а через 360 мин. $K=0,0063$.

Такое же падение константы наблюдалось и в случае набухания желатины в воде: через 5 мин. $K=0,0045$, а через 25 мин. $K=0,0037$ (5).

Наблюдаемое во всех случаях падение величины константы скорости набухания может быть объяснено тем, что явление набухания состоит из двух основных процессов, а именно:

1. Химической сольватации, протекающей со значительной скоростью и выделением тепла.

2. Процесса осмотического связывания жидкости, протекающего с меньшей скоростью и без заметного теплового эффекта.

Каждый из этих процессов имеет свою константу скорости, и так как окончание этих двух процессов достигается не одновременно, то среднее значение из этих двух констант со временем падает.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что кинетика процесса набухания клейковины удовлетворительно выражается уравнением:

$$K = \frac{\delta}{t_2 - t_1} \frac{Q_\infty - Q_2}{Q_\infty - Q_1}$$

2. Среднее значение величины K для разных растворов несколько различно, но во всех случаях к концу набухания величина K падает.

3. Предложено объяснение падения величины K по мере набухания клейковины.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гиршон А. И. «Колл. журнал», вып. 10, т. III, 1937.
2. Думанский А. В. Учение о коллоидах. Госхимиздат, 1948.
3. Догадкин и Виноградова. «Колл. журнал» № 3, т. IX, 1947.
4. Кульман А. Т. Коллоиды в хлебопечении. Пищепромиздат, 1940.
5. Липатов. Физико-химия коллоидов. Госхимиздат, 1948.

Б. С. ДМИТРИЕВ,
доцент
Н. И. ТАРАСЮК,
инженер

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА АКТИВНОСТЬ ФЕРМЕНТОВ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ

Изменения ферментативной активности зерна и муки, подвергнутых термической обработке, изучались рядом отечественных и иностранных авторов.

Весьма тщательные исследования были проведены Е. Г. Онищенко (2), установившей возможность улучшения хлебопекарных свойств дефектной муки и зерна путем термической обработки.

Зерно, пораженное черепашкой, обладает высокой протеолитической активностью, в то время как амилолитическая его активность нормальна. Исследования Онищенко показали, что активность этих двух групп ферментов снижается при термической обработке такого зерна. Активность каталазы в муке, полученной от зерна, подвергнутого термической обработке, снижалась очень значительно — в 2 раза и больше.

Кент-Джонс изучал влияние нагревания на хлебопекарные качества муки и влияние добавок перегретой муки к муке нормальной. Попутно им определялась активность протеолитических и амилолитических ферментов, причем обнаруживалось падение активности ферментов в обработанной муке.

Подобные результаты были получены также Геддесом. Однако в его работе необходимо отметить серьезные методические недостатки, а именно:

1) прогревание образцов зерна проводилось при одинаковой их влажности — 13,9%;

2) ферментативному исследованию подвергалось не само зерно, а мука выхода 75% (Straight);

3) протеолитическая активность определялась по методу Серенсена, причем количества аминного азота были порядка 0,5—1,1 мг на 10 г сухого вещества за 48 час. автолиза. Последнее обстоятельство свидетельствует о том, что распад белков до полипептидов, обуславливающий ухудшение качества клейковины, при этом совершенно не учитывался. Перечисленные недочеты снижают значимость результатов работы Геддеса.

Большая экспериментальная работа по тепловой обработке пшеничной муки была проведена Н. И. Озолиным (1).

Специальной задачей настоящей работы являлось определение влияния термической обработки на нормальное зерно разной влажности при температурах нагрева, вызывающих только начальные стадии денатурации белкового комплекса зерна. Критерий — денатурация белков — был взят в соответствии с общим направлением работ института в области определения новых режимов сушки зерна (доц. И. И. Ленарский и доц. П. Н. Платонов).

Предполагалось, что белковая природа ферментов должна привести к некоторому параллелизму в ходе денатурации белков и инактивации протеолитических и амилалитических ферментов зерна.

Объектами исследования служили образцы товарного зерна пшеницы Одесской области и зерно Одесская 12 урожая 1948 г. Оба образца относятся к IV типу, 3-му подтипу.

Все основные опыты были проведены с зерном сорта Одесская 12.

Диастатическая активность определялась по видоизмененному ВНИИЗ методу Рамзей (с определением сахара по иодометрическому феррицианидному полумикрометоду). Определение протеолитической активности осуществлялось путем настаивания 20 г размолотого зерна с 200 мл дистиллированной воды при 37° в течение 3 мин. (контроль), 1 часа и 3 час., с последующим определением растворимого азота (по Кьельдалю). Для определения воднорастворимого азота берется 50 мл фильтрата.

Принимая эту методику, авторы руководствовались результатами работы Н. И. Проскурякова и Е. В. Бухариной (3), которые применили такую пропись для общего учета протеолиза нормального и дефектного зерна пшеницы. Рациональность такой методики обосновывается исследованиями А. Н. Баха и А. И. Опарина, которые предложили метод определения протеолитической активности, основанный на определении белкового азота до и после автолиза зерна.

Учитывая, что результаты определения путем автолиза зависят не только от активности фермента, но и от доступности субстрата, авторы этой работы провели также определение диастатической активности посредством часового воздействия зерновой вытяжки на клейстеризованный крахмал этой же пшеницы.

Пробы зерна подогревались по методу, применявшемуся доц. И. И. Ленарским.

Прогревание продолжалось в течение 1 часа, с учетом времени, необходимого для доведения зерна до желательной температуры.

Исследованию подвергалось зерно пшеницы Одесская 12 с влажностью: 1) 14,5%; 2) 15,5%; 3) 18,0%; 4) 21,0% при соответствующих тепловых режимах 1) 62, 70, 78°; 2) 60, 68, 76°; 3) 55, 64, 70°; 4) 54, 60, 66°. Контролем служило зерно с влажностью 14,5%, не подвергнутое тепловой обработке.

Метод определения активности протеолитических ферментов был испытан на товарном зерне пшеницы урожая 1948 г.

Опыты были проведены с нормальным и прогретым до 85° зерном, причем было учтено влияние температуры и времени на результат протеолиза.

Полученные данные приведены в табл. 1, 2, 3 и на графике (рис. 1).

Протеолитическая активность товарного зерна с влажностью 13,4% (контроль) приведена в табл. 1.

Таблица 1

№ опытов	Время настаивания в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Азот в % в среднем	Растворимый азот в % к общему
1	3	0,0142	0,329	0,327	13,4
2	3	0,0140	0,325		
3	60	0,0168	0,390	0,396	16,2
4	60	0,0174	0,402		
5	180	0,0188	0,434	0,437	18,0
6	120	0,0190	0,439		
7	—	0,0193	2,45	2,44	—
8	—	0,0198	2,43		

Опыты 7—8 дают результаты определения общего азота.

Данные, помещенные в табл. 1, указывают на удовлетворительную сходимость повторных определений и на заметный прирост количества растворимого азота при увеличении времени настаивания.

Все графики в настоящей работе не характеризуют кинетики протеолиза, так как при каждом определении получаются только три точки: 1) 3 мин. настаивания, 2) 1 час, 3) 3 часа.

Наклон кривой между точками 2 и 3 дает представление о суммарном действии протеолитических ферментов в течение 2 час. настаивания.

В течение 1 часа происходит растворение белка наряду с протеолизом.

Графики наглядно изображают данные, приведенные в таблицах. Проведение плавных кривых через три точки в известной мере условно, но особых возражений, по нашему мнению, вызывать не может, так как процессы, связанные с пептизацией и ферментным действием, обычно выражаются кривыми второго порядка.

Изучение кинетики протеолиза не входило в нашу задачу.

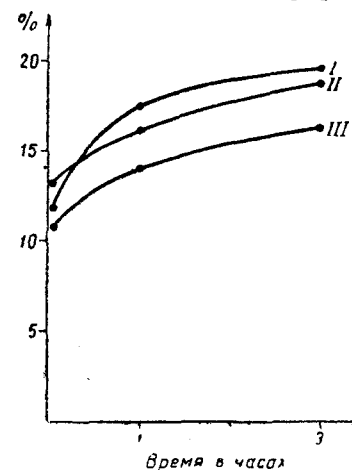


Рис. 1

Протеолиз товарного зерна при продолжительном настаивании и разных температурах приведен в табл. 2.

Таблица 2

№ опытов	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Азот в % к общему азоту	Время настаивания в час.
1	0,0191	0,441	18,1	24
2	0,0195	0,450	18,4	48
3	0,0547	1,263	51,7	10
4	0,6370	1,471	60,3	15

Опыт 1 продолжался в течение 1 часа при температуре 37° и 23 часа — при температуре 15°.

Опыт 2 продолжался также 1 час при температуре 37° и 47 час. — при температуре 15°.

Опыт 3 продолжался 10 час. при температуре 37°.

Опыт 4 — 15 час. при температуре 37°.

Данные табл. 2 подтверждают ферментативную природу роста количества растворимого азота. Зависимость результата автолиза от времени и температуры очевидна. Даже длительное настаивание при 15° очень незначительно влияет на результат.

Результаты протеолиза товарной пшеницы, прогретой до 85°, приведены в табл. 3.

Таблица 3

№ опытов	Время в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Среднее	Растворимый азот в % к общему
1	3	0,0115	0,265	0,225	10,9
2	3	0,0115	0,265		
3	60	0,0148	0,342	0,341	14,0
4	60	0,0147	0,340		
5	180	0,0168	0,388	0,388	16,0
6	180	0,0168	0,388		

Соответствующие значения для непрогретого зерна — 13,4, 16,2 и 18,0% (см. табл. 1).

Данные табл. 3 свидетельствуют об общем снижении процента растворимого азота в прогретых образцах по сравнению с контролем (см. табл. 1).

Снижения суммарной величины протеолитической активности не наблюдалось, что совершенно отчетливо видно на рис. 1 (кривые II и III). Кривая I этого графика отражает результаты, полу-

ченные Проскураковым и Бухариной для протеолитической активности нормального зерна пшеницы Украинка (3). Наклон всех трех кривых в основном одинаков.

Результаты протеолиза необработанного зерна пшеницы Одесская 12 с влажностью 14,5% приведены в табл. 4 и на графике (рис. 2).

Таблица 4

№	Время в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Азот а % в среднем	Растворимый азот в % к общему
1	3	0,0144	0,336	0,330	13,2
2	3	0,0139	0,325		
3	60	0,0182	0,425	0,423	16,9
4	60	0,0180	0,420		
5	180	0,0195	0,454	0,453	18,1
6	180	0,0194	0,452		
7	—	0,0231	2,51	2,50	—
8	—	0,0211	2,49		

В опытах 7 и 8 определялся общий азот.

Числовые данные табл. 4 и графика на рис. 2 практически совпадают с данными табл. 3 и графика на рис. 1 для нормального товарного зерна. Это можно объяснить однотипностью зерна и примерно одинаковым его физиологическим состоянием.

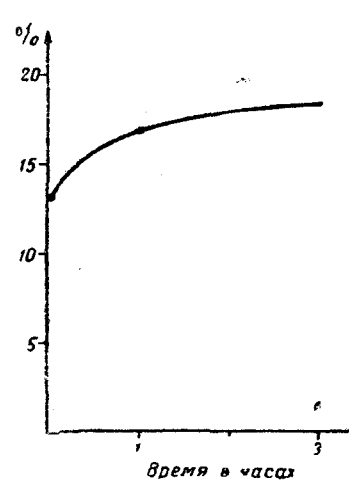


Рис. 2

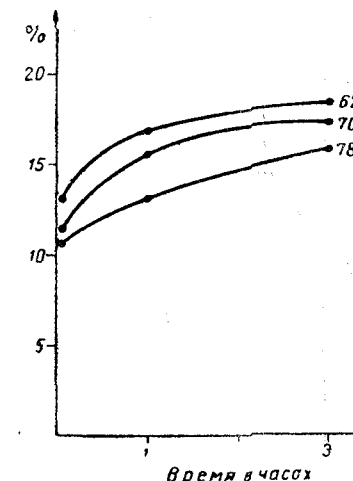


Рис. 3

Результаты протеолиза прогретого зерна Одесская 12 с влажностью 14,5% приведены в таблице 5 и на графике (рис. 3).

Таблица 5

№ опытов	Время в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Растворимый азот в % к общему	Температура прогрева зерна в °С
1	3	0,0137	0,320	12,8	62
2	3	0,0137			
3	60	0,0177			
4	60	0,0180	0,419	16,8	62
5	180	0,0196			
6	180	0,0197			
7	180	0,0121	0,283	11,3	70
8	180	0,1200			
9	60	0,0168			
10	60	0,0168	0,393	15,7	70
11	180	0,0185			
12	180	0,0183			
13	180	0,0112	0,271	10,8	78
14	180	0,0117			
15	60	0,0141			
16	60	0,0140	0,330	13,2	78
17	180	0,0171			
18	180	0,0168			

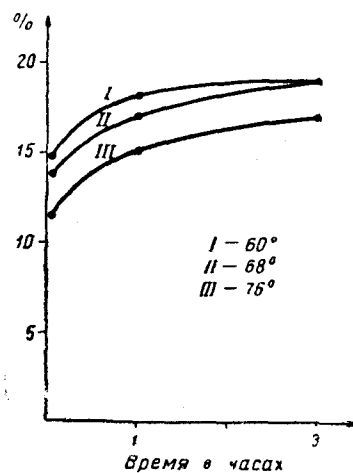


Рис. 4

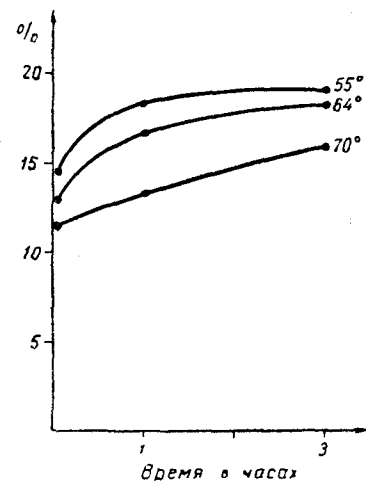


Рис. 5

Данные, приведенные в табл. 5 и графике на рис. 3, дают основание считать, что при температуре 62° денатурации белков

практически не происходило (см. табл. 4 и график на рис. 2). Нагрев при 70 и 78° обуславливает общее снижение процента растворимого азота, причем снижения суммарной протеолитической активности не наблюдается (количество растворимого азота растет в процессе автолиза при всех температурах).

Результаты протеолиза прогретого зерна с влажностью 15,5% приведены в табл. 6 и на графике (рис. 4).

Таблица 6

№ опытов	Время в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Растворимый азот в % к общему	Температура нагрева в °С
1	3	0,0157	0,367	14,7	60
2	60	0,0199			
3	60	0,0194			
4	180	0,0199	0,466	18,6	60
5	180	0,0199			
6	3	0,0146			
7	3	0,0146	0,342	13,7	68
8	60	0,0181			
9	180	0,0199			
10	180	0,0199	0,466	18,6	68
11	3	0,0125			
12	3	0,0126			
13	60	0,0161	0,294	11,8	76
14	60	0,0161			
15	180	0,0185			
16	180	0,0185	0,377	15,1	76
15	180	0,0185			
16	180	0,0185			

Данные, приведенные в табл. 6 и графике на рис. 4, указывают в общем на снижение процента растворимого азота при повышении температуры нагрева. Снижения суммарной протеолитической активности в зависимости от увеличения температуры нагрева зерна не наблюдается. Наименьший протеолитический эффект дало зерно, прогретое при наиболее низком температурном режиме.

Результаты протеолиза прогретого зерна с влажностью 18% приведены в табл. 7 и на графике (рис. 5).

Таблица 7

№ опытов	Время в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Растворимый азот в % к общему	Температура прогрева зерна в °С
1	3	0,0117	0,284	11,4	70
2	3	0,0122			
3	60	0,0137	0,326	13,0	70
4	60	0,0137			
5	180	0,0167	0,394	15,8	70
6	180	0,0164			
7	3	0,0135	0,324	13,0	64
8	3	0,0137			
9	60	0,0176	0,417	16,7	64
10	60	0,0174			
11	180	0,0185	0,449	18,0	64
12	180	0,0192			
13	3	0,0147	0,350	14,0	55
14	60	0,0196	0,462	18,5	55
15	60	0,0192			
16	180	0,0195	0,464	18,6	55

Данные, приведенные в табл. 7 и графике на рис. 5, сходны с данными для прогретого зерна с влажностью 15,5%.

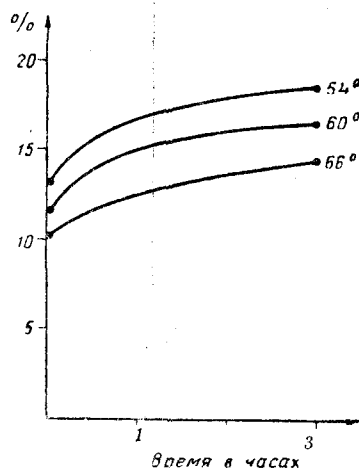


Рис. 6

Снижения суммарной протеолитической активности в зависимости от увеличения температуры нагрева не наблюдается.

Наименьший протеолитический эффект обнаружилось зерно, прогретое при наиболее низком режиме (55°).

Результаты протеолиза прогретого зерна с влажностью 21% приведены в табл. 8 и на графике (рис. 6).

Данные, приведенные в табл. 8, указывают на обычное закономерное уменьшение процента растворимого азота с повышением температуры нагрева зерна. Интенсивность протеолиза того же порядка, что у зерна с влажностью 14,5%, прогретого при температурах 62°, 70° и 78°.

Следует отметить, что это приблизительное совпадение результатов можно объяснить тем, что применявшиеся температурные режимы нагрева производили близкие

Таблица 8

№ опытов	Время в мин.	Азот в г	Азот в % на сухое вещество	Растворимый азот в % к общему	Температура нагрева в °С
1	3	0,0139	0,334	13,4	54
2	3	0,0141			
3	60	0,0176	0,418	16,7	54
4	60	0,0174			
5	180	0,0192	0,459	18,4	54
6	3	0,0126	0,300	12,0	60
7	3	0,0125			
8	60	0,0158	0,374	15,0	60
9	60	0,0155			
10	180	0,0176	0,350	16,7	60
11	180	0,0174			
12	3	0,0111	0,265	10,6	66
13	3	0,0111			
14	60	0,0134	0,323	12,9	66
15	60	0,0136			
16	180	0,0151	0,363	14,5	66
17	180	0,0153			

по величине эффекты денатурации белка в зерне разной влажности (14,5 и 21%).

Совпадаемость повторных определений растворимого азота была удовлетворительной.

Для настаивания применялась прокипяченная и охлажденная до температуры 37—39° дистиллированная вода.

Поглощение NH_3 проводилось 0,1 N HCl, титрование 0,1 N NaOH в присутствии 2 капель 0,05%-ного раствора метилоранжа.

Переход от розового к желтому в этих условиях устанавливается точно при наличии определенного навыка. Применение метилрот дает несколько менее точные результаты (чувствительность к H_2CO_3). Во всех случаях проводилось контрольное обратное титрование 0,1 N HCl, причем 2—3 капли раствора HCl вызывали появление слабого оранжевожелтого окрашивания раствора. Применение микрометода (с растворами $1/100$ N) дает значительный выигрыш времени без значительного увеличения объективности и воспроизводимости результатов определения азота. Титрование в присутствии метилоранжа следует рекомендовать.

Анализ графиков протеолиза показывает, что графики, отвечающие наиболее низким температурным режимам, обычно близко совпадают с графиком контроля (см. рис. 2).

При истолковании хода кривых протеолиза нужно учитывать возможность наложения двух взаимнопротивоположных действующих причин: 1) денатурация фермента как белка и 2) активизирование остающейся в нормальном состоянии части фермента.

Этому предположению отвечает та особенность графиков, что падение скорости протеолиза при более высоких температурах не наблюдается.

Наоборот, уменьшение скорости протеолиза можно усмотреть в графиках для 60° (15,5% влажности) и 55° (18% влажности).

Наличие активации неденатурированной части фермента может затруднять установление параллелизма между ходом денатурации белков и денатурации ферментов.

Денатурирование фермента должно уменьшать скорость протеолиза. Если такого уменьшения нет, приходится допустить активирование остающейся части фермента или увеличение атакующести субстрата. Первое допущение является общепринятым — изменение активности фермента в зависимости от температуры рассматривается как результат наложения двух процессов: 1) активирования фермента и 2) его разрушения.

Согласно данным Проскуракова с сотрудниками и Онищенко (2, 4), ферментативная атакующесть белков зерна пшеницы, подвергнутой термической обработке, уменьшается.

Определение сахарообразующей способности амилазы проводилось по методу автолиза. Нами применялась следующая пропись, проверенная в ходе предыдущих работ.

5 г размолотого зерна (проход сита № 24) взбалтывается в мерной колбе на 100 мл с 50 мл ацетатного буферного раствора с pH=4,7 и настаивается в водяном термостате при температуре 30° в течение 1 часа. Зерно и буфер предварительно прогревают в термостате в течение 15 мин. Содержимое колбы взбалтывается в течение 0,5 мин. через каждые 15 мин.

Инактивация ферментов и осаждение коллоидов проводится путем прибавления 2 мл 0,1 N NaOH и 10 мл 4,5%-ного раствора ZnSO₄·7H₂O, после чего колба прогревается на водяной бане в течение 20 мин. при температуре 45° и после встряхивания проводится фильтрование через 9-сантиметровый фильтр. Воронки прикрывают часовым стеклом. Для определения сахара по иодометрическому методу берется 10 мл фильтрата (или меньше, в случае высокой активности амилазы).

Отметим, что расчет числа миллилитров точно 0,05 N K₃[Fe(CN)₆] нужно проводить по формуле:

$$V = \frac{(V_1 - V_2)n}{0,05},$$

где V₁ и V₂ — объем раствора Na₂S₂O₃;
n — его фактическая нормальность.

Примерные расчеты, приведенные в специальных руководствах (Н. Н. Иванова и др.), могут дать ошибочные результаты, поскольку они не отвечают общеобязательной практике объемно-аналитических расчетов.

Для учета действия вытяжки зерна на клейстеризованный крахмал применялась следующая методика (сокращено). Клейстер готовился путем кипячения 2 г сухого крахмала пшеницы Одесская 12 в 100 мл (собственно до 100 мл) дистиллированной воды с обратным холодильником в течение 10 мин.

Зерновая вытяжка приготовлялась из 5 г размолотого зерна + 100 мл буферного раствора (pH=4,7) и настаивалась в течение 1 часа при температуре 30°.

Затем 15 мл клейстера и 15 мл профильтрованной вытяжки сливаются вместе в мерную колбу на 100 мл и проводится гидролиз в течение 1 часа при температуре 30°.

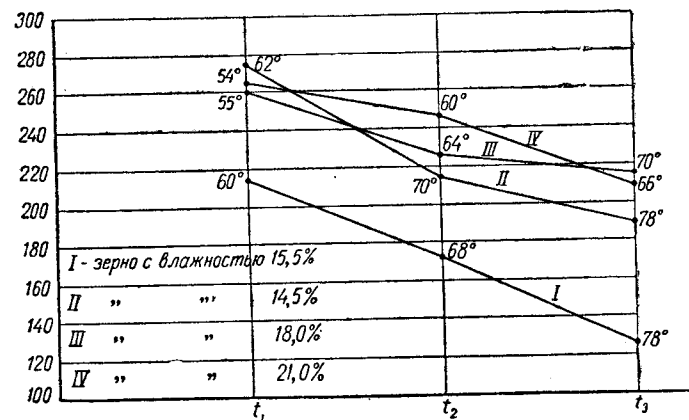


Рис. 7

Вытяжка и клейстер предварительно прогреваются до температуры 30°. После инактивации, осаждения белков (NaOH+ZnSO₄) и доведения до метки проводят фильтрование и определение сахара иодометрическим путем в надлежащем объеме фильтрата (5 мл). Для контрольного опыта в колбочки с клейстером вливается соответствующий объем фильтрата, после чего немедленно проводятся инактивация, осаждение коллоидов и фильтрование. Сахар определялся, как в основном опыте.

Нужно сказать, что результаты определения диастатической активности по описанным двум методам не сравнимы, так как при автолизе гидролиз идет на поверхности грубодисперсной фазы, при действии же на клейстер гидролиз проходит во всем объеме раствора в микрогетерогенной системе.

Испытание принятой в работе методики было проведено на товарном необработанном зерне урожая 1948 г. Результаты этих опытов приведены в табл. 9.

Результаты определения сахарообразующей способности зерна пшеницы Одесская 12 приведены в табл. 10, 11, 12, 13 и на рис. 7.

Амилолитическая активность необработанного зерна Одесская 12 с влажностью 14,5% приведена в табл. 10.

Таблица 9

Метод анализа	0,05 N K ₂ [Fe(CN) ₆] в мл	Мальтозы в мг	Мальтозы на 10 г зерна в мг	Мальтозы на 10 г сухого вещества в мг
Автолиз	{ 4,74 4,78	9,61	192	222
Гидролиз (контроль) . . .	5,05	10,2	416	480
Гидролиз клейстера . . .	6,02	12,16		

Таблица 10

Метод анализа	0,05 N K ₂ [Fe(CN) ₆] в мл	Мальтозы в мг	Мальтозы на 10 г зерна в мг	Мальтозы на 10 г сухого вещества в мг
Автолиз	5,58	11,3	226	254
"	5,43	11,0	220	
Гидролиз клейстера . . .	4,45	8,99	429	502
"	4,40	8,89		
"	5,20	10,50		
"	5,25	10,61		

Таблица 11

№ опытов	0,05 N K ₂ [Fe(CN) ₆] в мл	Мальтозы в мг	Мальтозы на 10 г зерна в мг	Мальтозы на 10 г сухого вещества в мг	Примечания
1	5,81	11,74	234,8	273	1—2—зерно, прогретое до 62°; 3—4—до 70°; 5—6—до 78°
2	5,75	11,65	232,4		
3	4,55	9,19	183,8	215	7—12—опыты с гидролизом клейстера зерновой вытяжкой
4	4,56	9,21	184,2		
5	4,02	8,12	162	186	7—контроль для 62°
6	3,82	7,71	154		
7	3,65	7,36	1035	1210	8—опыт для 62°
8	5,56	11,23			
9	4,68	9,45	1460	1708	9—контроль для 70°
10	4,91	10,19			
11	3,97	8,02	544	636	10—опыт для 70°
12	4,98	10,06			

Результаты определения амилолитической активности обработанного зерна Одесская 12 с влажностью 14,5% приведены в табл. 11.

Результаты опытов с автолизом (опыты 1—6 в табл. 11) указывают на закономерное уменьшение амилолитической активности с повышением температуры нагрева зерна.

Гидролиз клейстера не дал ясной закономерности.

Во всяком случае, активность зерна, прогретого при температурах 62 и 70°, выше, чем активность зерна, прогретого при 78°. Можно предположить, что в последнем случае переход фермента в раствор был затруднен.

Результаты определения амилолитической активности прогретого зерна с влажностью 15,5% приведены в табл. 12.

Таблица 12

№ опытов	0,05 N K ₂ [Fe(CN) ₆] в мл	Мальтозы в мг	Мальтозы на 10 г зерна в мг	Мальтозы на 10 г сухого вещества в мг	Примечания
1	4,07	8,22	164	193	1—6—автолиз
2	4,07	8,22	164		
3	3,57	7,21	144	168	3—4—нагрев до 68°
4	3,57	7,21	144		
5	2,62	5,33	107	124	7—9—гидролиз клейстера
6	2,67				
7	4,53	9,15	1240	1450	7—8—нагрев до 60°
8	5,48	11,07			
9	5,23	10,56	1253	1465	9—10—нагрев до 68°
10	2,90	5,86			
11	1,84	3,71	1680	1965	11—12—нагрев до 76°
12	4,96	10,01			

Данные по автолизу указывают на закономерное снижение амилолитической активности с повышением температуры нагрева.

Обращает на себя внимание общее снижение активности — все значения активности для зерна с влажностью 15,5% ниже, чем для зерна с влажностью 14,5; 18 и 21%.

Результаты по гидролизу клейстера указывают на некоторое увеличение активности при повышении температуры. Вопрос этот требует дальнейшего исследования.

Численные значения амилолитической активности прогретого зерна Одесская 12 с влажностью 18 и 21% приведены в табл. 13 и на рис. 7.

Данные табл. 13 указывают на практически тождественные результаты автолиза зерна с влажностью 18 и 21%.

Результаты гидролиза клейстера дают основание отметить, что сахаробразующая способность зерна с влажностью 18 и 21%

Таблица 13

№ опытов	Влажность зерна 18 %		Влажность зерна 21 %		Примечания
	температура нагрева в °С	мальтозы на 10 г сухого вещества в мг	температура нагрева в °С	мальтозы на 10 г сухого вещества в мг	
1	55	261	54	263	Опыты 1, 2, 3 проведены методом автолиза
2	64	229	60	242	
3	70	217	66	212	
4	55	464	54	19	Опыты 4, 5, 6—гидролиз клейстера зерновой вытяжкой
5	64	146	60	280	
6	70	368	66	296	

(по методу осахаривания клейстера) гораздо ниже, чем у зерна с влажностью 14,5 и 15,5%.

Сопоставляя данные автолиза с данными гидролиза клейстера, можно предположить, что снижение сахарообразующей способности связано главным образом с тем, что частичная денатурация фермента как белка значительно затруднила в данном случае переход его в зерновую вытяжку. Эту мысль подтверждают результаты автолиза для зерна с влажностью 18 и 21%, где гидролиз крахмала шел так же интенсивно, как и в случае с зерном с влажностью 14,5%.

ВЫВОДЫ

Опытный материал настоящей работы и анализ полученных результатов дают основание сделать следующие выводы.

1. Повышение температуры нагрева зерна при всех примененных влажностях его обуславливает понижение процента воднорастворимого азота, что связано с частичной денатурацией белков зерна при нагревании.

2. При истолковании хода протеолиза следует учитывать возможность наложения двух взаимнопротивоположных действующих причин: 1) денатурации фермента как белка и 2) активации остающейся в нормальном состоянии части фермента.

3. Падения скорости протеолиза при более высоких температурных режимах не наблюдается. Процент воднорастворимого азота увеличивается.

4. Общий вывод по результатам протеолиза сводится к положению, что примененные в данной работе температурные режимы при влажности зерна от 14,5 до 21% не приводят к снижению активности протеолитических ферментов.

5. Результаты определения осахаривающей способности зерна путем автолиза суспензии показывают, что активность амилазы зерна данной влажности падает при повышении температуры нагрева.

6. Это уменьшение активности амилазы не может само по себе обусловить значительное ухудшение хлебопекарных качеств зерна,

так как диастатическая активность остается в пределах своих обычных средних величин.

7. Определение диастатической активности по гидролизу клейстера дает несравнимые с данными автолиза результаты.

8. Величины диастатической активности (по гидролизу клейстера) для зерна с влажностью 18 и 21% значительно ниже, чем для зерна с влажностью 14,5 и 15,5%.

9. Общий вывод: примененные температурные режимы при влажности зерна от 14,5 до 21% не приводят к значительным изменениям протеазного и амилазного комплексов зерна пшеницы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Озолин Н. И. Тепловая обработка и сушка муки. Труды Одесского института технологии зерна и муки им. И. В. Сталина, Госторгиздат, 1938.
2. Онищенко Е. Г. Улучшение путем термической обработки хлебопекарных свойств зерна, пораженного клопом-черепашкой. Биохимия хлебопечения, вып. 3, А. Н. СССР, 1942.
3. Проскуряков Н. И. и Бухарина Е. В. Особенности протеазной системы зерна, пораженного клопом-черепашкой. Биохимия хлебопечения, вып. 3, А. Н. СССР, 1942.
4. Проскуряков Н. И. и Бундель А. А. Качество белков пшеничной муки и их ферментная атакуемость. Биохимия хлебопечения, вып. 3, А. Н. СССР, 1942.

Ф. Г. КРИВОЛАПОВ,
доцент
Л. Е. СИНЕЛЬНИКОВА,
ассистент

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (СУШКИ) НА НАБУХАНИЕ ЯЧМЕНЯ И ПЕНСАКА

Явление набухания играет важную роль в процессах хранения и переработки зерна.

Способность семян поглощать воду давно привлекало к себе внимание ботаников и агрономов ввиду большого значения этого процесса для физиологии растений.

Сложный процесс поглощения воды зерном определяется рядом факторов, как-то: химическим составом зерна, степенью проницаемости семенной оболочки, осмотическим состоянием клеток зародыша и эндосперма.

Исследования Богданова, проведенные еще в конце прошлого столетия (1893 г.), показали, что отдельные сорта одного и того же вида хлебных злаков набухают различно. Этот исследователь считал, что в основном набухаемость зерна определяется его белковым составом.

Можно предполагать, что и семена одного и того же сорта набухают не одинаково, что может быть результатом различного их биологического и физико-химического состояния.

Существенное влияние на поглощение воды зерном оказывают и внешние факторы, например температура, состав водного раствора и т. д.

Имеющийся большой опытный материал по набуханию зерна относится главным образом к зерну, не подвергнутому предварительной термической и гидротермической обработке. Между тем такая обработка часто применяется в технологии переработки зерна и в дальнейшем ее применение должно расширяться.

Предварительная термическая обработка зерна ведет к изменению его физико-химических и технологических свойств в нужном для технологии направлении. При этом в первую очередь подвергается изменению белковый комплекс зерна, что находит отражение в изменении его коллоидных свойств (набухаемости и скорости набухания), количества воднорастворимых веществ и т. д.

При более высоких температурах обработки, кроме белков, будет изменяться вторая главная составная часть зерна — крах-

мал, что отражается на коллоидных свойствах зерна и продуктов его переработки.

Существенный интерес в связи с этим представляет вопрос о влиянии растворимых в воде веществ, главным образом электролитов, на набухаемость и кинетику набухания нормального и термически обработанного зерна.

Нами изучались набухаемость и кинетика набухания как в воде, так и в водных растворах различных электролитов ячменя и полученного из него пенсака, а также изменение количества воднорастворимых веществ зерна в зависимости от его термической обработки (сушки). В качестве объекта изучения был взят сорт Одесский 0—19 урожая 1948 г.

Термическая обработка ячменя по методу доц. П. Н. Платонова проводилась в лаборатории подъемно-транспортных механизмов (заведующий кафедрой — доц. П. Н. Платонов) при следующих условиях:

а) обработка в течение 32 мин. при температуре 60°:

Исходная влажность	25,3%
Конечная влажность	15,7%

б) обработка в течение 32 мин. при температуре 98±2°:

Исходная влажность	27,55%
Конечная влажность	12,35%

Набухание контрольного и термически обработанного зерна определялось в воде и в водных растворах: NaCl, Na₂SO₄, NaHCO₃, Na₂CO₃, CaCl₂ 0,05 N концентрации, и в растворах молочной кислоты 0,01 и 0,001 N. Молочная кислота была взята как вещество, способствующее набуханию, остальные электролиты — как содержащие наиболее важные и обычные ионы.

Для измерения величины набухания нами был применен центрофужно-весовой метод. На аналитических весах взвешивалось в бюксах средняя проба в 15 зерен ячменя (или 20 зерен пенсака), которая затем переносилась в стаканчик и заливалась 10 мл раствора.

Через определенные промежутки времени набухания, которые в наших опытах были равны: 1, 2, 3, 5, 21, 29, 44 и 51 часу, зерна переносились в стеклянный сосуд с пористым фильтром со срезанным дном и подвергались центрофугированию при 1500 об/мин. в течение 10 мин. Каждое такое определение делалось в трех повторностях.

На основании полученных нами данных строился график зависимости величины набухания от времени набухания.

Температура при опытах поддерживалась в границах 22°±1°. Содержание воднорастворимых веществ определялось обычным методом и бралась средняя величина из трех определений.

Полученные опытные результаты приведены в табл. 1 и 2 и на графиках (рис. 1, 2, 3 и 4).

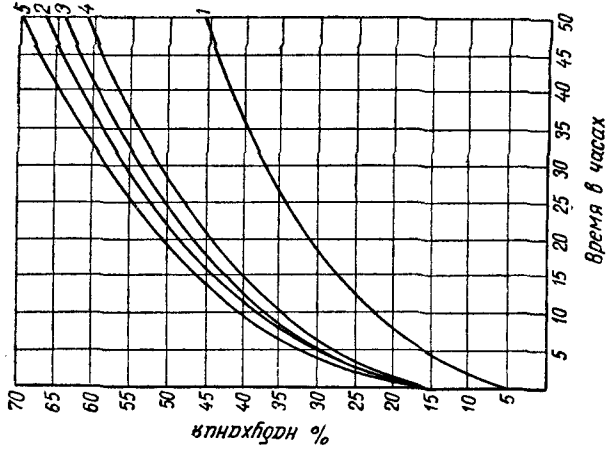


Рис. 1. График набухания ячменя, термически обработанного при $t=98\pm 2^\circ$:
1—контроль в водопроводной воде; 2—термическая обработка в водопроводной воде; 3—термическая обработка в $0,05N$ NaCl; 4—термическая обработка в $0,05N$ Na₂CO₃; 5—термическая обработка в $0,001N$ молочной кислоте

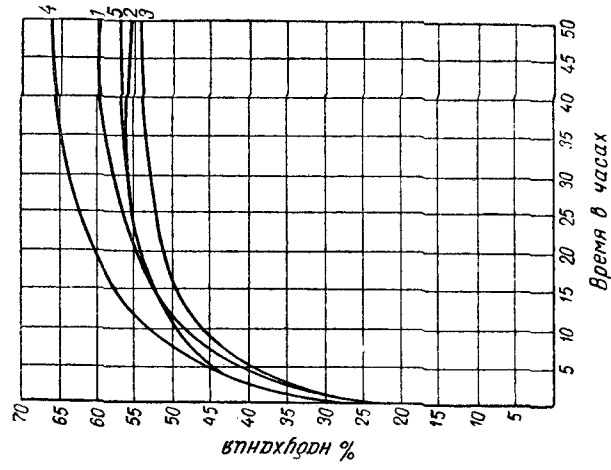


Рис. 2. График набухания пенсака, термически обработанного при $t=98\pm 2^\circ$:
1—контроль в водопроводной воде; 2—термическая обработка в водопроводной воде; 3—термическая обработка в $0,05N$ NaCl; 4—термическая обработка в $0,05N$ Na₂CO₃; 5—термическая обработка в $0,001N$ молочной кислоте

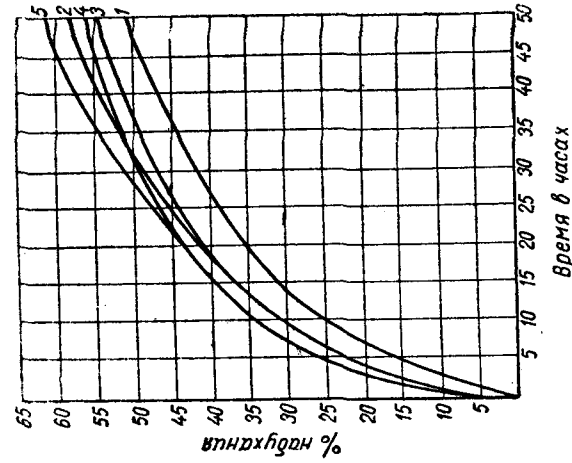


Рис. 3. График набухания ячменя, термически обработанного при $t=60^\circ$:
1—контроль в водопроводной воде; 2—термическая обработка в водопроводной воде; 3—термическая обработка в $0,05N$ NaCl; 4—термическая обработка в $0,05N$ Na₂CO₃; 5—термическая обработка в $0,001N$ молочной кислоте

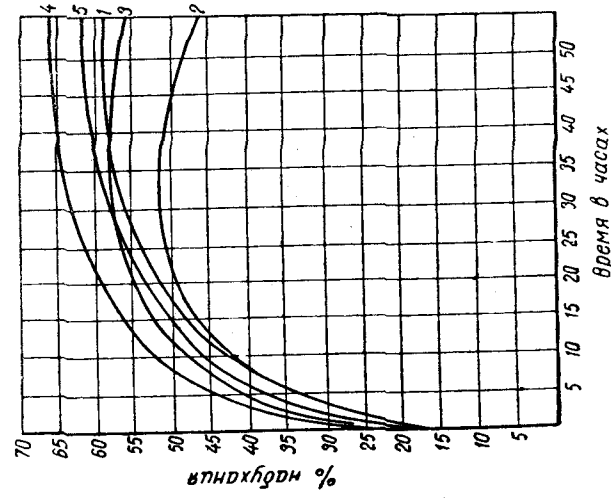


Рис. 4. График набухания пенсака, термически обработанного при $t=60^\circ$:

1—контроль в водопроводной воде; 2—термическая обработка в водопроводной воде; 3—термическая обработка в $0,05N$ NaCl; 4—термическая обработка в $0,05N$ Na₂CO₃; 5—термическая обработка в $0,001N$ молочной кислоте

Набухание ячменя в растворах электролитов, выраженное в процентах

Время набухания	Режим термической обработки	Электролиты							Молочная кислота 1/1000 N	Молочная кислота 1/1000 N
		водопроводная вода	дистиллированная вода	NaCl 0,05 N	Na ₂ SO ₄ 0,05 N	NaHCO ₃ 0,05 N	Na ₂ CO ₃ 0,05 N	CaCl ₂ 0,05 N		
1 час	Контроль (необработанный ячмень)	6,96	7,88	6,66	7,13	7,97	7,16	7,3	7,71	6,91
	I термическая обработка при 98±2°	12,29	13,23	12,96	13,3	11,75	11,78	10,31	14,36	9,69
	II термическая обработка при 60°	9,32	10,32	7,54	7,38	10,53	10,81	10,19	9,15	8,76
	Контроль (необработанный ячмень)	10,38	11,01	9,89	9,72	10,97	11,56	11,98	10,96	10,1
	I термическая обработка при 98±2°	17,98	19,61	19,53	19,75	18,67	16,8	14,65	20,51	15,76
	II термическая обработка при 60°	12,16	14,85	12,29	12,53	13,96	15,67	13,68	12,77	12,6
2 часа	Контроль (необработанный ячмень)	12,96	13,78	12,7	12,12	13,3	13,12	15,9	13,18	12,71
	I термическая обработка при 98±2°	23,16	23,35	25,8	24,47	24,3	20,9	18,96	25,83	20,48
	II термическая обработка при 60°	16,86	19,97	15,8	16,60	17,56	19,0	16,28	16,62	15,68
	Контроль (необработанный ячмень)	16,82	18,39	16,98	16,69	17,16	18,08	20,7	19,42	18,08
	I термическая обработка при 98±2°	29,26	31,16	31,05	31,1	31,5	27,5	24,7	33,1	27,8
	II термическая обработка при 60°	21,38	25,05	20,84	21,88	24,3	28,8	21,07	21,65	18,96
5 час.	Контроль (необработанный ячмень)	34,8*	35,56*	32,35*	32,12	32,33	33,55	38,0	37,5	34,06
	I термическая обработка при 98±2°	50,2	51,4	50,8	53,03	53,3	48,5	47,16	53,4	50,6
	II термическая обработка при 60°	40,1	45,75	37,88	38,78	41,7	44,55	38,7	40,3	36,8
	Контроль (необработанный ячмень)	35,50*	36,08*	33,36*	35,73	37,56	37,85	43,0	43,25	39,15
	I термическая обработка при 98±2°	57,23	57,8	55,8	57,4	60,2	54,1	52,3	58,8	56,26
	II термическая обработка при 60°	43,1	49,25	41,4	42,7	49,05	44,05	43,5	45,28	41,95
29 час. (×24 ч.)	Контроль (необработанный ячмень)	—	—	—	43,3	43,95	43,1	48,50	50,4	46,2
	I термическая обработка при 98±2°	65,1	66,5	62,3	65,3	68,3	60,5	59,9	67,6	65,26
	II термическая обработка при 60°	51,35	56,1	48,5	50,7	53,8	50,4	48,8	55,0	49,6
	Контроль (необработанный ячмень)	46,8	47,41	43,12	45,8	45,93	45,63	50,56	52,5	48,3
	I термическая обработка при 98±2°	67,23	68,6	64,6	68,1	71,5	62,8	62,6	70,1	67,4
	II термическая обработка при 60°	54,96	57,6	50,7	52,08	56,2	52,1	48,7	57,03	51,6
44 часа	I термическая обработка при 98±2°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II термическая обработка при 60°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Контроль (необработанный ячмень)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	I термическая обработка при 98±2°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II термическая обработка при 60°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Контроль (необработанный ячмень)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
51 час	I термическая обработка при 98±2°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II термическая обработка при 60°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Контроль (необработанный ячмень)	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	I термическая обработка при 98±2°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	II термическая обработка при 60°	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	Контроль (необработанный ячмень)	—	—	—	—	—	—	—	—	—

Набухание пенсак в растворах электролитов, выраженное в процентах

Время набухания	Режим термической обработки	Электролиты								
		водопроводная вода	дистиллированная вода	NaCl 0,05N	Na ₂ SO ₄ 0,05N	NaHCO ₃ 0,05N	Na ₂ CO ₃ 0,05N	CaCl ₂ 0,05N	молочная кислота 1/1000N	молочная кислота 1/1000N
1 час	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	13,32	16,94	18,16	18,15	19,22	21,55	20,4	21,7	20,68
	I пенсак из обработ. ячменя при 98±2°	22,02	21,42	21,43	20,62	21,1	24,5	22,76	20,7	22,26
2 часа	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	21,63	20,5	20,3	19,93	22,7	24,1	24,9	23,16	20,96
	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	27,86	26,42	26,78	29,08	31,0	32,23	33,00	33,0	31,66
3 часа	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	34,7	33,4	31,66	30,9	33,28	36,85	33,83	32,1	33,15
	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	30,1	29,06	30,77	31,9	34,6	35,1	36,36	33,23	30,96
5 часов	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	34,86	33,15	36,5	36,5	38,4	41,0	40,7	41,3	39,71
	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	41,6	39,38	37,4	37,0	40,06	43,75	40,2	39,66	40,7
21 час	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	37,6	36,0	37,5	38,3	41,7	42,6	42,7	39,9	37,7
	Контроль пенсак из необработ. ячменя	43,5	41,65	44,6	44,1	48,08	49,06	48,4	50,6	47,3
29 часов	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	47,7	45,9	45,2	44,4	46,96	51,15	46,6	45,83	46,7
	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	45,63	44,5	45,6	45,8	48,4	50,2	50,68	47,3	45,1
44 часа	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	55,7	55,12	56,0	54,5	60,5	64,0	58,46	61,1	59,9
	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	54,36	52,8	52,6	52,7	57,96	62,7	54,1	52,5	52,4
51 час	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	52,9	52,9	55,8	56,7	60,0	62,25	58,6	58,7	55,4
	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	57,98	57,7	57,7	56,5	62,2	66,2	60,46	64,0	62,5
55 часов	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	55,8	53,93	53,3	53,5	58,33	64,4	56,2	53,63	53,97
	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	53,9	54,95	57,7	58,1	62,1	63,7	58,9	61,1	58,06
62 часа	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	59,03	60,5	59,6	58,73	64,1	70,2	60,9	67,1	64,3
	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	57,06	55,56	55,5	56,9	60,63	66,75	56,1	54,43	55,0
67 часов	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	52,1	55,75	61,03	60,8	59,8	65,6	55,6	65,7	63,0
	Контроль (пенсак из необработ. ячменя)	61,0	60,6	60,6	59,5	65,03	69,8	61,2	66,0	64,7
72 часа	I пенсак из термически обработ. ячменя при 98±2°	56,05	54,93	55,7	57,0	61,13	67,35	—	52,16	54,8
	II пенсак из термически обработ. ячменя при 60°	48,7	56,7	60,1	59,95	61,05	66,4	48,5	66,06	62,76

Как видно из опытных данных, термическая обработка сильно влияет на набухание ячменя. Ячмень, обработанный при температуре 96—100°, набухает больше, чем обработанный при температуре 60°, а последний больше, чем не подвергнутый термической обработке. При этом наиболее сильное набухание ячменя наблюдается в растворах молочной кислоты, что частично объясняется ее пептизирующим действием.

Набухание пенсака, как видно из кривых, протекает более сложно, чем у зерна. Кривые набухания пенсака в молочной кислоте идут ниже, чем аналогичные кривые для ячменя, а некоторые из них имеют максимум.

Все отклонения при набухании пенсака могут быть объяснены явлением пептизации, свободно протекающим в крупе благодаря отсутствию у пенсака зерновой оболочки, препятствующей этому процессу в цельном зерне. Прямым подтверждением этому является заметное помутнение раствора при набухании пенсака в растворе молочной кислоты.

Как видно из графиков, термическая обработка способствует пептизации коллоидов пенсака.

Общим как для зерна, так и для крупы является то, что скорость набухания максимальна в первые 10—15 час., а затем начинает протекать медленнее, однако набухание не прекращается и после 50 час.

Определение воднорастворимых веществ в контрольном и термически обработанном зерне и пенсаке дало следующие результаты, характеризующие влияние сушки на количество воднорастворимых веществ:

Термический режим обработки	Воднорастворимые ячменя в %	Воднорастворимые пенсака в %
Контроль	6,90	6,19
60° С	6,11	4,39
96—100° С	5,36	4,05
99—102° С	5,66	4,26

Как видно из этих данных, вначале при нагревании до 100° количество воднорастворимых веществ падает, что, вероятно, объясняется процессом денатурации белков, ведущим к понижению их растворимости.

При более высокой температуре обработки количество воднорастворимых веществ увеличивается, что вызывается процессами расщепления белков, с одной стороны, и процессами перехода крахмала в растворимую форму и декстринизацией его — с другой.

Наблюдаемые изменения коллоидных свойств зерна в результате его термической обработки можно объяснить на первых стадиях температурной обработки процессами дезагрегации коллоидных мицелл, в результате чего образуются более мелкие фракции, обуславливающие повышение осмотического давления внутри гелей зерна, что ведет к росту набухаемости.

Более высокая температура обработки вызывает разрушение макромолекул с образованием более простых молекул.

В общем в результате термической обработки зерна образуются продукты, более легко усвояемые организмом.

ВЫВОДЫ

1. Термическая обработка (сушка) увеличивает набухаемость и скорость набухания ячменя. У пенсака процесс набухаемости перекрывается процессом пептизации.
2. Максимальная скорость набухания наблюдается в первые 10—15 час., но набухание не прекращается и после 50 час.
3. Из различных электролитов (NaCl, Na₂SO₄, CaCl₂, NaHCO₃, Na₂CO₃, молочная кислота) наиболее способствует набуханию молочная кислота, она же оказывает сильное пептизирующее действие.
4. При нагревании зерна до 100° количество воднорастворимых веществ уменьшается.
5. Центрифужно-весовой метод может быть с успехом применен при определении набухаемости зерна и крупы.
6. Наблюдаемые при термической обработке в зерне изменения отражают процессы, идущие в зерне — в начале процесс денатурации белков, а затем процесс дезагрегации мицелл и, наконец, распад макромолекул.

П. В. ПОПОВ,
ассистент

БЫСТРЫЙ МЕТОД КОЛИЧЕСТВЕННОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПЕНТОЗАНОВ В ЗЕРНЕ

Вопрос о характеристике продуктов помола зерна по содержанию в них пентозанов не новый.

Известно, что самой характерной составной частью оболочек пшеничного зерна являются пентозаны. Новейшие исследования отечественных пшениц Н. В. Роменским (10) показали, что их оболочки с алейроновым слоем содержат в среднем 35,6% пентозанов. Собственно оболочки (плодовые и семенные) содержат 51,5% пентозанов, тогда как в эндосперме в среднем 2,7% (табл. 1).

Таблица 1

Содержание пентозанов в анатомических частях пшеничного зерна
(по Н. В. Роменскому)

Название частей зерна	Весовые соотношения анатомических частей зерна в %	Пентозаны в % на абсолютно-сухое вещество
Целое зерно	100,00	8,10
Эндосперм	81,60	2,72
Зародыш	3,24	9,74
Оболочки с алейроновым слоем	15,48	35,65
Алейроновый слой	6,54	15,44
Оболочки (плодовые и семенные)	8,93	51,43

Следовательно, определение пентозанов в продуктах помола зерна может служить прямым критерием оценки качества муки.

Это предположение было доказано экспериментально Чигиревым (14), причем была установлена прямая зависимость между процентом выхода пшеничной муки и содержанием в ней пентозанов (табл. 2).

Однако количественное определение пентозанов в зерне и других растительных продуктах не нашло широкого применения в производственной практике, так как такое определение по общеизвестной методике Толленса сложно, длительно и дорого.

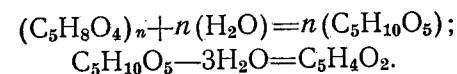
Таблица 2

Содержание пентозанов в продуктах помола пшеницы
(по С. Д. Чигиреву)

Продукты переработки	Содержание пентозанов в %
Зерно на первую драную систему	100,00
Мука высшего сорта (выход 0—10,5%)	2,60
Мука I сорта (выход 10,5—32,9%)	6,42
Мука II сорта (выход 32,9—80,4%)	25,45
Отруби (выход 80,4—98,8%)	63,11

Наша основная задача заключалась в том, чтобы найти такой метод, который по точности не уступал флороглюциновому и в то же время по затрате времени на анализ мог бы конкурировать с определением зольности, а исходный реагент анализа был бы дешевле и доступен.

Прямого метода количественного определения пентозанов нет. Все известные в настоящее время методы основаны на том общеизвестном факте, что при нагревании пентозанов с минеральной кислотой (обычно 12%-ной HCl) образуется фурфурол по следующей реакции:



Фурфурол легко отгоняется с парами воды в процессе нагревания в течение 1½—3 час. и анализируется в отгоне самыми разнообразными методами, которые следует разбить на три группы:

- 1) весовые методы количественного определения фурфурола;
- 2) объемные;
- 3) колориметрические.

Весовые методы. Среди весовых методов определения фурфурола особое значение имеет метод, разработанный Толленсом и Кребером (2), в основе которого лежат осаждение фурфурола флороглюцином и последующее взвешивание высушенного продукта конденсации.

Этот метод хорошо известен всем, работающим по анализу растительного сырья, и не требует детального описания, так как вошел во все учебные пособия и справочники по биохимии.

Такая чрезмерная популяризация метода Кребера-Толленса в литературе создала ему не вполне заслуженную славу чуть ли не классического метода определения пентозанов.

Фактически же метод Кребера-Толленса страдает рядом крупнейших принципиальных недостатков; отметим из них следующие:

- а) Рядом авторов было доказано, что образующийся при взаимодействии фурфурола с флороглюцином флороглюцид не имеет постоянного состава.

б) Флороглюцид фурфуrolа весьма гигроскопичен, вследствие чего должен подвергаться сушке и взвешиванию при точно определенных условиях.

в) Флороглюцид весьма чувствителен к кислороду воздуха, что неизбежно ведет в процессе сушки к ошибкам анализа.

г) Флороглюцид растворим в 12 HCl, следовательно, всегда необходимо вводить поправку на растворимость.

д) При перегонке фурфуrolа с 12 HCl происходит разрушение фурфуrolа.

е) Выход фурфуrolа при гидролизе пентоз по данному методу составляет 80% теоретического выхода.

ж) Анализ связан с применением мало доступного и дорогостоящего флороглюцина, что нельзя не учесть при массовых анализах.

з) Наконец, анализ по Креберу-Толленсу занимает от 36—48 час. рабочего времени.

Перечисленные недостатки сохранились за этим методом до настоящего времени, несмотря на многочисленные попытки его усовершенствовать.

В 1936 г. Н. Кошкин и В. Токарев (6) предложили осаждать фурфуrol дифенилбарбитуровой кислотой, которая легко реагирует с фурфуrolом в солянокислой среде.

Образующаяся в процессе конденсации фурфурилидендифенилбарбитуровая кислота совершенно не изменяется даже при длительной сушке (при $t=130-140^\circ$); в воде и разбавленных минеральных кислотах на холоду практически не растворима.

Полученные ими результаты в случае гидролиза пентозанов 12%-ной HCl и последующей отгонкой фурфуrolа при помощи водяного пара оказались весьма близкими к данным, полученным флороглюцидным методом.

Таким образом, Н. Кошкин и В. Токарев, применив дифенилбарбитуровую кислоту, избежали ряда недостатков, присущих методу Кребера-Толленса.

Следует отметить также и другие методы весового анализа фурфуrolа, в основу которых положены реакции взаимодействия фурфуrolа, с барбитуровой кислотой (2), или с тиобарбитуровой кислотой (12).

Все перечисленные методы весового анализа фурфуrolа весьма сложны при своем выполнении, а часто и неосуществимы из-за отсутствия малодоступных реагентов. Кроме того, все они отличаются большой длительностью, что также ограничивает их широкое применение в аналитической практике.

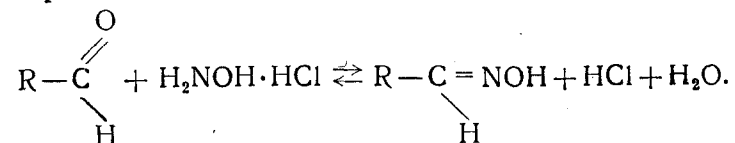
Объемные методы. Стремление упростить количественный анализ фурфуrolа, сократить его во времени нашло отражение в ряде объемных методов.

Из них наибольший интерес представляет бромный метод (12, 8), в основу которого положена реакция присоединения 4 атомов брома по месту двойных связей у фурфуrolа. Авторы считают метод вполне сравнимым с методом флороглюциновым.

Особого внимания, на наш взгляд, заслуживает объемный метод определения альдегидов и кетонов, в основу которого положена реакция оксимирования (1).

Установлено (3), что альдегиды особенно легко реагируют с растворами хлористоводородной соли гидросиламина, в которых соляная кислота, образующаяся в процессе гидролиза этой соли, нейтрализована углекислым или едким натром.

Выделяющаяся в процессе оксимирования свободная кислота оттитровывается в тщательно контролируемых условиях, и по количеству расходуемой щелочи определяют содержание альдегида в растворе:



В дальнейшем этот метод был перенесен и на анализ фурфуrolа (9), причем авторы получили достаточно надежные результаты.

Были предложены также методы определения фурфуrolа при помощи фелинговой жидкости, причем выделившееся количество закиси меди учитывалось по Бертрану (2).

Ошибка этого метода, по данным И. Христинич (13), достигает 0,1—1,0%, т. е. точность вполне приемлема для массовых определений пентозанов.

Менее точны и нуждаются в серьезной проверке на растительном сырье методы, основанные на взаимодействии фурфуrolа с фенилгидразином (2), а также и с бисульфитом натрия (5).

Колориметрические методы. Из этих методов наибольший интерес представляет колориметрический метод, предложенный Н. Д. Пряниниковым и Н. С. Шестаковой (2), основанный на цветной реакции фурфуrolа с безидином.

Метод дает результаты, близкие к данным, получаемым по флороглюцидному методу.

Был предложен также метод, в основу которого положена известная цветная реакция фурфуrolа с анилином (5); однако он недостаточно точен и не может быть рекомендован даже для массовых анализов.

За последнее время известны попытки определения концентрации фурфуrolа по удельному весу растворов, а также по коэффициенту рефракции.

Эти методы представляют особый интерес для промышленности, но нуждаются еще в длительной производственной проверке.

Из приведенных методов количественного анализа фурфуrolа наибольшего внимания заслуживают объемные методы как наиболее точные, быстрые и доступные. Среди них наибольший интерес представляют два метода: бромный и гидросиламиновый.

Ввиду того что количественное определение фурфуrolа бромным методом занимает все же значительное время (более часа),

наше внимание в дальнейшем было сосредоточено на поисках оптимальных условий оксимирования фурфурола, так как существующие условия оксимирования весьма длительны (9) (1/2—3 час.) и не могли удовлетворить нас при решении поставленной задачи.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Проведенное исследование следует разделить на два основных этапа:

Первый этап работы ставил своей целью найти оптимальные условия оксимирования фурфурола с целью сокращения его во времени.

Второй этап работы был связан с вопросом сокращения времени гидролиза пентозанов, поскольку при благоприятном разрешении первой части поставленной задачи наибольшее количество расходуемого времени будет приходиться на этот этап анализа.

Очистка фурфурола. Предназначенный для анализа фурфурол был тщательно очищен двукратной перегонкой.

Выделенный продукт с точкой кипения 160° (светложелтого цвета) служил в дальнейшем как исходный материал для анализа и хранился в темной склянке в затемненном месте.

Очистка хлористоводородного гидроксилamina. Ввиду того что имеются указания (1) на необходимую чистоту NH₂OH·HCl, мы дважды тщательно перекристаллизовывали из воды продажный препарат, из которого и готовились в дальнейшем соответствующие растворы на дистиллированной воде.

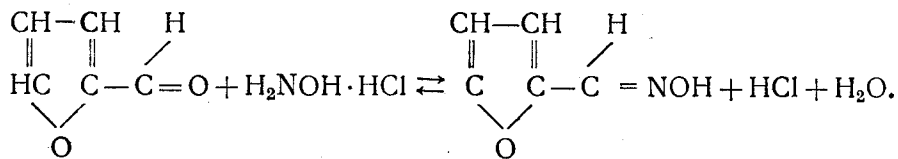
Для контрольных анализов готовились растворы фурфурола, близкие по концентрации к ожидаемым концентрациям его в отгонах гидролиза.

Методика количественного определения фурфурола после исследования влияния на процесс оксимирования ряда факторов (температуры, времени, соотношения реагирующих компонентов, подбора индикатора) сводилась к следующему.

В колбочку вводилось 50 мл нейтрального раствора фурфурола¹ и 10 мл 5%-ного раствора NH₂OH·HCl, предварительно нейтрализованного в присутствии индикатора бромфенолбляу N/10 раствором KOH.

Затем колбочку нагревали на водяной бане при температуре 50° 5 мин. и после 10-минутного охлаждения при комнатной температуре оттитровывали выделившуюся кислоту N/10 раствором KOH (микробюретка).

Реакция идет по уравнению:



¹ Совершенно очевидно, что в случае анализа отгонов их необходимо прежде всего нейтрализовать, применяя в качестве индикатора бромфенолбляу.

Параллельно проводится контрольный опыт в тех же условиях, но только вместо 50 мл раствора фурфурола берется 50 мл дистиллированной воды.

Дальнейший расчет очень прост: 1 мл N/10 раствора KOH соответствует 0,0096 г фурфурола.

Зная количество израсходованной щелочи за вычетом данных контрольного опыта (поправка на гидролиз соли NH₂OH·HCl), можно рассчитать содержание фурфурола в 50 мл взятого раствора.

По известным таблицам нетрудно пересчитать найденный фурфурол на пентозаны или пентозы.

В табл. 3 приводятся данные анализа водяных растворов фурфурола.

Таблица 3

взято в г	Количество фурфурола		Отклонение в %
	Найдено		
	в г	в %	
0,09638	0,09642	100,04	+ 0,04
0,09638	0,09640	100,02	+ 0,02
0,09638	0,09640	100,02	+ 0,02
0,03340	0,03342	100,06	+ 0,06
0,03340	0,03345	100,15	+ 0,15
0,03340	0,03345	100,15	+ 0,15
0,02400	0,02400	100,00	0
0,02400	0,02400	100,00	0
0,02400	0,02400	100,00	0

Как видно из табл. 3, сокращение во времени процесса оксимирования при наших условиях до 15 мин. не только не снизило точности анализа фурфурола, а наоборот, значительно повысило ее в сравнении с ранее известными данными, где процент отклонений составляет от 0,7 до 1,0.

В дальнейшем наше внимание было обращено на сокращение времени гидролиза пентозанов и замену летучей соляной кислоты на нелетучую серную кислоту.

Последнее обстоятельство было вызвано двумя причинами:

а) гидролиз 12%-ной HCl не представлял возможности ускорить процесс отгонки фурфурола водяным паром, так как при этом резко менялась бы концентрация соляной кислоты;

б) водные отгоны фурфурола после гидролиза соляной кислотой содержат HCl. Анализ таких отгонов осложнен тем, что их необходимо тщательно нейтрализовать, а эта операция занимает много времени и, безусловно, влияет на точность анализа по данному методу.

Вопросом замены соляной кислоты при гидролизе пентозанов на серную занимался ряд авторов.

А. Закойщиков, В. Иванова, Куреннова (4) проверили имеющиеся в литературе указания на то, что лучшим способом получения фурфурола следует считать способ дистилляции его с соляной кислотой.

Полученные авторами данные опровергают эти указания, так как при гидролизе плодовых коробочек хлопчатника 12%-ной HCl и 27,4% H₂SO₄ в обоих случаях были отогнаны одинаковые количества фурфурола.

И. Христич заменял 12%-ную HCl серной кислотой той же концентрации и пришел к выводу, что такого рода замена делает метод громоздким, медленным и неприменимым.

Известно, что гидролиз пентозанов 12%-ной HCl нельзя считать совершенным по целому ряду недостатков присущих ему, а именно:

1) Известно, что в процессе гидролиза определенной навески пентозы отгоняется только 80% теоретического выхода фурфурола.

2) Установлено, что при данных условиях гидролиза наблюдается разрушение фурфурола (12).

3) Установлено, что при данных условиях происходит энергичная гуммификация растительных белков с углеводами, и прежде всего с пентозами (11).

Это обстоятельство побудило Н. Роменского (10) предварительно очищать зерно от жира и растворимых белков путем длительной экстракции сухим эфиром, абсолютным спиртом, 72%-ным спиртом. Анализ зерна, подвергнутого такой предварительной обработке, отличался повышенным содержанием пентозанов в сравнении с анализами зерна, не обработанного предварительно эфиром и спиртом.

4) А. Закойщиков и др. (4, 7) также отмечают значительные потери фурфурола при данных условиях (12% HCl) за счет образования нерастворимых продуктов конденсации с дубильными веществами и лигнином.

Авторы удаляли дубильные вещества хлопковой шелухи путем двухчасовой варки с дистиллированной водой в автоклаве при давлении 1,5 ат и вторичной двухчасовой варки с 4% H₂SO₄ при давлении в 2 ат.

Последующее определение содержания пентозанов в хлопковой шелухе показало, что процент содержания пентозанов повысился на 10,7.

Приведенные методы предварительной обработки растительного сырья настолько сложны и длительны, что, например, полный анализ пентозанов у Н. Роменского занимал до 3 дней.

5) Нельзя не учесть и того обстоятельства, что в процессе гидролиза концентрация соляной кислоты при отгоне воды непрерывно изменяется, следовательно, вообще трудно сказать, при какой же концентрации HCl осуществляется гидролиз?

6) Отгонка HCl приводит к совершенно нерациональному расходу кислоты и, более того (поскольку при нашем методе кислые отгоны необходимо снова тщательно оттитровывать до нейтральных), — к лишнему расходу времени, щелочи, а самое главное, — к уменьшению точности анализа по оксимному методу.

7) Гидролиз занимает много времени — от 1½ до 3 час.

Нашей первой попыткой была замена 12%-ной HCl на 12%-ную H₂SO₄. Методика гидролиза была следующая. В колбу для пере-

гонки с водяным паром вносили исследуемую навеску, предварительно тщательно растертую в ступке с безводным сульфатом натрия.

Затем в колбу вносили 50 мл 12%-ной H₂SO₄. Колбу слегка подогревали газовой горелкой и через нее пропускали водяной пар.

Применение Na₂SO₄ в данном случае является, на наш взгляд, весьма целесообразным по следующим соображениям:

а) Введение сульфата натрия в перегонную колбу позволяет равномерно подогревать ее до $t=104-105^{\circ}$, что важно не только для ускорения гидролиза пентозанов, но и обеспечения постоянства концентрации нелетучей H₂SO₄, так как при этих условиях почти исключается конденсация паров воды в колбе.

б) Сульфат натрия понижает растворимость образующегося фурфурола (высаливает его), что должно способствовать быстрой отгонке его с водяным паром.

в) Предварительное растирание исследуемого продукта в ступке с сульфатом натрия способствует увеличению дисперсности исследуемого вещества (например отрубей), а следовательно, и более быстрому гидролизу пентозанов.

Применение для отгонки фурфурола водяного пара ставило целью не только сократить во времени процесс отгонки, но и время нахождения в реакционной среде образующегося фурфурола.

В наших условиях скорость отгонки была почти постоянной и составляла в среднем 10 мл в минуту (600 мл в час). Перегонная колба в процессе перегонки слегка подогревалась и объем ее почти не изменялся.

При таких условиях нам не удалось даже качественно обнаружить следы фурфурола как при гидролизе муки из целого зерна, так и при гидролизе плодовых оболочек.

Следовательно, если Христич, не применявший отгонки с водяным паром, констатировал медленный гидролиз пентозанов 12%-ной H₂SO₄, то в наших менее жестких условиях этот процесс совершенно не имел места.

В дальнейшем, не изменяя условий перегонки, мы применяли для гидролиза более высокие концентрации H₂SO₄, причем наилучшие результаты были получены при применении 50%-ной H₂SO₄*

Несмотря на то, что концентрация H₂SO₄ была далеко не обычная, все же приведенные условия гидролиза оказались, вероятно, более мягкими, чем в случае гидролиза 12%-ной HCl.

* Нельзя не учесть того обстоятельства, что фактически гидролиз по Толленсу осуществляется не 12%-ной HCl, так как концентрация ее по мере отгонки воды повышается до предела, соответствующего 20,3% содержания HCl; при этой концентрации соляная кислота образует постоянно кипящую смесь с точкой кипения 102°.

Если учесть это обстоятельство и выразить данные процентные концентрации соляной и серной кислот в виде молярных концентраций, то окажется, что 20%-ная HCl соответствует 6,0 молярная HCl, тогда как 50%-ная H₂SO₄ соответствует 7,1 молярная H₂SO₄.

Нельзя не учесть и того обстоятельства, что при наших условиях гидролиз пентозанов 50%-ной серной кислотой осуществляется при непрерывно действующем токе водяного пара, т. е. в условиях способствующих понижению концентрации взятой серной кислоты.

Об этом свидетельствуют следующие факты:

а) В процессе гидролиза не наблюдалось гуммификации (образования темнобурых смолоподобных веществ).

б) Отгоны фурфурола в процессе гидролиза были почти нейтральны на индикатор; это обстоятельство свидетельствует о том, что при данных условиях не наблюдается окислительно-восстановительных процессов, сопровождающихся обычно образованием летучих органических кислот и запахом SO_2 .

Необходимо отметить, что в случаях увеличения скорости отгонки (более 10 мл в минуту) наблюдается перегонка с паром серной кислоты, которая искажает результаты анализа фурфурола. В связи с этим рекомендуется перед анализом контролировать отгоны на содержание в них H_2SO_4 добавлением к пробе раствора $BaCl_2$. Появление мути ($BaSO_4$) свидетельствует о наличии в отгоне H_2SO_4 .

в) Наши контрольные опыты по перегонке в данных условиях определенных навесок фурфурола показали, что наблюдающиеся постоянные потери фурфурола в пределах 4—5% не зависят от концентрации H_2SO_4 (табл. 4).

Таблица 4

Концентрация H_2SO_4	Количество фурфурола		Отклонение в %
	взято для перегонки в г	найдено после перегонки в г	
12%	0,1024	0,0980	- 4,3
12%	0,1024	0,0980	- 4,3
50%	0,0982	0,0936	- 4,6
50%	0,0982	0,0936	- 4,6
50%	0,9820	0,0930	- 5,3
50%	0,0982	0,0934	- 4,9

Эти потери, безусловно, следует отнести за счет необходимых технических потерь в процессе перегонки с водяным паром.

г) Наконец, проведенные контрольные опыты по гидролизу ксилозы в данных условиях показали, что потеря в этом случае составляет 8,7% от теории, тогда как при гидролизе пентоз 12%-ной HCl эта ошибка у Толленса составляла 20% (табл. 5).

Таблица 5

Концентрация H_2SO_4	Количество ксилозы			Отклонение в %
	взято в г	найдено		
		в г	в %	
50%	0,3002	0,2738	91,3	- 8,7
	0,3002	0,2738	91,3	- 8,7

Гидролиз в наших условиях протекает особенно быстро и занимает от 20—60 мин., в зависимости от характера анализируемого объекта. Например, гидролиз пентозанов эндосперма муки продолжается не более 20—30 мин., тогда как гидролиз пентозанов отрубей и плодовых оболочек занимал около 60 мин.

В случае же гидролиза пентозанов зерна по Толленсу этот процесс соответственно занимает 1½—3 часа, т. е. в последнем случае затрачивается в 3 раза больше времени, чем в первом.

Конец гидролиза контролировался по качественной реакции на ацетанилин (до полного исчезновения окраски или же до едва уловимого розового оттенка). Затем отгон замерялся, контролировался на наличие H_2SO_4 и анализировался на содержание фурфурола.

В табл. 6 приводятся данные проведенных нами анализов некоторых составных частей зерна пшеницы (любезно предоставленных проф. Н. В. Роменским) на содержание пентозанов.

Таблица 6

Название частей зерна	Навеска абсолютного сухого вещества в г	Количество фурфурола в г	Количество пентозанов в г	Содержание пентозанов в %
Целое зерно ОД-12	1,72	0,0868	0,1483	8,5
	1,72	0,0868	0,1483	8,5
Алейроновый слой + оболочки	0,258	0,0336	0,0581	22,5
	0,258	0,0336	0,0581	22,5
Плодовые оболочки	0,258	0,0778	0,1333	51,7
	0,258	0,0778	0,1333	51,7
Эндосперм	1,72	0,0317	0,0546	3,1
	1,72	0,0317	0,0546	3,1
Зародыш	0,86	0,0254	0,0440	5,1
	0,86	0,0254	0,0440	5,1
Целое зерно ОД-12 (шелушеное)	1,74	0,0432	0,0741	4,3
	1,74	0,0432	0,0741	4,3

ВЫВОДЫ

1. Разработанный быстрый метод количественного определения фурфурола позволяет за 20 мин. получить результат с точностью до 0,15%.

2. Разработанный метод количественного определения фурфурола применен нами для исследования пшеничного зерна и продуктов его переработки на количественное содержание в них пентозанов.

3. Предлагаемое видоизменение процесса гидролиза пентозанов зерна позволило в 3 раза сократить этот процесс во времени по сравнению с гидролизом по Толленсу.

4. В итоге установленного сокращения времени гидролиза и оксимирования количественное определение пентозанов зерна сокращено до 45—90 мин., в зависимости от характера исследуемого объекта (мука—отруби). В связи с этим целесообразно рекомендовать применение данного метода количественного определения пентозанов для контроля качества мукомольных продуктов, а также характеристики других пищевых продуктов растительного происхождения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Воронков М. и Шостаковский М. Рефераты А. Н. СССР за 1941—1943 гг., стр. 165.
Воронков М. «Ж. А. Х.», т. I, вып. 4, 1946, стр. 218—223.
2. Цит. по Демьянов Н. Я. и Прянишников Н. Д. «Общие приемы анализа растительных веществ». ОНТИ, 1934, стр. 168, 173, 174, 175.
3. Джонсон В., Шеннан Р., Рид Р. Органические реактивы для органического анализа. Л.-М., 1948, стр. 66—69.
4. Закощичков А., Иванова В. и Купеннова. Журн. «Пр. х.», т. V, вып. 2, 1932, стр. 235.
5. Цит. по Кизель А. Р. «Практическое руководство по биохимии растений». Биомедгиз, 1934, стр. 17, 18.
6. Кошкин Н. В. и Токарев В. П. Журн. «Пр. х.», т. IX, вып. 1, стр. 171. А. Н. СССР, 1936.
7. Котовский Л. В. Фурфурол. Коиз, Л.-М., 1934.
8. Литвак И. Ж. «Спирто-водочная промышленность» № 2, 1938, стр. 7—8.
9. Мирлис. Журн. «Хим. промышл.», № 8, 1931.
10. Роменский Н. В. Труды ВНИИЗ, вып. 19, 21, Заготиздат, 1949.
11. Цит. по Роменский Н. А. Б. Н., т. 37, вып. 2, стр. 495.
12. Цит. по Садилов В. и Беликова К. Труды Центр. научно-исследовательского биохимического института пищевой и вкусовой промышленности Наркомснаба СССР, вып. 8 (25), т. IV, стр. 299. Снабтехиздат, 1933.
13. Христич И. К. Заводская лаборатория, т. VI, вып. 5, 1937, стр. 558—61.
14. Чигирев С. Д. Цит. по В. Кретович. «Проблема пищевой полноценности хлеба», стр. 27. А. Н. СССР, 1948.

Б. С. ДМИТРИЕВ,
доцент
Н. И. ТАРАСЮК,
инженер

ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ ВЛАЖНОСТИ ЗЕРНА И ПРОДУКТОВ ЕГО ПЕРЕРАБОТКИ

Определение влажности зерна и продуктов его переработки — наиболее важная аналитическая операция в системе техно-химического контроля мукомольного и крупяного производства, а также при приемке и хранении зерна на складах и элеваторах.

Весьма ответственные расчетные операции — расчет выходов, прилагаемый к месячному отчету по форме № 67, и расчет механических потерь — также связаны с лабораторными данными по средневзвешенной влажности зерна и продукции. Даже незначительные погрешности в определении влажности зерна, муки и крупы влекут за собой значительные отклонения (в процентах) в указанных выше расчетных величинах и большие неточности, исчисляемые в тоннах, при значительной производительности предприятия.

В этом легко убедиться, проведя примерные расчеты усушки, увлажнения и механических потерь, применяя для этого формулы:

$$x = \frac{100(a-b)}{100-b} \% \text{ и } x_1 = \frac{100(b-a)}{100-b} \%$$

Расчет механических потерь сводится к формулам:

$$\Delta = 100 - П - \frac{100(a-b)}{100-b} \text{ и } \Delta_1 = 100 - П + \frac{100(b-a)}{100-b},$$

где Δ — механические потери в %;

$П$ — все, что получается из неочищенного зерна (продукция и отходы) и должно быть точно взвешено;

100 — вес неочищенного зерна;

дробь — усушка или увлажнение в %.

Точное определение веса зерна и продукции зависит от состояния весового хозяйства и от опытности цеховых работников. Правильность определения величины усушки или увлажнения зависит от точности метода определения влажности и производственной культуры работников лаборатории.

Именно здесь — в вопросе определения усушки и механических потерь — приходится усматривать, пожалуй, наиболее узкое место в системе техно-химического контроля наших мукомольных и крупяных предприятий.

Прежде всего обращает на себя внимание противоречие между нормами точности определения влажности зерна, муки и крупы и допустимой нормой механических потерь. Допускаемое расхождение параллельных анализов для зерна 0,5%, для муки — 0,25%, в то время как норма механических потерь — 0,2% (0,5% — при интенсивной мойке). При столь умеренных требованиях к точности определения влажности очень трудно обеспечить достаточно точное определение механических потерь порядка 0,2—0,3% или механических потерь любой другой величины.

Предположим, что при проведении обойного помола были получены такие случайно отвечающие действительности (с определенной погрешностью) результаты:

- 1) общий выход продукции и отходов 99,30%
- 2) влажность неочищенного зерна 14,00%
- 3) влажность продукции 13,70%

Определяем отсюда механические потери:

$$\Delta = 100,00 - 99,30 - \frac{100,00(14,00 - 13,70)}{100,00 - 13,70} = +0,35\%$$

Предположим, что при определении влажности зерна была допущена погрешность +0,50% (все другие показатели отвечали действительности).

Отсюда

$$\Delta = 100,00 - 99,30 - 0,93 = -0,23\%$$

Следовательно, в этом случае механические потери получили отрицательное значение, причем погрешность в 0,50% при определении влажности зерна изменила величину механических потерь на 0,32 — (-0,23) = +0,58%.

Если принять, что погрешность в определении влажности зерна была +0,25%, получаем:

$$\Delta = 100,00 - 99,30 - \frac{0,55 \cdot 100,00}{86,30} = 0,06\%$$

В данном случае величина механических потерь уменьшилась на 0,29% (0,3%), что в 1,5 раза перекрывает принятую норму механических потерь.

Возражение, что при определении средневзвешенных величин за месяц или декаду ошибки нивелируются, нельзя считать существенными, так как возможны систематические односторонние ошибки, связанные с особенностями применяемых методов определения влажности.

Применять в данном случае статистические методы обработки результатов за декаду и месяц нельзя именно по указанной выше причине.

Проведенные нами в 1947 г. определения влажности зерна и муки, полученной на одной из мельниц в Одессе, дали результаты, значительно отличающиеся от результатов лаборатории этого предприятия и еще одной контрольной лаборатории. В лаборатории института применялся электрический сушильный шкаф больших габаритов, в двух других лабораториях определение влажности проводилось в обычных шкафах Тринклера.

Данные этих опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

№ опытов	Лаборатории	Влажность зерна в %	Влажность муки в %	Разность в %	Усушка в %
1	Лаборатория мельницы	12,8	12,1	0,7	0,80
2	Лаборатория контрольная	13,1	12,6	0,5	0,57
3	Лаборатория института	13,3	12,2	1,1	1,25
4	„ „	13,3	12,3	1,0	1,14
5	„ „	12,8	12,8	0,8	0,91

Каждый результат в табл. 1 представляет собой среднее из двух хорошо сходящихся определений (расхождение параллельных не больше 0,2%). Опыты 1—4 проводились по стандартному методу — высушивание при 130° в течение 40 мин. Опыт 5 проводился при температуре 105° в течение 4 час.

Сопоставление полученных результатов показывает, что расхождение параллельных определений влажности (в трех лабораториях) в двух случаях достигает предельно допустимой нормы 0,5% (для зерна), схождение в определении влажности муки в общем неудовлетворительно; разности во влажности зерна и муки в опытах 1—2 резко отличаются от разностей, полученных в опытах 3—4.

Высказать определенное суждение о величине усушки и механической потере по этим данным было невозможно, так как величина усушки колеблется в пределах 0,57—1,25%, причем по результатам мельницы и контрольной лаборатории усушка характеризуется величиной порядка 0,6—0,8%, а по данным лаборатории института — 1,1—1,3%, т. е. почти в 2 раза больше.

Соответствующие величины механических потерь выразились в следующих числах:

- лаборатория мельницы $\Delta = 100 - 97,85 - 0,80 = 1,35\%$
- лаборатория контрольная $\Delta = 100 - 97,85 - 0,57 = 1,58\%$
- лаборатория института $\Delta = 100 - 97,85 - 1,25 = 0,90\%$
- „ „ $\Delta = 100 - 97,85 - 1,14 = 1,01\%$
- „ „ $\Delta = 100 - 97,85 - 0,91 = 1,24\%$

Общий выход продукции и отходов составлял 97,85% (П).

Рассмотрение изложенных выше результатов определения влажности в связи с проведением расчетов усушки и механических

потерь побудило авторов заняться вопросом уточнения существующей методики определения влажности зерновых продуктов.

Ход анализа и имеющиеся литературные данные дают основание считать, что наиболее существенные источники погрешностей при определении влажности сводятся к следующему:

порядок приготовления средних образцов, отбор навесок для анализа и точность взвешивания;

подсушивание (и увлажнение) зерна при лабораторном размолотке зерна и самом взвешивании;

время и температура высушивания;

постоянство температуры в шкафу;

величина относительной влажности в шкафу (она зависит от числа высушиваемых объектов и от интенсивности отвода водяных паров из шкафа);

потери сухого вещества при высушивании.

Нужно отметить решающее значение времени и температуры для достижения полноты высушивания.

В методической и нормативной литературе по химии зерна нет указаний о значении начального режима сушки зерновых продуктов. Известно, что, согласно стандартному методу, бюксы ставятся в шкаф при температурах 140—145° и 190° (по методике Зоной). К обсуждению этого вопроса мы вернемся в дальнейшем.

Необходимо также учесть значение такого фактора как точность взвешивания. Обычно для этой цели применяют химико-технические весы и разновесы, причем взвешивание всегда производится с точностью до 0,01 г. По нашему мнению необходимо применять химико-технические весы с ценой деления 0,002—0,005 г и более точные разновесы, чем обычные, т. е. типа аналитических. Если применять разновес в 0,005 г или взвешивать приблизительно с точностью до 0,005 г в тех случаях, когда 0,01 г не полностью уравновешивает бюкс, мы получаем результат, более близкий к действительности. В этих случаях возможны числовые результаты единичного определения влажности с нечетным десятичным знаком, например 13,1%; 13,3% и т. д., что при взвешивании с точностью до 0,01 г невозможно. Отметим, что, «не добрав» в одном случае 0,1% и «перебрав» в другом случае 0,1%, получают суммарную погрешность 0,2%, что случайно совпадает с нормой механических потерь. Вероятность таких случаев бесспорна. Все определения влажности проводились нами на химико-технических весах с ценой деления 2 мг, с применением аналитических разновесов.

Основной задачей опытной части данной работы являлась проверка влияния режима начала сушки на результат определения влажности размолотого зерна и муки.

Известно, что при высушивании пробы муки при температурах порядка 105—160° она нередко превращается в рыхлую лепешку, что объясняется образованием склеивающих веществ при высушивании. Возможны два предположения: 1) наличие частичной клейстеризации крахмала в начальных стадиях сушки и 2) наличие декстринизации крахмала при температурах 110—160° и выше.

Первое предположение отчасти подтверждается литературными данными (1). Образование же декстринов при длительном нагревании сухого крахмала — факт общеизвестный.

Клейстеризация крахмала и образование декстринов при высоких температурах нагрева могут изменять результаты определений влажности в сторону их снижения.

Исходя из высказанных соображений, мы определяли влажность двумя методами:

1) навески в бюксах помещали в электрический шкаф, нагретый до температуры 140—145°, и высушивали в течение 40 мин. при температуре 130°;

2) навески в бюксах ставили в шкаф, нагретый до температуры 70°, затем температуру доводили до 130° и высушивали при этой температуре в течение 40 мин.; температура в шкафу колебалась $\pm 2^\circ$.

Опыты проводились со следующими объектами:

1) мука типа обойной с примесью кукурузы;

2) мука II сорта (1-й образец);

3) мука обойная (чисто пшеничная);

4) мука II сорта (2-й образец);

5) зерно пшеницы товарное (озимая, IV тип).

Полученные результаты приведены в табл. 2, 3, 4, 5 и 6.

В табл. 2 приведены результаты опытов с обойной мукой с примесью кукурузы.

Таблица 2

Дата	Вес бюкса в г	Вес бюкса с мукой в г	Вес бюкса после высушивания в г	Потеря в весе в г	Влажность в %	Среднее значение влажности в %	Δ II—I в %	Примечание
10/VI 1948 г.	17,465	22,465	21,72	0,745	14,9	14,8 (I)	0,55%	(I)—Результаты определения влажности согласно указаниям стандарта — установка проб в шкаф, нагретый до 140—145°.
	17,10	22,10	21,365	0,735	14,7			
	17,40	22,40	21,63	0,770	15,4	15,35 (II)		
	16,685	21,685	20,92	0,765	15,3			
11/VI 1948 г.	17,10	22,10	21,350	0,750	15,0	15,05 (I)	0,3%	
	17,465	22,465	21,71	0,755	15,1			
	16,685	21,685	20,92	0,765	15,3	15,35 (II)		
	17,405	22,405	21,635	0,770	15,4			
12/VI 1948 г.	16,685	21,685	20,93	0,755	15,1	15,0 (I)	0,4%	(II)—установка проб в шкаф, нагретый до 70°.
	17,405	22,405	21,66	0,745	14,9			
	17,465	22,465	21,69	0,775	15,5	15,4 (II)		
	17,10	22,10	21,345	0,765	15,3			

Судя по данным, приведенным в табл. 2, можно констатировать, что начальный режим сушки оказывает известное влияние на результаты определения влажности.

Следует отметить, что мука была увлажнена водяными парами до 15%.

В табл. 3 приведены результаты определения влажности муки II сорта (1-й образец).

Таблица 3

Дата	Вес бюкса в г	Вес бюкса с мукой в г	Вес бюкса после высушивания в г	Потеря в весе в г	Влажность в %	Среднее значение влажности в %	Δ II-I в %
24/VI	17,395	22,395	21,745	0,650	13,0	13,1 (I)*	0,3
	16,675	21,675	21,015	0,660	13,2		
	17,455	22,455	21,78	0,675	13,5	13,4 (II)	
	17,095	22,095	21,43	0,665	13,3		
25/VI	16,68	21,68	21,005	0,675	13,5	13,55 (I)	0,35
	17,40	22,40	21,72	0,680	13,6		
	17,465	22,465	21,765	0,700	14,0	13,9 (II)	
	17,10	22,10	21,41	0,690	13,8		

Данные этой таблицы также дают основание усматривать влияние начального режима сушки на результаты определения влажности при анализе этого образца муки. Расхождения между параллельными определениями не превышают 0,2%, а Δ составляет 0,3%, причем результаты, отмеченные цифрой II, в обоих случаях выше.

В табл. 4 приведены результаты опытов с чисто пшеничной обойной мукой. Опыты проводились с мукой низкой влажности (13%) и с мукой, увлажненной водяными парами до влажности 16%.

Было проведено два определения влажности с быстрым отбором произвольной навески (около 5 г). Предполагалось, что продолжительность взвешивания может отразиться на результатах определения влажности (усушка при взвешивании).

Данные табл. 4 свидетельствуют о наличии незначительного влияния начального режима сушки на результаты определения влажности увлажненной обойной муки.

Анализ увлажненной обойной муки 1-го образца (10/VI) дал такой же результат (см. табл. 2).

Результаты определения влажности в сухой обойной муке сошлись почти точно независимо от начального режима сушки — максимальное расхождение параллельных определений — 0,2%.

В табл. 5 приведены результаты определения влажности в муке II сорта (2-й образец).

Опыты проводились с мукой неувлажненной (влажность 14%) и с увлажненной до 15,0—15,5%.

Было проведено влияние режима предварительного подсушивания (до 130°) на результаты определения влажности. В трех

Таблица 4

Дата	Вес бюкса с мукой в г	Вес бюкса в г	Вес бюкса после высушивания в г	Потеря в весе в г	Влажность в %	Среднее значение влажности в %	Δ II-I в %	Примечание			
7/X	15,995	20,995	20,335	0,660	13,2	13,1 ± 0,03 (I)*	0,0	—			
	17,505	22,505	21,85	0,665	13,1						
	16,53	21,53	20,875	0,665	13,1						
	17,41	22,41	21,75	0,660	13,2	13,1 ± 0,07 (II)					
	16,57	21,57	20,92	0,650	13,0						
	18,435	23,435	22,78	0,665	13,1						
9/X	16,55	21,55	20,745	0,805	16,1	16,1 ± 0,1 (I)	0,2	Опыты 9 и 14/X—проведены с увлажненной водяными парами мукой			
	17,20	20,20	21,39	0,810	16,2						
	16,775	21,775	20,98	0,795	15,9						
	17,42	22,420	21,62	0,800	16,0	16,3 ± 0,05 (II)					
	17,12	22,12	21,31	0,810	16,2						
	18,08	23,08	22,265	0,815	16,3						
	14/X	16,575	21,575	20,76	0,815	16,3			15,8 (I)	0,2	
		16,685	21,685	20,875	0,810	16,2					
18,08		23,08	22,29	0,790	15,8	16,0 ± 0,07 (II)					
17,13		22,13	21,34	0,790	15,8						
17,205		22,205	21,41	0,795	15,9	16,0 ± 0,07 (II)					
16,685		21,685	20,88	0,805	16,1						
17,42		22,42	21,62	0,800	16,0						
16,775	21,775	20,97	0,805	16,1							
16,575	21,10	20,375	0,725	16,0							
16,55	21,545	20,74	0,805	16,1							

случаях бюксы ставили в холодный шкаф (при температуре 20° вместо 70°).

Из данных, приведенных в табл. 5, видно, что влияние начального режима сушки на результаты определения влажности не было обнаружено для данного образца муки с умеренной влажностью (14%).

Среднее отклонение от среднего арифметического не превышало 0,1%. Установлено, что нагревание при температуре от 20 до 70° не отразилось на результатах определения влажности. Время нагревания от 70 до 130° следует регламентировать. Оно должно равняться примерно 15 мин.

На пробы муки II сорта, увлажненной до 15—15,5%, определенное влияние оказал начальный режим сушки, что подтверж-

* Значения цифр в скобках см. в примечании к табл. 2.

* Значения цифр в скобках см. в примечании к табл. 2.

Таблица 5

Дата	Вес бюкса в г	Вес бюкса с мукой в г	Вес бюкса после высушивания в г	Потеря в весе в г	Влажность в %	Среднее значение влажности в %	Δ П-I в %	Начальный режим сушки		
15/X	16,575	21,575	20,865	0,71	14,2	14,1 ± 0,1 (I)*	0	По стандарту		
	17,725	22,72	21,02	0,70	14,0					
	17,425	22,425	21,715	0,71	14,2					
	17,205	22,205	21,495	0,70	14,0					
	16,685	21,685	20,97	0,715	14,0	14,1 ± 0,1 (II)			Установка бюксов при 70°	
	17,49	22,49	20,79	0,70	14,0					
	16,55	21,55	20,84	0,71	14,2					
	16,775	21,775	20,075	0,70	14,0					
21/X	17,485	22,485	21,79	0,695	13,9	14,1 ± 0,1	—	Установка бюксов при 20°		
	17,425	22,425	21,725	0,70	14,0					
	17,205	22,205	21,495	0,71	14,2					
	17,725	22,725	22,02	0,705	14,1					
	16,58	21,58	20,87	0,71	14,2	14,1 ± 0,05			—	По стандарту
	17,04	22,04	21,335	0,705	14,1					
	16,685	21,68	20,98	0,70	14,0					
	12,53	17,53	16,825	0,705	14,1					
22/X	16,58	21,58	20,825	0,755	15,1	14,9 ± 0,1 (I)	0,3	То же		
	17,04	22,04	21,30	0,74	14,8					
	17,48	22,48	21,74	0,74	14,8					
	17,725	22,725	21,965	0,76	15,2					
	17,20	22,20	21,44	0,76	15,2	15,2 ± 0,0 (II)			Установка бюксов при 20°	
	17,425	22,425	21,665	0,76	15,2					
	18,77	23,77	23,15	0,755	15,1					
	17,275	22,275	21,515	0,760	15,2					
18/XI	17,015	22,015	21,242	0,77	15,4	15,15 (I)	0,3	По стандарту		
	16,44	21,44	20,665	0,755	15,5					
	16,655	21,655	20,885	0,77	15,4					
	16,545	21,545	20,77	0,775	15,5					
	17,18	22,18	21,41	0,77	15,4	15,45 ± 0,05 (II)			Установка бюксов при 70°	
	16,91	21,91	21,135	0,775	15,5					
	16,535	21,535	20,715	0,82	16,4					
	16,91	21,91	21,095	0,815	16,3					
4/XII	17,185	22,185	21,37	0,815	16,3	16,3 ± 0,05 (II)	0,2	Установка бюксов при 20°		
	18,77	23,77	22,97	0,80	16,0					
	17,275	22,275	21,465	0,81	16,2					
	16,655	21,655	20,845	0,81	16,2					
19/XI	17,275	22,275	21,585	0,69	13,8	13,75 (I)*			0,1	По стандарту
	17,18	22,18	21,495	0,685	13,7					
	16,655	21,655	20,955	0,70	14,0					
	16,54	21,54	20,85	0,69	13,8					
19/XI	18,77	23,77	23,08	0,69	13,8	13,9 ± 0,1 (II)	0,1	По стандарту		
	18,77	23,77	22,97	0,80	16,0					
	17,275	22,275	21,465	0,81	16,2					
	16,655	21,655	20,845	0,81	16,2					
4/XII	16,535	21,535	20,715	0,82	16,4	16,1 ± 0,1 (I)			0,2	Установка бюксов при 20°
	16,91	21,91	21,095	0,815	16,3					
	17,185	22,185	21,37	0,815	16,3					
	17,185	22,185	21,37	0,815	16,3					

* Значения цифр в скобках см. в примечании к табл. 2.

дают результаты предыдущих опытов с увлажненной мукой. Отрицательные результаты, полученные в нескольких случаях, могут быть частично объяснены особенностями самих продуктов — влажностью, составом муки, свойствами коллоидных компонентов и др. Эти факты лишней раз подчеркивают трудность столь «простого» анализа как определение влажности и необходимость его дальнейшего усовершенствования.

В табл. 6 приведены результаты определения влажности зерна, размолотого на лабораторной мельнице.

Для анализа бралось зерно нормальной влажности (14%) и увлажненное до 16% капельножидкой водой с последующим продолжительным отволаживанием.

Таблица 6

Дата	Вес бюкса в г	Вес бюкса с мукой в г	Вес бюкса после высушивания в г	Потеря в весе в г	Влажность в %	Среднее значение влажности в %	Δ П-I в %	
19/XI	17,275	22,275	21,585	0,69	13,8	13,75 (I)*	0,1	
	17,18	22,18	21,495	0,685	13,7			
	16,655	21,655	20,955	0,70	14,0			
	16,54	21,54	20,85	0,69	13,8			
19/XI	18,77	23,77	23,08	0,69	13,8	13,9 ± 0,1 (II)		0,1
	18,77	23,77	22,97	0,80	16,0			
	17,275	22,275	21,465	0,81	16,2			
	16,655	21,655	20,845	0,81	16,2			
4/XII	16,535	21,535	20,715	0,82	16,4	16,1 ± 0,1 (I)	0,2	
	16,91	21,91	21,095	0,815	16,3			
	17,185	22,185	21,37	0,815	16,3			
	17,185	22,185	21,37	0,815	16,3			

Данные табл. 6 дают основание отметить влияние начального режима сушки на результаты определения влажности влажного зерна и отсутствие этого влияния при сухом зерне, что отвечает результатам опытов, приведенных в табл. 2 и 4 (обойная мука сухая и влажная).

Экспериментальный материал настоящей работы подтверждает значение влияния начального режима сушки на результаты определения влажности, а также необходимость уточнения взвешивания исследуемых проб.

Было бы неправильно объяснять увеличение процента влажности при высушивании в шкафу с начальной температурой 70° и ниже исключительно реакцией крахмала на различные степени нагрева. Известно, что общепринятый метод высушивания в течение 40 мин. при температуре 130° является условным и более про-

* Значения цифр в скобках см. в примечании к табл. 2.

должительное высушивание при той же температуре повышает процент влажности (2).

Возможно, что подсушивание при температуре от 70 до 130° в течение 10—15 мин. в некоторых случаях обуславливает более полное высушивание проб. Это обстоятельство не может служить существенным возражением против примененного нами приема высушивания (установка бюксов при температуре 70°).

Влияние продолжительности высушивания на результаты определения влажности в последнее время изучалось И. Е. Мамбишем (1949 г.), который показал, что время высушивания при температуре 130° нужно увеличить до 1 часа и определение влажности зерна, как правило, проводить с предварительным подсушиванием (2).

Необходимо в заключение высказать несколько общих замечаний о самой сущности производственных показателей: фактической усушки и фактических механических потерь.

Прежде всего нужно подчеркнуть, что эти величины рассчитываются по формулам, в которые подставляются результаты лабораторного определения влажности, определения, могущего давать довольно значительные погрешности.

Поэтому необходимо добиться, чтобы эти расчетные величины в максимальной степени приближались к действительным. Признавая их расчетными, мы не можем отрицать их значения для контроля работы предприятия. Получение фактического выхода муки не ниже расчетного по норме считается обязательным, а расчет выходов также основан на результатах ряда лабораторных анализов.

В процессе расчета выходов величина «механические потери» не изменяется, и только по завершении технологического процесса мы определяем усушку и механические потери, причем точность (реальность) полученной при расчете величины тесно и определенно связана с правильностью взвешивания зерна и продукции и точностью определения влажности.

Уточнение метода определения влажности устранит случаи фиктивного увеличения или уменьшения механических потерь, зависящие только от погрешностей в определении влажности. Вопрос о природе и величине весовых потерь при переработке зерна в муку был исследован И. Е. Мамбишем (3).

Основными и наиболее действенными мерами, улучшающими контроль производственной работы предприятий, являются: 1) полное упорядочение весового хозяйства; 2) обеспечение правильного хранения сырья и продукции; 3) точный их учет.

Вся совокупность материалов настоящей работы позволяет сделать следующие выводы:

1. Уточнение существующего стандартного метода определения влажности крайне необходимо, так как определение влажности лежит в основе весьма ответственных технологических расчетов — расчета усушки и механических потерь.

2. Опыты, проведенные с мукой типа обойной (2 образца), II сорта (2 образца) и товарным зерном (1 образец), показали,

что расхождения параллельных определений, за редким исключением, не превышали 0,2% и среднее отклонение от среднего арифметического не превышало $\pm 0,1\%$ (при пользовании большим двустенным электрошкафом без автоматического регулирования температуры).

3. Установлено, что влажность, определенная при установке бюкса в шкаф с температурой 70° и ниже, во многих случаях несколько выше, чем влажность, получаемая при применении стандартной прописи (140—145°). Это увеличение результатов составляет в среднем 0,2—0,3% и более определенно проявляется в продуктах с повышенной влажностью (14,5—16,0% и больше).

Ни в одном случае не проявляется обратный эффект — повышение результатов при высоком температурном режиме в начале высушивания.

4. Влияние начального температурного режима сушки на результаты определения влажности можно частично объяснить наличием декстринизации и клейстеризации крахмала при высоких температурах, что подтверждается нередко наблюдающимся при высушивании образованием комков и указанной выше зависимостью данного явления от влажности продукта.

5. Экспериментальные данные работы и изложенные в ней соображения общего порядка позволяют высказать следующие практические замечания и предложения:

а) Необходимо унифицировать всю аппаратуру для определения влажности: сушильные шкафы, весы, разновесы, бюксы, шпатели и др., и добиться понижения допустимой нормы расхождения параллельных анализов до 0,1—0,2%.

б) Уточнение стандартного метода определения влажности, выбор системы и габаритов аппаратуры связаны с дальнейшей экспериментальной работой исследовательских организаций Министерства заготовок и требуют детального обсуждения.

в) При уточнении стандартного метода определения влажности необходимо учитывать значение начального температурного режима сушки наряду с результатами других работ по данному вопросу.

ЛИТЕРАТУРА

1. Думанский А. В., акад. и Якушева З. М. Коллоидно-химические процессы по сушке хлеба. «Коллоиды в процессах пищевой индустрии», сборник 1. Пищепромиздат, 1946.
2. Мамбиш И. Е. Уточнение методики определения влажности зерна и продуктов его переработки. Сообщения и рефераты ВНИИЗ, февраль 1949. М., Заготиздат.
3. Мамбиш И. Е., Фридман С. М. Весовые потери при переработке зерна в муку. Сообщения и рефераты ВНИИЗ, декабрь 1949. М., Заготиздат.
4. Озолин Н. И. Методы химического анализа зерна и продуктов его переработки. М., Заготиздат, 1940.
5. Рукосуев А. Н. Техно-химический контроль мукомольного и крупяного производства. М., Заготиздат, 1941.
6. Смирнов В. В. Техно-химический контроль мукомольно-крупяного производства. М., Заготиздат, 1938.
7. Труды ВНИИЗ 1944 г. П. Эйдуз. Оценка муки по относительной зольности. Ссылка на статью Н. И. Соседова и В. А. Швецовоной. Сборник научно-технических материалов. «Вопросы анализа хранения и переработки зерна». М., Заготиздат, 1939.

В. Ф. МИЛОВСКАЯ,
канд. технических наук, доцент
Н. А. КАЦ,
инженер

О ГИГРОСКОПИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ И РАВНОВЕСНОЙ ВЛАЖНОСТИ КУКУРУЗЫ В ПОЧАТКАХ

При естественном и активном вентилировании зерна в процессе хранения имеет значение учет его гигроскопических свойств и величины равновесной влажности. Игнорирование этих свойств зерна может вызвать нежелательные последствия применяемых мероприятий, например увлажнение зерна.

Изучение гигроскопических свойств зерна проводилось рядом исследователей (2, 3, 4). Особое внимание в этих работах было уделено главнейшим зерновым культурам, в частности пшенице. Применительно к кукурузе этот вопрос исследован мало, хотя в литературе можно встретить отдельные сведения о величине равновесной влажности кукурузного зерна (1, 4).

Учитывая особенности хранения кукурузы в початках (в немолочном виде), важно знать гигроскопические свойства не только зерна, но и остальных частей початка, а также початка в целом. К сожалению, в литературе данных по этому вопросу мы не встретили, несмотря на его большую практическую значимость.

Гигроскопические свойства отдельных частей початков кукурузы, а также величину и сроки наступления их равновесной влажности мы попытались выявить, помещая материал в эксикатор с определенной влажностью воздуха.

Опыты проводились летом 1949 г. с белой зубовидной кукурузой в початках (урожая 1948 г. Одесской области), хранившейся в течение 9 месяцев в лабораторной сапетке.

Исходная влажность подопытного материала составляла в зерне 12,8%, в стержне — 11,8%. Выход зерна соответствовал в среднем 83%.

Для опытов подбирали, по возможности, одинаковые по размеру и весу (в пределах 10 г расхождения) початки кукурузы и помещали в эксикаторы над серной кислотой. С целью достижения относительной влажности воздуха в разных эксикаторах, равной 40, 50, 60, 70, 80 и 90%, раствор серной кислоты применялся разной плотности, а именно:

для 40%	1,370	для 70%	1,250
" 50%	1,334	" 80%	1,190
" 60%	1,300	" 90%	1,120

Относительная влажность воздуха в 100% создавалась в эксикаторе, на дно которого наливалась дистиллированная вода.

Опыты проводили при температуре 20—25°.

Убыль или увеличение влажности исследуемых образцов определяли периодически через 8, 32, 80 и 128 час. по разности начального и конечного весов. Учет величины влажности по изменению веса производился отдельно для зерна и стержня початка, для чего початки после предварительного выдерживания в эксикаторе и взвешивании облущивались.

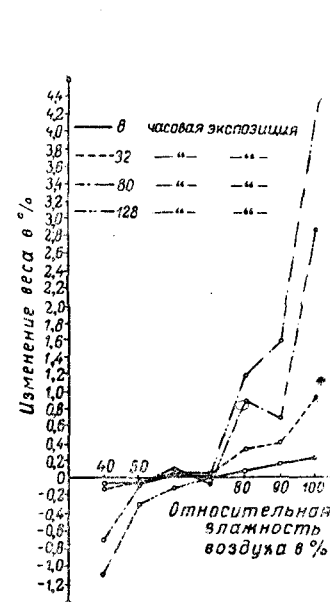


Рис. 1. Изменение веса початков кукурузы при различной относительной влажности воздуха

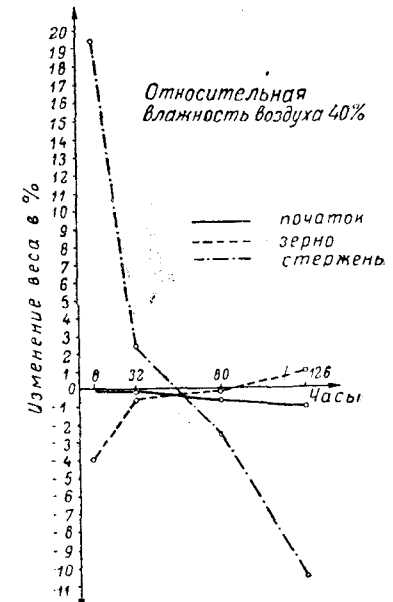


Рис. 2. Изменение веса початка кукурузы и его частей при 40%-ной относительной влажности воздуха

Убыль или прибавление веса как зерна, так и стержней початков учитывали в процентах от первоначального веса анализируемых образцов.

Для установления показателей равновесной влажности и сроков наступления гигроскопического равновесия початки выдерживали длительное время в эксикаторе с различной относительной влажностью воздуха.

Неизменяемость веса початков кукурузы в течение нескольких дней принималась за время наступления гигроскопического равновесия.

Влажность определялась отдельно для зерна и стержня початка в шкафу Тринклера при температуре 105—110° путем высушивания образца до постоянного веса.

Гигроскопические свойства початков кукурузы и его отдельных частей в зависимости от величины относительной влажности воз-

духа и продолжительности опытов характеризуются данными, приведенными в табл. 1 и на графиках (рис. 1, 2, 3, 4).

Как видно из приведенных данных, в опытах с относительной влажностью воздуха выше 50—55% наблюдается последовательное увлажнение початков кукурузы, и тем большее, чем продолжительнее время опыта.

Пребывание початков кукурузы в эксикаторе с относительной влажностью воздуха ниже 50% вызывает потерю в весе, т. е. явление подсыхания.

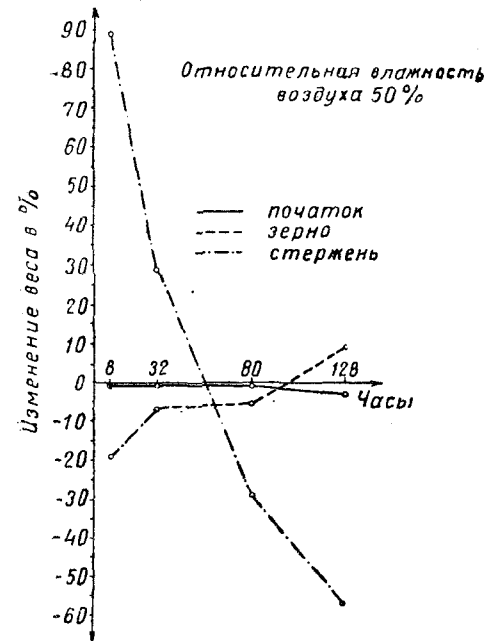


Рис. 3. Изменение веса початка кукурузы и его частей при 50%-ной относительной влажности воздуха

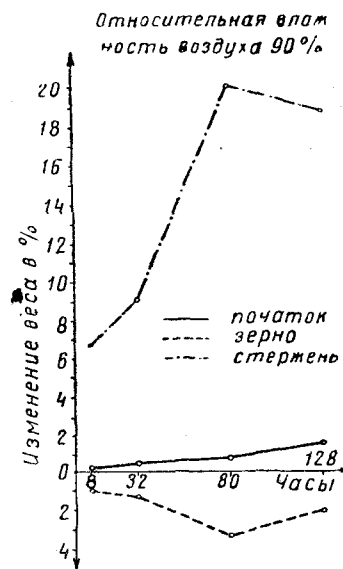


Рис. 4. Изменение веса початка кукурузы и его частей при 90%-ной относительной влажности воздуха

Резкое возрастание влаги в початках наблюдается при относительной влажности воздуха в 80% и выше (см. рис. 1).

Совершенно своеобразно поведение зерна и стержня початка при одних и тех же условиях опыта. Стержень початка обладает наибольшей гигроскопичностью. В большинстве опытов наблюдается увлажнение стержней початков иногда наряду с потерей влаги их зернами (см. рис. 2, 3, 4).

Таким образом можно предположить, что увлажнение початков кукурузы в соответствующих условиях хранения, повидимому, вызывается резким увеличением содержания влаги в их стержнях, причем зерно початков воспринимает влагу стержней в большей степени, чем влагу окружающего воздуха.

Таблица 1

Относительная влажность воздуха в %	Периодичность измерения в часах	Изменение веса в %		
		початка	зерна	стержня
40	8	-0,07	-4,1	+19,8
	32	-0,13	-0,64	+2,3
	80	-0,7	-0,2	-2,7
	128	-1,1	+0,9	-10,9
50	8	-0,05	-1,9	+8,9
	32	-0,04	-0,7	+2,8
	80	-0,07	-0,57	-2,9
	128	-0,3	+0,9	-5,8
60	8	+0,01	-3,0	+15,0
	32	+0,05	-0,9	+3,2
	80	+0,08	-3,8	+19,0
	128	-0,12	-7,7	+37,0
70	8	0	-0,5	+1,4
	32	+0,01	+0,8	-4,0
	80	-0,04	-4,7	+23,0
	128	0	-4,9	+23,8
80	8	+0,08	-1,5	+7,9
	32	+0,34	-0,4	+4,0
	80	+0,9	+4,2	-15,6
	128	+1,2	-0,6	+10,4
90	8	+0,18	-1,1	+6,6
	32	+0,41	-1,4	+9,0
	80	+0,7	-3,3	+20,1
	128	+1,6	-2,0	+19,0
100	8	+0,24	-4,3	+22,5
	32	+0,95	-1,3	+11,9
	80	+2,9	+5,2	-10,3
	128	+4,4	-0,9	+30,2

Поставленный нами прямой опыт с целью проверки степени поглощения влаги различными участками зерна кукурузы подтвердил высказанное выше предположение.

Зерна, посаженные во влажный песок основанием, т. е. той частью, которая обычно служит местом прикрепления зерна к стержню початка, за один и тот же промежуток времени увлажнились примерно на 6% больше по сравнению с зернами, погруженными в песок их вершинами (табл. 2).

Таблица 2

Увлажненные участки зерна	Увеличение веса зерен в % через		
	24 часа	48 час.	72 часа
Основание	20,8	24,7	32,3*
Вершина	15,2	18,9	22,5

На основании приведенных данных механизм перемещения влаги в початке можно представить в следующем виде.

При высокой относительной влажности воздуха стержень початка, как наиболее гигроскопичная его часть, воспринимает влагу воздуха в большей степени, чем зерно, и передает ее последнему, через его основание.

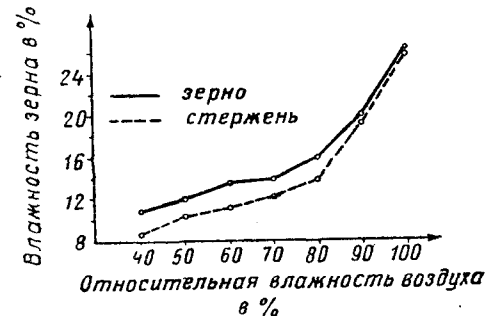


Рис. 5. Изменение равновесной влажности зерна и стержней початков кукурузы в зависимости от величины относительной влажности воздуха

Наоборот, при более низкой относительной влажности воздуха (ниже 80%) сухой стержень поглощает влагу зерна и в свою очередь отдает ее окружающему воздуху. Таким образом, стержень початка способствует передвижению влаги из окружающего воздуха в зерно и наоборот.

Показатели равновесной влажности и сроки ее наступления в зависимости от относительной влажности воздуха, приведенные в табл. 3 и на рис. 5, подтверждают вывод о том, что с увеличением относительной влажности воздуха увеличивается время наступления гигроскопического равновесия.

Таблица 3

Относительная влажность воздуха в %	Равновесная влажность в %		Сроки наступления гигроскопического равновесия в днях
	зерна	стержня	
40	10,7	8,7	17
50	11,8	10,3	20
60	13,2	11,1	24
70	13,6	12,0	24
80	15,6	13,6	25
90	19,2	18,6	69
100	25,4	24,8	63

* Все зерна с наклюнувшимися ростками.

Особенно значительно удлиняются сроки наступления гигроскопического равновесия при относительной влажности воздуха в 90—100%; при этом резко повышается величина равновесной влажности початка кукурузы, и особенно его стержня.

Разница в величине равновесной влажности зерна и стержня початка уменьшается при опыте с 40—80% примерно с 1,5—2% до 0,6% при относительной влажности в 90—100%.

Следует отметить, что наши опыты проводились при довольно высоких температурах (20—25°), тогда как по данным некоторых исследователей (2) известно, что повышение температуры воздуха при постоянной его относительной влажности вызывает понижение величины равновесной влажности зерна.

Поэтому на практике следует ожидать еще более высоких показателей равновесной влажности початков при обычном их хранении в условиях более низких температур.

В результате проделанной работы мы приходим к выводам, что наибольшей гигроскопичностью обладает стержень початка.

Равновесная влажность зерна и стержней початков неодинакова. В условиях относительной влажности воздуха выше 80% резко увеличивается время наступления гигроскопического равновесия початков кукурузы. Поэтому хранить кукурузу в початках при этих условиях опасно, так как повышенная влага в стержне может распространиться на зерно, обуславливая порчу последнего.

Наоборот, хранить кукурузу в початках при более низкой относительной влажности воздуха целесообразно. Наиболее сухой по сравнению с зерном стержень кукурузы, воспринимая влагу зерна, может способствовать его подсушиванию.

В заключение следует отметить, что в нашей работе не учитывалось влияние факторов температуры, различной начальной влажности материала на скорость и величину сорбции и десорбции влаги различными частями початка кукурузы, вследствие чего полученные результаты могут быть расценены лишь как предварительные.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахарев И. Я. Вентиляция зерна. Заготиздат, 1948.
2. Клеев И. А. Значение температуры при хранении зерна. Заготиздат, 1947.
3. Кретович В. Л., Соколова А. И. и Ушаков Е. Н. Об устойчивой влажности зерна и ее влияние на работу липазы. ДАН СССР, т. XXVI, № 7, 1940.
4. Тугаринов В. В. Хранение зерна. Заготиздат, 1940.

С. З. ХАИТ,
канд. биологических наук,
доцент,
Л. Г. АТАНАС,
ассистент

МИКРОФЛОРА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ, ПОДВЕРГНУТОГО ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКЕ

Термическая обработка (сушка) зерна наиболее эффективная мера, гарантирующая сохранность и повышающая стойкость его при хранении.

Стойкость зерна, подвергнутого сушке, повышается вследствие понижения его влажности и, следовательно, подавления в нем биохимических процессов и уничтожения вредителей зерна и некоторых микроорганизмов.

В литературе мало уделено внимания качественным и количественным изменениям микрофлоры зерна при сушке и динамике микрофлоры при хранении такого зерна.

Л. А. Трисвятский (5) исследовал изменение микрофлоры зерна с целью контроля работы сушилки ВИСХОМ. Наряду с проверкой образцов, отбирившихся из сушилки, были поставлены также опыты сушки зерна в лаборатории при различных условиях. Было установлено, что процесс сушки зерна с низкой влажностью в условиях опыта сопровождался лишь незначительной стерилизацией массы зерна. Заметное стерилизующее действие было обнаружено только в образцах, подвергнутых предварительному увлажнению и отволаживанию.

Я. И. Раутенштейн (2) выяснял влияние тепловой сушки на количественный и качественный состав микрофлоры.

Сушка производилась в передвижной сушилке ВИМЭ. В результате наблюдений было установлено, что общее количество микроорганизмов при сушке уменьшается (преимущественно бактерий), а количество плесеней увеличивается, что автор объясняет загрязнением сушильной камеры частицами почвы и др.

Как у одного, так и у другого исследователя закономерности в уменьшении количеств микроорганизмов при применении различных температур сушки не наблюдалось.

Этими авторами не определялась степень жизнеспособности зерна после прогревания и в связи с этим степень сопротивляемости его инфицированию при хранении.

При проведении сушки всегда необходимо учитывать, что высокая температура нагрева зерна, способствуя его обезвоживанию

и освобождению от микроорганизмов, может повлиять на свойства зерна как живого организма, а также понизить его хлебопекарные и другие свойства.

В настоящей работе для термической обработки зерна были использованы температурные режимы, при которых наблюдаются лишь начальные стадии тепловой денатурации белков. На основании найденной И. И. Ленарским зависимости скорости денатурации белка от влажности и температуры нагрева зерна были применены следующие режимы обработки (табл. 1):

Режим термической обработки зерна
(продолжительность нагревания 1 час)

Таблица 1

Степень денатурации белков пшеничного зерна	Влажность зерна в %			
	14,5	15,5	18,0	21,0
	Температура нагрева в °С			
Около 0%	62	60	55	54
5—6%	70	68	64	60
Свыше 10%	78	76	70	66

Таким образом, для зерна различной влажности с целью достижения определенного процента денатурации белка была применена различная температура нагрева.

Исследованию было подвергнуто товарное зерно пшеницы Одесская 12 урожая 1948 г., полученное из Всесоюзного научно-исследовательского института селекции и генетики им. акад. Т. Д. Лысенко.

Пробы зерна прогревали по методике, примененной Ленарским в своих опытах. Перед прогревом зерно увлажнялось до заданной влажности (кроме влажности 14,5%). Предварительно проверялась начальная влажность зерна и по результатам определения рассчитывалось необходимое количество воды для увлажнения.

Затем навеску зерна постепенно рассыпали тонкими слоями на дно стеклянного сосуда, обрызгивали соответствующим количеством воды из пульверизатора и тщательно перемешивали. После этого зерно переносили в заранее взвешенный сосуд и по весу зерна проверяли степень увлажнения. Для выравнивания влаги зерно оставляли в закрытых сосудах на 24 часа при температуре 12—14°.

Термическая обработка зерна проводилась в чугунных трубках, у которых отверстие с одной стороны было заплавлено, а другое плотно закрывалось каучуковой пробкой со вставленным термометром.

Трубки, заполненные зерном, помещали в нагретую воду, температура которой была всегда несколько выше заданной; температурование продолжалось в течение часа с учетом времени, необходимого для достижения зерном заданной температуры.

По окончании термической обработки трубки быстро охлаждались, после чего зерно из них пересыпалось в стерильные полу-

литровые стеклянные банки для последующих опытов с хранением. Темперированные и контрольные образцы (одной и той же влажности) помещали под стеклянный колпак, шлиф которого, смазанный вазелином, обеспечивал известную герметичность. Туда же ставился сосуд с раствором серной кислоты определенной концентрации для сохранения зерном заданной влажности.

Пробы для микробиологического анализа отбирали непосредственно из трубок. Учет микроорганизмов проводился методом разливок — на МПА и СА, культивирование велось при температуре 23—25°. Подсчет производился через 2 и 3 суток.

С целью контроля жизнеспособности обработанного зерна ставили опыты по определению всхожести его.

Результаты опытов по учету микроорганизмов зерна, подвергнутого темперированию, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Влияние температуры нагрева и влажности зерна на его микрофлору

Температура нагрева в °С	МПА		СА	
	количество микроорганизмов на 1 г зерна в тыс.	снижение микроорганизмов в %	количество микроорганизмов на 1 г зерна в тыс.	снижение микроорганизмов в %

Исходная влажность зерна 14,5%

Контроль	605,00	—	97,50	—
62	15,60	97,50	4,60	95,30
70	0,49	99,92	0,06	99,94
78	0,44	99,93	0,04	99,96

Исходная влажность зерна 15,5%

Контроль	735,00	—	54,00	—
60	29,30	96,00	1,20	97,90
68	4,10	99,94	0,15	99,73
76	0,09	99,99	0,01	99,98

Исходная влажность зерна 18%

Контроль	465,0	—	31,80	—
55	17,5	96,20	—	—
64	0,3	99,94	0,14	99,70
70	0,1	99,98	0,02	99,95

Исходная влажность зерна 21%

Контроль	300,0	—	64,00	—
54	—	—	—	—
60	0,25	99,92	0,03	99,85
65	0,115	99,96	0,03	99,95

Как видно из приведенных в таблице данных, при различных условиях обработки имело место значительное уменьшение количества микроорганизмов, растущих на МПА и СА, причем освобождение зерна от микробов было чрезвычайно велико.

На основании этих данных была составлена сводная табл. 3.

Таблица 3

Освобождение зерна пшеницы от микроорганизмов при темперировании (в процентах)

Степень денатурации белков зерна в %	Питательная среда	Влажность зерна в %				В среднем
		14,5	15,5	18	21	
Около 0	МПА	97,5	96,0	96,2	—	96,6
	СА	95,4	97,9	—	—	96,6
5—6	МПА	99,92	99,44	99,94	99,92	99,8
	СА	99,94	99,73	99,70	99,95	99,8
Свыше 10	МПА	99,93	99,98	99,99	99,96	99,97
	СА	99,96	99,98	99,95	99,95	99,96

Как видно из табл. 3, различные условия термической обработки, вызывающие различную степень денатурации белков зерна, снижают численность его микрофлоры в среднем: при денатурации белков около 0% — на 96,6%, при 5—6% денатурации белков — на 99,8% и при денатурации белков свыше 10% — на 99,97%, т. е. почти полностью.

Оставшееся на зерне незначительное число микробов, по всей вероятности, составляли споры бактерий и устойчивые споры некоторых плесневых грибов.

Ввиду того что прогревание значительно освобождало зерно от микроорганизмов, возник вопрос о степени сохранности его при продолжительном хранении. Перед закладкой зерна на хранение проверялась всхожесть путем проращивания зерен на фильтровальной бумаге в чашках Петри (табл. 4).

Таблица 4

Всхожесть темперированного зерна (в процентах)

Степень денатурации белков зерна в %	Всхожесть зерна (в %) при различной влажности				Всхожесть в среднем в %
	влажность зерна		влажность зерна		
	14,5%	15,5%	18%	21%	
Контроль	100	100	100	100	100
Около 0	90	88	94	100	93
5—6	—	34	32	56	40
Свыше 10	0	0	0	0	0

Как видно из таблицы, всхожесть зерна (100% у контрольного образца) закономерно падала у образцов, подвергнутых термической обработке, составляя в среднем 93% для зерна с денатурацией белков около 0%, 40% — для зерна с 5—6% денатурации белков и полную потерю всхожести — для зерна с денатурацией белков свыше 10%.

Наблюдения за зерном во время проращивания показали, что зерна, подвергнутые различным режимам термической обработки, по-разному поражаются плесенью и бактериями (почернению в области зародыша). Результаты этих наблюдений, приведены в табл. 5.

Таблица 5

Поражение терпированного зерна микроорганизмами при его проращивании

Степень денатурации белков зерна в %	Поражено зерен в %
Контроль	10
Около 0	0
5—6	20
Свыше 10	58

Как видно из приведенных в табл. 4 и 5 данных, увеличение степени поражения зерен микроорганизмами происходит параллельно с потерей ими всхожести, т. е. жизнеспособности. Чем менее жизнеспособно зерно, тем более оно поражается микроорганизмами.

Во время хранения проводилось органолептическое испытание образцов зерна — осмотр его, определение цвета, запаха.

Спустя неделю после начала опытов с хранением зерна в образце с влажностью 21% было обнаружено заплесневение, а спустя 2 недели заплесневение обнаружилось у образцов с влажностью 18%.

Плесневение вначале локализовалось в области зародыша, позже распространилось по всему зерну. Степень плесневения контрольных и терпированных образцов была различной. Так, при осмотре после месячного хранения образцов зерна с влажностью 18% (t° помещения 18—21°) было обнаружено, что в образцах, терпированных при 70° (самое высшее температурное воздействие), зерна полностью покрыты мицелиями плесеней, в то время как на зернах контрольных образцов плесневение попрежнему сосредоточено в области зародыша.

Та же картина наблюдалась и у зерна с влажностью 21%.

Вероятно, степень различного плесневения зерна находится в связи с возможными повреждениями наружных покровов зерна при терпировании и, следовательно, большей легкостью проникновения микроорганизмов в его толщу.

В конце срока хранения, т. е. спустя 6 месяцев после закладки опыта, проведен был микробиологический анализ образцов с влажностью 14,5 и 15,5%, внешне совершенно не изменившихся. Результаты микробиологического исследования приведены в табл. 6.

Образцы с влажностью 18 и 21% к этому времени были покрыты сплошь войлокообразной массой плесневых грибков, поэтому зерно совершенно потеряло продовольственную ценность, учет микроорганизмов был явно нецелесообразен.

Таблица 6

Количество микроорганизмов на терпированном зерне пшеницы после шестимесячного хранения

Температура нагрева в °С	МПА		СА	
	количество микроорганизмов на 1 г зерна в тыс.	% оставшихся микроорганизмов	количество микроорганизмов на 1 г зерна в тыс.	% оставшихся микроорганизмов
Исходная влажность зерна 14,5%				
Контроль	38,5	100	15,8	100,0
62	1,1	3	0,3	1,9
70	0,4	1	0,2	1,3
78	0,4	1	0,08	0,5
Исходная влажность зерна 15,5%				
Контроль	32,0	100,0	4,1	100,0
60	1,5	4,6	1,3	30,0
68	0,15	0,46	0,04	0,9
76	0,13	0,4	0,08	0,18

Следует отметить, что влажность зерна в конце срока хранения мало отличалась от первоначальной. Например, образец зерна с первоначальной влажностью 14,5% имел к концу срока хранения 14,3%, а другой образец — соответственно 15,5 и 15,2%.

При сравнении данных табл. 6 с данными табл. 2 заметно значительное снижение общего количества микроорганизмов в контрольных образцах зерна и в образцах, терпированных при 60 и 62°, что может быть объяснено известным закономерным явлением, наблюдаемым при хранении зерна с низкой влажностью — отмиранием неспоровых бактерий.

Что касается образцов зерна (с влажностью 14,5 и 15,5%), подвергнутых более высокому температурному воздействию, то здесь порядок цифр, характеризующих количество микроорганизмов на 1 г зерна, сохраняется такой же, как и непосредственно после прогревания. Повидимому, при этих температурах сохранились лишь устойчивые споры бактерий и плесеней, которые и оставались в неактивном состоянии во время хранения.

Полученные результаты подтверждают известное положение (1), что «...необходимость хранения сырья в живом состоянии проистекает из того, что только такое сырье способно сопротивляться нападающим на него микроорганизмам, способно длительно не загнивать, не портиться».

Рубин (3, 4), проводя опыт по хранению свеклы и цитрусовых, также пришел к выводу об общем физиологическом свойстве каждого живого растения — способности к сопротивлению против инфекции в зависимости от состояния жизнеспособности растительного организма.

Проведенная работа показывает, что при термической обра-

ботке зерна и при хранении его наблюдается такое же закономерное явление — сохранение зерном жизнеспособности повышает стойкость его при хранении.

ВЫВОДЫ

1. Термическая обработка зерна, при которой денатурация белков составляет около 0% (температура нагрева зерна 62; 60; 55 и 54° и соответственно влажность 14,5; 15,5; 18,0 и 21,0%) вызывает гибель значительного количества клеток микроорганизмов; зерно в этих условиях освобождается от микробов на 94,4—97,5%.

2. Термическая обработка зерна, при которой имеет место начало денатурации белков зерна на 5—6% (температура нагрева зерна 70; 68; 64 и 60° и соответственно влажность — 14,5; 15,5; 18,0 и 21%), приводит почти к полной гибели микроорганизмов — зерно освобождается от микробов на 99,92—99,97%.

3. Та же картина наблюдается в результате обработки зерна, при которой происходит свыше 10% денатурации белков (температура нагрева зерна 78; 76; 70 и 66° и соответственно влажность — 14,5; 15,5; 18,0 и 21%); при этом зерно освобождается от микробов на 99,93—99,99%.

4. При термической обработке зерна, при которой имеет место денатурация 5—10% белков, сохраняются лишь споры бацилл и споры некоторых (устойчивых) плесневых грибов.

5. В образцах зерна, хранившихся в течение 6 месяцев с исходной влажностью 14,5 и 15,5%, микроорганизмы не развиваются, наблюдается лишь закономерное при хранении явление — уменьшение количества микроорганизмов как в опытных, так и в контрольных образцах.

6. В образцах зерна, хранившихся в течение того же времени с исходной влажностью 18 и 21%, происходит бурное развитие микроорганизмов, главным образом плесневых грибов; развитие их наблюдается и в опытных, и в контрольных образцах. Причем раньше всего наблюдается развитие плесневых грибов на образцах зерна, подвергнутых резкому температурному воздействию с денатурацией белков свыше 10%. Позже бурное развитие плесени наступает и в контрольных образцах.

7. Термически обработанное зерно в условиях хранения подчиняется общебиологическому положению — сохранение растительным объектом жизнеспособности повышает стойкость его при хранении. Однако в отношении зерна, как объекта с низкой влажностью, это положение имеет гораздо меньшее значение, чем при хранении сочных растительных объектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Опарин А. И.* Технология ферментов. Сборник «Ферменты», под редакцией акад. Баха и проф. Энгельгардта, А. Н. СССР, 1940.
2. *Раугенштейн Я. И.* Микробиологические процессы при послеуборочном созревании, сушке и хранении пшеничного зерна комбайновой уборки. Микробиология, т. VIII, вып. 2, 1939.
3. *Рубин Б. А.* Некоторые вопросы хранения цитрусовых. «Пищевая промышленность СССР», № 11, 1948.
4. *Рубин Б. А.* Хранение сахарной свеклы. Наркомснаб УССР, 1934.
5. *Трисвятский Л. А.* Микроорганизмы зерна и муки. Заготиздат, 1941.

В. Ф. МИЛОВСКАЯ,
канд. технических наук,
доцент

ИЗУЧЕНИЕ ПРОЦЕССА ХРАНЕНИЯ СВЕЖЕУБОРАННОЙ КУКУРУЗЫ

Хранение кукурузы является делом сложным. Эта сложность обусловливается следующими особенностями кукурузы: большой влажностью зерна и початка в период уборки, высоким содержанием жира в зерне и легкой восприимчивостью к различного рода грибным и бактериальным заболеваниям.

Из практики известно, что кукуруза во время хранения более устойчива в немолоченном виде, при хранении початков в специальных зернохранилищах, которые обеспечивают естественную вентиляцию зерна.

Однако каких-либо систематизированных материалов, освещающих вопросы технологии хранения кукурузы и раскрывающих сущность биохимических и физиологических процессов, протекающих в зерне и отдельных частях початка, мы не имеем.

Из практики известны случаи значительных потерь в весе и ухудшения качества хранящейся свежееубранной кукурузы, которые иногда превышают существующие нормы естественной убыли при хранении зернопродуктов.

Это свидетельствует о нашем незнании правильных режимов хранения кукурузы. Поэтому изучение процессов, протекающих в початках кукурузы во время хранения, представляет известный теоретический интерес.

Практическая значимость этого изучения заключается в разработке оптимальных режимов хранения кукурузы, дающих возможность добиться максимального снижения количественных и качественных потерь.

В настоящей работе мы поставили перед собой задачу — проследить за изменениями, происходящими в отдельных частях (стержне и зерне) початка свежееубранной кукурузы в условиях лабораторного сапеточного хранения. Опыты проводились в течение осени и зимы 1948 г.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Материалом для исследования служила кукуруза в початках сорта Стерлинг урожая 1948 г. Одесской области.

Характеристика подопытной кукурузы

Початок		Зерно	
Форма	слабоконусо- видная	Цвет	белый
Средний вес	170 г	Форма	зубовидная
Выход зерна	75—78%	Средний абс. вес	170 г

20 сентября початки кукурузы весом 489 кг были сняты с поля и 23 сентября после очистки от оберток и выделения поврежденных вредителями и микроорганизмами экземпляров заложены на хранение в опытную сапетку размерами 1,8×1,0×1,2 м.

Кукуруза хранилась в течение 98 дней (с 23 сентября по 30 декабря). Через каждые 10—15 дней от нее отбирали образцы для исследования. При этом учитывали изменения влажности, всхожести, энергии и характер дыхания початков и их различных частей (в зависимости от изменения влажности, степени зрелости и сроков хранения). Учитывали также потери в весе при хранении как результат дыхания зерна и стержня початка.

Дополнительные опыты были поставлены с недозрелой кукурузой, снятой с поля за 23 дня до уборки урожая. При этом исследовали влажность зерна, энергию дыхания и величину дыхательных коэффициентов початка и его частей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

Изменение влажности кукурузы в процессе хранения

Кукуруза была заложена на хранение с высокой начальной влажностью зерна в 24,2% и стержня — в 38,2%.

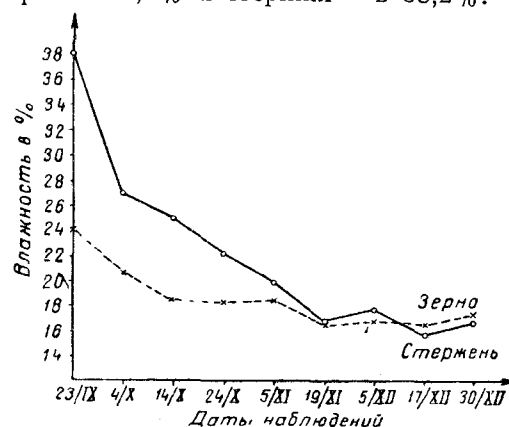


Рис. 1. Динамика влажности зерна и стержня початка кукурузы при хранении

В процессе хранения влажность зерна и стержня резко изменилась (рис. 1).

Интенсивное снижение влажности как зерна, так и стержня, повидимому, можно объяснить отчасти метеорологическими условиями хранения (сухая теплая осень, небольшие осадки в зимний период хранения), а также малыми размерами сапетки, способствующими интенсивному вентилированию и подсушиванию початков.

Снижение влаги в зернах и стержнях шло крайне неравномерно. Активная влагоотдача стержнем привела к общему снижению его влажности за 98 дней хранения на 21,6%, тогда как влажность зерна снизилась лишь на 7,0%. Таким образом, стержень початка подсыхал быстрее зерна и к концу 3-го месяца хранения его влажность оказалась ниже влажности зерна.

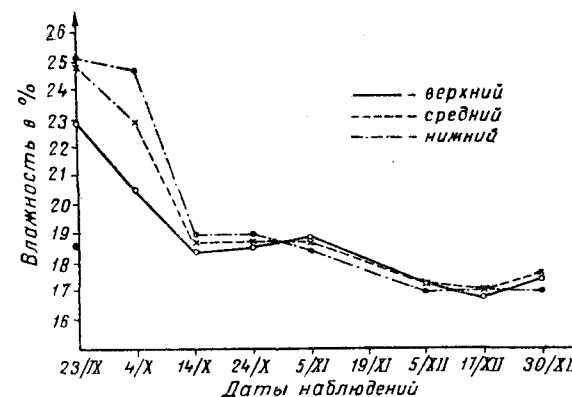


Рис. 2. Динамика влажности зерна верхнего, среднего и нижнего участков початка кукурузы при хранении

Подобное явление наблюдалось хотя и за больший период хранения, чем в нашем опыте, отдельными исследователями (6) и известно из практики хранения (1).

У отдельных початков отмечалась неравномерная влажность зерен в зависимости от их расположения на початке (рис. 2). Замечено последовательное увеличение влажности в зернах с вершины к основанию початка. Такая картина наблюдалась нами у початков свежесобраных и на первых этапах хранения. Расхождение во влажности у зерен вершины и основания початков достигало 3% и более.

В процессе хранения это расхождение во влажности уменьшалось и происходило перераспределение влаги между отдельными зернами початка. Наиболее интенсивно отдавали влагу зерна у основания початка. Зерна средних участков в течение всего последующего периода хранения оставались с несколько повышенной влажностью по сравнению с зернами нижних и верхних частей початка.

С целью выяснения перераспределения влаги в зернах в конце периода хранения нами были проведены определения влажности в различных участках стержня (табл. 1).

Таблица 1

Распределение влаги в стержне початка через 3 месяца хранения

Участки стержня	Влажность в %		
	1-й образец	2-й образец	3-й образец
Верхний	16,4	16,0	16,0
Средний	17,2	16,2	16,7
Нижний	15,8	16,0	15,8

Оказалось, что наименьшей влажностью по сравнению с другими участками обладала нижняя часть стержня, основание которого свободно от зерна и, следовательно, более доступно аэрации. Это обстоятельство отчасти объясняет наблюдаемое нами явление интенсивной влагоотдачи зернами нижней части початка кукурузы.

Таким образом, в процессе хранения составные части початка кукурузы увлажняются по-разному, повидимому, в связи с неодинаковой структурой клеточной ткани в разных частях початка, неодинаковым составом веществ и, возможно, неодинаковыми условиями аэрации при хранении.

Всхожесть зерна в процессе хранения

Результаты опытов по определению величины всхожести зерна в зависимости от сроков хранения приведены на рис. 3.

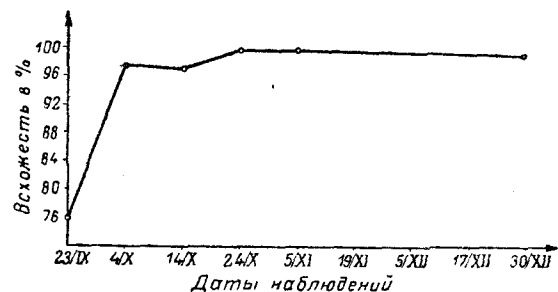


Рис. 3. Динамика всхожести зерна кукурузы при хранении

Резкое повышение всхожести зерна кукурузы наблюдалось в течение первых 10 дней хранения. В последующие периоды хранения всхожесть изменялась мало.

Работами Ростовского научно-исследовательского института зерна (8) установлено, что кукуруза с влажностью до 20% при хранении в сапетках в осенне-зимний период хорошо сохраняется и всхожесть при слабых морозах не изменяется.

В нашем опыте температура воздуха понизилась (до -4 , -10°) к моменту, когда влажность кукурузы достигла 16,4—16,9%.

Контрольная проверка в конце периода хранения (30 декабря) обнаружила, что всхожесть зерна кукурузы не изменилась.

Дыхание кукурузных початков в процессе хранения

Наблюдения над початками кукурузы, снятыми с поля за 23 дня до уборки, показали, что к этому периоду кукуруза обладала всеми признаками незрелой. Верхние части початка имели явно недоразвитые зерна — мелкие, наполненные жидкой (сметанообразной) массой. Всхожесть зерна была крайне низкой — 8,5%.

В момент уборки початки кукурузы имели восковидную консистенцию зерна и сочный, легко режущийся ножом стержень.

В первые периоды хранения в зерне кукурузы продолжают биохимические процессы. Физиологические процессы — дыхание и активация ферментов — идут довольно интенсивно в связи с наличием благоприятных условий, особенно значительной влажности зерна и початка.

Мы попытались проследить за дыханием целых початков, а также их зерен и стержней в зависимости от влажности и сроков хранения.

Об энергии дыхания мы судили по количеству углекислого газа, выделенного зерном в процессе дыхания.

Учет CO_2 при дыхании производился двумя способами: 1) в замкнутом сосуде и 2) при постоянной аэрации.

В первом случае опыт ставился следующим образом.

В стеклянные баллоны на 3 и 10 л помещали исследуемые образцы от 0,5 до 3 кг. Сосуды герметически закрывали и выдерживали в течение 24 час. После этого из баллонов брали пробы воздуха и устанавливали содержание в нем углекислого газа и кислорода при помощи газоанализатора Орса.

Одновременно с учетом количества выделившегося CO_2 определяли дыхательные коэффициенты, позволяющие судить о характере процесса дыхания. Учет CO_2 , выделенного зерном за время опыта при постоянной аэрации, производили при помощи специальной установки. Углекислый газ улавливали раствором едкого барита. Обычно опыт длился в течение 6, реже 4 час.

Результаты этой серии опытов приведены в табл. 2.

Как видно из данных, приведенных в таблице, кукуруза при хранении, особенно в первые периоды, обладала высокой величиной дыхания, которая обуславливалась, повидимому, не только повышенной влажностью кукурузы, но также неполной ее зрелостью (пониженная величина всхожести зерна этого периода хранения).

Значительный по величине зародыш кукурузы, возможно, в свою очередь определяет известное повышение энергии дыхания зерна кукурузы. Установлено, что дыхание пшеничных зародышей протекает значительно интенсивнее беззародышевой части зерна (4). Для проверки этого на зерне кукурузы нами был поставлен

Таблица 2

Дыхание початков кукурузы и их составных частей
(CO₂ в г на 1 кг абсолютно сухого вещества за 24 часа)

Даты наблюдения	27/VIII		23/IX		4/X		14/X		24/X	
	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде
Початки	8,24	5,36	0,90	0,63	0,72	0,42	0,220	—	0,180	0,065
Стержни початков . .	6,8	3,06	2,07	1,21	1,28	1,17	0,773	0,460	0,373	0,125
Зерно	7,8	3,93	0,51	0,46	—	0,15	—	0,103	—	0,020
Зерно верхних частей початка	—	2,61	0,23	0,24	0,14	0,10	0,058	0,107	0,117	—
Зерно средних частей початка	—	—	0,14	0,23	0,30	0,13	0,108	0,100	0,221	—
Зерно нижних частей початка	—	2,77	0,59	0,47	0,23	0,05	0,130	—	0,094	—

Продолжение

Даты наблюдения	5/XI		19/XI		5/XII		17/XII		30/XII	
	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде	при постоянной аэрации	в замкнутом сосуде
Початки	0,084	0,032	0,030	0,005	0,090	—	0,086	—	0,137	—
Стержни початков . . .	0,108	0,105	0,165	0,036	0,154	—	0,240	—	0,278	—
Зерно	0,055	0,048	0,048	0,001	0,093	—	0,065	—	0,088	—
Зерно верхних частей початка	—	—	—	—	—	—	—	—	0,117	—
Зерно средних частей початка	—	—	—	—	—	—	—	—	0,163	—
Зерно нижних частей початка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

специальный опыт с зародышами, выделенными из зерна вручную, и его беззародышевой частью.

Учет CO₂ производили в замкнутом сосуде при помощи газоанализатора.

Полученные результаты приведены в табл. 3.

Как видно из таблицы, активное дыхание зародышей превышает величину дыхания беззародышевой части зерна больше чем в 10 раз.

Таблица 3

Дыхание зародышей и беззародышевой части зерна кукурузы

Материал	Влажность в %	CO ₂ в г на 1 кг сухого вещества зерна за 24 часа
Зародыши	37,4	1,63
Беззародышевая часть зерна	20,9	0,11

С течением времени хранения по мере снижения влажности дыхание кукурузы замедляется, причем процесс протекает неровно, скачками, не пропорционально снижению влажности. В составных частях початка дыхание протекает не в одинаковой степени. Наиболее активным дыханием обладает стержень початка; по данным опыта, энергия его дыхания в 3—4 раза превышает величину энергии дыхания зерна (рис. 4).

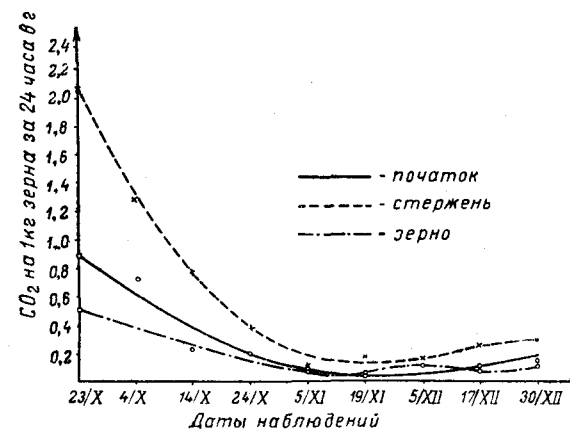


Рис. 4. Дыхание початков, зерна и стержней початков кукурузы при хранении

Наблюдается также непропорциональное снижение энергии дыхания стержня початка по отношению к снижению его влажности. Так, влажность стержня снизилась за период хранения на 21,6%, а энергия дыхания — на 86%, тогда как при том же почти снижении энергии дыхания (83%) зерно понизило влажность всего лишь на 7,0% (см. рис. 1 и табл. 2). Более интенсивное дыхание стержень початка сохраняет и по достижении им влажности, равной влажности зерна. Повидимому, интенсивное дыхание стержня отчасти можно объяснить большой насыщенностью микрофлорой, что было установлено специальным микробиологическим исследованием. Учитываемый нами процесс дыхания представляет собой суммарный процесс дыхания клеток зерна и микроорганизмов на его поверхности (4).

Дыхание зерен на початке в зависимости от их расположения протекает также неравномерно (рис. 5).

В течение первого периода хранения наблюдается наиболее интенсивное дыхание нижних зерен, расположенных у основания початка и наиболее увлажненных по сравнению с зернами других участков. При последующем хранении наряду с увеличением влажности средних зерен початка усиливается и их дыхание.

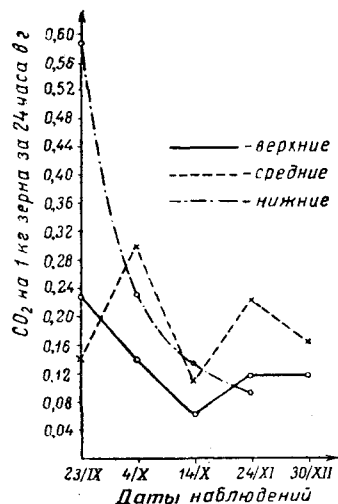


Рис. 5. Дыхание зерен верхних, средних и нижних частей початка кукурузы при хранении

содержащегося в замкнутом сосуде, после суточного хранения в нем образцов кукурузы. Объемное определение углекислоты и кислорода воздуха производилось при помощи газоанализатора. Величины дыхательных коэффициентов, полученные нами для початков, стержней и зерен кукурузы, в большинстве случаев оказались ниже единицы (табл. 4).

Таблица 4

Дыхательные коэффициенты для кукурузы при хранении

Материал	Дата наблюдений				
	27/VIII*	23/IX	4/XI	14/X	24/X
Початки	1,26	0,66	0,61	—	0,50
Стержни початков	0,93	0,83	0,68	0,70	0,75
Зерно	1,70	0,77	—	—	0,50
Зерно верхних частей початка	1,39	0,69	0,48	1,07	—
Зерно средних частей початка	—	0,65	0,53	1,16	—
Зерно нижних частей початка	1,54	0,58	0,43	—	—
Зародыши	—	0,60	—	—	—

* Зерно, снятое с поля до уборки урожая.

Исключение составили дыхательные коэффициенты для незрелой кукурузы, величина которых превышала единицу.

Низкие дыхательные коэффициенты для початков кукурузы и особенно низкие для зерна и зародышей свидетельствуют о том, что кислород расходуется не только на окисление глюкозы, но и на какие-то иные окислительные процессы.

Как отмечают некоторые исследователи (3), при дыхании очень влажного зерна, вероятно, начинает расходоваться жир зародыша, что влечет за собой падение дыхательного коэффициента. Низкие дыхательные коэффициенты отмечены у масличных семян (5), так как часть кислорода при дыхании семян расходуется на предварительное окисление жира до глюкозы.

В свете этого можно предположить, что в анализируемом нами зерне кукурузы протекают окислительные процессы, связанные с понижением дыхательных коэффициентов. Это предположение подтверждается тем обстоятельством, что наше наблюдение проводилось над зерном незрелым и с весьма повышенной влажностью. Кроме того, кукуруза является одной из злаковых культур, зерно которой содержит большое количество жира. Дыхательный коэффициент зародышей зерна кукурузы оказался также значительно ниже единицы (см. табл. 4).

Потери в весе початков кукурузы при хранении

Вследствие дыхания зерновой массы при хранении происходит уменьшение веса сухого вещества зерна. Поэтому интенсивное дыхание может быть причиной значительной потери в весе хранящегося зерна.

Из практики известны случаи потерь в весе влажной незрелой кукурузы, хранящейся в сапетках. Иногда эти потери превышают установленные нормы естественной убыли при хранении зернопродуктов, приводя к так называемым «неоправданным» потерям. Наблюдаемое нами интенсивное дыхание хранящейся кукурузы побудило нас провести учет убыли в весе в зависимости от сроков хранения. Для этого мы периодически взвешивали 2 образца початков, каждый весом 10 кг, из которых первый хранился в опытной сапетке в специальном мешке из крупной нитяной сетки, а второй — в лаборатории.

Изменения в весе учитывали дважды за период 86-суточного хранения (с 4 октября по 30 декабря).

Результаты наблюдений приведены в табл. 5.

Таблица 5

Потеря сухого вещества кукурузы в початках (в процентах)

Способы хранения	Сроки наблюдения		Общая потеря веса в %
	4/X—5/XI	5/XI—30/XII	
В сапетке	7,2	2,3	9,5
В лаборатории	9,6	0,7	10,3

Следовательно, за 86 дней хранения початки кукурузы потеряли 9,5% веса абсолютно сухого вещества. Убыль в весе за счет снижения влажности составляет 6,8%. Если учесть сроки хранения кукурузы (свыше 3 месяцев), то естественная убыль в весе, согласно инструкции Министерства заготовок (2), составит еще 0,7%.

Таким образом, расчетная потеря в весе будет выражена величиной 7,5%. Следовательно, фактическая убыль в весе превысит расчетную на 2,0% и составит так называемую «неоправданную» потерю в весе при хранении.

Произведем схематически расчет убыли в весе сухого вещества кукурузы за счет дыхания, учитывая результаты наших опытов.

Если условно принять, что весь углерод, входящий в углекислый газ, выделяемый зерном при дыхании, образуется за счет глюкозы, то за величину потери сухого вещества принимается вес израсходованной при дыхании глюкозы, равный весу выделенной углекислоты, умноженному на величину 0,6825 (7).

Приводим результаты наших подсчетов, устанавливающих величину убыли в весе початками кукурузы при хранении (табл. 6).

Таблица 6

Интенсивность дыхания и потеря сухого вещества кукурузы в початках различной влажности

Влажность в %	CO ₂ в г, выделенный 1 кг за 24 часа на абсолютно сухое вещество	Потеря сухого вещества за 24 часа в %
50,2 *	8,240	0,570
27,7	0,900	0,061
22,3	0,720	0,049
20,0	0,220	0,019
19,2	0,180	0,012
18,7	0,084	0,006
16,5	0,030	0,002
17,0	0,090	0,006
16,2	0,086	0,006
17,0	0,137	0,009

В нашем опыте количество CO₂, выделенного при дыхании 1 кг початков за 86 дней хранения, составляет 15,9 г, что можно вычислить по данным табл. 2 и 6.

Следовательно, потеря в весе за счет дыхания составит 15,9 г · 0,68 = 10,8 г на 1 кг сухого вещества кукурузы или 1,08%, тогда как, согласно существующим инструкциям по учету естественных потерь при хранении кукурузы, срок хранения до 3 месяцев вообще не учитывается. При хранении сроком свыше 3 месяцев принята норма для исчисления естественной потери в весе при хранении, равная 0,7%.

* Кукуруза, снятая с поля до уборки урожая.

Необходимо отметить, что принятый нами расчет применим только к зернопродуктам, в которых дыхание идет по уравнению аэробного дыхания, т. е. весь углерод глюкозы превращается в углекислый газ.

Однако несмотря на это, наш ориентировочный расчет дает представление о значительных потерях в весе, особенно в первые периоды хранения кукурузы в початках (до 3 месяцев), которые обычно не учитываются при массовом хранении кукурузы в производственных условиях.

ВЫВОДЫ

Результаты наблюдений показали, что при хранении свежесобранной кукурузы в условиях опытного сапелочного хранения:

1. Протекают интенсивные биохимические и физиологические процессы, сопровождающиеся активной влагоотдачей и снижением веса сухого вещества кукурузы.

2. Потери в весе сухого вещества кукурузы особенно значительны в первые периоды хранения.

3. Поведение при хранении отдельных частей початка кукурузы (стержня и зерна) различно. Различно также поведение отдельных зерен в зависимости от их расположения в початке.

4. Значительную роль, обуславливающую интенсивность процессов при хранении кукурузы в початках, играет стержень, обладающий большой гигроскопичностью и являющийся благоприятной средой для развития микроорганизмов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Вехов Г. К. Кукуруза. Заготиздат, 1948.
2. Вехов Г. К., Делидович В. И., Ильин И. А. Справочник для работников по качеству зерна и продуктов его переработки. Заготиздат, 1948.
3. Козьмина Н. П. Зерноведение. Заготиздат, 1947.
4. Кретович В. Л. и Ушакова Е. Н. О критической влажности и дыхательном газообмене зерна при хранении. ДАН, т. 29, № 2, 1940.
5. Кретович В. Л. Дыхание семян льна и пленчатых злаков, ДАН, т. 33, № 5, 1941.
6. Перепелкин. Опыты по хранению кукурузы в початках. Труды ВНИИЗ, Заготиздат, 1933.
7. Трисвятский Л. А. Хранение зерна. Заготиздат, 1944.
8. Юренков Л. И. Современные способы сушки и хранения кукурузы. Труды Ростовского НИИЗ, 1941.

Д. М. РАФАЛОВИЧ,
канд. физико-математических наук

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕПЛОВЫХ КОНСТАНТ ЗЕРНА МЕТОДОМ МГНОВЕННОЙ ПЛАСТИНЫ

Для определения тепловых констант В. З. Богомоловым и Л. Ф. Чудновским (1) предложен метод мгновенной пластины. По этому методу для определения тепловых констант в исследуемый материал вводят нагретую тонкую плоскую металлическую пластину. При этом считают, что направление теплового потока в центральной части пластины перпендикулярно к ее поверхности и, следовательно, температура в этой области будет зависеть только от одной координаты x .

Частное решение уравнения теплопроводности, удовлетворяющее начальным условиям в этом случае, будет иметь следующий вид:

$$T = \frac{A}{\sqrt{t}} e^{-\frac{x^2}{4at}}, \quad (1)$$

где T — повышение температуры в точке M , находящейся на расстоянии x от пластины, по истечении времени t после погружения пластины;

A — некоторая постоянная;

a — коэффициент температуропроводности исследуемого материала.

После погружения пластины температура в точке M сначала повышается, через промежуток времени t_{\max} достигает максимума, а затем начинает понижаться. При исследовании решения уравнения теплопроводности (1) получается следующее выражение для t_{\max} :

$$t_{\max} = \frac{x^2}{2a}. \quad (2)$$

Измерив время t_{\max} и расстояние x , можно по уравнению (2) определить коэффициент температуропроводности a .

Количество тепла Q , отданное пластиной окружающей среде, можно выразить таким равенством:

$$Q = c\rho S \int_{-\infty}^{+\infty} T dx, \quad (3)$$

где c и ρ — теплоемкость и плотность исследуемого материала;
 S — площадь пластины.

Подставляя в равенство (3) значение T из уравнения (1), получим после преобразований:

$$T = \frac{Q}{2c\rho S \sqrt{\pi at}} e^{-\frac{x^2}{4at}} \quad (4)$$

Логарифмируя равенство (4), получаем:

$$\ln c\rho = \ln Q - \frac{1}{2} \ln a - \ln T - \frac{1}{2} \ln T - A - \frac{x^2}{4at}. \quad (5)$$

Здесь $A = \ln 2 + \ln S + \frac{1}{2} \ln \pi$ есть величина постоянная для данной пластины.

Количество тепла Q может быть найдено по следующей формуле:

$$Q = c_1 m (T_1 - T_2), \quad (6)$$

где c_1 и m — удельная теплоемкость и масса пластины;

T_1 — температура пластины в момент погружения;

T_2 — ее температура в тот момент, для которого вычисляется по формуле (5) значение $c\rho$.

Получив значение $c\rho$ исследуемого материала и зная его плотность (насыпной вес) ρ , можно найти удельную теплоемкость c . Коэффициент теплопроводности вычисляется по формуле:

$$\lambda = a\rho c. \quad (7)$$

Таким образом, пользуясь методом мгновенной пластины, можно при помощи одного опыта определить значение коэффициента температуропроводности a , коэффициента теплопроводности λ и удельной теплоемкости c .

ПОРЯДОК ИЗМЕРЕНИЙ

Прибор для определения тепловых констант зерна (см. рисунок) представлял деревянный ящик размерами $25 \times 11,5 \times 11,5$ см, в середине которого перпендикулярно к его длине по специальным направляющим вставлялась латунная пластинка размерами $11 \times 11 \times 0,2$ см. Ее центральная часть размером $5 \times 5 \times 0,2$ см была вырезана и отделялась эбонитовой рамкой шириной в 2 мм от окружающих ее частей пластины. Последние играли роль «защитного кольца» по отношению к центральной части пластины. На расстоянии 1,5 см от последней против ее центра, в точке, которую мы в дальнейшем будем называть точкой M , помещался спай термометра № 1 толщиной 0,2 мм.

Термометр № 1, которая присоединялась к клеммам чувствительного зеркального гальванометра № 1, служила для измерения

РЕЗУЛЬТАТЫ ИЗМЕРЕНИЙ

Нами определялись тепловые константы рядовой мягкой пшеницы с влажностью 10; 13; 17 и 21%. Насыпной вес при всех опытах был равен 750 кг/м^3 .

Тепловые константы пшеницы, обладавшей определенной влажностью, определяли 6—9 раз. Для каждого опыта находились значения a , c и λ , а затем вычислялось среднее значение. При этом величины тепловых констант, полученных при отдельных опытах, отличались от среднего значения обычно не более чем на 5%.

В таблице приведены средние значения тепловых констант пшеницы с разной влажностью, полученные по методу мгновенной пластины.

Влажность в %	Насыпной вес ρ в кг/м^3	Коэффициент температуропроводности a в $\text{м}^2/\text{час}$	Коэффициент теплопроводности λ в $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^2 \cdot \text{час} \cdot \text{град}}$	Удельная теплоемкость c в $\frac{\text{ккал}}{\text{кг} \cdot \text{град}}$
10	750	$3,69 \cdot 10^{-4}$	0,116	0,42
13	750	$3,73 \cdot 10^{-4}$	0,124	0,44
17	750	$3,61 \cdot 10^{-4}$	0,129	0,47
21	750	$3,62 \cdot 10^{-4}$	0,135	0,50

Как видно из таблицы, коэффициент температуропроводности пшеницы мало меняется при изменении влажности от 10 до 21%. Коэффициент теплопроводности и удельная теплоемкость растут при увеличении влажности. При этом значения теплоемкости, приведенные в таблице, хорошо совпадают с значениями, вычисленными по формуле:

$$c = 0,36 + \frac{0,64W}{100}, \quad (8)$$

где W — влажность пшеницы в %.

Методика определения тепловых констант по методу мгновенной пластины может быть значительно упрощена, если для определения теплоемкости пользоваться формулой (8). В этом случае необходимо определить только время t_{max} . Значения a и λ вычисляются по формулам (2) и (7). При этом отпадает необходимость в использовании термопары № 2 и гальванометром № 2, а также в градуировке термопары № 1. Пластина может быть сплошной.

Нами были также определены тепловые константы пшеницы по методу регулярного режима. Эти опыты были проделаны несколько ранее опытов, описанных в этой статье. Значения коэффициентов температуропроводности и теплопроводности, полученные по методу регулярного режима, на 10—15% меньше значений, полученных по методу мгновенной пластины. А. Ф. Чудновский (2), изучавший тепловые константы почвы различными методами, также получил по методу регулярного режима значения a и λ меньшие, чем при помощи мгновенной пластины.

повышения температуры T в точке M после введения в зерно пластины. Значение T измерялось с точностью до $0,01^\circ$.

Для измерения температуры пластины использовалась термопара № 2, присоединенная к гальванометру № 2. Один ее спай был припаен к центральной части пластины. Температура пластины измерялась с точностью до $0,1^\circ$.

Вторые (холодные) спаи термопар № 1 и 2 погружали в Дьюаровские сосуды.

Для поддержания во время опыта постоянной температуры окружающей среды деревянный ящик, наполненный исследуемым зерном, помещался внутри металлического сосуда с двойными стенками, между которыми находилась вода. При этом ящик стоял на деревянных ножках, и его стенки не касались стенок металлического сосуда. Такая система была термически инертной и очень медленно меняла свою температуру.

Перед началом опыта пластина нагревалась в термостате до температуры на $20\text{—}25^\circ$ выше, чем температура исследуемого зерна. Затем пластина погружалась в зерновую массу. В этот момент отмечались показания гальванометров № 1 и 2 и пускался в ход секундомер. После этого через каждую минуту записывались показания гальванометра № 1.

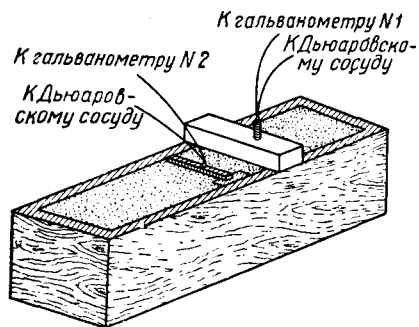
Отсчеты по гальванометру № 2 производились в определенные моменты, а именно: через 6, 8, 10 и 12 мин. после погружения пластины в зерно. Затем по градуировочным графикам термопар № 1 и 2 определяли температуру пластины и повышение температуры в точке M .

При обработке результатов опыта строился график зависимости показания гальванометра № 1 от времени, находилась максимум полученной кривой и соответствующие этому максимуму значения времени t_{max} . Последнее значение подставлялось в формулу (2) и вычислялся коэффициент температуропроводности a пшеницы. Затем по формуле (5) определялось значение c_p . При этих расчетах в формулу (5) подставлялись значения Q и A , вычисленные для центральной части пластины, так как для этой части пластины боковое растекание потока тепла можно было считать наименьшим.

Так как Q и T определяли для четырех моментов времени, то по формуле (5) можно было вычислить для каждого опыта четыре значения c_p . При этом оказалось, что все эти значения отличаются друг от друга не более чем на 3—5%.

После того как было установлено, что изменения t мало влияют на значение c_p , последнее вычислялось для t , равного 10 мин. После нахождения значения a вычислялись значения c и λ .

После того как было установлено, что изменения t мало влияют на значение c_p , последнее вычислялось для t , равного 10 мин. После нахождения значения a вычислялись значения c и λ .



Прибор для определения тепловых констант пшеницы методом мгновенных пластин

Это объясняется тем, что при определении коэффициентов температуропроводности по методу регулярного режима трудно соблюсти условия этого метода о равенстве бесконечности коэффициента теплоотдачи и поэтому получают несколько заниженные значения a .

С другой стороны, при пользовании методом мгновенной пластины всегда имеет место некоторое «растекание» теплового потока в сторону. Поэтому можно считать, что метод регулярного режима дает несколько заниженные, а метод мгновенной пластины несколько завышенные значения коэффициентов температуропроводности и теплопроводности. Истинные значения этих коэффициентов находятся между значениями, получаемыми по этим двум методам.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богомолов В. З. и Чудновский А. Ф. «Журнал технической физики» № 14, 1939.
2. Чудновский А. Ф. Физика теплообмена в почве. Гостехиздат, 1948.

Н. В. РОМЕНСКИЙ,
доктор биологических наук,
профессор

О БИОХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ ОТДЕЛЬНЫХ АНАТОМИЧЕСКИХ ЧАСТЕЙ ПШЕНИЧНОГО ЗЕРНА В СВЯЗИ С ЕГО ТЕХНОЛОГИЕЙ

I

Весьма важное народнохозяйственное значение имеет все возрастающее производство основной продовольственной культуры — пшеницы; важное также значение имеет и правильное использование ее для продовольственных целей — это положение является очевидным.

Пшеница — основная, самая главная продовольственная культура в современном народном хозяйстве СССР и поэтому никакой другой принцип не может быть руководящим в использовании пшеницы кроме как принцип максимального извлечения всех питательных возможностей пшеничного зерна для организма человека.

Пшеница перерабатывается почти исключительно в сортовую муку; при этом для продовольственных целей в виде муки используется 78% пшеницы (по весу) (6), а 22% направляется в кормовые продукты в виде отрубей.

Отруби содержат, кроме оболочек, почти все количество зародыша, почти все количество алейронового слоя и 8% (от исходного веса зерна) «чистого эндосперма» — мучнистого ядра (2).

Такой низкий процент использования пшеничного зерна опирается на следующие основные положения современной технологии мукомольного производства:

ценной питательной частью зерна считается только «собственно эндосперм» (мучнистое ядро) без его алейронового слоя, и поэтому технологические усилия направлены к максимальному извлечению из зерна *только* «чистого эндосперма» (6, 8);

алеyroновый слой считается частью зерна, совершенно не усвояемой организмом человека (2, 8) и поэтому технологи относят его (часто) к оболочкам;

отделение оболочек зерна без его дробления считается невозможным;

зародыш пшеничного зерна не используется в пищевые продукты для человека (6, 2).

II

Для решения вопроса о рациональном использовании пшеницы нами были произведены следующие опыты (1935—1950 гг.).

Исследование химического состава отдельных анатомических частей пшеничного зерна: мучнистого ядра эндосперма, алейронового слоя эндосперма, зародыша, оболочек.

Исследование размножения дрожжей и энергии спиртового брожения в зависимости от действия водных вытяжек из отдельных частей зерна и от действия цельного вещества отдельных частей зерна.

Исследование алейронового слоя по его отношению к изолированным протеолитическим ферментам и натуральным пищеварительным сокам собаки.

Исследование на человеке пищеварительной усвояемости отдельных частей зерна и биологической ценности их белков.

Химические исследования отдельных анатомических частей пшеничного зерна были произведены на одних и тех же 18 образцах пшеницы следующих сортов: Украинка, Лютеценс 062, Мелянолус 069, Гордеиформе (Краснодарского и Ростовского сортовых участков) урожая 1936 г.

Образец каждого сорта дифференцировался по размерности зерен на три фракции.

Отдельные части зерна выделялись для химического исследования без нарушения их химического состава; при этом применялись зубоврачебные бормашины, специальные хирургические инструменты, а также низкие температуры.

В изолированном веществе отдельных частей зерна (и целом зерне) определялись: крахмал, естественные сахара, клетчатка, пентозаны, общее количество азота, которое пересчитывалось на белок, жир (вещества эфирной вытяжки) и зольность. При этом применялись микрометоды, описанные в современной литературе (4, 9), без существенных отклонений. Средние результаты этих исследований приведены в табл. 1.

В этой таблице мы не считаем возможным произвести суммирование определившихся нами ингредиентов как вследствие условности понятия некоторых из них (протеин, жир, зола), так и вследствие отсутствия полноты исследования всех действительно содержащихся в зерне веществ.

Однако средние данные этой таблицы имеют важное значение для общего суждения о химическом составе частей зерна. Эти данные важны также для контроля достоверности всех полученных цифровых данных.

Из всех произведенных нами химических исследований (9) можно сделать следующие выводы.

Химический состав всех отдельных анатомических частей пшеничного зерна (так же, как и химический состав целого зерна) зависит от наследственных признаков, связанных с сортом, и от совокупности физико-географических условий и агротехнических особенностей производства зерна.

Таблица 1

Химический состав отдельных анатомических частей пшеничного зерна
(в процентах абсолютно сухого вещества)

Название частей зерна	Весовое соотношение зерна в %	Протеина	Крахмала	Сахаров	Клетчатки	Пентозанов	Жиры	Зола*
Целое зерно	100	16,06	63,07	4,32	2,76	8,10	2,24	2,18
Эндосперм — мучнистое ядро	81,60	12,91	78,92	3,54	0,15	2,72	0,68	0,45
Алейроновый слой эндосперма	6,54	53,16	0	6,82	6,41	15,44	8,16	25
Зародыш	3,24	37,63 (41,30)**	0	25,12	2,46	9,74	15,04	20
Оболочки (плодовые и семенные)	8,93	10,56	0	2,59	23,73	51,43	7,46	4,78

* Величины зольности не могут балансироваться вследствие неравномерного распределения анионных и катионных слагаемых золы в отдельных частях зерна.
** 37,63 при коэффициенте 5,7; 41,30 при коэффициенте 6,25.

Таблица 2

Размножение дрожжей и энергия спиртового брожения в зависимости от влияния частей пшеничного зерна

Условия опыта	Количество прибранного объекта	Количество дрожжей			Количество дрожжей в г	Количество сахара в среде в г	Образовалось				Остаток сахара
		исходное	через 24 часа				углекислого газа	этилового спирта			
			млн. мл	млн. мл				%	г	%	
		г	%	г			%	г	%	г	
Минерально - сахарная среда + вода	4,0 мл	1,32	6,40	100	0,04	5,00	Через 48 часов				4,04
Минерально - сахарная среда + вытяжка из отрубей	4,0 „	1,32	27,03	423	0,04	5,00	1,29	340	1,31	336	1,80
Минерально - сахарная среда + вытяжка из муки 30%	4,0 „	1,40	8,32	130	0,04	5,00	0,68	180	0,70	179	3,29
Минерально - сахарная среда + вытяжка из оболочек	4,0 „	1,38	13,18	206	0,04	5,00	0,84	221	0,86	221	2,86
Минерально - сахарная среда + вытяжка из алейронового слоя	4,0 „	1,34	35,52	555	0,04	5,00	1,79	470	1,80	462	0,62
Минерально - сахарная среда + вытяжка из зародыша	4,0 „	1,30	17,94	280	0,04	5,00	1,08	284	1,13	282	2,23
Минерально - сахарная среда + вытяжка из мучнистого ядра	4,0 „	1,38	5,24	82	0,04	5,00	0,36	95	0,36	93	4,12
Минерально - сахарная среда + цельное в-во фильтровальной бумаги . .	0,05 г	—	—	—	0,0025	2,00	0,03	100	0,03	100	1,90
Минерально - сахарная среда + цельное в-во муки 30%	0,05 „	—	—	—	0,0025	2,00	0,05	166	0,05	166	1,80
Минерально - сахарная среда + цельное в-во оболочек	0,05 „	—	—	—	0,0025	2,00	0,15	500	0,16	533	1,60
Минерально - сахарная среда + цельное в-во алейронового слоя	0,05 „	—	—	—	0,0025	2,00	0,72	2400	0,74	2470	0,38
Минерально - сахарная среда + цельное в-во зародыша	0,05 „	—	—	—	0,0025	2,00	0,96	3200	0,96	3200	0,07
Минерально - сахарная среда + цельное в-во мучнистого ядра	0,05 „	—	—	—	0,0025	2,00	0,03	100	0,03	100	1,94

Наиболее подвижен в зависимости от сорта и условий производства пшеничного зерна химический состав алейронового слоя.

Химический состав зародыша при этом изменяется в меньших величинах, чем других частей зерна.

Химический состав нормально развитого пшеничного зерна и его анатомических частей при равенстве условий его производства находится в зависимости от величины зерна; при этом крупные зерна, как правило, содержат больше белковых веществ (по сравнению с мелкими), больше крахмала и меньше клетчатки, пентозанов, жира и дают меньше золы.

Увеличение содержания протеина у крупных (нормально развитых) зерен по сравнению с мелкими идет главным образом за счет алейронового слоя.

Изменчивость химического состава алейронового слоя в зависимости от размеров зерна находится в закономерной связи с изменением величины клеток алейронового слоя.

Химический состав зерна пшеницы (и его анатомических частей) также находится в закономерной связи с положением зерна в колосе.

Между зольностью и содержанием клетчатки, вне зависимости от сорта и условий производства, не существует прямой количественной зависимости ни в зерне пшеницы, ни в отдельных его анатомических частях.

Зольность муки не может служить критерием для оценки ее качества.

С понятием зольности связан целый ряд противоречий, тормозящих дальнейшее развитие наших знаний о зерне и в теоретическом, и в практическом направлениях.

III

Дрожжи спиртового брожения являются важнейшим фактором технологии хлебопечения и важным источником витаминов и «незаменимых» аминокислот для пшеничного хлеба. Они могут также служить весьма ценным биологическим объектом исследования свойств отдельных анатомических частей зерна.

Поэтому на основании отношения дрожжей к отдельным анатомическим частям пшеничного зерна возможно решить вопрос о целесообразности направления последних в пищевые продукты.

Были подвергнуты исследованию водные вытяжки и цельное вещество эндосперма, его алейронового слоя, зародыша, оболочек и некоторых мукомольных продуктов из пшеничного зерна по их действию на размножение дрожжей и энергию брожения (исследования были произведены Л. Г. Атанас). Дрожжи были взяты пекарские, расы Ростовского дрожжевого завода и Одесского дрожжевого завода, чистой культуры и товарные прессованные.

Серии контрольных опытов как по скорости размножения дрожжей, так и по энергии их брожения производились на сахаро-минеральной среде.

Прибавляемые в основных опытах водные вытяжки отдельных анатомических частей зерна так же, как и водные вытяжки произ-

водственных продуктов (отрубей, муки), а также и цельное измельченное вещество всех продуктов были подвергнуты автоклавированию при условиях, обычных для стерилизации (120°; 20').

Серия основных опытов была произведена на тех же самых дрожжах и тех же концентрациях сахароминерального раствора с прибавлением исследуемых объектов.

Размножение дрожжей определялось методом счета клеток в счетной камере при помощи микроскопа, а также весовым методом.

Результаты (общие) этих исследований приведены в табл. 2.

На основании данных этой таблицы можно сделать следующие выводы.

Размножение дрожжей и энергия брожения под действием водных вытяжек из зародыша пшеничного зерна по сравнению с размножением дрожжей и энергией брожения на сахароминеральном растворе возрастает в 2¹/₂—3 раза. Цельное вещество зародыша (в условиях опыта) оказывает на спиртовое брожение значительно больший стимулирующий эффект, превосходя контроль в 30 раз.

Размножение дрожжей и энергия брожения под действием водных вытяжек из алейронового слоя имеют величины, превышающие контрольные в 5 раз. Цельное вещество алейронового слоя оказывает еще больший стимулирующий эффект на спиртовое брожение, превосходя контроль в 20 с лишним раз.

Размножение дрожжей и энергия брожения под действием водных вытяжек из оболочек имеют величины, превышающие контрольные в 2 раза.

Водные вытяжки из чистого эндосперма оказывают угнетающее действие на размножение дрожжей и энергию спиртового брожения.

Результаты исследования отдельных анатомических частей пшеничного зерна дают возможность утверждать целесообразность использования алейронового слоя и зародыша для хлебопекарного и дрожжевого производства, а не для направления их в кормовые продукты.

IV

Вещества алейронового слоя считаются большинством авторов (5) не доступными для усвоения организмом человека главным образом на основании опытов, произведенных Жираром (Girard) (5). Методические несовершенства опыта Жирара дают основания сомневаться в правильности сделанных выводов. Он съел около 6 г неизмельченных, термически не обработанных оболочек с алейроновым слоем, а сделал вывод о полной неусвояемости веществ алейронового слоя. Должно отметить, что мнение о неусвояемости веществ алейронового слоя опирается по существу не на поставленные в соответствующем направлении опыты, а на относительно значительную толщину (3—5 μ) клеточных оболочек этого слоя. Другие зарубежные исследователи (Линднер) (8) поставили свои опыты с еще большими методическими погрешностями, чем Жирар.

Воспроизводя водное и тепловое воздействия условий хлебопечения (T=100°; 45') на обнаженный алейроновый слой пшеничного зерна, мы убедились в нарушении целостности его клеточных оболочек. Имеются данные Гейпке (5) о проницаемости клеточных оболочек алейронового слоя для ферментов пищеварительного тракта.

На основании изложенного нами были поставлены опыты по отношению изолированных протеолитических ферментов пищеварительного тракта, а также натуральных соков собаки (фистульные операции при этом были произведены проф. Т. П. Протасеня) к измельченному веществу алейронового слоя. В качестве контроля при этом исследовались белковые вещества клейковины пшеничного зерна.

Аминный азот количественно определялся газометрически.

Вещество алейронового слоя в этом случае так же, как и при всех других исследованиях, было измельчено до состояния муки (проход через шелковое сито № 38—IX; размер отверстия 181—194 μ ; средняя величина частиц 90—100 μ); другие части пшеничного зерна во всех случаях, за исключением особо указанных, исследовались в такой же степени их дисперсности. Результаты этих исследований приведены в табл. 3 и 4.

Таблица 3

Азотсодержащие вещества алейронового слоя пшеничного зерна

Формы азота	Содержание азота в алейроновом слое в %		
	по отношению к абсолютно-сухому веществу	по отношению ко всему азоту	по отношению к белковому азоту
Общий азот	9,20	100,00	—
Небелковый азот	1,10	12,06	—
Белковый азот	8,02	87,17	100,00
Аминокислотный азот	7,88	—	98,26
Неаминный азот	0,14	—	1,74

Данные табл. 4 свидетельствуют о том, что переваримость белковых веществ алейронового слоя пшеничного зерна изолированными ферментами и натуральными пищеварительными соками (in vitro) близка к переваримости белковых веществ клейковины.

Исследования пищеварительной усвояемости по сухому веществу и по азоту, а также исследования биологической ценности белков анатомических частей пшеничного зерна: «чистого эндосперма» (мучнистого ядра), алейронового слоя, зародыша и оболочек, были произведены на человеке — на одном и том же субъекте. У подопытного субъекта (женщина 27 лет, вес тела 54 кг, врач — лабораторный работник) были подвергнуты специальному физиологическому обследованию пищеварительная функция и обмен веществ.

Таблица 4

Переваримость (in vitro) белков алейронового слоя и клейковины пшеничного зерна

Действующие факторы	Реакция среды рН	Азот аминокислот алеиронового слоя в %		Азот аминокислот клейковины в %	
		по отношению к сухому веществу	по отношению к аминному азоту белков	по отношению к сухому веществу	по отношению к аминному азоту белков
1. Последовательно					
Пепсин	2,5	4,88	61,4	7,97	62
Трипсин—энтерокиназа . . .	8,9				
Эрепсин	7,8				
2. Последовательно					
Пепсин	2,5	5,59	71,0	9,77	76
Трипсин—энтерокиназа . . .	9,0				
Эрепсин+Липаза+желчь . .	7,8				
3. Последовательно					
Натуральный желудочный сок собаки	1,5	5,84	74,0	10,04	78
Натуральный панкреатический и кишечный сок собаки . .	7,6				
4. Кислотный гидролиз	—	7,88	100	12,86	100

Препаративная подготовка отдельных частей зерна в количествах, необходимых для их физиологических исследований, представляла весьма значительные трудности и заняла в наших условиях около 5 лет; наибольшие трудности при этом были связаны с изолированием алейронового слоя.

Самая тщательная всесторонняя методическая подготовка этих исследований, а также все произведенные нами сопряженные биохимические исследования позволили нам надеяться на данном этапе получить объективные ответы на поставленные нами вопросы о рациональном использовании пшеничного зерна даже в опытах на одном человеке. При этом мы утверждаем, что для сравнительного исследования отдельных анатомических частей зерна важным является произвести эти исследования при «всех прочих равных условиях», главнейшим из которых являются подопытный субъект и условия его жизни. Нами соблюдено это условие на протяжении всех серий исследований. При этом мы исследовали не мукомольные продукты, которые не отображают собой частей зерна в строго определенном их количественном сочетании, а изолированные отдельные анатомические части зерна. Поэтому мы считаем возможным рассматривать результаты наших исследований как достаточный критерий для оценки питательных свойств частей зерна.

Нельзя обойти молчанием также и те факты, на которых основывалось в прошлом развитие технологии мукомольного производства и использование алейронового слоя и зародыша пшеничного зерна для кормовых целей.

Здесь несомненно имело значение не столько физиологические, произведенные один раз на одном человеке опыты Жирара (5), Линднера (8) и других аналогичных им исследований, сколько капиталистические условия, лозунгами которых были следующие положения: вымолоть из зерна побольше того, что можно подороже продать, при минимальной затрате средств и при получении при этом максимальной прибыли.

Советской технологии мукомольного производства свойственны совершенно иные предпосылки:

- а) возможно полное удовлетворение питательных потребностей человека;
- б) возможно полное использование природных ресурсов;
- в) развитие техники, направленной на решение этих (а и б) вопросов.

V

Все подлежащие исследованию части зерна, за исключением одного случая с оболочками, были измельчены, как об этом сказано выше, до состояния муки, подвергнуты химическому исследованию и из них методом пробной выпечки был получен хлеб следующих вариаций: 1) из чистого эндосперма, 2) из чистого эндосперма и зародыша, 3) из чистого эндосперма и алейронового слоя, 4) из чистого эндосперма и оболочек, 5) из чистого эндосперма и крупных оболочек (такого измельчения, какое имеет место в обойной муке).

Полученный хлеб исследовался методами, принятыми в физиологии питания на фоне рациона, составленного из одних и тех же продуктов при всех вариациях. Сохранность продуктов обеспечивалась оптимальной температурой их хранения и систематическим химическим контролем. Хлеб был также подвергнут химическому исследованию.

Суточное количество хлеба и пищевых веществ рациона рассчитывалось таким образом, чтобы соблюсти следующие условия:

1. Равенство азота и калорий во всех опытах.
2. Полное равенство веществ рациона (основной диеты).
3. Витаминную и минеральную полноценность диеты.
4. Максимальное удовлетворение белковой потребности (не менее 85%) за счет исследуемого хлеба.

Необходимое количество белков было рассчитано на основании современных физиологических данных, опытов безбелковой и белковой диеты на данном субъекте. Было принято суточное количество азота в 12,6 г и 2520 кал на 54 кг веса тела. Исследования производились при стабильном жизненном режиме субъекта и после 12 дней прерывались не менее чем на 2 недели свободным режимом жизни и питания.

Каждая серия опытов продолжалась 6 дней. Основная диета слагалась из следующих продуктов (в чистом весе): картофеля 200 г, моркови 100 г, лука 50 г, томат-сока 300 г, масла сливочного 40 г, сахара 70 г, соли 10 г. Количество хлеба колебалось от 550 (340 г сухого вещества) до 800 г (464 г сухого вещества) для соблюдения равенства количества азота в связи с разным содержанием его в хлебе различных вариаций.

Равенство калорий, в случае необходимости, достигалось добавлением пшеничного крахмала. Отсутствие в основной диете мясных и молочных продуктов объясняется необходимостью (для решения поставленной задачи) покрытия белковой потребности в максимальном количестве за счет исследуемых объектов — частей пшеничного зерна. При опытах с безбелковой диетой в рацион вводили поливитаминное драже и солевую смесь.

Расчеты биологической ценности белков произведены двумя методами: 1) отношением «действительно усвоенного» азота к «действительно переваренному» азоту; 2) отношением азота переваренного (азота пищеварительного усвоения) к азоту, выделенному мочой (метод акад. Рожанского).

Результаты этих исследований приведены в сводных таблицах 5 и 6.

Данные табл. 5 и 6 показали следующие результаты:

Хлеб из «чистого» эндосперма. Пищеварительная усвояемость (по трем сериям опытов) при основной диете была равна по сухому веществу 94,3—94,8%; по азоту — 80,4—80,7; биологическая ценность белков по первому методу 79,8—80,0, по второму — 101.

Хлеб из «чистого» эндосперма с добавкой 3,5% зародыша. Пищеварительная усвояемость сухого вещества при основной диете повысилась с 94,3 до 94,7%, а азота — с 80,5 до 81,5%; биологическая ценность белков повысилась с 101 до 109, с 80,0 до 85,9.

При условном пересчете полученных различий пищеварительная усвояемость зародыша по сухому веществу составляет 108,38%, а по азоту — 94,59%.

Хлеб из «чистого» эндосперма с добавкой 8,4% зародыша. Пищеварительная усвояемость при основной диете по сухому веществу повысилась с 94,3 до 95,1%; по азоту — с 80,5 до 83,0%, а биологическая ценность белков с 101 до 113, с 80,0 до 88,2.

При условном пересчете полученных различий пищеварительная усвояемость зародыша по сухому веществу составляет 109,0%, а по азоту — 95,4%.

Хлеб из «чистого» эндосперма с добавкой 6,1% алейронового слоя. Пищеварительная усвояемость при основной диете по сухому веществу снизилась с 94,9 до 94,5%; по азоту повысилась с 80,7 до 82,7%; биологическая ценность белков повысилась с 101 до 112, с 79,8 до 86,9.

При условном пересчете полученных различий пищеварительная усвояемость алейронового слоя по сухому веществу составляет 83,5%, а по азоту — 94,0%.

Таблица 5

Баланс сухого вещества
(на 54 кг веса тела)

№ по оп	Наименование продуктов	Получено						Выделено калом		Усвоено	
		из рациона		из хлеба		всего		г	%	г	%
		г	%	г	%	г	%				
1	Хлеб из чистого эндосперма	155,0	26,0	442,4	74,0	597,4	100	33,89	5,7	564,51	94,3
2	» » + зародыша 3,5%	178,0	30,0	419,4	70,0	597,4	100	31,83	5,3	566,57	94,7
3	» » + зародыша 8,4%	205,0	34,5	391,0	65,5	596,0	100	29,05	4,9	567,43	95,1
	(2) Зародыш (по расчету)			14,68	3,5	14,68	100	-1,23	-8,4	15,91	108,4
	(3) Зародыш (по расчету)			32,84	8,4	32,84	100	-2,90	-9,1	35,84	109,1
4	Хлеб из чистого эндосперма	205,0	35,0	380,0	65,0	585,0	100	30,08	5,1	554,92	94,9
5	» » + алейронового слоя 6,1%	237,0	40,8	346,0	59,2	583,0	100	32,37	5,5	556,63	94,5
	(5) Алейроновый слой	По расчету		20,96	6,1	20,96	100	3,47	16,5	17,49	83,5
6	Хлеб из чистого эндосперма	155,0	25,6	450,0	74,4	605,0	100	33,18	5,5	571,82	94,5
7	» » + оболочек мелких 9,5%	177,0	27,9	458,0	72,1	635,0	100	52,37	8,3	582,63	91,7
8	» » » » 16,0%	203,0	30,4	464,0	69,6	667,0	100	72,51	10,9	594,49	89,1
9	» » » » + оболочек крупных 9,5%	177,0	27,9	458,0	72,1	635,0	100	82,10	12,9	552,90	87,1
	(7) Оболочки мелкие	По расчету		43,51	9,5	43,51	100	21,03	48,6	22,48	51,4
	(8) Оболочки мелкие	По расчету		74,24	16,0	74,24	100	42,63	57,4	31,61	42,6
	(9) Оболочки крупные	По расчету		43,51	9,5	43,51	100	50,87	117,0	-7,36	-17,0

Баланс азота
(на 54 кг веса тела)

№ по порядку	Название диеты	Безазотистая	Эндоспермовая	Эндоспермовый слой (6,1%)	Эндоспермовая	Эндоспермовый слой (3,5%)	Эндоспермовый слой (8,4%)	Эндоспермовая	Эндоспермовый слой (9,5%)	Эндоспермовый слой (16%)	Эндоспермовый слой (9,5%)	Эндоспермовый слой (16%)	Эндоспермовый слой (9,5%)	Эндоспермовый слой (16%)	Эндоспермовый слой (9,5%)	Эндоспермовый слой (16%)
1	Общий азот всей диеты г	0,018	12,612	12,617	12,602	12,602	12,602	12,612	12,610	12,621	12,610	12,621	12,610	12,621	12,610	12,621
2	Азот кала г	0,153	2,439	2,187	2,462	2,329	2,147	2,147	2,467	3,173	2,845	3,173	2,467	3,173	2,845	3,173
3	» мочи г	7,994	10,069	9,363	10,042	9,451	9,235	9,235	10,043	9,997	10,016	9,997	10,043	9,997	10,016	9,997
4	Баланс азота г	-8,129	+0,104	+1,067	+0,099	+0,821	+1,220	+1,220	+0,102	-0,549	-0,251	-0,549	+0,102	-0,549	-0,251	-0,549
5	Азот переваренный г	—	10,173	10,430	10,140	10,273	10,455	10,455	10,145	9,765	9,765	9,765	10,145	9,765	9,765	9,765
6	Коэффициент переваримости г	—	80,7	82,7	80,5	81,5	83,0	83,0	80,4	77,4	77,4	77,4	80,4	77,4	77,4	77,4
7	Азот обменный кала г	0,153	0,178	0,178	0,182	0,182	0,182	0,182	0,185	0,203	0,194	0,203	0,185	0,203	0,194	0,203
8	» эндоспермной мочи г	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976	7,976
9	» пищевой кала г	7,976	2,261	2,069	2,280	2,146	1,965	1,965	2,282	2,651	2,651	2,651	2,282	2,651	2,651	2,651
10	» мочи г	7,976	2,093	1,387	2,066	1,475	1,259	1,259	2,067	2,040	2,040	2,040	2,067	2,040	2,040	2,040
11	» действительно переваренный г	7,976	10,351	10,608	10,322	10,455	10,638	10,638	10,330	9,959	9,959	9,959	10,330	9,959	9,959	9,959
12	Азот действительно усвоенный г	7,976	8,258	9,221	8,256	8,980	9,379	9,379	8,263	7,919	7,919	7,919	8,263	7,919	7,919	7,919
13	Биологическая полноценность	101	79,8	86,9	80,0	85,9	88,2	88,2	80,0	79,5	79,5	79,5	80,0	79,5	79,5	79,5
14	Биологическая ценность (по Рожанскому)	101	101	112	101	109	113	113	101	98	98	98	101	98	98	98

Хлеб из «чистого» эндосперма с добавкой 9,5% оболочек (мелких). Пищеварительная усвояемость при основной диете по сухому веществу снизилась с 94,5 до 91,7%; по азоту понизилась с 80,4 до 77,4%; биологическая ценность белков снизилась с 101 до 98,0, с 80,0 до 79,5.

При условном пересчете полученных различий пищеварительная усвояемость оболочек по сухому веществу составит 51,4%, а по азоту — 37,4%.

Хлеб из «чистого» эндосперма с добавкой 16% оболочек (мелких). Пищеварительная усвояемость при основной диете по сухому веществу снизилась с 94,5 до 89,1%; по азоту понизилась с 80,4 до 74,9%; биологическая ценность белков понизилась с 101 до 95,0, с 80,0 до 79,1.

При условном пересчете полученных различий пищеварительная усвояемость оболочек по сухому веществу составит 42,6%, а по азоту — 33,5%.

Хлеб из «чистого» эндосперма с добавкой 9,5% оболочек крупного измельчения (металлические сита № 24—26, пролет ячейки 0,9 мм). Пищеварительная усвояемость при основной диете по сухому веществу снизилась с 94,5 до 87,1%; по азоту понизилась с 80,4 до 73,4%; биологическая ценность белков изменилась с 101 до 94,0 до 80,8.

При условном пересчете полученных различий пищеварительная усвояемость оболочек по сухому веществу составит — (минус) 17,09%, а по азоту — (минус) 20%.

Исходя из изложенного, а также на основании некоторых литературных данных (5) можно сделать следующие выводы.

Наиболее высокими питательными свойствами обладает зародыш пшеничного зерна, а не «чистый» эндосперм.

Поэтому зародыш пшеничного зерна должен быть в максимальном количестве направлен в пищевые продукты.

Алейроновый слой пшеничного зерна характеризуется достаточной пищеварительной усвояемостью организмом человека по сухому веществу и более высокой усвояемостью, чем эндосперм, по белку, и поэтому его целесообразно использовать в муке, т. е. в пищевых продуктах для человека, а не в кормовых продуктах для животных.

Использование зародыша и алейронового слоя пшеничного зерна в пищевых продуктах повысит количество высокопитательной сортовой продукции на 10% от количества перерабатываемого зерна, что равноценно ежегодному сбору пшеницы с 1,3 млн. га при современных 100-пудовых урожаях.

VI

Все произведенные нами исследования дают основания для того, чтобы пересмотреть основные положения современной технологии мукомольного производства, перечисленные в начале статьи и имеющие весьма значительную давность.

Мы выражаем свои сомнения в справедливости этих основных положений, исходя не только из общих экономических, техниче-

ских и других предпосылок, но главным образом на основании наших исследований и тех противоречий, которые возникают в современной технологии мукомольного производства.

Главное положение современной технологии мукомольного производства (сортовых помолов) о направлении в муку только «чистого» эндосперма находится в противоречии с полученными нами результатами исследования биохимических и физиологических свойств частей зерна с данными многих других исследователей (5), а также и самим техническим решением этой задачи — в отруби уходит до 8% «чистого» эндосперма.

Несмотря на то, что современная технология ставит своей задачей возможно полное извлечение «чистого» эндосперма пшеничного зерна, для чего зерно и продукты его дробления подвергаются обычно воздействию семи драных и четырнадцати размольных вальцевых систем (6) все же в кормовой продукт — отруби — уходит 8% «чистого» эндосперма (2), что составляет миллионы килограммов ежегодных потерь «чистого» эндосперма.

Опираясь на данные произведенных исследований, а также на опыты, накопленные на протяжении почти целого столетия, по освобождению пшеничного зерна от оболочек перед его помолом (1, 3, 7, 10), мы считаем возможным положить в основу технологии пшеничного зерна следующие положения, не обсуждая деталей их технического решения.

1. Максимальное направление всех питательных частей пшеничного зерна — эндосперма, алейронового слоя и зародыша — в продовольственные продукты.

2. Предварительное отделение перед помолом оболочек, первоначально частичное (70—80%), по мере же технического совершенствования этого процесса и селекции зерна — возможно полное.

3. Использование оболочек в кормовых продуктах.

4. Выработка из шелушеного зерна пшеницы сортовой и односортовой муки.

5. Использование зародыша пшеничного зерна в специальных пищевых продуктах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Афанасьев П. А. Мукомольные мельницы, 1883.
2. Гиришон В. Я. Экспериментальные исследования процессов технологии зерна. Заготиздат, М., 1949.
3. «Земледельческая газета». Еще одно русское изобретение, 1867 г. № 29—22—VII.
4. Иванов Н. Н. Методы физиологии и биохимии растений. Сельхозгиз, 1946.
5. Крегович В. Л. Проблемы пищевой полноценности хлеба. А. Н. СССР, 1948.
6. Министерство заготовок СССР. Руководство по организации технологического процесса улучшенного сортового помола пшеницы на мельницах Главмуки. Заготиздат, М., 1949.
7. Ноговиц С. К. Условия рациональной очистки и лущения зерна на мельницах. Одесса, 1901.
8. Писарев Н. С. Химический анализ муки, стр. 324, 1934.
9. Роменский Н. В. Труды Новочеркасского зооветеринарного института, вып. 8, 1949. Труды ВНИИЗ, вып. 19, 1949. Труды Одесского института им. И. В. Сталина, 1950.
10. «Сельское хозяйство и лесоводство». Успехи земледельческой механики в последнее время. Май и июнь 1865.

В. М. ДАЦКОВСКИЙ,
канд. технических наук, доцент

РАСЧЕТ ПРОЦЕССА СУШКИ В ШАХТНЫХ ЗЕРНОСУШИЛКАХ

В настоящей статье излагается метод расчета размеров шахтной зерносушилки и параметров ее режима, необходимых для обеспечения заданных производительности и снижения влажности зерна. Излагаемый метод базируется на ряде допущений, является приближенным и пригоден для периода сушки, в конце которого скорость сушки не уменьшается заметно, т. е. до значений относительной влажности зерна 14—13% (нижний предел для большинства зерносушилок).

ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

- Рассматриваем шахтную зерносушилку как вертикальную призматическую камеру прямоугольного сечения, в которой зерно равномерно и прямолинейно движется сверху вниз (рис. 1). По пути зерно продувается теплоносителем (влажным воздухом).

Сушилка разделена горизонтальными плоскостями на ряд секций, в которых зерно и теплоноситель движутся по принципу прямотока или противотока (прямоточные и противоточные секции чередуются между собой). В каждую секцию теплоноситель вводится через горизонтальный ряд подводящих коробов и выводится из секции через горизонтальный ряд отводящих коробов. Параметрами зерна и теплоносителя, определяющими их состояние, полагаем величины: температура и относительная влажность зерна, температура и влагосодержание теплоносителя. Принимаем, что параметры и скорости движения зерна и теплоносителя распределены соответственно равномерно по площади горизонтального сечения сушилки. Режим работы зерносушилки рассматриваем установившийся.

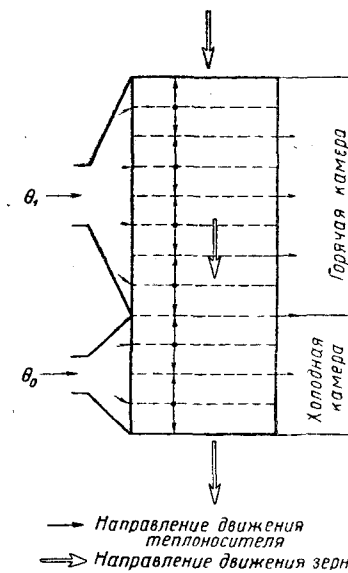


Рис. 1

Для исследования процесса сушки зерна принимаем следующие допущения:

а) Выделение влаги из зерна происходит по закону испарения со свободной поверхности, в качестве которой принимается некоторая часть геометрической наружной поверхности зерна. Полагаем, что эта часть поверхности в процессе сушки постоянна для данной культуры.

б) Сухое вещество и влага в зерне имеют общую температуру, одинаковую во всех точках зерна.

в) Влага в зерне содержится только в жидком состоянии, испарение и удаление влаги из зерна происходит одновременно.

г) Между слоями зерна, а также между слоями теплоносителя влагообмена и теплообмена не происходит (последние имеют место только между зерном и теплоносителем).

д) Теплообмен между зерном и теплоносителем происходит по закону теплоотдачи (конвекции) через некоторую часть геометрической наружной поверхности зерна, которую полагаем постоянной в процессе сушки для данной культуры.

е) Теплообменом с окружающей средой пренебрегаем.

ВЫВОД УРАВНЕНИЙ ПРОЦЕССА СУШКИ ЗЕРНА

Составим дифференциальные уравнения процессов влагообмена и теплообмена между зерном и теплоносителем в сушилке.

Обозначим:

- γ_z — насыпной вес зерна (натура) в $кг/м^3$;
- w — относительная влажность зерна в %;
- β — коэффициент испарения со свободной поверхности
в $\frac{кг}{м^2 \cdot час \cdot мм \text{ рт. ст.}}$;
- m — доля геометрической наружной поверхности зерна, с которой происходит испарение по закону испарения со свободной поверхности;
- ϑ — отношение объема зерновой массы к наружной поверхности зерна, в ней заключенного, в $м$;
- v_z — скорость движения зерна в $м/сек$;
- y — расстояние, пройденное зерном от входа в секцию по данной точки, в $м$;
- p_n — давление насыщенного пара при температуре зерна в $мм \text{ рт. ст.}$;
- p_n — парциальное давление пара в теплоносителе в $мм \text{ рт. ст.}$;
- b — абсолютное давление теплоносителя в $мм \text{ рт. ст.}$;
- G_s — расход зерна (производительность сушилки) в $кг/час$;
- G_m — расход теплоносителя в секции в $кг/час$;
- D — влагосодержание теплоносителя в $г/кг$;
- c_m — теплоемкость теплоносителя в $\frac{ккал}{кг \cdot град}$;
- θ — температура теплоносителя в $^{\circ}C$;
- c_s — теплоемкость зерна в $\frac{ккал}{кг \cdot град}$;
- t — температура зерна в $^{\circ}C$;

r' — скрытая теплота парообразования в $ккал/кг$;

c_n — теплоемкость перегретого пара в $\frac{ккал}{кг \cdot град}$;

a — коэффициент теплоотдачи между зерном и теплоносителем
в $\frac{ккал}{м^2 \cdot час \cdot град}$;

n — доля геометрической наружной поверхности зерна, участвующая в теплоотдаче.

При этих обозначениях дифференциальные уравнения влагообмена и теплообмена записываются следующим образом:
закон испарения со свободной поверхности:

$$\gamma_z \frac{dw}{100-w} = - \frac{\beta m}{1000} \frac{1}{\vartheta} \frac{dy}{3600v_z} (p_n - p_n) \frac{760}{b}; \quad (1)$$

баланс влаги:

$$G_s \frac{dw}{100-w} = \mp G_m \frac{dD}{1000}; \quad (2)$$

баланс тепла:

$$\mp G_m c_m d\theta = G_s \left\{ c_s dt - \frac{dw}{100-w} [r' + c_n (\theta - t)] \right\}, \quad (3)$$

закон теплоотдачи:

$$\mp G_m c_m d\theta = \alpha n \frac{G_s}{\gamma_z \vartheta} \frac{dy}{3600v_z} (\theta - t). \quad (4)$$

В уравнениях с двойным знаком знак минус относится к прямо-току, а знак плюс — к противотоку. Уравнения (1—4) справедливы как при передаче тепла от теплоносителя к зерну (горячая камера), так и при передаче тепла от зерна к теплоносителю (холодная камера).

Интегрирование полученной системы дифференциальных уравнений в общем виде является весьма сложным и не может привести к удобным для практики расчетным формулам. Учитывая, что в виду принятых выше допущений уравнения (1—4) лишь приближенно отражают закономерности при сушке, интегрируем эти уравнения также приближенно, принимая следующие упрощения:

а) Полагаем следующие величины постоянными в процессе сушки, имеющими средние значения в процессе сушки:

$$100 - w \cong 83; \vartheta; b; G_s; G_m; c_s; [r' + c_n (\theta - t)] \cong 600 \text{ ккал/кг}; \\ \beta m; \alpha n; c_m \cong 0,25 \text{ ккал/кг град}.$$

б) Для связи между давлением насыщенного пара и температурой зерна принимаем эмпирическую формулу для $t=10 \div 60^{\circ}$:

$$p_n = 0,04t^2 - 0,25t + 7 \text{ мм рт. ст.}$$

На рис. 2 представлены сплошной линией графики зависимости p_n и $\frac{dp_n}{dt}$ от t , выражающие вышеприведенную эмпирическую формулу; пунктиром нанесен график точной зависимости p_n от t .

в) Для связи между парциальным давлением пара и влагосодержанием теплоносителя принимаем эмпирическую формулу для $D < 50$ г/кг:

$$p_n = 1,13 D \text{ мм рт. ст.}$$

г) Принимаем, что в каждой секции температура зерна меняется по высоте секции по линейному закону:

$$t = t_1 + (t_2 - t_1) \frac{y}{l},$$

где t_1 и t_2 — температура зерна на входе и на выходе из секции;
 l — высота секции в м.

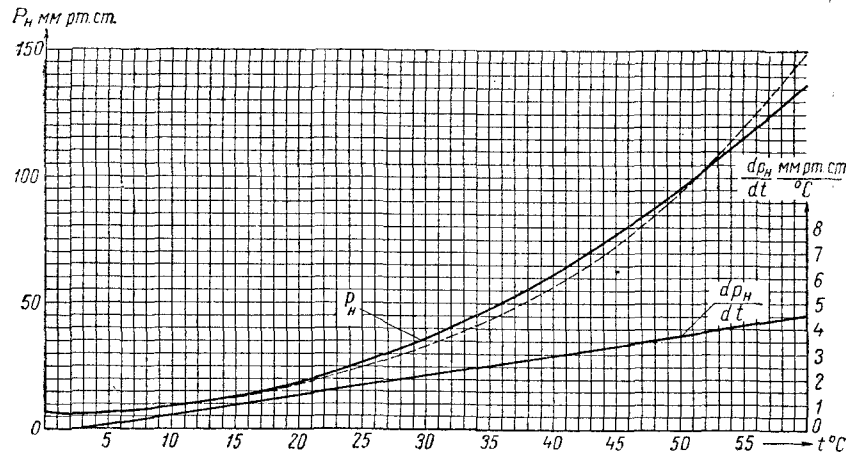


Рис. 2

д) Принимаем, что в каждой секции величина p_n меняется по высоте секции также по линейному закону с угловым коэффициентом, который имеет место в начале секции:

$$p_n = p_{n1} + \frac{dp_{n1}}{dt} (t_2 - t_1) \frac{y}{l},$$

где

$$p_{n1} = 0,04 t_1^2 - 0,25 t_1 + 7;$$

$$\frac{dp_{n1}}{dt} = 0,08 t_1 - 0,25.$$

РАСЧЕТ СУШИЛКИ ПО СЕКЦИЯМ

Произведя при принятых выше упрощениях интегрирование дифференциальных уравнений (1—4) по переменной y для одной секции, получим следующие расчетные формулы:

Для прямого тока:

$$t_2 - t_1 = \frac{\theta_1 - t_1 - (\theta_1 - t_1) e^{-kl} - 2,125 (1 - e^{-Al}) (p_{n1} - 1,13 D_1)}{\frac{G_3 c_3}{G_m \cdot 0,25} + 2,125 (1 - e^{-Al}) \frac{dp_{n1}}{dt} \left(1 - \frac{1 - e^{-Al}}{Al}\right) + \frac{e^{-kl}}{kl} + 1 - \frac{1}{kl}}, \quad (5)$$

где θ_1 и D_1 — температура и влагосодержание теплоносителя при входе в секцию;
 e — основание натуральных логарифмов.

Вспомогательные величины k и A вычисляются по формулам:

$$k = \frac{\alpha n}{9000 \gamma_m v_m \delta}; \quad A = \frac{\beta m}{4,28 \beta \gamma_m v_m \delta},$$

где γ_m — удельный вес теплоносителя при состоянии на входе в секцию в кг/м³;
 v_m — действительная скорость движения теплоносителя (при состоянии на входе в секцию) в зерновой массе в м/сек;
 δ — коэффициент скважистости зерновой массы.

Связь между скоростями движения и расходами зерна и теплоносителя в секции:

$$F = \frac{G_3}{3600 \gamma_3 v_3} = \frac{G_m}{3600 \gamma_m v_m \delta}, \quad (5')$$

где F — расчетная площадь горизонтального сечения сушилки, вычисляемая как произведение геометрической площади на коэффициент загромождения сечения коробами, составляющий $\sim 0,8$.

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{G_m}{13,6 G_3} \left[(p_{n1} - 1,13 D_1) (1 - e^{-Al}) + \frac{dp_{n1}}{dt} \left(1 - \frac{1 - e^{-Al}}{Al}\right) (t_2 - t_1) \right], \quad (6)$$

где ω_1 и ω_2 — относительная влажность зерна на входе и на выходе из секции.

$$D_2 - D_1 = \frac{12,05 G_3}{G_m} (\omega_1 - \omega_2), \quad (7)$$

где D_1 и D_2 — влагосодержание теплоносителя на входе и на выходе из секции.

$$\theta_1 - \theta_2 = (\theta_1 - t_1) (1 - e^{-kl}) - \left(\frac{e^{-kl}}{kl} + 1 - \frac{1}{kl} \right) (t_2 - t_1), \quad (8)$$

где θ_2 — температура теплоносителя на выходе из секции.

Для противотока:

$$t_2 - t_1 = \frac{\theta_1 - t_1 - (\theta_1 - t_1) e^{-kl} - 2,125 (1 - e^{-Al}) (p_{n1} - 1,13 D_1)}{\frac{G_3 c_3}{G_m \cdot 0,25} + 2,125 (1 - e^{-Al}) \frac{dp_{n1}}{dt} \left(\frac{1 - e^{-Al}}{Al} - \frac{1}{e^{Al}} \right) - e^{-kl} - \frac{e^{-kl}}{kl} + \frac{1}{kl}}, \quad (9)$$

Величина $(D_2 - D_1)$ вычисляется по формуле (7).

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{G_m}{13,6G_s} \left[(p_{н1} - 1,13D_1)(1 - e^{-Al}) + \frac{dp_{н1}}{dt} \left(\frac{1 - e^{-Al}}{Al} - \frac{1}{e^{Al}} \right) (t_2 - t_1) \right]; \quad (10)$$

$$\theta_1 - \theta_2 = (\theta_1 - t_1)(1 - e^{-kl}) + \left(e^{-kl} + \frac{e^{-kl}}{kl} - \frac{1}{kl} \right) (t_2 - t_1), \quad (11)$$

Расчет сушилки по секциям заключается в следующем:

а) Должны быть заданы:

параметры зерна при входе в горячую камеру: t_0, ω_0 ;

характеристики зерна: $c_s, \delta, \gamma_s, \beta \cdot m, a \cdot n$;

характеристики теплоносителя: $\theta_1, D_1, G_m, \gamma_m, b, \theta_0, D_0$,

где θ_0 и D_0 — температура и влагосодержание окружающего воздуха;

размеры сушилки — l ;

производительность сушилки — G_s .

б) При проектировании сушилки задается величина v_m и требуемое снижение влажности зерна в сушилке — $(\omega_0 - \omega_c)$:

$$(\omega_0 - \omega_c) = (\omega_0 - \omega_2) + (\omega_2 - \omega_c),$$

где $(\omega_0 - \omega_2)$ — снижение влажности зерна в горячей камере;

$(\omega_2 - \omega_c)$ — снижение влажности зерна в холодной камере.

При проверке существующей сушилки задается величина F , число секций горячей камеры z_2 и число секций холодной камеры z_x .

Для проектируемой сушилки требуемое значение F определяется по формуле (5').

в) Производятся вычисления по формулам (5—11), в результате которых для проектируемой сушилки выясняется необходимое число секций z_2 и z_x и получаемая максимальная (на выходе из горячей камеры) температура зерна t_{max} . При разбивке сушилки на горячую и холодную камеры следует иметь в виду, что обычно $(\omega_2 - \omega_c) \cong 1\%$.

При проверке существующей сушилки в результате расчетов по формулам (5—11) выясняются достигаемые в сушилке значения величин $(\omega_0 - \omega_c)$, t_{max} .

Численные расчеты показывают, что при $l > 0,05$ м величины e^{-kl} и $\frac{1}{kl}$ получаются весьма малыми и потому ими можно без заметного ущерба для точности расчетов пренебрегать.

При $e^{-kl} \approx \frac{1}{kl} \approx 0$ расчеты по формулам (5—11) делаются менее громоздкими, а также становится возможным при проектировании сушилки назначать величину t_{max} и не задавать величину l , а определять ее из условия обеспечения требуемого значения t_{max} .

Из формул (5) и (9) видно, что по мере прохождения зерном горячей камеры температура его повышается, причем приращение

температуры в секциях по мере продвижения зерна уменьшается, стремясь к нулю, а температура зерна приближается к некоторому пределу T_2 . Обычно максимальная температура зерна t_{max} получается близкой к этому пределу. Полагая $t_{max} \cong T_2$, можно вычислить необходимую высоту секции по формуле:

$$l = \frac{1}{A} \ln \frac{1}{1 - \frac{\theta_1 - t_{max}}{2,125(p_{нmax} - 1,13D_1)}}, \quad (12)$$

где $p_{нmax}$ — давление насыщенного пара в мм рт. ст., соответствующее температуре t_{max} .

Из формулы (12) видно, что чем меньше t_{max} , тем больше l , причем каждому значению θ_1 соответствует некоторое минимальное значение t_{max} , меньше которого получить в сушилке невозможно.

Расчет сушилки по секциям можно значительно упростить следующим образом.

Интегрируем приближенно уравнения (1—4), полагая $kl = \infty$ и во всех уравнениях, кроме (3):

$$t \cong \text{const} = t_{cp} = \frac{t_1 + t_2}{2}.$$

Получим следующие общие для прямотока и противотока расчетные формулы для одной секции:

$$t_2 - t_1 = \frac{G_m \cdot 0,25}{G_s c_s} [\theta_1 - t_{cp} - 2,125(1 - e^{-Al})(p_{нcp} - 1,13D_1)], \quad (13)$$

где

$$p_{нcp} = 0,04t_{cp}^2 - 0,25t_{cp} + 7.$$

Уравнение (13) можно решить относительно $(t_2 - t_1)$ подбором или как квадратное уравнение:

$$\omega_1 - \omega_2 = \frac{G_m}{13,6G_s} (p_{нcp} - 1,13D_1)(1 - e^{-Al}). \quad (14)$$

Величина $(D_2 - D_1)$ вычисляется по формуле (7):

$$\theta_2 = t_{cp}. \quad (15)$$

РАСЧЕТ СУШИЛКИ ПО КАМЕРАМ

Расчет сушилки по секциям является довольно громоздким и трудоемким. Поэтому составим на основе формул (13—15) схему приближенного расчета сушилки, по которому нет необходимости вычислять изменения параметров зерна и теплоносителя в каждой секции, а можно вычислить эти изменения с помощью одной формулы для всей горячей (или холодной) камеры в целом.

Обозначим через x расстояние, пройденное зерном от входа в горячую (или холодную) камеру до данной точки, в метрах.

Исходя из уравнения (13) для одной секции, можно составить следующее приближенное дифференциальное уравнение кривой температуры зерна для всей горячей камеры:

$$\frac{dt}{dx} \cong \frac{t_2 - t_1}{l} \cong g [\theta_1 - t - 2,125(1 - e^{-At})(0,04t^2 - 0,25t + 7 - 1,13D_1)],$$

где

$$g = \frac{G_m \cdot 0,25}{G_s c_s l}.$$

В результате интегрирования этого дифференциального уравнения получим следующее уравнение кривой температуры зерна в горячей камере:

$$t = \frac{Me^{2Bgx} - N}{Pe^{2Bgx} + S}, \quad (16)$$

или

$$x = \frac{1}{2Bg} \ln \frac{St + N}{M - Pt}, \quad (17)$$

где

$$S = 0,085(1 - e^{-At});$$

$$B = \sqrt{(3,13S - 0,5)^2 + S[\theta_1 + 2,125(1 - e^{-At})(1,13D_1 - 7)]};$$

$$M = \frac{B + S(t_0 - 3,13) + 0,5}{B - S(t_0 - 3,13) - 0,5} (B + 3,13S - 0,5);$$

$$N = B - 3,13S + 0,5; \quad P = M \frac{S}{B + 3,13S - 0,5}.$$

Предел, к которому стремится температура зерна, вычисляется по формуле:

$$\lim_{x \rightarrow \infty} t = T = \frac{M}{P} = \frac{B + 3,13S - 0,5}{S}, \quad (18)$$

Формулы (16—18) справедливы и для холодной камеры при условии, если в них вместо величин θ_1 , D_1 , t_0 подставить величины θ_0 , D_0 , t_{\max} .

Тепловой баланс одной секции, исходя из формул (3) и (15), можно записать следующим образом:

$$\theta_1 - t_{cp} = \frac{1}{gl} \left[t_2 - t_1 + \frac{7,23}{c_s} (\omega_1 - \omega_2) \right].$$

Записав тепловые балансы для z секций горячей камеры, начиная с первой секции, и сложив соответственно левые и правые части, получим:

$$z\theta_1 - \sum_1^z t_{cp} = \frac{1}{gl} \left[t - t_0 + \frac{7,23}{c_s} (\omega_0 - \omega) \right]. \quad (19)$$

Вычислим приближенно сумму $\sum_1^z t_{cp}$:

$$\sum_1^z t_{cp} = \frac{1}{l} \sum_1^z t_{cp} l \cong \frac{1}{l} \int_0^x t dx.$$

Исходя из формулы (16), получим:

$$\int_0^x t dx = \frac{1}{2Bg} \left(T + \frac{N}{S} \right) \ln \frac{Pe^{2Bgx} + S}{P + S} - \frac{N}{S} x. \quad (20)$$

Преобразуя уравнение (19), получим следующее уравнение кривой сушки в горячей камере:

$$\omega = \omega_0 - \frac{c_s}{7,23} \left(g\theta_1 x - g \int_0^x t dx - t + t_0 \right). \quad (21)$$

Аналогично для холодной камеры:

$$\omega = \omega_2 - \frac{c_s}{7,23} \left(g\theta_0 x - g \int_0^x t dx - t + t_{\max} \right). \quad (22)$$

При больших x и t , близких к T (на выходе из камеры), уравнения (21) и (22) можно приближенно решить относительно x .

Для горячей камеры:

$$x_2 \cong \frac{\frac{7,23}{c_s} (\omega_0 - \omega_2) + \frac{T_2 + \frac{N_2}{S_2}}{2B_2} \ln \frac{P_2}{P_2 + S_2} + t_{\max} - t_0}{g_2 (\theta_1 - T_2)}. \quad (23)$$

Для холодной камеры:

$$x_x = \frac{\frac{7,23}{c_s} (\omega_x - \omega_0) + \frac{T_x + \frac{N_x}{S_x}}{2B_x} \ln \frac{P_x}{P_x + S_x} + t_{\max} - t_{\max}}{g_x (\theta_0 - T_x)}, \quad (24)$$

где t_{\max} — температура зерна на выходе из холодной камеры; индексы g и x при всех величинах в формулах (23) и (24) относятся соответственно к горячей и холодной камерам.

С помощью формул (16—24) можно более широко, чем при расчете по секциям, решать задачи расчета проектируемой и существующей сушилки. В отличие от задания, выдаваемого на проектирование сушилки при расчете ее по секциям, величина G_m при расчете сушилки по камерам не задается. Требуемый полный

Таблица 2

Марка сушилки	ВИСХОМ-1	ТТИ-8
Задание	$\theta_1=100^\circ\text{C}; G_{m_2}=G_{m_x}=$ $=300 \text{ кг/час};$ $l_2=l_x=0,2 \text{ м}; F=1 \text{ м}^2;$ $z_2=10; z_x=2; G_2=$ $=1000 \text{ кг/час}$	$\theta_1=100^\circ\text{C}; G_{m_2}=G_{m_x}=$ $=1000 \text{ кг/час};$ $l_2=l_x=0,25 \text{ м}; F=2,5 \text{ м}^2;$ $z_2=25; z_x=11;$ $G_2=8000 \text{ кг/час}$
Уравнение кривой температуры зерна	$t = \frac{4,41 \cdot e^{3,33x} - 2,685}{0,1187 \cdot e^{3,33x} + 0,0544}$	$t = \frac{4,4 \cdot e^{1,11x} - 2,681}{0,1179 \cdot e^{1,11x} + 0,054}$
T_2 °C	37,2	37,4
t_{\max} °C	~37,2	~37,4
Уравнение кривой сушки	$w_0 - w = 0,0733 \cdot [105,8x -$ $-18,4 \cdot \ln(0,684 \cdot e^{3,33x} +$ $+0,316) - t + 10]$	$w_0 - w = 0,0733 \cdot [35,4 \cdot x -$ $-18,5 \cdot \ln(0,686 \cdot e^{1,11x} +$ $+0,314) - t + 10]$
Снижение влажности зерна в камере ($w_0 - w_c$) %	5,05	5,29
Уравнение кривой температуры зерна	$t = \frac{-0,876 \cdot e^{1,075x} - 1,118}{-0,098 \cdot e^{1,075x} + 0,0446}$	$t = \frac{-0,95 \cdot e^{0,376x} - 1,132}{-0,108 \cdot e^{0,376x} + 0,0523}$
T_x °C	8,95	8,8
$t_{\text{вых}}$ °C	23,3	15,2
Уравнение кривой сушки	$w_2 - w = 0,0733 \cdot [24,8x -$ $-22,4 \cdot \ln(1,836 \cdot e^{1,075x} -$ $-0,836) - t + 37,2]$	$w_2 - w = 0,0733 \cdot [7,47x -$ $-19,15 \cdot \ln(1,94 \cdot e^{0,376x} -$ $-0,94) - t + 37,4]$
Снижение влажности зерна в камере ($w_2 - w_c$) %	0,625	0,98
Снижение влажности зерна в сушилке ($w_0 - w_c$) %	5,675	6,27

Из табл. 2 видно, что результаты расчета по величинам ($w_0 - w_c$) и t_{\max} в достаточной мере согласуются с паспортными данными сушилок.

На рис. 3 и 4 приведены кривые температуры и сушки зерна, построенные по уравнениям из табл. 2.

Из формул (21) и (22) следует, что при фиксированных полном расходе ($z \cdot G_m$) и входной температуре (θ_1) теплоносителя производительность сушилки и снижение в ней влажности зерна будут тем больше, чем меньше максимальная и средняя планиметрическая $\left(\frac{1}{x} \int_0^x t \cdot dx\right)$ температуры зерна в сушилке.

Этот вывод кажется парадоксальным, ибо из уравнения (1) видно, что чем выше температура зерна, тем выше скорость сушки.

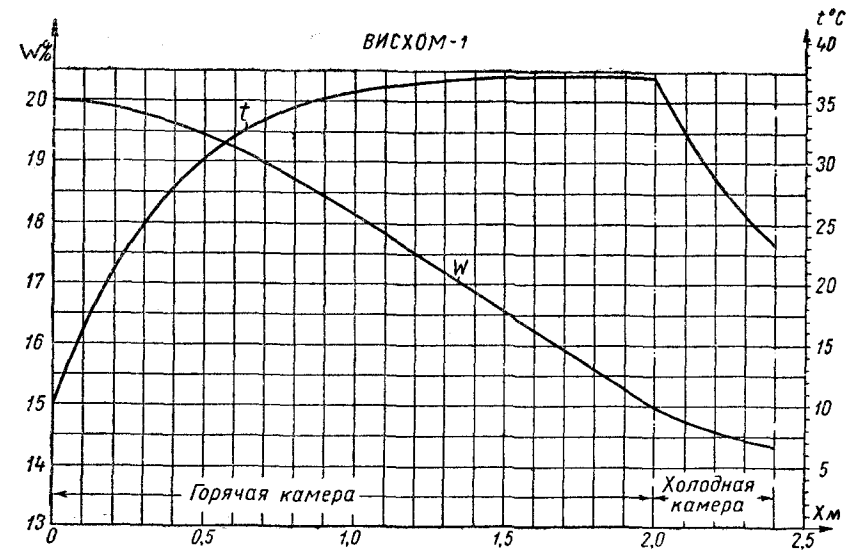


Рис. 3

Объясняется этот вывод тем, что средняя (после смешения) температура теплоносителя на выходе из всех секций примерно равна средней планиметрической температуре зерна в сушилке. При таком положении, чем меньше средняя планиметрическая температура зерна, тем большая доля тепла передается зерну, и тем меньшая доля тепла уносится теплоносителем при выходе из сушилки. Если при этом уменьшается также максимальная температура зерна, то обязательно увеличивается доля тепла теплоносителя, расходуемая на испарение влаги.

Для иллюстрации этого положения произведем примерные расчеты процесса сушки в сушилке ВТИ-8, конструкция которой изменена для понижения температуры зерна, а именно: в 2 раза увеличена величина F . Результаты расчетов сведены в табл. 3.

Таблица 3

Марка сушилки	ВТИ-8 с увеличенной площадью F	ВТИ-8 с увеличенной площадью F
Задание	$\theta_1=100^\circ\text{C}; G_{m_2}=G_{m_x}=1000 \text{ кг/час}; l_2=l_x=0,25 \text{ м}; F=5 \text{ м}^2; z_2=25; z_x=11; G_s=8000 \text{ кг/час}$	$\theta_1=100^\circ\text{C}; G_{m_2}=G_{m_x}=1000 \text{ кг/час}; l_2=l_x=0,25 \text{ м}; F=5 \text{ м}^2; z_2=25; z_x=11; G_s=8600 \text{ кг/час}$
Уравнение кривой температуры зерна	$t = \frac{5,21 \cdot e^{1,266x} - 2,957}{0,1546 \cdot e^{1,266x} + 0,0712}$	$t = \frac{5,21 \cdot e^{1,18x} - 2,957}{0,1546 \cdot e^{1,18x} + 0,0712}$
$T, ^\circ\text{C}$	33,7	33,7
$t_{\max}, ^\circ\text{C}$	~33,7	~33,7
Уравнение кривой сушки	$w_0 - w = 0,0733 \cdot [33,4x - 14,05 \cdot \ln(0,685 \cdot e^{1,266x} + 0,315) - t + 10]$	$w_0 - w = 0,0733 \cdot [31,1x - 14,05 \cdot \ln(0,685 \cdot e^{1,18x} + 0,315) - t + 10]$
$(w_0 - w_2) \%$	5,82	5,3
Уравнение кривой температуры зерна	$t = \frac{-1,211 \cdot e^{0,418x} - 1,164}{-0,1411 \cdot e^{0,418x} + 0,0706}$	$t = \frac{-1,211 \cdot e^{0,39x} - 1,164}{-0,1411 \cdot e^{0,39x} + 0,0706}$
$T_x, ^\circ\text{C}$	8,6	8,6
$t_{\text{вых}}, ^\circ\text{C}$	13,3	13,76
Уравнение кривой сушки	$w_2 - w = 0,0733 \cdot [6,26x - 14,17 \cdot \ln(2e^{0,418x} - 1) - t + 33,7]$	$w_2 - w = 0,0733 \cdot [5,83x - 14,17 \cdot \ln(2e^{0,39x} - 1) - t + 33,7]$
$(w_2 - w_c) \%$	1,025	0,995
$(w_0 - w_c) \%$	6,845	6,295

Сравнивая между собой данные табл. 2 и 3, можно видеть, что уменьшение v_m при всех прочих равных условиях действительно приводит к снижению t_{\max} и к увеличению $(w_0 - w_c)$ или G_s (или той и другой величины одновременно), т. е. позволяет снизить расход тепла на снижение влажности 1 т зерна на 1%.

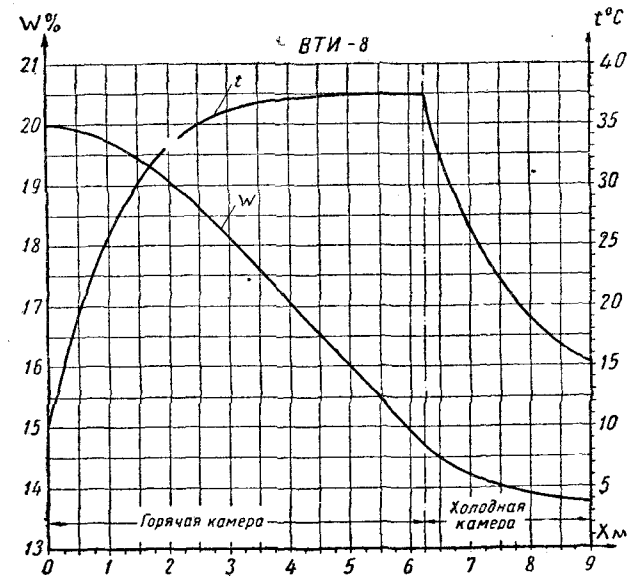


Рис. 4

ВЫВОДЫ

1. Разработанный метод приближенного расчета кинетики сушки зерна по камерам в шахтных зерносушилках достаточно прост для практических расчетов и дает результаты, удовлетворительно совпадающие с опытными данными.

2. Результаты расчетов указывают на то, что положенные в основу метода допущения в некоторых пределах достаточно верно отражают действительные закономерности сушки зерна. Полученные кривые температуры и сушки зерна являются асимптотическими — температура зерна и скорость сушки стремятся к определенным пределам, возрастая в горячей камере и убывая в холодной камере.

3. Как известно, скорость сушки в горячей камере убывает после достижения зерном определенного значения влажности. Предлагаемый метод применим при влажностях зерна выше этого значения (13—14%). Имеющее место снижение скорости сушки при малой влажности зерна, очевидно, связано с уменьшением величины $\beta \cdot m$, которая принималась постоянной.

4. Основные зависимости при сушке зерна в шахтной сушилке: производительность сушилки и снижение влажности зерна в сушилке тем больше, чем больше полный расход и температура теплоносителя при входе в сушилку и чем меньше максимальная

и средняя планиметрическая $\left(\frac{1}{x} \int_0^x t \cdot dx\right)$ температуры зерна

в сушилке. Максимальная и средняя планиметрическая температуры зерна в сушилке тем меньше, чем меньше скорость теплоносителя v_m и чем больше высота секции l .

Повысить производительность существующей сушилки и увеличить снижение влажности зерна в ней без изменения ее конструкции можно только путем повышения расхода и температуры теплоносителя при входе в сушилку. Это сопровождается также повышением температуры зерна.

5. Пользуясь изложенным в настоящей статье методом, можно обосновать выбор рациональных размеров и режима работы шахтной сушилки с точки зрения уменьшения удельного расхода тепла на сушку и габаритов сушилки, что предполагается автором изложить в последующих статьях.

6. Для дальнейшего развития изложенного метода необходимы экспериментальные данные по характеристикам зерна различных культур, и в частности по величине $\beta \cdot m$ при различных условиях сушки.

В. М. ДАЦКОВСКИЙ,
канд. технических наук, доцент

РАСЧЕТ КИНЕТИКИ СУШКИ ЗЕРНА

В настоящей статье излагается метод расчета изменения во времени параметров зерна и теплоносителя при продувании последним движущегося или неподвижного слоя зерна.

ОСНОВНЫЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

В основу расчета изменения параметров зерна и теплоносителя необходимо положить некоторую гипотезу о протекании процессов влагообмена и теплообмена между зерном и теплоносителем, так как в настоящее время отсутствуют полные данные о механизме этих процессов.

В излагаемом методе расчета ставится задача осветить в первом приближении лишь основные закономерности процессов, ввиду чего в основу метода положены упрощенные схемы процессов. Допустимость и целесообразность этих упрощений должны быть проверены сравнением результатов расчетов, полученных по этому методу, с данными опыта.

При расчетах принимаем следующие допущения:

1. Режим работы сушилки — установившийся, при котором в случае движущегося зерна параметры зерна и теплоносителя в каждой точке пространства неизменны во времени, а в случае неподвижного зерна не меняются во времени только параметры теплоносителя при входе в сушилку.

2. Полагаем, что скорость движения зерна (теплоносителя) одинакова во всех точках сечения сушилки.

3. Между отдельными слоями теплоносителя влагообмен и теплообмен отсутствуют. То же касается и зерна.

4. Потери тепла в окружающую среду при расчете параметров зерна и теплоносителя не учитываются. Они могут быть учтены отдельно при расчете расхода тепла на сушку.

5. Процессы влагообмена и теплообмена между зерном и теплоносителем (влажным воздухом) происходят по следующим схемам:

а) Выделение влаги из зерна подчиняется закону испарения со свободной поверхности, за которую принимается определенная (постоянная для данной культуры) часть всей наружной поверхности зерна.

б) Зерно воспринимает (или отдает) тепло от теплоносителя путем конвекции через некоторую постоянную для данной культуры часть наружной поверхности, причем нагревание (или охлаждение) зерна происходит таким образом, что в каждый момент времени сухое вещество и влага, заключенные в зерне, имеют общую температуру, одинаковую во всех точках зерна.

в) Одновременно с нагреванием (или охлаждением) зерна происходит переход выделяемой из зерна влаги из жидкого состояния в парообразное.

Для некоторого обоснования принятых схем процессов влагообмена и теплообмена можно привести следующие соображения:

а) В существующих сушилках большая часть удаленной из зерна влаги относится к свободной; это позволяет применять для расчета сушилок закон испарения со свободной поверхности.

б) Влага зерна содержится в его многочисленных порах и каналах, общая поверхность которых относительно велика; это должно способствовать быстрому уравниванию температур сухого вещества и влаги при нагревании (или охлаждении) зерна.

в) В теплообмене и влагообмене участвует часть наружной поверхности зерен, так как в слое зерна соприкасаются друг с другом не по точкам, а по площадям, вследствие чего часть их поверхности не соприкасается с теплоносителем.

Из соприкасающейся с теплоносителем поверхности зерна, только часть ее может участвовать во влагообмене. Основанные на опытах указания о неравенстве поверхности испарения и поверхности нагрева при сушке зерна имеются в литературе¹.

ВЫВОД РАСЧЕТНЫХ ФОРМУЛ

Введем обозначения:

- G_z — весовой расход зерна в сушилке (производительность сушилки) в $кг/час$;
- γ_z — насыпной вес зерна (натура) в $кг/м^3$;
- ϑ — отношение объема зерновой массы к суммарной наружной поверхности всех зерен, заключенных в этом объеме, в $м$;
- c_z — теплоемкость зерна в $\frac{ккал}{кг\ град}$;
- v_z — скорость движения зерна в $м/сек$;
- τ — время движения зерна от входа в сушилку до данной точки в часах;
- m — доля от наружной поверхности зерна, с которой происходит выделение влаги по закону испарения со свободной поверхности;
- n — доля от наружной поверхности зерна, воспринимающая тепло от теплоносителя;
- G_m — весовой расход теплоносителя в $кг/час$;
- c_m — теплоемкость теплоносителя при постоянном давлении в $\frac{ккал}{кг\ град}$,

- b — абсолютное давление теплоносителя в $мм\ рт.\ ст.$;
 - p_n — парциальное давление пара в теплоносителе в $мм\ рт.\ ст.$;
 - p_n — давление насыщенного пара при температуре зерна в $мм\ рт.\ ст.$;
 - c_n — теплоемкость перегретого пара при давлении p_n в $\frac{ккал}{кг\ град}$;
 - β — коэффициент испарения со свободной поверхности в $\frac{м^2\ час\ мм\ рт.\ ст.}{г}$;
 - α — коэффициент теплоотдачи от теплоносителя к зерну при продувании зерновой массы в $\frac{ккал}{м^2\ час\ град}$.
 - r — скрытая теплота парообразования при температуре зерна в $ккал/кг$.
- Все линейные размеры в дальнейшем берутся в метрах.
 Параметры зерна и теплоносителя, определяющие их состояние;
 w — относительная влажность зерна в %;
 t_z — температура зерна в $^{\circ}C$;
 D — влагосодержание теплоносителя в $г/кг$;
 t_m — температура теплоносителя в $^{\circ}C$.

При расчете кинетики сушки рассмотрим плоскую задачу (движение зерна и теплоносителя совершается параллельно одной плоскости) для двух случаев:

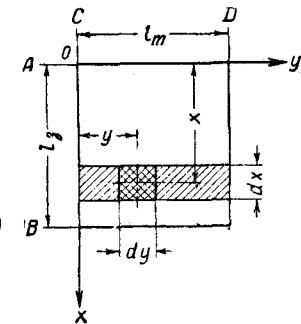
1) Движение зерна и теплоносителя во взаимно параллельных направлениях (прямоток или противоток).

2) Движение зерна и теплоносителя во взаимно перпендикулярных направлениях (перекрестный ток).

1. *Прямоток или противоток.* В сушильной (или охлаждающей) камере, имеющей форму прямоугольного параллелепипеда (см. рисунок), зерновая масса и теплоноситель движутся параллельно оси x . В случае прямотока зерно и теплоноситель движутся от плоскости A к плоскости B . В случае противотока зерно движется от плоскости A к плоскости B , а теплоноситель — в противоположном направлении. Параметры зерна и теплоносителя в точках плоскостей, перпендикулярных к направлению их движения, полагаем соответственно одинаковыми. Параметры зерна и теплоносителя в плоскостях A и B снабжены соответствующими индексами (w_A, t_{zA}, D_A, t_{mA} и w_B, t_{zB}, D_B, t_{mB}).

Выделим в камере элемент длиной l_m и высотой dx . Запишем дифференциальные уравнения процессов влагообмена и теплообмена, происходящих в этом элементе, с учетом условий установившегося режима.

Эти уравнения могут быть составлены на основании следующих положений:



Расчетная схема сушильной камеры

¹ А. В. Лыков и Л. Я. Ауэрман. Теория сушки капиллярно-пористых и коллоидных материалов пищевой промышленности. Пищепромиздат, 1946.

а) Количество влаги, выделившееся из некоторого объема зерновой массы за время прохождения ее через рассматриваемый элемент, определяется по закону испарения со свободной поверхности:

$$\gamma_s \frac{dw}{100-w} = - \frac{0,001 \beta m 760}{\delta b 3600 v_s} (p_n - p_n) dx; \quad (1)$$

правая часть уравнения (1) взята со знаком минус, так как при сушке всегда $(p_n - p_n) > 0$, а $dw < 0$.

б) Влага, выделившаяся из зерна, прошедшего за некоторый промежуток времени через элемент, расходуется на увеличение влагосодержания теплоносителя, прошедшего через элемент за то же время:

$$\frac{dw}{100-w} = \mp \frac{G_m}{G_s} \frac{dD}{1000}; \quad (2)$$

в) Тепло, выделившееся из теплоносителя, прошедшего через элемент за некоторый промежуток времени, расходуется на нагрев зерна, прошедшего через элемент за это же время, на испарение выделившейся из этого зерна влаги и на перегрев полученных паров до температуры теплоносителя:

$$\mp G_m c_m dt_m = G_s \left\{ c_s dt_s - \frac{dw}{100-w} [r + c_n (t_m - t_s)] \right\}. \quad (3)$$

Уравнение (3) остается в силе и для случая охлаждения зерна, но трактуется тогда следующим образом: тепло, выделившееся из зерна, прошедшего через элемент за некоторое время, а также тепло, выделившееся из пара, полученного из этого зерна, расходуется на испарение выделившейся из этого зерна влаги и нагрев теплоносителя, прошедшего через элемент за это же время.

г) Тепло, выделившееся из теплоносителя, прошедшего через элемент за некоторое время, передается за это время путем конвекции всему зерну, содержащемуся в элементе, через n -ю часть наружной поверхности зерна:

$$G_m c_m dt_m = \mp \frac{G_s a n}{\delta \gamma_s 3600 v_s} (t_m - t_s). \quad (4)$$

В случае охлаждения зерна уравнение (4) без всяких изменений в нем трактуется следующим образом: тепло, полученное теплоносителем, прошедшим через элемент за некоторое время, передано за это время от всего зерна, содержащегося в элементе, через долю n наружной поверхности зерна путем конвекции. В уравнениях с двойным знаком знак минус относится к случаю прямого тока, а знак плюс — к случаю противотока¹.

Для приближенного интегрирования полученной системы дифференциальных уравнений сделаем следующие допущения:

¹ Все параметры рассматриваются как функции от x , причем полагаем всегда $dx > 0$.

1) Полагаем разность $(100-w)$, входящую в уравнения, постоянной:

$$100-w \cong 83.$$

2) Уменьшение G_s и увеличение G_m в процессе сушки не учитываются. Величины G_s и G_m рассматриваются как средние значения.

3) Величины b , γ_s , c_s , c_m , r , учитывая их небольшие изменения в процессе сушки, полагаем постоянными (в расчет берутся средние значения). Ввиду постоянства G_s и γ_s величина v_s также является постоянной.

4) Зависимость p_n от t_s выразим приближенно линейной функцией с различными коэффициентами в разных интервалах изменения t_s : $p_n = a \cdot t_s + c$ мм рт. ст., где

t_s °C	От 0 до 20	От 20 до 40	От 40 до 60	От 60 до 70	От 70 до 80	От 80 до 90
a	+0,6	+1,75	+4,45	+8,5	+12	+17
c	+4,5	-18	-124	-361	-606	-1006

Более универсальной и точной (в интервале от $t_s = 0^\circ$ до $t_s = 90^\circ$) является предлагаемая эмпирическая формула:

$$p_n = 0,506 \cdot 2,08 \sqrt{t_s} + 3,9 \text{ мм рт. ст.},$$

но при пользовании этой формулой вычисления несколько усложняются.

5) Примем следующую зависимость p_n от D , которую можно получить из диаграммы Рамзина для влажного воздуха при $D < 50$ г/кг:

$$p_n = 1,137 D \text{ мм рт. ст.}$$

6) Полагаем тепло, расходуемое на перегрев 1 кг пара, постоянным и равным среднему значению:

$$c_n \cdot (t_m - t_s) \cong 35 \text{ ккал/кг.}$$

Это допущение равносильно определению величины r с погрешностью 4—6%, так как среднее значение величины r составляет:

$$r = 560 \text{ ккал/кг.}$$

7) В промышленных сушилках высота одной секции l_s (расстояние от плоскости A до плоскости B , на рисунке — длина пути теплоносителя от входа до выхода из камеры) оказывается малой и температура зерна t_s по этой высоте изменяется незначительно. Изменением температуры зерна нельзя пренебрегать в тепловом

балансе, ибо количество тепла, расходуемого на нагрев зерна, соизмеримо с количеством тепла, расходуемого на испарение влаги. Но при вычислении параметров, зависящих от температуры зерна, без большой погрешности можно пренебречь изменением этой температуры в одной секции.

Исходя из этих соображений, полагаем в уравнениях (1), (2) и (4) величину t_3 постоянной и равной среднему значению в секции: t_3^{cp} .

Примем следующие обозначения:

$$\frac{\beta m}{57,1 \gamma_s v_s \vartheta b} = h; \quad \frac{G_m}{G_s} = f; \quad r + 35 = r'; \quad \frac{c_m}{c_s} = g;$$

$$\frac{G_s \alpha n}{3600 v_s \gamma_s \vartheta G_m c_m} = k.$$

С учетом перечисленных семи допущений, система дифференциальных уравнений получает следующий вид:

$$d\omega = -h(p_n - 1,137 D) dx; \quad (5)$$

$$d\omega = \mp \frac{f}{12,05} dD; \quad (6)$$

$$\mp dt_m = \frac{dt_3}{fg} - \frac{r'}{83 c_m f} d\omega; \quad (7)$$

$$dt_m = \mp k(t_m - t_3^{cp}) dx. \quad (8)$$

В уравнениях, имеющих двойной знак, минус относится к прямотоку, а плюс — к противотоку.

Интегрируем эту систему дифференциальных уравнений. Подставляя выражение для $d\omega$ из уравнения (6) в уравнение (5), получаем:

В случае прямотока:

$$\frac{dD}{dx} + AD - \frac{12,05 h}{f} p_n = 0, \quad (9)$$

где

$$A = \frac{13,7 h}{f}.$$

В случае противотока:

$$\frac{dD}{dx} - AD + \frac{12,05 h}{f} p_n = 0. \quad (10)$$

В результате интегрирования уравнений (9) и (10) получим:

Для прямотока:

$$D = \frac{p_n}{1,137} - \left(\frac{p_n}{1,137} - D_A \right) e^{-Ax}. \quad (11)$$

где e — основание натуральных логарифмов.

Для противотока:

$$D = \frac{p_n}{1,137} - \left(\frac{p_n}{1,137} - D_B \right) e^{-A(t_3 - x)}. \quad (12)$$

В результате интегрирования уравнения (6) получим:

Для прямотока:

$$\omega = \omega_A - \frac{f}{12,05} (D - D_A). \quad (13)$$

Для противотока:

$$\omega = \omega_A - \frac{f}{12,05} (D_A - D). \quad (14)$$

Подставляя в уравнение (5) выражение для D , взятое из формул (11) и (12), получим следующие дифференциальные уравнения кривых сушки зерна.

Для прямотока:

$$\frac{d\omega}{dx} = -h(p_n - 1,137 D_A) e^{-Ax}. \quad (15)$$

Для противотока:

$$\frac{d\omega}{dx} = -h(p_n - 1,137 D_B) e^{-A(t_3 - x)}. \quad (16)$$

Скорость сушки:

$$\frac{d\omega}{d\tau} = 3600 \cdot v_s \frac{d\omega}{dx}. \quad (17)$$

В результате интегрирования уравнения (8) получим:

Для прямотока:

$$t_m = t_3^{cp} + (t_{m_A} - t_3^{cp}) e^{-kx}; \quad (18)$$

Для противотока:

$$t_m = t_3^{cp} + (t_{m_B} - t_3^{cp}) e^{-k(t_3 - x)}. \quad (19)$$

Подставляя в уравнение (7) выражение для dt_m , полученное дифференцированием уравнений (18) и (19), и выражение для $d\omega$ из формул (15) и (16) и интегрируя его, получаем:

Для прямотока:

$$t_3 = t_{3_A} + fg(t_{m_A} - t_3^{cp})(1 - e^{-kx}) - \frac{B}{A}(1 - e^{-Ax}), \quad (20)$$

где

$$B = \frac{gr'h(p_n - 1,137 D_A)}{83 c_m}.$$

Для противотока:

$$t_3 = t_{3_A} + fg(t_{m_B} - t_3^{cp})e^{-k(t_3 - x)}(e^{kx} - 1) - \frac{B^1}{A}e^{-At_3}(e^{Ax} - 1), \quad (21)$$

где

$$B^1 = \frac{gr'h(p_n - 1,137 D_B)}{83 c_m}.$$

При пользовании этими расчетными формулами необходимо предварительно задаться значением t_3^{cp} . После определения t_3 и t_{3A} вычисляется величина:

$$\frac{t_{3A} + t_{3B}}{2}.$$

Если эта величина существенно отличается от принятого значения t_3^{cp} , то расчет необходимо повторить, скорректировав значение t_3^{cp} .

Проверкой правильности расчета сушилки с прямотоком или противотоком является справедливость уравнений балансов влаги и тепла для всей сушилки:

$$\pm G_s \frac{w_A - w_B}{83} = G_m \frac{D_B - D_A}{1000}; \quad (22)$$

$$\pm G_m c_m (t_{m_A} - t_{m_B}) = G_s \left[c_s (t_{3B} - t_{3A}) + \frac{(w_A - w_B) r'}{83} \right]. \quad (23)$$

Знак плюс перед левой частью уравнений (22) и (23) ставится в случае прямотока, а знак минус — в случае противотока.

Изложенный метод расчета кинетики сушки при прямотоке и противотоке можно применять для расчета шахтных сушилок, рассматривая последние состоящими из ряда прямоточных и противоточных секций.

2. Перекрестный ток. В сушильной или охлаждающей камере (см. рисунок) зерновая масса и теплоноситель движутся, заполняя каждый равномерно объем камеры. Зерно движется параллельно оси x от плоскости A к плоскости B . Теплоноситель движется параллельно оси y от плоскости C к плоскости D . Камера имеет форму прямоугольного параллелепипеда. Параметры зерна в точках плоскости A и параметры теплоносителя в точках плоскости C соответственно одинаковы и обозначены: w_A, t_{3A}, D_C, t_{mC} .

Выделим элемент пространства камеры с ребрами dx и dy и запишем для этого элемента дифференциальные уравнения процессов влагообмена и теплообмена, исходя из тех же положений, что и для прямотока и противотока:

$$\gamma_s \frac{\frac{\partial w}{\partial x} dx + \frac{\partial w}{\partial y} dy}{100 - w} = -0,001 \beta m (p_n - p_n) \frac{760}{b} \frac{1}{\vartheta} \frac{dx}{3600 v_s}; \quad (26)$$

$$G_s \frac{dy}{l_m} \frac{\frac{\partial w}{\partial x} dx + \frac{\partial w}{\partial y} dy}{100 - w} = -G_m \frac{dx}{l_s} \frac{\frac{\partial D}{\partial x} dx + \frac{\partial D}{\partial y} dy}{1000}; \quad (27)$$

$$G_m \frac{dx}{l_s} c_m \left(\frac{\partial t_m}{\partial x} dx + \frac{\partial t_m}{\partial y} dy \right) = G_s \frac{dy}{l_m} \left\{ c_s \left(\frac{\partial t_s}{\partial x} dx + \frac{\partial t_s}{\partial y} dy \right) - \frac{\frac{\partial w}{\partial x} dx + \frac{\partial w}{\partial y} dy}{100 - w} [r + c_n (t_m - t_s)] \right\}; \quad (28)$$

$$G_m \frac{dx}{l_s} c_m \left(\frac{\partial t_m}{\partial x} dx + \frac{\partial t_m}{\partial y} dy \right) = - \frac{an G_s dy dx}{\gamma_s \vartheta l_m 3600 v_s} (t_m - t_s). \quad (29)$$

Уравнения (26), (27), (28), (29) составляют систему дифференциальных уравнений с частными производными, интегрирование которых весьма сложно.

Для приближенного интегрирования системы уравнений примем все те же допущения, что и для прямотока или противотока, за исключением седьмого, которое совершенно отпадает для перекрестного тока. Для перекрестного тока вместо седьмого принимается следующее восьмое допущение.

Полагаем размер l_m настолько малым, что можно считать:

а) Величины w и t_s на отрезке оси, параллельной оси y , неизменными и равными средним значениям на этом отрезке: w_{cp} и t_s^{cp} .

б) Количество влаги, испаренной по закону испарения со свободной поверхности в элементе длиной l_m и высотой dx (см. рисунок), зависит от среднего арифметического из значений влагосодержания теплоносителя при входе и выходе из элемента.

Если в рассматриваемой сушилке с перекрестным током размер l_m велик, то для расчета сушилку всегда можно разделить рядом плоскостей, параллельных плоскости C (см. рисунок) на z частей с тем, чтобы размер $\frac{l_m}{z}$ позволял сделать восьмое допущение и рассчитывать сушилку по частям, начиная от плоскости C и переходя постепенно от одной части к другой.

При этом для всех частей сушилки, кроме первой, содержащей плоскость C , температура теплоносителя при входе будет функцией от x . Для расчета может понадобиться все эти части сушилки в свою очередь разделить на секции рядом плоскостей, параллельных плоскости A , с тем, чтобы для каждой секции полагать входную температуру теплоносителя постоянной, равной среднему значению для секции.

Восьмое допущение позволяет систему дифференциальных уравнений с частными производными заменить системой дифференциальных уравнений с обыкновенными производными, которая составляется для элемента длиной l_m и высотой dx (см. рисунок) при фиксированном x .

Примем обозначения:

$$\frac{\beta m}{57,1 \gamma_s \vartheta b} = h; \quad \frac{G_m}{12,05 G_s l_s} = q; \quad \frac{l_s c_s G_s}{c_m G_m} = s; \quad \frac{l_s G_s r'}{G_m c_m \cdot 83} = \mu;$$

$$\frac{l_s G_s an}{l_m c_m G_m \gamma_s \vartheta \cdot 3600} = \rho.$$

С учетом принятых восьми допущений (кроме седьмого) система уравнений (26), (27), (28), (29) переписывается следующим образом:

$$\frac{dw_{cp}}{dx} = -h \left(at_3^{cp} + c - 1,137 \frac{D_C + D_D}{2} \right); \quad (30)$$

$$\frac{dw_{cp}}{dx} = -(D_D - D_C)q; \quad (31)$$

$$-(t_{mD} - t_{mC}) = s \frac{dt_3^{cp}}{dx} - \mu \frac{dw_{cp}}{dx}; \quad (32)$$

$$-\frac{dt_m}{dy} = \rho(t_m - t_3^{cp}). \quad (33)$$

В этих уравнениях величины D_D и t_{mD} являются функциями от x .
Решим уравнение (31) относительно D_D :

$$D_D = D_C - \frac{1}{q} \frac{dw_{cp}}{dx}. \quad (34)$$

Подставив выражение для D_D по формуле (34) в уравнение (30) и решив это уравнение относительно $\frac{dw_{cp}}{dx}$, получим:

$$\frac{dw_{cp}}{dx} = \xi - Ht_3^{cp}, \quad (35)$$

где
$$\xi = \frac{1,137D_C - c}{\frac{1}{h} + \frac{0,568}{q}}; \quad (36)$$

$$H = \frac{a}{\frac{1}{h} + \frac{0,568}{q}}. \quad (37)$$

Скорость сушки:

$$\frac{dw_{cp}}{d\tau} = (\xi - Ht_3^{cp}) 3600v_s. \quad (38)$$

После интегрирования уравнения (33) получим:

$$t_m = t_{mC} e^{-\rho y} + t_3^{cp} (1 - e^{-\rho y}). \quad (38^1)$$

$$t_{mD} = t_{mC} e^{-\rho l_m} + t_3^{cp} (1 - e^{-\rho l_m}) \quad (39)$$

Подставив выражение для t_{mD} по формуле (39) и выражение для $\frac{dw_{cp}}{dx}$ по формуле (35) в уравнение (32), получим:

$$\frac{dt_3^{cp}}{dx} + Pt_3^{cp} - Q = 0, \quad (40)$$

где
$$P = \frac{\mu H + 1 - e^{-\rho l_m}}{s}; \quad (41)$$

$$Q = \frac{\mu \xi + t_{mC} (1 - e^{-\rho l_m})}{s}. \quad (42)$$

Так как коэффициенты a и c пригодны лишь в определенных интервалах изменения t_3^{cp} , то расчет сушилки с перекрестным током приходится вести по частям, соответствующим интервалам изменения t_3^{cp} .

Интегрирование уравнения (40) дает для первого интервала изменения t_3^{cp} после начала сушки:

$$t_3^{cp} = \left(t_{3A}^{cp} - \frac{Q}{P} \right) e^{-Px} + \frac{Q}{P}. \quad (43)$$

Для каждого последующего интервала изменения t_3^{cp} .

$$t_3^{cp} = \left(t_{3_0}^{cp} - \frac{Q}{P} \right) e^{-P(x-x_0)} + \frac{Q}{P}, \quad (43^1)$$

где $t_{3_0}^{cp}$ — конечная температура зерна предыдущего интервала изменения t_3^{cp} (т. е. 20° С, или 40° С, или 60° С, или 80° С);

x_0 — значение x в конце предыдущего интервала изменения t_3^{cp} .

Значение x в конце данного интервала (в начале последующего интервала) вычисляется по формуле:

$$x = x_0 + \frac{1}{P} \ln \frac{\frac{Q}{P} - t_{3_0}^{cp}}{\frac{Q}{P} - t_3^{cp}}, \quad (43^1)$$

t_3^{cp} — значение температуры зерна в конце данного интервала.

Подставив выражение для t_3^{cp} по формуле (43) в уравнение (35), получим после интегрирования этого уравнения для первого интервала изменения t_3^{cp} после начала сушки:

$$w_{cp} = w_A + \left(\xi - \frac{HQ}{P} \right) x - \frac{H}{P} \left(t_{3A} - \frac{Q}{P} \right) (1 - e^{-Px}). \quad (44)$$

Для каждого последующего интервала изменения t_3^{cp} :

$$w_{cp} = w_0 + \left(\xi - \frac{HQ}{P} \right) (x - x_0) - \frac{H}{P} \left(t_3^{cp} - \frac{Q}{P} \right) [1 - e^{-P(x-x_0)}], \quad (44^1)$$

где w_0 — значение w_{cp} в конце предыдущего интервала изменения t_3^{cp} .

В формулах (43), (43'), (43''), (44) и (44') значения ξ , H , P и Q различны для различных интервалов изменения t_3^{cp} .

Среднее планиметрическое конечное влагосодержание теплоносителя:

$$D_D^{cp} = \frac{1}{l_3} \int_0^{l_3} D_D dx = \frac{1}{l_3} \int_0^{l_3} \left\{ D_c - \frac{1}{q} \left[\xi - H \left(t_{3A} - \frac{Q}{P} \right) e^{-Px} - \frac{HQ}{P} \right] \right\} dx;$$

$$D_D^{cp} = D_c - \frac{\xi}{q} + \frac{HQ}{qP} + \frac{H}{qPl_3} \left(t_{3A} - \frac{Q}{P} \right) (1 - e^{-Pl_3}). \quad (45)$$

Средняя планиметрическая конечная температура теплоносителя:

$$t_{mD}^{cp} = \frac{1}{l_3} \int_0^{l_3} t_{mD} dx = \frac{1}{l_3} \int_0^{l_3} \left[t_{mC} e^{-\rho lm} + t_{3A} (1 - e^{-\rho lm}) e^{-Px} + \frac{Q}{P} (1 - e^{-\rho lm}) (1 - e^{-Px}) \right] dx;$$

$$t_{mD}^{cp} = t_{mC} e^{-\rho l_3} + \frac{Q}{P} (1 - e^{-\rho l_3}) - \left[\frac{Q}{P} - t_{3A} (1 - e^{-\rho l_3}) \right] \frac{1 - e^{-Pl_3}}{Pl_3}. \quad (46)$$

Расчеты по формулам (45) и (46) справедливы только для длины l_3 , на которой постоянны значения величин ξ , H , P и Q (t_{3A} следует рассматривать как температуру зерна в начале участка длиной l_3).

Расчитать средние планиметрические конечные значения влагосодержания и температуры теплоносителя для всей сушилки, разделенной плоскостями, параллельными плоскости A (см. рисунок), на z частей длиной $l_1, l_2, l_3, \dots, l_z$, можно по формулам:

$$D_D^{cp} = \frac{D_{D1}^{cp} l_1 + D_{D2}^{cp} l_2 + \dots + D_{Dz}^{cp} l_z}{l_1 + l_2 + \dots + l_z}; \quad (45^1)$$

$$t_{mD}^{cp} = \frac{t_{mD1}^{cp} l_1 + t_{mD2}^{cp} l_2 + \dots + t_{mDz}^{cp} l_z}{l_1 + l_2 + \dots + l_z}. \quad (46^1)$$

Контролем правильности расчета сушилки с перекрестным током является справедливость балансов тепла и влаги для всей сушилки:

Баланс влаги:

$$G_s \frac{w_A - w_B}{83} = G_m \frac{D_D^{cp} - D_c}{1000}. \quad (47)$$

Баланс тепла:

$$G_m c_m (t_{mC} - t_{mD}^{cp}) = G_s \left[c_s (t_{3B} - t_{3A}) + \frac{(w_A - w_B) r^1}{83} \right]; \quad (48)$$

Рассмотрим случай сушки неподвижного зерна.

Большинство лабораторных опытов по сушке зерна производится при неподвижном слое. Для анализа таких опытов с целью проверки изложенного метода расчета сушки необходимы расчетные формулы для случая неподвижного зерна.

Приведенный выше метод расчета кинетики сушки при перекрестном токе легко можно приспособить для случая неподвижного зерна.

Введем обозначения:

γ_m — объемный вес теплоносителя при входе в сушилку в $кг/м^3$;
 v_m — истинная скорость движения теплоносителя в зерновой массе, вычисленная при состоянии теплоносителя у входа в сушилку, в $м/сек$;
 δ — коэффициент скважистости зерновой массы.

Величину τ рассматриваем как время от начала сушки до данного момента. Такое определение величины τ совпадает с указанным в начале главы определением τ для случая подвижного зерна. Связь между τ и x при подвижном зерне:

$$\tau = \frac{x}{3600 v_s}.$$

Вычислим ширину сушильной камеры (см. рисунок) в плоскости, перпендикулярной к плоскости чертежа, исходя из расхода зерна и расхода теплоносителя, и, приравняв результаты вычислений друг к другу, получим следующее уравнение:

$$\frac{G_s}{\gamma_s \cdot 3600 v_s l_m} = \frac{G_m}{\gamma_m \cdot 3600 v_m \delta l_3}. \quad (49)$$

Пользуясь уравнением (49), преобразуем формулы для величин q, s, μ и ρ следующим образом:

$$q = \frac{\gamma_m v_m \delta}{12,05 \gamma_s v_s l_m}; \quad s = \frac{c_s \gamma_s v_s l_m}{c_m \gamma_m v_m \delta};$$

$$\mu = \frac{r^1 \gamma_s v_s l_m}{c_m 83 \gamma_m v_m \delta}; \quad \rho = \frac{\alpha n}{3600 c_m \delta \gamma_m v_m \delta}.$$

Примем обозначения:

$$h^1 = 3600 v_s h = \frac{63,1 \beta m}{\gamma_s \delta b}; \quad q^1 = 3600 v_s q = \frac{299 \gamma_m v_m \delta}{\gamma_s l_m};$$

$$s^1 = \frac{s}{3600 v_s} = \frac{c_s \gamma_s l_m}{3600 c_m \gamma_m v_m \delta}; \quad \mu^1 = \frac{\mu}{3600 v_s} = \frac{r^1 \gamma_s l_m}{299000 c_m \gamma_m v_m \delta}.$$

Пользуясь связью между величинами h, q, s, μ и величинами h', q', s', μ' и связью между τ и x , можно переписать систему дифференциальных уравнений (30—33) следующим образом:

$$\frac{dw_{cp}}{d\tau} = -h^1 \left(a t_{3A}^{cp} + c - 1,137 \frac{D_c + D_D}{2} \right); \quad (50)$$

$$\frac{dw_{cp}}{d\tau} = -(D_D - D_c) q^1; \quad (51)$$

$$-(t_{mD} - t_{mc}) = s^1 \frac{dt_3^{cp}}{d\tau} - \mu^1 \frac{dw_{cp}}{d\tau}; \quad (52)$$

$$-\frac{dt_m}{dy} = \rho(t_m - t_3^{cp}). \quad (53)$$

Система уравнений (50—53) позволяет перейти от рассмотрения изменений параметров зерна и теплоносителя в пространстве при установившемся режиме к рассмотрению изменений параметров зерна и теплоносителя во времени при неподвижном зерне.

Из сравнения системы уравнений (30—33) для подвижного зерна с системой уравнений (50—53) для неподвижного зерна видно, что параметры зерна и теплоносителя при неподвижном зерне можно вычислять по тем же самым формулам, что и при подвижном зерне, если в этих формулах заменить величины h , q , s , μ величинами h' , q' , s' , μ' , а величину x заменить величиной τ .

При расчете кинетики сушки неподвижного зерна приходится разбивать процесс на части во времени (на периоды) в связи с зависимостью величин a и c от интервалов изменения t_3^{cp} .

Из формулы (43) или (43') следует:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} t_3^{cp} = \frac{Q}{P}, \quad (54)$$

Из формулы (35) следует:

$$\lim_{\tau \rightarrow \infty} \frac{dw_{cp}}{d\tau} = \xi - \frac{HQ}{P}. \quad (55)$$

Таким образом, кривые сушки и температуры зерна в процессе сушки асимптотически приближаются к прямым, причем для температуры асимптота параллельна оси τ .

Такая картина процесса сушки согласуется с опытами различных авторов по сушке неподвижного слоя зерна (для периода удаления свободной влаги).

Изложенный в этой статье метод был в некоторой мере проверен путем анализа описанных в литературе опытов, а также специально поставленных опытов на лабораторной сушилке с перекрестным током. Этот анализ, а также применение данного метода к расчету промышленных сушилок автор предполагает изложить в последующих статьях.

П. Н. ПЛАТОНОВ,
канд. технических наук, доцент

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ТЕОРИИ БЫСТРОХОДНЫХ НОРИЙ

В своем капитальном труде «Курс по мукомольному производству» проф. К. А. Зворыкин кратко, но с исчерпывающей полнотой определяет основные условия работы нории: «...для того, чтобы уметь построить наиболее целесообразно самотаску, необходимо знать от чего зависит: 1) способность ковша заполняться продуктом; 2) способность его удерживать содержимое во время движения до места опорожнения, и наконец, 3) способность ковша опоражняться на определенном месте и передавать продукт по назначению».

Несмотря на то что нория применяется в промышленности около 150 лет, до сих пор еще не установлены основные законы, определяющие работу нории на отдельных этапах.

В настоящей работе излагаются результаты теоретического исследования процесса разгрузки ковша зерновой быстроходной нории.

Существующие теоретические положения, определяющие процесс разгрузки норийных ковшей (2, 4, 5), исходят из основного положения о существовании «полюса» и постоянства его положения.

На основании постоянства «полюсного» расстояния для решения вопроса о заполнении и разгрузке ковша применяют графический метод — метод определения поверхности материала в ковше при помощи логарифмической спирали.

Анализируя процесс разгрузки ковша, некоторые авторы пренебрегают наличием относительного движения материала в ковше и получают выводы, далеко не соответствующие действительности; другие авторы учитывают относительное движение материала в ковше, но, увязывая его с постоянством положения «полюса», приходят в результате применения принципиально неверных, друг друга устраняющих исходных положений к выводам, также далеким от действительности.

Проведенные за последнее время исследования работы зерновой нории (1; 3) не подтвердили правильности существующих теорий и, следовательно, вопрос о теоретических положениях, освещающих процесс разгрузки норийного ковша, остается неразрешенным.

шенным даже в том приближении, которое дало бы возможность применять теорию при конструировании и расчетах норий.

Одной из основных ошибок в существующих теориях разгрузки норийного ковша является положение о постоянстве «полюса». Нетрудно показать, что это основное положение в действительности не имеет места, на что указывал еще в 1907 г. проф. В. Л. Кирпичев в своей книге «Беседы о механике».

В быстроходных зерновых нориях при всех условиях, как это будет показано ниже, в момент набегания ковша на верхний барабан частицы материала начинают перемещаться относительно ковша. При наличии же относительного движения, как известно, силы инерции не приводятся к одной только центробежной силе и, следовательно, вывод о постоянстве положения «полюса», сделанный с учетом только центробежной силы инерции, неверен.

Необоснованность вывода о постоянстве положения «полюса» исключает возможность применения существующего графического метода при исследовании вопросов заполнения и разгрузки ковша.

На основании анализа материалов исследования предлагается уточненная теория разгрузки материала в быстроходных зерновых нориях, основные выводы которой были проверены экспериментом.

УСЛОВИЯ ОПОРОЖНЕНИЯ КОВША

Условимся называть быстроходной такую норию, у которой разгрузка материала происходит через наружную черпающую кромку ковша. Определим условие, при котором будет иметь место

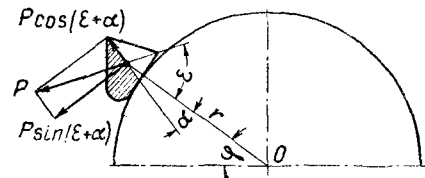


Рис. 1. Условия движения материала в ковше

относительное движение частиц материала в ковше. Рассмотрим некоторое положение ковша на верхнем барабане, определенное углом φ и радиусом r (рис. 1). На частицу M действует сила P — равнодействующая сил, приложенных к точке M ; направление этой силы определяется углом ε .

Точка M лежит на поверхности материала, касательная к которой в точке M образует с радиусом r угол α . Условимся считать положительным угол α при его отсчете от радиуса по направлению движения часовой стрелки.

Из условия движения частицы по поверхности материала следует:

$$P \cos(\varepsilon + \alpha) \geq P \sin(\varepsilon + \alpha) \mu, \quad (1)$$

где $\mu = \text{tg} \rho$ — коэффициент трения.

Из уравнения (1) нетрудно определить значение угла ε :

$$\varepsilon \leq \frac{\pi}{2} - (\rho + \alpha). \quad (2)$$

Очевидно, при всех значениях угла ε , не удовлетворяющих условию (2), частица M будет находиться в покое относительно ковша.

Для определения угла ε рассмотрим движение ковша на барабане при условии, когда не выполняется требование (2).

На частицу M , лежащую на поверхности материала в ковше, действуют силы (рис. 2): тяжести ... $G = mg$ и центробежная ... $c = m\omega^2 r$.

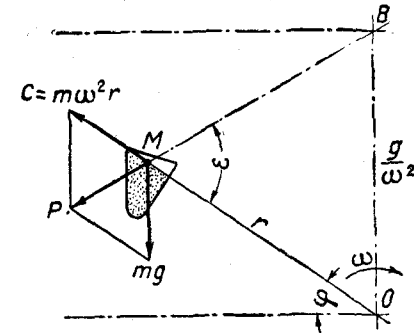


Рис. 2. Условия равновесия материала в ковше

Из треугольника OBM следует:

$$\frac{OM}{OB} = \frac{\sin \left[\pi - \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) - \varepsilon \right]}{\sin \varepsilon} = \frac{\sin \left[\frac{\pi}{2} - (\varepsilon - \varphi) \right]}{\sin \varepsilon} = \frac{\cos(\varepsilon - \varphi)}{\sin \varepsilon}. \quad (3)$$

Из подобия треугольников OBM и PMC следует, что $OB = \frac{g}{\omega^2}$

Тогда уравнение (3) примет следующий вид:

$$\frac{r\omega^2}{g} = \frac{\cos(\varepsilon - \varphi)}{\sin \varepsilon} = \text{ctg} \varepsilon \cos \varphi + \sin \varphi. \quad (4)$$

Отсюда

$$\text{ctg} \varepsilon = \left(\frac{r\omega^2}{g} - \sin \varphi \right) \frac{1}{\cos \varphi}. \quad (5)$$

Решая уравнение (5) относительно φ , после простейших преобразований получаем:

$$\text{tg} \varphi = \frac{-2 \text{ctg} \varepsilon \pm \sqrt{4 \text{ctg}^2 \varepsilon - 4 \left(\text{ctg}^2 \varepsilon - \frac{r^2 \omega^4}{g^2} \right) \left(1 - \frac{r^2 \omega^4}{g^2} \right)}}{1 - \frac{r^2 \omega^4}{g^2}}. \quad (6)$$

Подставляя сюда значение ϵ , взятое из равенства (2), и принимая положительный корень уравнения (6), получаем:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\frac{r\omega^2}{g} \sqrt{\operatorname{tg}^2(\rho + \alpha) + 1 - \frac{r^2\omega^4}{g^2}} - \operatorname{tg}(\rho + \alpha)}{1 - \frac{r^2\omega^4}{g^2}} \quad (7)$$

Уравнение (7) определяет положение ковша на верхнем барабане, соответствующее началу движения материала в ковше.

Движение материала в момент набегания ковша на верхний барабан, очевидно, будет иметь место при $\varphi = 0$ и $\omega = \omega_{кр}$.

Решая уравнение (5) относительно $\omega_{кр}$ при $\varphi = 0$ и $\epsilon = \frac{\pi}{2} - (\rho + \alpha)$ и принимая положительный корень уравнения, получим:

$$\omega_{кр} = \sqrt{\frac{g}{r} \operatorname{tg}(\rho + \alpha)} \quad (8)$$

Анализируя уравнение (8) для различных значений r и α (рис. 3), можно сделать вывод, что движение в ковше нории начинается при $\varphi = 0$ для всех типов зерновых норий, применяемых в промышленности, что и наблюдалось при экспериментальном исследовании.

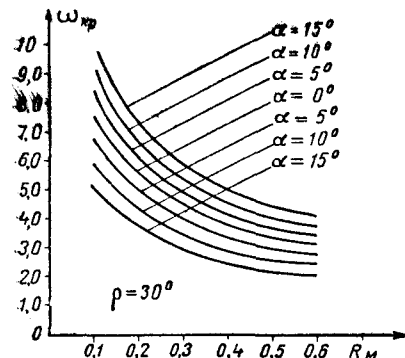


Рис. 3. Значение $\omega_{кр}$ для различных радиусов барабана и углов α

Полученный вывод со всей очевидностью показывает несостоятельность положения о постоянстве «полюса».

Проведенные исследования работы быстроходных зерновых норий (1, 3) не подтвердили существующего мнения о форме поверхности материала в ковше, очерченной будто бы по логарифмической спирали.

По данным упомянутых исследований, поверхность материала в ковше в момент набегания его на верхний барабан нории может быть принята за плоскость, наклоненную к горизонту под углом

$5 \div 15^\circ$ в сторону задней стенки ковша.

При набегании ковша на верхний барабан для случая $\omega > \omega_{кр}$ частицы материала, находясь под действием системы сил, начинают перемещаться к передней стенке ковша. В силу свойств сыпучего материала это перемещение возможно только по плоскости обрушения, отделяющей верхние слои движущегося материала от нижележащих неподвижных слоев.

В соответствии со сказанным процесс разгрузки можно представить в виде скольжения некоторого объема сыпучего материала

по плоскости, разграничивающей подвижные слои материала от неподвижных.

Процесс разгрузки материала из ковша может быть разбит на два этапа: первый этап — начало движения материала в ковше до момента «истечения» его из ковша; второй этап — «истечение» материала из ковша — до полного его опорожнения.

Механизм явлений первого этапа может быть представлен следующим образом. При нарушении равновесия верхних слоев сыпучего материала последние под действием приложенных к ним сил перемещаются к передней стенке ковша. Это перемещение будет происходить до тех пор, пока плоскость скольжения материала не совпадет с черпающей кромкой ковша, после чего начинается «истечение» материала. Очевидно, длительность первого этапа находится в определенной зависимости от степени заполнения ковша, оцениваемой так называемым коэффициентом заполнения.

Второй этап начинается с момента начала «истечения» материала из ковша, т. е. с момента пересечения плоскостью скольжения черпающей кромки ковша. Скорость опорожнения ковша будет определяться величиной скорости движения материала по плоскости скольжения, т. е. относительной скоростью.

Изменение величины и направления равнодействующей силы, приложенной к сыпучему материалу, находящемуся в ковше, с изменением положения ковша на барабане влечет за собой изменение положения плоскости скольжения материала, проходящей всегда через черпающую кромку ковша.

В силу указанного плоскость скольжения будет поворачиваться около черпающей кромки как около оси с некоторой угловой скоростью. Опорожнение ковша наступит в тот момент, когда плоскость скольжения совпадет с передней стенкой ковша.

Следовательно, зная закон изменения положения плоскости скольжения, можно установить: 1) момент начала разгрузки ковша в зависимости от степени его заполнения и 2) момент полного опорожнения ковша в зависимости от положения передней стенки ковша, определяемой углом черпания ковша.

Справедливость приведенного положения была подтверждена экспериментальным путем, подтвердившим выдвинутую гипотезу о разгрузке ковша.

ОТНОСИТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ ДВИЖЕНИЯ ЗЕРНА В КОВШЕ

Для определения величины относительной скорости движения материала в ковше рассмотрим движение частицы материала по плоскости скольжения в момент разгрузки ковша (рис. 4).

Положение ковша определяется радиусом вращения черпающей кромки R и углом φ . Положение плоскости скольжения относительно радиуса R определяется углом α .

Выберем подвижную (принадлежащую среде ковша) систему координат, ось абсцисс которой лежит в плоскости скольжения.

На рассматриваемую точку M действуют силы:

вес точки $G=mg$,
сила трения $T=\mu N$,
нормальная реакция связи N .

Уравнение движения точки M будет иметь следующий вид:

$$m\bar{a}=\bar{G}+\bar{N}+\bar{T}. \quad (9)$$

Так как при движении ковша по верхнему барабану имеет место относительное движение частицы по плоскости скольжения, то

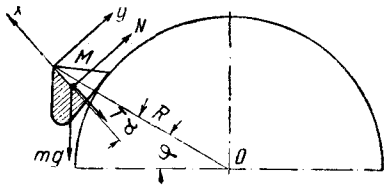


Рис. 4. Условия движения частицы материала при разгрузке ковша

$$\bar{a} = \bar{a}_o + \bar{a}_n + \bar{a}_k, \quad (10)$$

где a_n — ускорение переносного движения;
 a_o — ускорение относительного движения;
 a_k — ускорение поворотное.

Уравнение (9) после подстановки значения a из уравнения (10) примет вид:

$$m(\bar{a}_o + \bar{a}_n + \bar{a}_k) = \bar{G} + \bar{N} + \bar{T}. \quad (11)$$

Заменяя это векторное уравнение двумя алгебраическими в виде проекций на оси координат, получаем:

$$\frac{G}{g}(x'' - R\omega^2 \cos \alpha) = -G \sin(\omega t + \alpha) - T. \quad (12)$$

$$\frac{G}{g}(R\omega^2 \sin \alpha + 2\omega x') = G \cos(\omega t + \alpha) + N. \quad (13)$$

Умножая почленно уравнение (12) на $\frac{g}{G}$, а уравнение (13)

на $\mu \frac{g}{G}$ и складывая оба уравнения, находим:

$$x'' + 2\mu\omega x' = R\omega^2(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - g[\sin(\omega t + \alpha) + \mu \cos(\omega t + \alpha)]. \quad (14)$$

Начальные условия рассматриваемого движения таковы:

$$t=0; \quad x=x_0; \quad x'=0.$$

Общий интеграл уравнения (14) будет иметь вид:

$$x = x_1 + x_2. \quad (15)$$

Уравнение без свободного члена имеет вид:

$$x'' + 2\mu\omega x' = 0.$$

Характеристическое уравнение:

$$k^2 + 2\mu\omega k = 0.$$

Отсюда

$$k_1 = 0; \quad k_2 = -2\mu\omega$$

и, следовательно,

$$x_1 = c_1 + c_2 e^{-2\mu\omega t}. \quad (16)$$

$$x_2 = At + M \sin(\omega t + \alpha) + N \cos(\omega t + \alpha);$$

$$2\mu\omega \left| \begin{array}{l} x_2' = A + M\omega \cos(\omega t + \alpha) - N\omega \sin(\omega t + \alpha); \\ x_2'' = -M\omega^2 \sin(\omega t + \alpha) - N\omega^2 \cos(\omega t + \alpha) \end{array} \right.$$

$$2\mu\omega A + (2\mu M\omega^2 - N\omega^2) \cos(\omega t + \alpha) + (-2\mu N\omega^2 - M\omega^2) \sin(\omega t + \alpha) = \\ = R\omega^2(\cos \alpha - \mu \sin \alpha) - g[\sin(\omega t + \alpha) + \mu \cos(\omega t + \alpha)];$$

отсюда

$$2\mu\omega A = R\omega^2(\cos \alpha - \mu \sin \alpha);$$

$$2\mu N\omega^2 + M\omega^2 = g;$$

$$2\mu N\omega^2 - N\omega^2 = -\mu g$$

и, следовательно,

$$A = \frac{R\omega(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{2\mu};$$

$$N = \frac{3\mu g}{\omega^2(4\mu^2 + 1)};$$

$$M = \frac{(1 - 2\mu^2)g}{\omega^2(4\mu^2 + 1)}.$$

Подставляя полученные значения в уравнение (15), получим:

$$x = c_1 + c_2 e^{-2\mu\omega t} + \frac{R\omega(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)t}{2\mu} + \frac{(1 - 2\mu^2)g}{\omega^2(4\mu^2 + 1)} \sin(\omega t + \alpha) + \\ + \frac{3\mu g}{\omega^2(4\mu^2 + 1)} \cos(\omega t + \alpha). \quad (17)$$

и

$$x' = -2\mu\omega c_2 e^{-2\mu\omega t} + \frac{R\omega(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{2\mu} + \\ + \frac{(1 - 2\mu^2)g}{\omega(4\mu^2 + 1)} \cos(\omega t + \alpha) - \frac{3\mu g}{\omega(4\mu^2 + 1)} \sin(\omega t + \alpha). \quad (18)$$

Используя начальные условия, получим:

$$x_0 = c_1 + c_2 + \frac{(1 - 2\mu^2)g}{\omega^2(4\mu^2 + 1)} \sin \alpha + \frac{3\mu g}{\omega^2(4\mu^2 + 1)} \cos \alpha$$

$$0 = -2\mu\omega c_2 + \frac{R\omega(\cos \alpha - \mu \sin \alpha)}{2\mu} + \frac{(1 - 2\mu^2)g}{\omega(4\mu^2 + 1)} \cos \alpha - \frac{3\mu g}{\omega(4\mu^2 + 1)} \sin \alpha;$$

отсюда

$$c_2 = \frac{\frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{2\mu} + \frac{(1-2\mu^2)g}{\omega(4\mu^2+1)}\cos\alpha - \frac{3\mu g}{\omega(4\mu^2+1)}\sin\alpha}{2\mu\omega}$$

и

$$c_1 = x_0 - \frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{4\mu^2\omega} + \frac{3\mu g}{\omega^2(4\mu^2+1)} - \frac{2\mu(1-2\mu^2)g}{\omega^2(4\mu^2+1)}\sin\alpha - \frac{\frac{(1-2\mu^2)g}{\omega^2(4\mu^2+1)} + \frac{6\mu^2 g}{\omega^2(4\mu^2+1)}}{2\mu}\cos\alpha.$$

Подставляя в уравнения (17) и (13) значения c_1 и c_2 , получаем:

$$x = x_0 - \frac{R(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{4\mu^2} + \frac{g}{2\omega^2}\sin\alpha - \frac{g}{2\mu\omega^2}\cos\alpha + \left[\frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{4\mu^2\omega} + \frac{(1-2\mu^2)g}{2\mu\omega^2(4\mu^2+1)}\cos\alpha - \frac{3g}{2\omega^2(1+4\mu^2)}\sin\alpha \right] e^{-2\mu\omega t} + \frac{\omega R(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{2\mu}t + \frac{(1-2\mu^2)g}{\omega^2(4\mu^2+1)}\sin(\omega t + \alpha) + \frac{3\mu g}{\omega^2(4\mu^2+1)}\cos(\omega t + \alpha) \quad (19)$$

и

$$x' = \frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{2\mu} - \left[\frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{2\mu} + \frac{(1-2\mu^2)g}{\omega(4\mu^2+1)}\cos\alpha - \frac{3\mu g}{\omega(4\mu^2+1)}\sin\alpha \right] e^{-2\mu\omega t} + \frac{(1-2\mu^2)g}{\omega(4\mu^2+1)}\cos(\omega t + \alpha) - \frac{3\mu g}{\omega(4\mu^2+1)}\sin(\omega t + \alpha). \quad (20)$$

Преобразовывая уравнение (20), получим выражение для относительной скорости движения частицы в ковше:

$$x' = u = \frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{2\mu}(1 - e^{-2\mu\omega t}) + \frac{(1-2\mu^2)g}{\omega(4\mu^2+1)}[\cos(\omega t + \alpha) - \cos\alpha e^{-2\mu\omega t}] - \frac{3\mu g}{\omega(4\mu^2+1)}[\sin(\omega t + \alpha) - \sin\alpha e^{-2\mu\omega t}]. \quad (21)$$

Для случая быстроходных норий, в частности зерновых, в пределах допустимой для практических расчетов погрешности можно пренебречь силой тяжести, величина которой по сравнению с центробежной и кариолисовой силами мала.

Тогда уравнение (21) значительно упростится и примет следующий вид:

$$u = \frac{R\omega(\cos\alpha - \mu\sin\alpha)}{2\mu}(1 - e^{-2\mu\omega t}) = \frac{v_m \cos(\alpha + \rho)}{2\sin\rho}(1 - e^{-2\mu\omega t}), \quad (22)$$

удобный для практического пользования.

Так как закон изменения угла α в зависимости от угла поворота ковша неизвестен, то решение уравнения (14) проведено в предположении независимости угла α от ωt .

Для проверки сходимости результатов, получаемых по формуле (22), построен график (рис. 5).

На графике приведена зависимость величины относительной скорости движения зерна в ковше от угла поворота последнего, полученная при экспериментальных исследованиях, на основании формулы (22) и уравнения, выведенного проф. П. С. Козьминым (2).

Как видно из графика, величина относительной скорости весьма мало отличается от полученной экспериментально, что подтверждает приемлемость сделанного допущения.

Для частного случая, наиболее часто встречающегося среди зерновых быстроходных норий при $R=0,3$ м, $\rho=30^\circ$ и $\mu=0,57$, построена номограмма (рис. 6) для определения величины относительной скорости в зависимости от угловой скорости и угла поворота ковша.

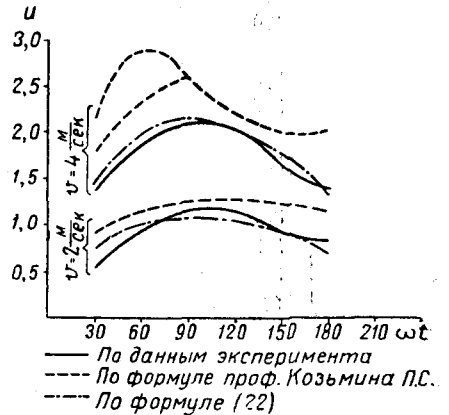


Рис. 5. Величина относительной скорости движения материала в ковше при различных углах поворота

ТРАЕКТОРИЯ ПОЛЕТА ЧАСТИЦЫ, ВЫБРОШЕННОЙ ИЗ КОВША

На основании материалов экспериментального исследования быстроходных зерновых норий для построения траекторий полета частиц, выброшенных из ковша, можно принять с допустимой для практических расчетов погрешностью закон изменения угла α в виде:

$$\alpha = k\omega t. \quad (23)$$

Величина коэффициента k выбирается в зависимости от перемещаемого норией материала и в частности для пшеницы может быть принята равной 0,2—0,25.

Начало и конец разгрузки ковша нории на верхнем барабане могут быть определены на основании уравнения (23).

Принимая некоторую величину коэффициента заполнения ковша φ и первоначальное положение поверхности материала в ковше,

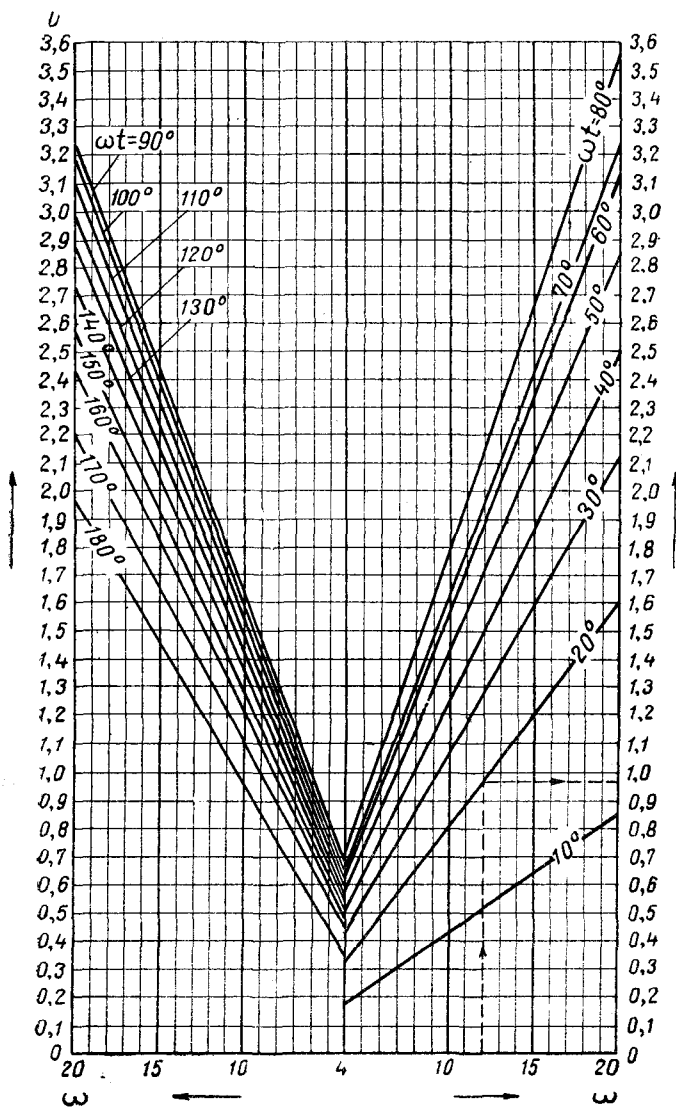


Рис. 6. Номограмма для определения величины относительной скорости U по заданной величине угловой скорости барабана ω .

характеризуемое углом α_0 , нетрудно получить из уравнения (23) значение угла начала разгрузки:

$$\varphi_H = \omega t_H = \frac{\alpha_H + \alpha_0}{k} \quad (24)$$

где $\alpha_H + \alpha_0$ — угол поворота поверхности материала в ковше от начального положения, соответствующего положению материала в ковше в момент набегания его на верхний барабан, до положения, соответствующего началу «истечения» материала из ковша;
 t_H — время пробега ковша на барабане от момента начала движения материала в ковше до момента «истечения» материала из последнего.

Пользуясь уравнением (23), нетрудно определить положение ковша в момент окончания разгрузки последнего.

Если обозначить угол между наружной стенкой ковша и радиусом R через α_k (рис. 7), то на основании уравнения (23) получим:

$$\varphi_k = \omega t_k = \frac{\alpha_k + \alpha_0}{k} \quad (25)$$

где t_k — время пробега ковша на барабане от начала движения до окончания разгрузки материала.

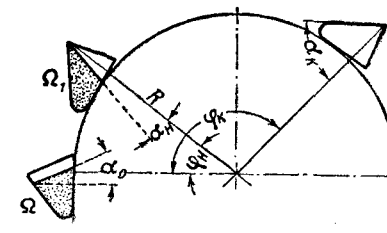


Рис. 7. Положение ковша в момент его разгрузки

Уравнения (24) и (25) дают значение углов, определяющих положение ковша при начале и окончании разгрузки, что позволяет при известной величине относительной скорости U , определяемой уравнениями (21) и (22), построить траектории полета частиц материала, выброшенных из ковша, при всех его промежуточных положениях.

На основании уравнений (24) и (25) можно сделать вывод, что угол начала разгрузки ковша зависит при прочих одинаковых условиях от коэффициента заполнения ковша, а угол окончания разгрузки — от величины угла черпания ковша, ибо $\alpha_k = \frac{\pi}{2} - \theta$, где θ — угол черпания ковша.

ВЫВОДЫ

1. Существующее предположение о наличии в быстроходных норях «полюса» и зависимости его положения только от числа оборотов не обосновано и не применимо к условиям работы зерновой нории.

2. Применяемый графический метод исследования заполнения и разгрузки ковшей при помощи логарифмических спиралей теоретически не обоснован, экспериментально не подтвержден. В силу вышеуказанного не может применяться для анализа работы нории.

3. Относительное движение материала в ковше быстроходных зерновых норий начинается в момент набегания ковша на верхний барабан.

4. Величина относительной скорости движения частицы материала в ковше зависит от переносной скорости частицы и угла поворота ковша на верхнем барабане.

5. Начало разгрузки ковша находится в обратной зависимости от заполнения ковша.

6. Окончание разгрузки ковша находится в зависимости от формы ковша, точнее — угла черпания ковша. Увеличение угла черпания обеспечивает быстрое опорожнение ковша.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Веселов В. И. и Капицкий А. С.* Исследование работы зерновой нории. Снабтехиздат, 1933.
2. *Козьмин П. С.* Портовые и судовые машины непрерывного транспорта. Морской транспорт, 1947.
3. *Креймерман.* Применение больших скоростей на элеваторных нориях. «Советское мукомолье и хлебопечение» № 7, 1936.
4. *Мюллер К.* Процесс опорожнения ковшей в быстроходных самотасках. «Советское мукомолье и хлебопечение» № 4 и 5, 1928.
5. *Соколов А. Я.* Подъемно-транспортные машины. Заготиздат, 1946.

В. Б. ФАСМАН,
инженер

ВОПРОСЫ ИСТЕЧЕНИЯ СЫПУЧИХ ТЕЛ В СВЯЗИ С ОПРЕДЕЛЕНИЕМ ПРОПУСКНОЙ СПОСОБНОСТИ НАДВЕСОВЫХ ЗАДВИЖЕК

ВВЕДЕНИЕ

На элеваторах приходится иметь дело со свободным истечением сыпучих тел из отверстий, не переходящих в самотечные трубы. Такое истечение наблюдается при наполнении ковшевых весов из бункеров над ними. Время наполнения весов $C_{нв}$, во многих случаях влияющее на величину коэффициента использования нории, связано с пропускной способностью надвесовых задвижек. Знание этой пропускной способности очень важно и для рационального проектирования задвижек над весами.

Вопросы, связанные с параметром $C_{нв}$ и условиями подбора весов на элеваторе, впервые разработаны проф. Д. В. Шумским (7, 8). Выбором грузоподъемности ковшевых весов и пропускной способности надвесовых задвижек занимался и инж. В. Башлаков (2). О фактических значениях пропускной способности задвижек и параметра $C_{нв}$ в литературе имеются лишь отрывочные данные (2, 6).

Доц. К. В. Альферов (1) рекомендует определять пропускную способность выпускных отверстий бункеров в зависимости от площади отверстий F и скорости истечения v по уравнению:

$$Q = 3600 \cdot Fv \text{ м}^3/\text{час.} \quad (1)$$

К. В. Альферов отмечает, что точную характеристику скоростей истечения из отверстий дать затруднительно.

Вопрос об истечении сыпучих тел (песка) из отверстия рассматривался теоретически и экспериментально Г. И. Покровским и А. И. Арефьевым (4) и И. П. Линчевским (3).

В этих работах устанавливается факт независимости расхода песка (количества, высыпавшегося из отверстия в единицу времени) от высоты столба над отверстием.

Г. И. Покровский и А. И. Арефьев исходят из предположения о том, что в толще сыпучего тела образуется так называемый динамический разгружающий свод. В отличие от обычных, естественно образующихся в сыпучих телах разгружаю-

щих сводов в динамическом своде нет статического равновесия. Отдельные частицы все время выпадают с нижней стороны свода, а новые вступают на их место. Свод воспринимает вышележащую нагрузку.

Г. И. Покровский и А. И. Арефьев, указывая на трудность определения формы свода, принимают ее параболической и определяют расход материала для отверстия радиуса R из уравнения:

$$dq = 2\pi r \sqrt{2gz} dr, \quad (2)$$

где $z = z_0 \left(1 - \frac{r^2}{R^2}\right)$ — высота точки свода, находящейся на расстоянии r от оси;

z_0 — высота центра свода над плоскостью отверстия.

При этом принимается $z_0 = \beta R$ и $\beta = \text{const}$.

И. П. Линчевский, возражая против предположения о постоянстве коэффициента β и желая избавиться от переменной z_0 , предполагает, что свод имеет куполообразную форму. Решение уравнения (2) в этом случае дает следующую формулу для определения весового расхода:

$$q = \frac{4}{5} \pi R^{2.5} \sqrt{2g}. \quad (3)$$

И. П. Линчевский придает этой формуле по аналогии следующий вид:

$$q = \mu F \sqrt{2gR}, \quad (4)$$

где μ — коэффициент расхода, имеющий, как видно из формулы, размерность насыпного веса.

Справедливо, указывая на ошибку Г. И. Покровского и А. И. Арефьева, считавших $\beta = \text{const}$, и соглашаясь с рядом исследователей (проф. М. М. Протодняконов и др.) в том, что отношение $z_0 : R$ зависит от внутреннего трения сыпучего тела, И. П. Линчевский тем не менее получает уравнение (3), в котором расход q зависит только от R . Это явилось следствием ошибочного предположения о куполообразной форме свода, при которой $z_0 = \text{const}$ при данном R .

В последних двух работах теоретически исследованы законы истечения только при круглых отверстиях.

ИСТЕЧЕНИЕ СЫПУЧЕГО ТЕЛА ЧЕРЕЗ ОТВЕРСТИЕ

Очевидно, высота разгружающего свода должна зависеть от свойств сыпучего тела. В дальнейшем предполагается параболическая форма свода, при которой высота его может быть величиной переменной.

Определим пропускную способность выпускного отверстия для наиболее общего случая.

Предположим, что выпускное отверстие обладает осевой симметрией относительно вертикальной оси, проходящей через его центр. В этом случае разгружающий свод можно считать параболоидом (рис. 1). Принимаем, что свод опирается на края выпускного отверстия и его ось совпадает с осью отверстия.

Распространяя на сыпучую смесь, находящуюся внутри свода, закон истечения жидкостей, элементарный расход dq можно выразить таким уравнением:

$$dq = d\omega \sqrt{2gz}, \quad (5)$$

где $d\omega$ — площадь элементарной площадки.

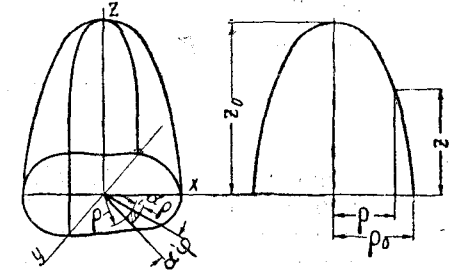


Рис. 1

Решение этого уравнения проще всего произвести в цилиндрических координатах.

В любом проходящем через ось z сечении параболоида получается парабола, уравнение которой имеет вид:

$$z = z_0 \left(1 - \frac{\rho^2}{\rho_0^2}\right), \quad (6)$$

где z_0 — высота параболоида, зависящая от размеров и формы отверстия и свойств сыпучего тела.

В основании параболоида выбираем на расстоянии ρ от центра элементарную площадку шириной $d\rho$, ограниченную двумя лучами, проведенными из центра под углом $d\varphi$ друг к другу. Тогда площадь элементарной площадки $d\omega$ будет равна:

$$d\omega = \rho d\rho d\varphi. \quad (7)$$

На основании уравнений (5), (6) и (7) имеем:

$$dq = \sqrt{2gz_0} \rho \sqrt{\frac{\rho_0^2 - \rho^2}{\rho_0^2}} d\rho d\varphi,$$

или

$$q = \sqrt{2gz_0} \int_0^{\rho_0} \int_0^{2\pi} \rho \sqrt{\frac{\rho_0^2 - \rho^2}{\rho_0^2}} d\rho d\varphi. \quad (8)$$

Решая первый интеграл, получим:

$$\int_0^{\rho_0} \rho \sqrt{\frac{\rho_0^2 - \rho^2}{\rho_0^2}} d\rho = \frac{1}{3} \rho_0^2$$

и

$$q = \frac{1}{3} \sqrt{2gz_0} \int_0^{2\pi} \rho_0^2 d\varphi. \quad (9)$$

Нетрудно доказать, что

$$\int_0^{2\pi} \rho_0^2 d\varphi = 2F, \quad (10)$$

где F — площадь основания параболоида, т. е. выпускного отверстия.

Подставляя значение (10) в уравнение (9), находим:

$$q = \frac{2}{3} FV\sqrt{2gz_0}. \quad (11)$$

Согласно теории проф. М. М. Протодяконова (5), высота разгружающего свода пропорциональна «пролету» отверстия. Распространяя это положение на отверстия любой формы, предположим, что высота разгружающего свода z_0 пропорциональна приведенному радиусу R_{np} выпускного отверстия. Под приведенным радиусом будем понимать удвоенный гидравлический радиус R_2 .

Обозначая коэффициент, зависящий от свойств сыпучего материала, через μ' , получим:

$$z_0 = \mu'^2 \cdot R_{np}. \quad (12)$$

Подставляя значение z_0 в уравнение (11) и обозначая коэффициент расхода $\mu = \frac{2}{3} \mu'$, получаем уравнение для определения объемного расхода:

$$q = \mu FV\sqrt{2gR_{np}}. \quad (13)$$

Уравнение для определения весового расхода на основании формулы (13) может быть записано в следующем виде:

$$Q = 3600 \mu \gamma FV\sqrt{2gR_{np}}, \quad (14)$$

где Q — $t/час$, γ — $t/м^3$, F — $м^2$, R_{np} — $м$, g — $м/сек^2$.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДАННЫЕ

Определение пропускной способности различных типов задвижек над весами производилось в производственных условиях по непосредственным замерам времени наполнения весов для навесок различной величины E . В процессе работы нории при закрытой задвижке над весами в надвесовой бункер подавалось некоторое количество зерна, а затем определенная навеска пропускалась в весовой ковш. При этом секундомером замерялось время наполнения $S_{на}$, а взвешиванием данной навески определялась величина E .

В параметр $S_{на}$ включаются операции с задвижкой; при этом необходимо также учесть продолжительность холостого хода задвижки a . Так как при открывании задвижки производительность истечения теоретически возрастает от нуля до максимума, а при

закрывании — уменьшается от максимума до нуля, то общее время наполнения может быть выражено следующей формулой¹:

$$S_{на} = \frac{3600 E}{Q_{на}} + zd + a. \quad (15)$$

Здесь продолжительности открывания и закрывания задвижки принимаются равными. В формуле (15) $S_{на}$, zd и a приняты в сек., E — в t и $Q_{на}$ в $t/час$.

Замеры производились на нескольких элеваторах, оборудованных весами с задвижками четырех типов, при различной величине навесок E , с тремя культурами, а в пределах одной культуры — при различных насыпном весе γ и влажности W .

Засоренность зерна колебалась в пределах 0,5—2,5%.

Результаты всех произведенных замеров представлены в табл. 1. При обработке данных замеров производительность наполнения весов $Q_{на}$ определялась по формуле (15).

Таблица 1

№ замеров	Характеристика весов и задвижек				Характеристика зерна			Среднее значение производительности наполнения весов $Q_{на}$ в $t/час$	Коэффициент расхода μ
	E_B в t	количество и размер отверстий в $мм$	F в $м^2$	R_2 в $м$	культура	насыпной вес γ в $t/м^3$	влажность W в %		
1—3	60	$9 \times 340 \times 250$	0,765	0,072	Ячмень . .	0,67	12,4	1410	0,454
4—6					Пшеница . .	0,73	14,4	1510	0,446
7					Овес . . .	0,54	15,2	1070	0,426
8—9					Пшеница . .	0,76	12,7	1793	0,51
10—13	10	$6 \times 500 \times 300$	0,9	0,0935	Пшеница . .	0,71	14,7	2000	0,453
14—15					Пшеница . .	0,70	16,9	1860	0,428
16					Пшеница . .	0,73	18,3	1880	0,410
17					Овес . . .	0,52	14,0	1405	0,436
18—20					Овес . . .	0,51	16,2	1340	0,423
21					Овес . . .	0,49	17,1	1250	0,411
22	Ячмень . .	0,64	16,0	1685	0,424				
23—25	10	$4 \times 500 \times 300$	0,6	0,0935	Пшеница . .	0,70	15,4	1263	0,436
26—29	70	$9 \times 250 \times 250$	0,5625	0,0625	Пшеница . .	0,745	14,3	1060	0,447

¹ В дальнейшем изложении применены условные обозначения проф. Д. В. Шумского.

Для выяснения зависимости $Q_{нв}$ от высоты H столба зерна над выпускным отверстием были произведены специальные замеры $Q_{нв}$ при различном количестве зерна в бункере над весами к моменту открывания задвижки. Результаты этих замеров, как и всех остальных, производившихся при самых различных H , подтверждают факт независимости Q от H .

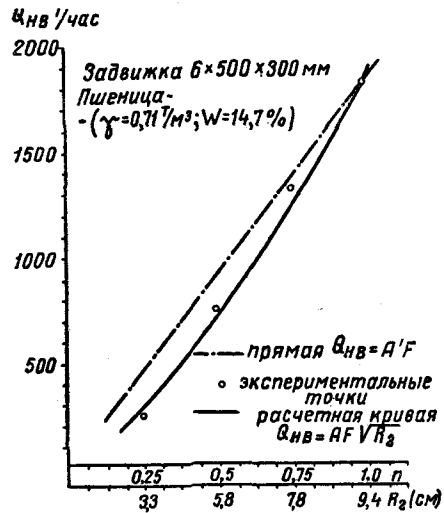


Рис. 2

где A — постоянная для данных замеров. Для сравнения на графике нанесена прямая $Q_{нв} = A'F$.

Полученные результаты подтверждают, что производительность истечения зерна пропорциональна произведению $F\sqrt{R_2}$.

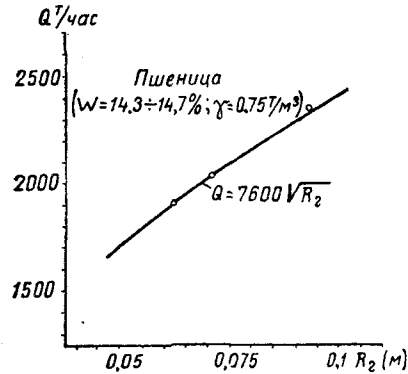


Рис. 3

Такая же зависимость получается при анализе данных табл. 1. Так, например, на рис. 3 приведен график зависимости $Q_{нв}$ от R для пшеницы при влажности 14,3—14,7%. Для составления графика использованы данные таблицы, пересчитанные на объемный вес $\gamma=0,75 \text{ т/м}^3$ и отнесенные к площади выпускного отверстия $F=1 \text{ м}^2$.

Были поставлены специальные опыты и для выяснения зависимости $Q_{нв}$ от гидравлического радиуса R_2 выпускного отверстия. Это было произведено путем замеров при выпуске зерна одной и той же партии при различной степени открывания задвижки n . Для всех значений n величина навески бралась примерно одинаковая. На графике (рис. 2) представлено сравнение полученных результатов с теоретической зависимостью:

$$Q_{нв} = AF\sqrt{R_2}$$



Рис. 4

По результатам всех замеров согласно формуле (14) вычислены значения коэффициента расхода μ , приведенные в табл. 1.

Зависимость коэффициента расхода μ от культуры и влажности зерна приведена на графике (рис. 4). Из графика видно, что значения коэффициента μ уменьшаются с увеличением влажности зерна. Такая зависимость вполне закономерна, так как с увеличением влажности уменьшается сыпучесть зерна. Из трех рассмотренных культур наибольшими значениями μ характеризуется пшеница, наименьшими — овес.

Влияния на μ изменения засоренности в указанных выше пределах выявить не удалось. Повидимому, большие изменения засоренности оказывают влияние на величину коэффициента расхода.

На рис. 5 представлена зависимость коэффициента расхода μ для пшеницы и овса от основного физического свойства сыпучего тела — коэффициента внутреннего трения. Значения коэффициента внутреннего трения для этих двух культур взяты по данным доц. П. Н. Платонова.

ПРОВЕРКА УСТАНОВЛЕННОГО СТАНДАРТА НА НАДВЕСОВЫЕ ЗАДВИЖКИ

Проведенные эксперименты дают основание при проектировании надвесовых задвижек принимать значение коэффициента расхода $\mu=0,45$ (пшеница при влажности 14—15%). В этом случае при насыпном весе $\gamma=0,75 \text{ т/м}^3$ расчетная формула (14) принимает вид:

$$Q_{нв} = 3600 \mu \gamma F \sqrt{2gR_{np}} = 3600 \cdot 0,45 \cdot 0,75 F \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 2R_r} = 7600 F \sqrt{R_r} \quad (16)$$

Проверим размеры выпускаемых промышленностью надвесовых задвижек по известным двум условиям, выведенным проф. Д. В. Шумским (8):

$$n_2 + x_2 \leq n_1 - (3d + C_{нв} + z) \quad (I)$$

$$n_2 + x_2 \geq 3d + C_{нв} + z + y_2 \quad (II)$$

Учитывая формулу (15) и принимая параметры этих неравенств в минутах, можно условия (I) и (II) записать в следующем виде:

$$\left. \begin{aligned} Q_{нв} &\geq \frac{60 E_B}{n_1 - (n_2 + x_2 + 2 \cdot 3d + z + a)} ; \\ Q_{нв} &\geq \frac{60 E_B}{(n_2 + x_2) - (2 \cdot 3d + z + y_2 + a)} \end{aligned} \right\} \quad (17)$$

Результаты расчета по определению минимальных $Q_{нв}$ согласно условиям (17) для стандартных сочетаний оборудования и характеристика задвижек, выпускаемых промышленностью, приведены в табл. 2. Пропускная способность $Q_{нв}$ этих задвижек определена по формуле (16), а соответствующее время наполнения $C_{нв}$ — по формуле (15).

Таблица 2

Сочетание оборудования	Минимальная $Q_{нв}$ по условию		Характеристика стандартных задвижек					
	I	II	тип	количество и размер отверстий в мм	площадь отверстий F в м ²	гидравлический радиус R_r в м	пропускная способность $Q_{нв}$ в т/час	время наполнения $C_{нв}$ в мин.
45/100/5	95	254	ТЗВ-4	4×500×300	0,6	0,0935	1400	0,27
100/175/10	288	373	ТЗВ-4	4×500×300	0,6	0,0935	1400	0,48
175/350/20	410	745	ТЗВ-6	6×250×250	0,375	0,0625	715	1,73
350/500/70	1340	640	ТЗВ-9	9×250×250	0,5625	0,0625	1070	3,97
500/800/70	1580	1225	ТЗВ-9	9×250×250	0,5625	0,0625	1070	3,97

Из таблицы следует, что для сочетания оборудования 175/350/20 задвижки предусматриваются с недостаточной производительностью, а для сочетаний 350/500/70 и 500/800/70 — с очень заниженной производительностью.

В табл. 3 рассмотрены два типа задвижек — с отверстиями 300×300 мм и 500×300 мм. Для сравнения приведены нормативы величин $C_{нв}$, установленные в 1932 г. элеваторной секцией НТС мукомольной промышленности и элеваторного хозяйства.

Таблица 3

Сочетания оборудования	Время заполнения весов $C_{нв}$ в мин. (норма)	I вариант (отверстия 300×300 мм)			II вариант (отверстия 500×300 мм)		
		количество отверстий	пропускная способность $Q_{нв}$ в т/час	время наполнения $C_{нв}$ в мин.	количество отверстий	пропускная способность $Q_{нв}$ в т/час	время наполнения $C_{нв}$ в мин.
45/100/5	0,50	4	750	0,46	4	1400	0,27
100/175/10	0,80	4	750	0,86	4	1400	0,48
175/350/20	1,00	6	1130	1,12	6	2100	0,64
350/800/70	1,63	9	1690	2,55	9	3150	1,39
500/800/70	1,63	9	1690	2,55	9	3150	1,39

При сравнении данных, приведенных в табл. 3 и 2, видно, что, исходя из условий (17), для всех сочетаний оборудования достаточными являются задвижки по I варианту, однако нормы НТС на $C_{нв}$ соблюдаются лишь при установке задвижек по II варианту.

При этом варианте работа весовщиков будет менее напряженной, но для задвижек с 6 и 9 отверстиями значительно увеличивается усилие, необходимое для их открывания.

ВЫВОДЫ

1. Пропускная способность выпускных отверстий при свободном истечении не зависит от высоты столба сыпучего тела над ними. Экспериментальные данные не противоречат гипотезе об образовании над выпускными отверстиями динамического разгружающего свода.

2. Высота разгружающего свода зависит от размеров выпускного отверстия и коэффициента внутреннего трения сыпучего тела.

3. Пропускная способность выпускных отверстий зависит от коэффициента внутреннего трения и насыпного веса сыпучего тела, площади и гидравлического радиуса отверстий. Для круглых, квадратных и прямоугольных отверстий пропускная способность может определяться по уравнению (14).

4. Коэффициент расхода зависит от коэффициента внутреннего трения сыпучего тела. Так же, как и коэффициент внутреннего трения, коэффициент расхода для зерна зависит от культуры, влажности и, повидимому, от засоренности.

5. Пропускная способность задвижек над элеваторными ковшевыми весами может определяться по уравнению (16).

6. Размеры отверстий задвижек над весами грузоподъемностью 20 и 70 т должны быть изменены.

ЛИТЕРАТУРА

1. Альферов К. В. Бункеры, затворы, питатели. Машгиз, 1946.
2. Башлаков В. Выбор грузоподъемности ковшевых элеваторных весов. Журн. «Советское мукомолье и хлебопечение». № 2—3, 1935.
3. Линчевский И. П. К вопросу об истечении сыпучих тел. «Журнал технической физики», т. IX, вып. 4, 1939.
4. Покровский Г. И. и Арефьев А. И. Об истечении сыпучих тел. «Журнал технической физики», т. VII, вып. 4, 1937.
5. Протодяконов М. М., проф. Давление горных пород и рудничное крепление. Часть первая. Давление горных пород. ГОНТИ, 1936.
6. Соколов А. Я. Механическое оборудование зерновых элеваторов. Снабтехиздат, 1933.
7. Шумский Д. В., проф. Статьи в журн. «Советское мукомолье и хлебопечение» № 1, 2, 5 за 1932 г.
8. Шумский Д. В., проф. Элеваторно-складское хозяйство, ч. I. Заготиздат, 1940.

А. М. ДЗЯДЗИО,
канд. технических наук, доцент
П. Н. ПЛАТОНОВ,
канд. технических наук, доцент

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ ПРОДУКТОВ ПОМОЛА НА МЕЛЬНИЦАХ

Пневматический транспорт сыпучих материалов широко применяется в различных отраслях промышленности. С успехом он применяется и в мукомольно-крупяной промышленности, и элеваторном хозяйстве для транспорта различных зерновых культур, особенно при разгрузке судов, отходов переработки зерновых культур и т. д. Воздух здесь используется как рабочий агент; потоки воздуха, движущиеся с определенной скоростью, собственно и перемещают материалы.

Компактность и простота установок пневматического транспорта, удобства эксплуатации их, повышение санитарно-гигиенических условий и другие преимущества обеспечили быстрое распространение этого вида транспорта.

Несколько повышенные эксплуатационные расходы пневматического транспорта по сравнению с механическим транспортом, большое многообразие сыпучих материалов, обладающих различными свойствами, требующими уточнения при расчетах, и недостаточность в связи с этим четких данных, обеспечивающих расчет и конструирование в каждом отдельном конкретном случае, являются до некоторой степени недостатками, препятствующими более быстрому распространению этого вида транспорта.

Пневматический транспорт материалов применяется главным образом с целью транспортирования, перемещения материалов из одного места в другое.

Пневматический транспорт продуктов помола на мельницах имеет не только чисто транспортные цели — перемещение продуктов, но также одновременно преследует выполнение других задач. Воздушные потоки, перемещая продукты помола, одновременно выполняют чисто аспирационные задачи — аспирируют оборудование, охлаждают рабочие органы машин, охлаждают продукты помола, что в свою очередь повышает себестоимость просеивающих машин и, следовательно, их производительность.

Охлаждение продуктов помола и рабочих органов машин при пневматическом транспорте полностью ликвидирует возможность

возникновения конденсации влаги на поверхностях оборудования, что значительно улучшает санитарно-гигиенические условия предприятия, а также устраняет скопления продуктов помола, своевременно отводит тепло и влагу в местах их образования, не дает возможности развиваться и размножаться вредителям зерна и продуктов его переработки.

Таким образом, пневматический транспорт продуктов помола, кроме чисто транспортных операций, одновременно решает ряд технологических задач.

Если к этому добавить простоту конструкций установок пневматического транспорта, их компактность, удобства эксплуатации, уменьшение строительных объемов здания, то станет очевидным, что повышенные эксплуатационные расходы пневматического транспорта при использовании его на мельницах значительно снизятся, а целесообразность его применения повысится.

С целью выяснения эффективности пневматического транспорта на мельницах по инициативе авторов и по заданию Главмуки в 1947 г. были начаты исследования для: 1) определения основных расчетных параметров и эффективности работы оборудования; 2) проверки в производственных условиях расчетных параметров, полученных в результате исследования, и 3) определения влияния пневматического транспорта на технологический процесс и выяснения технико-экономических показателей пневматического транспорта по сравнению с механическим.

В настоящей статье излагается первый этап работы. Экспериментальные исследования были проведены при участии ассистента Г. Ф. Костюка и инж. Е. В. Константинопольского.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА

Схема установки. Для исследования процесса транспортирования продуктов помола на мельницах была принята схема установки, которая имела те же параметры, что и предполагаемая производственная установка (рис. 1). Диаметр рабочих трубопроводов принят равным 78 и 105 мм.

Опытная установка состоит из питателя 1, подающего материал в рабочий трубопровод; рабочего трубопровода 2, состоящего из прямых горизонтальных и вертикальных участков и колен; отделителя материала 3, шлюзового затвора 4; воздухопровода 5, снабженного измерительной диафрагмой 6; вентилятора 7, снабженного

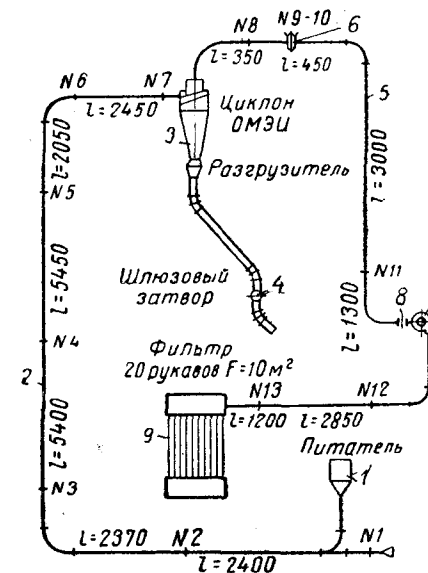


Рис. 1

на всасывающей стороне задвижкой 8, предназначенной для регулирования количества воздуха, просасываемого через систему, и фильтра 9.

Аппаратура. При исследовании применялась обычная стандартная аппаратура — тягомеры для небольших давлений до 60 мм вод. ст. и U-образные манометры для определения давления от 60 до 1000 мм вод. ст.

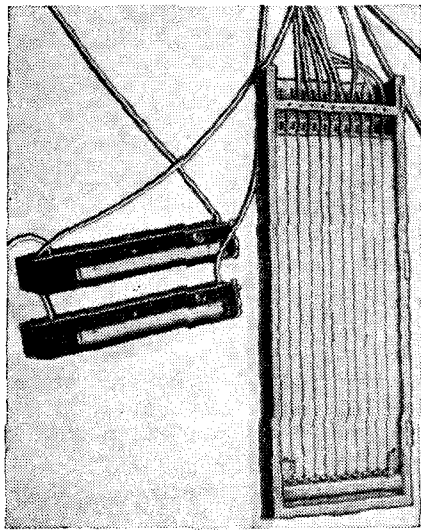


Рис. 2

Для получения характеристики всего рабочего трубопровода был применен групповой манометр (рис. 2). Применение такого манометра позволило для одного и того же режима снимать большое число характеристик, что повысило точность полученных опытных данных.

Для определения расхода воздуха применялась обычная измерительная диафрагма, предварительно прокалиброванная перед началом исследования. Измерительная диафрагма была включена в воздухопровод после отделителя.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Определение сопротивления рабочего трубопровода. Сопротивление рабочего трубопровода определялось следующим образом. По всей длине рабочего трубопровода были расположены измерительные шайбы — точки замера (см. рис. 1), которые соединялись резиновыми трубками с групповым манометром. Герметичность установки проверялась перед каждым опытом путем закрывания задвижки у всасывающего отверстия рабочего трубопровода. После создания герметичности установка испытывалась на чистом воздухе при всех значениях скорости движения воздуха, принятых при исследовании. На основании результатов опыта определяли величины коэффициентов сопротивления прямых участков по уравнению:

$$\lambda = \frac{\Delta H_{ст}}{\frac{\gamma v_p^2}{2g}} \frac{D}{l}, \quad (1)$$

где $\Delta H_{ст}$ — разность статических напоров на концах измеряемого участка;

v_p — рабочая скорость воздушного потока в трубопроводе в м/сек;

D — диаметр трубопровода в м;

l — длина трубопровода в м;
 γ — удельный вес воздуха в кг/м³.

Коэффициент местного сопротивления определялся по уравнению:

$$\zeta = \frac{\Delta H_{ст}}{\frac{\gamma v_p^2}{2g}}, \quad (2)$$

где $\Delta H_{ст}$ — разность статических напоров до и после местного сопротивления.

Сопротивление прямолинейного материалопровода, как показали исследования, с достаточной для практики точностью может быть определено уравнением:

$$H_m = \lambda_m \frac{l}{D} \frac{\gamma v_p^2}{2g}, \quad (3)$$

где λ_m — коэффициент сопротивления материалопровода при транспортировании смеси материала и воздуха.

Величина коэффициента сопротивления материалопровода λ_m зависит от рабочей скорости воздуха v_p , диаметра материалопровода D , количества перемещаемого материала G_m и от его физических свойств Φ (размеров частиц, формы их, дисперсного состава материала, удельного веса и т. п.) и может быть выражена как

$$\lambda_m = f(v_p, D, G_m, \Phi). \quad (4)$$

Исследованию подвергались продукты I, II и III драных и 1-й, 2-й и 3-й размольных систем, полученных с мельницы, схема которой характеризовалась пятью драными и пятью размольными системами. Физические свойства каждого из указанных продуктов принимались неизменными, $\Phi = \text{const}$.

Таким образом, при $D = \text{const}$ величина λ_m в каждой отдельной серии опытов представляла функцию рабочей скорости и количество материала:

$$f_1 = \lambda_m(v_p, G_m) \quad (5)$$

и определялась из уравнения (3):

$$\lambda_m = \frac{\Delta H_{ст}}{\frac{\gamma v_p^2}{2g}} \frac{D}{l}. \quad (6)$$

Коэффициенты местных сопротивлений определялись по уравнению:

$$\zeta = \frac{\Delta H_{ст}}{\frac{\gamma v_p^2}{2g}}. \quad (7)$$

Эффективность работы отделителя определялась путем взвешивания материала G_m , поступающего в отделитель, и остатка материала G_{ϕ} , осевшего в рукавах фильтра, не осажженного в отделителе.

Длительность каждого опыта 4—6 час.

Коэффициент отделения¹ вычислялся по уравнению:

$$\eta = \frac{G_m - G_{\phi}}{G_m} \quad (8)$$

Порядок проведения опытов. Порядок проведения опытов на полупроизводственной установке был принят следующий.

Ежедневно в начале и в конце опытов проверяли герметичность установки. После проверки герметичности проводили опыты с чистым воздухом. Затем, регулируя работу питателя и задвижку у вентилятора, устанавливали необходимую производительность установки по материалу и скорость движения воздуха в рабочем трубопроводе.

После создания необходимых условий работы установки последняя работала в течение не менее 10 мин. до достижения в ней установившегося режима, после чего производились все необходимые замеры.

Результаты исследования. Задачи первого этапа исследования определили собой объем и характер выполненных работ.

В целях получения необходимых данных для проектирования сетей пневматического транспорта в размольном цехе мельницы исследователи ставили перед собой задачи: 1) определить рабочую скорость движения воздуха в материалопроводах, обеспечивающую надежность транспортирования при наименьшем расходе энергии; 2) определить коэффициент сопротивления материалопровода; 3) определить сопротивления колен; 4) найти оптимальный тип отделителя материала, определить его сопротивление и эффективность работы.

Исследование проводилось в основном на вертикальном трубопроводе, характерном для пневматических сетей в размольном цехе мельницы.

Рабочая скорость движения воздуха. Правильный выбор рабочей скорости движения воздуха в материалопроводах пневматического транспорта имеет весьма существенное значение. При выборе скорости движения воздуха необходимо руководствоваться, с одной стороны, надежностью, а с другой, — экономичностью работы установки.

Энергия, затрачиваемая на перемещения материала, изменяется пропорционально величине скорости движения воздуха в третьей степени, поэтому выбор рабочей скорости движения воздуха в значительной степени определяет эксплуатационные расходы пневматического транспортирования материала, а с этой точки зрения

¹ В определении η по уравнению (8) мы пренебрегли количеством материала, унесенного воздухом в виде пыли, прошедшей сквозь ткань фильтра в связи с ее незначительной величиной по сравнению с G_m и G_{ϕ} .

величина v_p должна быть, по возможности, меньшей. Однако опыт работы показывает, что нельзя произвольно устанавливать нижний предел величины рабочей скорости движения воздуха, ибо это может вызвать образование завалов.

Для выбора минимальной величины v_p , обеспечивающей в то же время надежность работы установки, были проведены опыты, результаты которых представлены на рис. 3, устанавливающие определенную зависимость скорости движения воздуха при завалах v_z от производительности установки.

Величина рабочей скорости движения воздуха, обеспечивающая надежность работы установки, может устанавливаться согласно уравнению:

$$v_p = b \cdot v_z, \quad (9)$$

где $b = 1,1—1,2$, а величина v_z может быть определена в зависимости от G_m и характера продукта согласно рис. 3.

Следует отметить, что величина v_z , а следовательно, и v_p выше для продуктов, частицы которых по своей форме более плоские; величина v_z поэтому выше для продуктов V драной системы по сравнению с v_z для продуктов I драной системы.

Коэффициенты сопротивления вертикальных трубопроводов.

Вертикальные трубопроводы в пневматическом транспорте продуктов помола на мельницах занимают наибольший удельный вес. Поэтому при исследовании сопротивления прямых участков трубопроводов основное внимание было уделено вертикальным участкам.

Проведенные опыты с вертикальными трубопроводами диаметром 78 и 105 мм позволили установить определенную зависимость между коэффициентом сопротивления λ_m , производительностью установки G_m , рабочей скоростью движения воздуха v_p для этих наиболее часто применяемых диаметров трубопровода и различных продуктов помола.

Как показали многочисленные опыты (рис. 4, 5 и 6), величина коэффициента сопротивления трубопровода при перемещении смеси материала и воздуха может быть выражена уравнением:

$$\lambda_m = \lambda + mG_m, \quad (10)$$

где $m = F(D, v_p, \Phi)$; величина m в наших исследованиях находилась в пределах $m = 0,0012 \div 0,0022$. Меньшие значения m следует

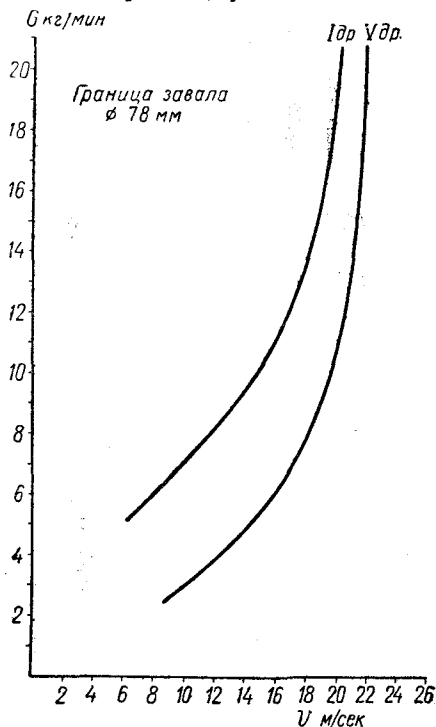


Рис. 3

принимать для больших значений D и v_p и для продуктов вымольных систем и отрубей; большие значения m — для меньших D и v_p и для продуктов первых драных и размольных систем, крупок и муки.

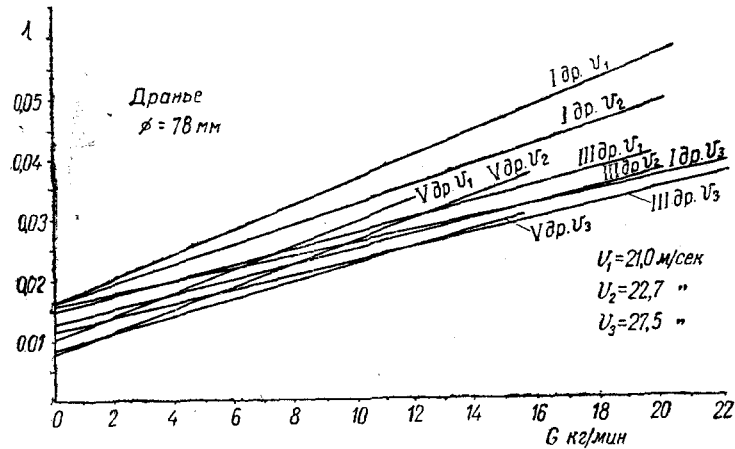


Рис. 4

Уточнение величины m и нахождение зависимости ее от D и v_p — задача будущего исследования.

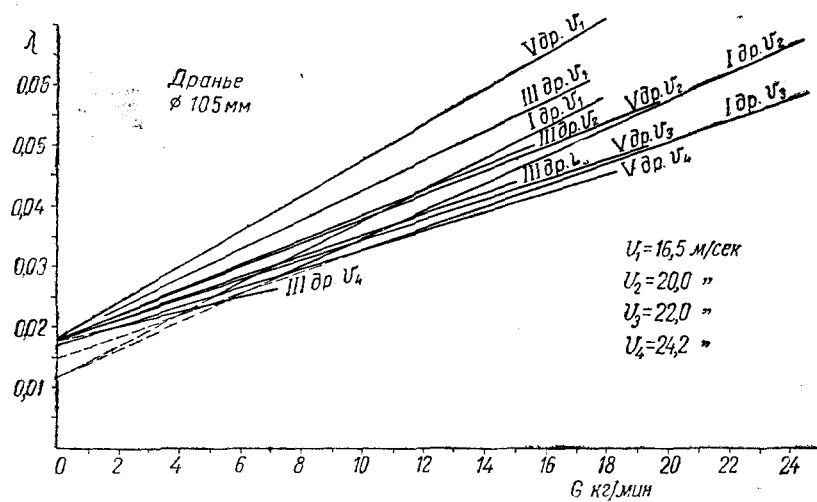


Рис. 5

Потери напора в фасонных частях. Основными местными потерями напора в материалопроводах пневматических сетей в размольных цехах мельниц являются потери при загрузке, в отводах и при разгрузке (в отделителях).

Проведенные предварительные исследования подтверждают, что потери напора в фасонных частях, в частности отводах, следует определять по уравнению:

$$H_{ф. м} = \zeta_m H_{ф}, \quad (11)$$

где $H_{ф. м}$ — потери напора в фасонной части трубопровода при перемещении смеси материала и воздуха в $кг/м^2$;
 $H_{ф}$ — потери напора в фасонной части трубопровода при перемещении чистого воздуха в $кг/м^2$;
 ζ_m — коэффициент местного сопротивления при перемещении смеси материала и воздуха.

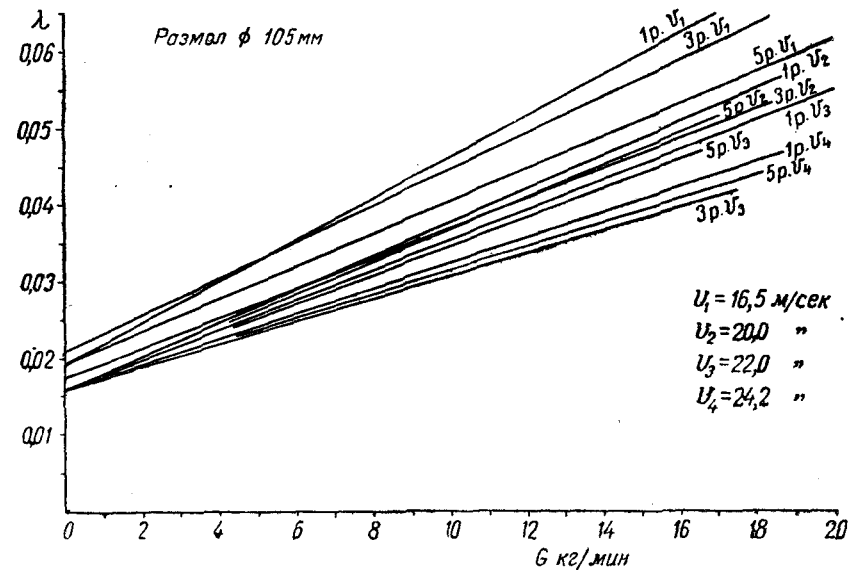


Рис. 6

С достаточной для практических целей точностью можно принимать значения:

$$\zeta_m = \frac{\lambda_m}{\lambda}. \quad (12)$$

Отделители. С целью отбора наиболее эффективно работающего отделителя было исследовано несколько типов центробежных отделителей, применяемых в промышленности. Результаты исследования показали, что для отделения продуктов помола от воздушных потоков с успехом можно применять различные типы отделителей. Впоследствии при переводе мельницы на пневматический транспорт мы остановились на центробежном отделителе — циклоне ОМЭИ¹,

¹ Циклоны ОМЭИ предложены доц. А. В. Панченко (см. статью «Групповые циклоны ОМЭИ»).

конического типа, с минимальной высотой цилиндрической части (рис. 7), показавшем хорошие результаты работы.

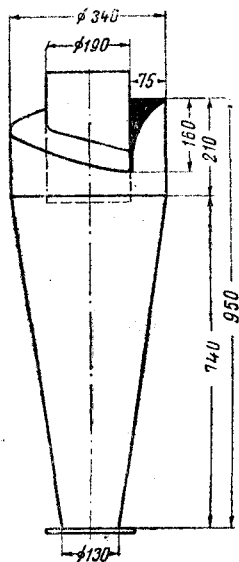


Рис. 7

Испытания отделителя были проведены с чистым воздухом и со смесью воздуха и материала при входных скоростях воздуха $v_{вх} = 8 \div 25$ м/сек.

В результате исследования было установлено, что коэффициент сопротивления центробежного отделителя ОМЭИ для чистого воздуха диаметром до 500 мм может быть выражен формулой:

$$\zeta = 13 D_n, \quad (13)$$

где D_n — наружный диаметр отделителя в м.

При пропуске через отделитель смеси воздуха и материала его коэффициент сопротивления всегда ниже, чем на чистом воздухе, и может быть выражен как

$$\zeta_m = \beta \zeta, \quad (14)$$

где β — коэффициент, зависящий от G_m , всегда меньше единицы ($\beta = 1,0 \div 0,8$); чем больше G_m , тем меньше значение β .

Коэффициент отделения во время исследования его работы на всех продуктах помола не снижался ниже $\eta = 0,994$.

ВЫВОДЫ

На основании результатов исследования работы пневматического транспорта продуктов помола можно сделать следующие предварительные выводы:

1. Рабочая скорость воздушного потока, обеспечивающая надежную и устойчивую работу пневматической установки при транспортировании продуктов помола, должна выбираться в зависимости от величины v , производительности установки и диаметра трубопровода.

2. Коэффициент сопротивления вертикальных материалопроводов находится в прямой зависимости от производительности для данной величины рабочей скорости движения воздушного потока и диаметра трубопровода. Величина коэффициента сопротивления материалопровода может быть определена по уравнению:

$$\lambda_m = \lambda + m G_m.$$

3. Коэффициенты местных сопротивлений, определяющие потери напоров в фасонных частях материалопроводов, могут быть приняты равными:

$$\zeta_m = \frac{\lambda_m}{\lambda} \zeta.$$

4. Коэффициент сопротивления отделителя, работающего на отделении продуктов помола, зависит от количества материала G_m и всегда меньше величины коэффициента сопротивления того же отделителя при его работе на чистом воздухе:

$$\zeta_m = \beta \zeta,$$

где $\beta = 1,0 \div 0,8$.

5. Коэффициент отделения для отделителя типа ОМЭИ при величине скорости движения воздуха, отнесенной к площади входного отверстия, в пределах от 10 до 20 м/сек равен не менее 0,994.

Установленные в результате проведенных исследований основные расчетные параметры дали возможность спроектировать пневматическую установку размольного отделения мельницы № 18 Одесского межобластного треста Главмуки и в 1950 г. перевести ее на пневматический транспорт, а в 1952 г. — мельницу № 1 Одесского Обмелътреста.

Результаты более чем годовой работы мельницы № 18 на пневматическом транспорте и мельницы № 1 Обмелътреста полностью подтвердили найденные при исследованиях основные расчетные параметры, установили также, что применение пневматического транспорта на мельницах значительно улучшает ведение технологического процесса, повышает производительность предприятия, значительно улучшает его санитарное состояние (так, например, запыленность воздуха на мельнице № 1 снизилась с 25 до 2—3 мг на 1 м³ воздуха), улучшает условия труда рабочих.

Внедрение пневматического транспорта на вновь строящихся предприятиях открывает широкие перспективы в проектировании новых мельниц, снижении строительных объемов здания и, следовательно, удешевлении стоимости его, дает возможность более компактного расположения оборудования и т. д.

Пневматический транспорт на мельницах позволяет без особых дополнительных затрат применять пневматическую сепарацию¹, что освободит поверхность сит просеивающих машин (как известно, наиболее узкого места в повышении производительности предприятия) и увеличит производительность предприятия.

Учитывая изложенные выше положительные факторы, следует рекомендовать более смелое и широкое внедрение пневматического транспорта на мельницах.

¹ Исследования возможности применения пневматической сепарации в настоящее время проводятся авторами в институте.

Г. Д. ДОМБРОВСКИЙ,
канд. технических наук, доцент

И. И. ЛЕНАРСКИЙ,
канд. химических наук, доцент

И. Е. ДРАГУН,
канд. технических наук

ПРИГОТОВЛЕНИЕ ОВСЯНОЙ КОРИЧНЕВОЙ КРУПЫ

ВВЕДЕНИЕ

Технология производства продуктов питания из зерна злаковых преследует две основные цели: удалить внешние покровы зерна и довести составные части зерна до состояния легкой и полной усвояемости.

Удалять внешние покровы зерна необходимо потому, что ткани их состоят из химически стойких и потому не усвояемых человеческим организмом веществ.

Составные части зерна доводят до состояния легкой усвояемости действием гидротермической обработки. Применение гидротермической обработки вызывается необходимостью разрыхлить ткани эндосперма, ослабить связь клеток, усилить проницаемость стенок клеток, а главное — вызвать химические изменения в основных веществах ядра — белках и крахмале, что облегчает их переваримость (1, 6).

Изучая химические изменения в зерне овса при обработке паром в автоклаве под давлением от 2 до 6 ат и продолжительностью от 30 мин. до 2 ч. 30 м., Ленарский нашел (5), что в начале нагревания белковые вещества подвергаются денатурации; это выражается в потере ими растворимости. При более продолжительном воздействии пара белки в результате гидролитического расщепления переходят в растворимое состояние. Однако распада их с потерей азота не наблюдается.

Воздействие пара на крахмал вызывает его клейстеризацию и декстринизацию. Этот процесс протекает плавно и может достигать значительной глубины.

Нагревание в автоклаве резко сокращает время разваримости крупы. Степень воздействия нагревания на вещества зерна удобно определять по содержанию воднорастворимых веществ.

В литературе о превращении основных органических веществ зерна при нагревании встречаются указания на возможность перехода белков в растворимое состояние под воздействием перегретого пара в результате гидролиза.

Крахмал способен подвергаться клейстеризации и декстринизации. Клейстеризация возможна только при нагревании и значительном увлажнении зерна. Распад крахмала на декстрины, окрашенные в цвета от желтого до коричневого, начинается при температуре в 110°.

Коричневую окраску продукты зерна могут приобретать также за счет карамелизации сахаров.

Исходя из этого, методы получения коричневой крупы должны включать процессы, способные вызвать в веществах овса начальную стадию (до появления горечи) — карамелизацию сахаров и декстринизацию крахмала.

В соответствии с этим существенное значение могут иметь: а) обработка зерна в автоклаве; б) предварительное увлажнение его с целью повышения ферментативной активности и последующее пропаривание и в) обработка экстрактом, содержащим ферменты (мальцэкстрактом), и последующее пропаривание.

С технологической точки зрения одной из основных задач производства овсяной коричневой крупы является освобождение зерна от цветочных пленок. Исследования Драгуна, проведенные в 1947 г., показали, что пропаривание с последующей сушкой облегчает шелушение зерна даже для такой культуры как ячмень, у которого цветочные пленки плотно сросшены с ядром.

Оболочки зерна имеют высокоразвитую капиллярную поверхность с большим числом макро- и микропор. Благодаря присутствию макропор внутренние слои оболочек становятся доступными для паров воды (7) и при соприкосновении с парами происходит капиллярная конденсация. Вследствие весьма большой активной поверхности оболочек конденсация паров воды происходит весьма быстро (2).

Отдача влаги цветочными пленками зерна различных крупяных культур происходит также значительно быстрее, чем эндоспермом и целым зерном (3).

При повышении влажности зерна в оболочках овса накапливается больше влаги, следовательно, они обладают большим сопротивлением на разрыв. Наоборот, при содержании влаги 8—10% цветочные пленки овса становятся хрупкими, а при снижении влаги до 3—4% превращаются при шелушении почти полностью в муку. Быстрое высушивание зерна влияет на цветочные пленки и ядро различно. В то время как первые становятся хрупкими и легко разрушаются при шелушении, ядро теряет меньше влаги и потому разрушается в меньшей степени.

Вторая задача технологического процесса — изменить структуру ядра с целью уменьшения при шелушении количества муки и увеличения выхода крупы. В природных условиях консистенция зерна (его стекловидность) зависит от степени заполнения пустоты между крахмальными зернами в эндосперме клеевидными белковыми веществами. Известно, что другим прекрасным клеевидным веществом для заполнения промежутков между крахмальными зернами эндосперма служат декстрины, которые легко получить путем перевода некоторого количества крахмала в декстрины при

обработке в автоклаве под высоким давлением. Декстринизация крахмала способствует склеиванию крахмальных зерен в одну сплошную стекловидную массу.

Одновременно с изменением консистенции ядра при обработке зерна в автоклаве решается еще одна задача — накопление в крупе воднорастворимых веществ, что в значительной мере повышает усвояемость крупы и ускоряет процесс ее приготовления.

С целью увеличения количества воднорастворимых веществ в крупе зерно перед обработкой в автоклаве подвергалось предварительному увлажнению с последующим отволаживанием. При достаточном увлажнении и отволаживании зерна ферменты в нем значительно активизируются и за счет этого происходит переход нерастворимых веществ в растворимую форму, главным образом гидролиз крахмала. Количество образовавшихся при этом сахаров может достигнуть 5—10%, что вместе с декстринами, образовавшимися при обработке в автоклаве, составит 20—25% воднорастворимых веществ.

При разработке схемы выработки овсяной коричневой крупы нами принят смешанный способ накопления воднорастворимых веществ, а именно: путем активизации ферментов зерна при кондиционировании и происходящего за этот счет гидролиза веществ эндосперма и путем обработки зерна в автоклаве под повышенным давлением и происходящей при этом декстринизации крахмала. Под воздействием высоких температур сахара частично карамелизируются и в зависимости от степени крахмализации придают ядру коричневую окраску большей или меньшей интенсивности.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

В экспериментальной части нашей работы мы наметили четыре основных раздела:

1. Предварительные опыты гидротермической обработки.
2. Определение оптимальной влажности зерна при шелушении и температуры для высушивания.
3. Обработка овса в автоклаве без активизации ферментов.
4. Обработка овса в автоклаве с предварительной активизацией ферментов.

Предварительные опыты гидротермической обработки

С целью найти оптимальные условия гидротермической обработки овса было проведено значительное число опытов с небольшими навесками. При этих опытах изменялись давление пара, продолжительность и условия предварительной подготовки зерна (без увлажнения или с увлажнением). При проведении увлажнения зерно полностью замачивалось водой.

Давление при опытах изменялось от 0,1 до 3 ат, а продолжительность обработки в автоклаве — от 30 мин. до 2 час. После автоклава зерно сушилось и подвергалось анализу. Отделенное от цветочных пленок ядро использовалось для определения содержания воднорастворимых веществ, привара и цвета. Воднораствори-

мые вещества определялись в вытяжке из 5 г тонко измельченного ядра в 50 мл воды с учетом влаги, содержащейся в ядре.

Результаты опытов приведены в табл. 1.

Таблица 1

Влияние различных способов гидротермической обработки овса на качество крупы

№ опыта	Условия гидротермической обработки			Разваримость в мин.	Водо-растворимость веществ в %	Цвет
	время в мин.	давление в ат	Увлажнение и температура			
Контроль	—	—	—	50	7,62	Нормально окрашенн.
№ 2	30	0,1	Без увлажнения	40	6,70	" "
№ 3	60	0,1	"	32	5,60	" "
№ 4	90	0,1	"	32	5,16	" "
№ 5	120	0,1	"	30	5,53	" "
№ 6	60	1	"	25	5,89	Светлокоричневый
№ 7	90	1	"	25	6,20	"
№ 8	120	1	"	22	9,14	Более интенс. коричн. окраски
№ 9	30	2	"	22	8,38	Светлокоричневый
№ 10	60	2	"	20	11,325	Коричневый
№ 11	90	2	"	20	12,06	"
№ 12	120	2	"	15	15,46	"
№ 13	30	3	"	15	8,96	Светлокоричневый
№ 14	60	3	"	15	12,04	Коричневый
№ 15	90	3	"	12	16,93	"
№ 16	30	2	С увлажнением 15° 24 часа	33	10,12	"
№ 17	60	2	15° 24 "	26	12,99	"
№ 18	90	2	15° 24 "	24	13,32	"
№ 19	30	2	15° 36 "	17	9,75	Светлокоричневый
№ 20	60	2	15° 36 "	13	15,03	Коричневый
№ 21	60	3	15° 24 "	15	19,90	Интенс. коричневый
№ 22	60	3	15° 36 "	17	14,73	Коричневый
№ 23	30	2	15° 48 "	15	9,91	"
№ 24	60	2	40° 48 "	14	13,42	"
№ 25	60	3	40° 58 "	14	25,21	Темнокоричневый

Как видно из данных, приведенных в табл. 1, даже продолжительная обработка под давлением 0,1 и 1 ат не вызывает существенных изменений в крупе. Только повышение давления до 2 или 3 ат вызывает более глубокое воздействие, повышает содержание воднорастворимых веществ, сокращает до минимума время кули-

нарной обработки (разваримости). Однако из зерна, обработанного в автоклаве без предварительного увлажнения, крупа не получалась с удовлетворительной окраской, тон окраски был слегка пепельным. Только при увлажнении зерна окраска крупы получилась приятного коричневого цвета. Повидимому, это произошло вследствие тех ферментативных процессов, которые протекали во время увлажнения и отволаживания зерна, и главным образом благодаря накоплению сахаров.

Определение оптимальной влажности зерна для шелушения

Для определения оптимальной влажности навески зерна в 250 г высушивали в сушильном шкафу при температурах 60, 90, 120, 150° и влажность их доводили до 8,5; 9,5; 10,5 и 11,5%. После получения заданной влажности зерно охлаждалось на сите в течение 10 мин. и сейчас же шелушилось на лабораторном вальце-дековом станке с наждачной поверхностью при постоянном зазоре. Лучшим режимом сушки считался тот, при котором суммарное количество ядра (целого и дробленого) получалось наибольшим, а количество сечки и мучки — наименьшим.

С уменьшением влажности зерна суммарное количество целого и дробленого ядра, полученного при шелушении, увеличивается. Наибольшее количество ядра (целого и дробленого) получается при влажности зерна 8,5% и температуре сушки 150°.

Температура высушивания зерна мало отражается на суммарном выходе ядра. Исключительную роль при этом играют конечная влажность и ее распределение в зерне. Температура высушивания отражается только на времени сушки и, следовательно, на производительности сушилки.

Если в зерне после высушивания влажность успеет выровняться между ядром и оболочкой, выход ядра при шелушении значительно снижается вследствие увеличения упругости цветочных пленок овса.

Средние цифры выхода ядра, полученные после сушки зерна, при всех температурах совершенно определенно подтверждают эти выводы (табл. 2).

Таблица 2
Средние цифры выхода ядра, полученные после сушки зерна

Влажность зерна в %	Целое ядро в %	Количество дробленого ядра в %	Всего ядра в %
11,5	19,95	4,63	24,58
10,5	22,55	6,52	29,07
9,5	21,5	8,92	30,42
8,5	22,05	9,96	32,01

На основании этих предварительных опытов надо полагать, что оптимальное содержание влаги в овсе перед шелушением должно равняться 10,5%, а температура сушки — в пределах 120—150°.

Обработка зерна в автоклаве без предварительной активизации ферментов

После определения оптимальной влажности зерна для шелушения и температуры для высушивания изучалось влияние на зерно гидротермической обработки. С этой целью навески овса в 250 г загружались в автоклав.

Для того чтобы после загрузки можно было быстро поднять давление в автоклаве, его предварительно разогревали. Давление в автоклаве поднималось в течение 10—15 мин. Время обработки в автоклаве учитывалось с момента достижения требуемого давления. Образцы подвергали обработке под давлением 2 ат в течение 120 мин. и затем подсушивали при температуре 150° до различной влажности.

Результаты опытов приведены в табл. 3.

Таблица 3
Изменение выхода ядра после гидротермической обработки без предварительной активизации ферментов

Влажность зерна в %	Количество целого ядра в %	Количество дробленого ядра в %	Сумма дробленого и целого ядра в %
9,5	5,8	49,11	54,91
10,5	19,4	18,90	37,30
11,5	18,3	11,47	29,77
11,7	13,2	15,70	28,90
12,0	16,8	11,10	27,90
12,7	17,2	8,95	26,15

Из таблицы видно, что суммарный выход ядра (целого и дробленого) по мере уменьшения влажности зерна увеличивается. Количество целого ядра с уменьшением влажности зерна до 10,5% остается примерно на одном уровне, количество же битого ядра увеличивается. При уменьшении влажности зерна до 9,5% количество целого ядра резко падает.

После обработки в автоклаве и высушивания ядро дает стекловидный излом и приобретает коричневый цвет.

Суммарное количество ядра (целого и дробленого) после обработки в автоклаве получается большим, чем из зерна, не подвергнувшегося такой обработке при том же режиме сушки.

Обработка зерна в автоклаве с предварительной активизацией ферментов

Основной задачей обработки зерна в автоклаве являются увеличение воднорастворимых веществ в ядре и изменение его структуры. Увеличить количество воднорастворимых веществ и, следовательно, повысить усвояемость крупы можно, вызвав путем пред-

варительного увлажнения зерна с последующим отволаживанием усиленное воздействие ферментов на вещества ядра и их гидролиз. Особенно это касается действия амилазы на крахмал. С целью проверить это положение зерно увлажнялось с таким расчетом, чтобы полностью насытить его водой, и затем выдерживалось в увлажненном состоянии в общей сложности 24 часа.

Подготовленное таким образом зерно обрабатывалось в автоклаве под давлением 3 ат в течение 60 мин. и затем высушивалось при температуре 150°. При таком способе подготовки зерна выход крупы за один проход через вальцедековый станок не увеличился по сравнению с выходом без активизации ферментов.

Результаты опытов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Изменение выхода ядра после гидротермической обработки овса с предварительной активизацией ферментов при 150° С

Влажность зерна в %	Количество целого ядра в %	Количество дробленного ядра в %	Всего обрушенного ядра в %
13,5	21,40	7,10	28,50
12,5	19,20	6,78	25,98
11,5	6,12	17,20	23,32

Надо заметить, что после автоклава зерно оказалось сплошь покрытым клеем. Очевидно, крахмал в результате усиленного увлажнения и последующего пропаривания значительно клейстеризировался и вышел наружу. Надо полагать, что при этом происходит, кроме того, потеря воднорастворимых веществ. Выход ядра при этом оказался меньшим, а количество нешелушеного зерна большим, чем при других режимах пропаривания. Возможно, что образовавшийся при пропаривании клейстер проклеил цветочные пленки овса, поэтому они после сушки с трудом подавались разрушению.

Темнокоричневый цвет ядра при таком способе пропаривания зависит частично от карамелизации и, может быть, частично от действия тирозиназы на белки ядра.

Однако громоздкость этого способа в производственных условиях, потеря клейстеризованного крахмала и затруднительность шелушения заставляют отказаться от его применения. Поэтому мы остановились на другом способе предварительного увлажнения и отволаживания зерна перед его пропариванием. При этом мы исходили из следующих соображений. В зерне, содержащем влаги около 30%, начинается процесс прорастания, следовательно, в нем начинают активизироваться ферменты и при продолжительном отволаживании часть крахмала будет переводиться в сахар. Исходя из этого, мы решили предварительно увлажнять зерно до 30% с последующим отволаживанием в течение 24 час. и обрабатывать

его в автоклаве под давлением в 3 ат в течение 60 мин. После автоклава зерно высушивалось при температуре 150° и доводилось до различной влажности (от 15,5 до 10,5%).

Результаты опытов приведены в табл. 5.

Таблица 5

Изменение выхода ядра после гидротермической обработки овса с предварительным увлажнением до 30% и отволаживанием в течение 24 час.

Влажность овса в %	Количество целого ядра в %	Количество дробленного ядра в %	Всего ядра в %
15,5	18,7	31,7	50,40
13,5	22,0	33,9	55,90
12,5	15,3	41,55	56,85
11,5	14,4	42,4	56,80
10,5	11,35	49,2	60,55

Как видно из таблицы, при таком способе подготовки зерна суммарный выход ядра (целого и дробленного) увеличивается почти в 2 раза. При шелушении замечается та же закономерность, что и в предыдущих опытах, т. е. с уменьшением влажности зерна суммарный выход ядра (целого и дробленного) увеличивается. Цвет ядра получается темнокоричневый, несколько светлее, чем в предыдущем опыте. Сухое ядро имеет горьковатый привкус, возможно за счет некоторой карбонизации. Количество воднорастворимых веществ почти такое же, как в предыдущем опыте,— в среднем 25,83%.

Наличие горечи заставило несколько изменить режим пропаривания. Подготовка зерна осталась прежней, т. е. предварительное увлажнение до 30% и последующее отволаживание в течение 24 час., но обработка в автоклаве под давлением в 3 ат продолжалась только 30 мин. и влажность зерна с последующей сушкой при температуре 150° доводилась до 10,5%.

После однократного пропуска зерна через вальцедековый станок суммарное количество ядра (целого и дробленного) получилось примерно такое же, как и в предыдущем опыте. Цвет ядра остался коричневым, посветления почти незаметно. Количество воднорастворимых веществ уменьшилось в среднем до 20,19%. Горечи в сухом ядре не наблюдалось.

Результаты опытов, проведенных при предварительном увлажнении до 30% с отволаживанием в течение 24 час., приведены в табл. 6.

Влияние гидротермической обработки овса на выход крупы

Наименование продуктов	Овес без предварительной обработки	Овес с гидротермической обработкой
	в %	в %
Недробленая крупа	34,2	37,1
Дробленая крупа:		
№ 1	10,3	14,1
№ 2	8,4	10,5
№ 3	2,2	1,4
Лuzга	30,8	29,0
Мучка	13,8	7,7
Механические потери	0,3	0,2
Всего	100,0	100,0

Таблица 6

Содержание воднорастворимых веществ в овсяной коричневой крупе

Условия пропаривания		Высушено до содержания влаги в %	Содержание воднорастворимых веществ		Среднее
давление в ат	время в мин.		в 20 мл вытяжки в г	в %	
3	30	11,5	0,3896	19,48	20,19
3	30	11,5	0,4178	20,89	
3	60	15,5	0,5046	25,23	
3	60	14,5	0,5396	26,98	25,99
3	60	10,5	0,5152	25,76	
2	60	12,5	0,3186	15,93	14,87
2	60	11,5	0,2702	13,51	
2	60	10,5	0,3034	15,17	

Сравнительные результаты шелушения предварительно подготовленного и натурального овса

При сравнении результатов двух технологических процессов нами было переработано более значительное количество зерна, чем в предыдущих опытах. Испытанию подвергались две пробы овса по 5 кг каждая.

Одна из них увлажнялась до 30% с 24-часовым отволаживанием и обработкой в автоклаве под давлением в 3 ат, с последующим подсушиванием до 10,5%-ной влажности при температуре 150°.

Вторая проба овса с влажностью тоже 10,5% шелушилась без предварительной обработки. Перед шелушением обе пробы овса были освобождены от мелкого овса путем просеивания на ситах с продолговатыми отверстиями размером 2,0×20 мм.

Результаты переработки обеих проб приведены в табл. 7.

Из таблицы видно, что количество крупы из зерна, обработанного в автоклаве, получилось на 8% больше, чем из зерна натурального.

Замеры времени, потраченного на обработку одного и того же количества овса, пропаренного и натурального, показали, что для шелушения первого зерна требуется на 9% времени меньше, чем для натурального.

Лuzги из белого овса (натурального) за один проход получено 30,8%, а из зерна, обработанного в автоклаве, — 29%. Анализ показывает, что частицы ядра в лuzге из натурального овса получают в виде отрубьянистых тонких пластинок значительной величины в поперечнике (2—3 мм), что не дает возможности отделять их ни при помощи сит, ни при помощи воздушного потока, по крайней мере в лабораторных условиях.

Ряд дальнейших опытов показал, что пропаривание под давлением в 3 ат иногда придает крупе горьковатый привкус вследствие карбонизации крахмала. В производственных условиях следует давление в пропаривателе доводить только до 2,5 ат и пропаривание вести в течение 40 мин.

Завод, перерабатывающий овес в светлую крупу, можно довольно легко приспособить для переработки овса в крупу коричневую. С этой целью необходимо устроить закрома для кондиционирования овса с целью поднять активность ферментов. Установить варочный аппарат с двойными стенками для пропаривания овса с небольшими бункерами для загрузки и выгрузки и последующего охлаждения овса.

Можно применить также горячее кондиционирование овса. Для этого следует поставить пропариватель винтового типа для легкого пропаривания зерна и бункер для последующего отволаживания. По предварительным опытам активизирование ферментов в этом случае происходит значительно быстрее. Поэтому отлежные закрома можно делать из расчета на 6—8 час. работы.

В случае установки варочного аппарата с одинарными стенками необходимо предусмотреть сушилку с последующим охлаждением.

ВЫВОДЫ

1. При обработке овса в автоклаве часть крахмала переходит в декстрины, повышая количество воднорастворимых веществ в ядре. При этом декстрины склеивают отдельные крахмальные зерна, превращая эндосперм в стекловидное состояние. Ядро окрашивается в коричневый цвет.

2. Увлажнение овса перед обработкой в автоклаве до 30% и затем 24-часовое отволаживание повышают количество водно-

растворимых веществ. Амилолитические ферменты (главным образом) активизируются и переводят часть крахмала в сахар, увеличивая тем самым количество воднорастворимых веществ. При этом окраска ядра усиливается вследствие карамелизации.

3. Обработать овес в автоклаве следует под давлением пара в 2,5 ат в течение 40 мин. с последующим высушиванием при нагреве зерна до 120°. В производственных условиях время, необходимое для обработки в автоклаве, следует определить опытным путем.

4. При гидротермической обработке овса повышается эффективность шелушения, увеличивается выход ядра против расчетного и ухудшается качество крупы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Глазунов И. Биохимия хлебопечения, вып. 1, 54. А. Н. СССР, 1938.
2. Домбровский Г. Д., Озолин Н. И. Метод определения гидротермических свойств мельничных продуктов. «Известия Одесского политехнического техникума зерна и муки» № 1, изд. Политехникума, т. 3, 1929.
3. Домбровский Г. Д. Режим сушки при подсушивании зерна в крупяном производстве. «Известия Гомского мукомольно-элеваторного института», т. IV, вып. 2. «Красное Знамя», 1939.
4. Ленарский И. И. К вопросу об изменениях в зерне при гидротермической обработке. Сообщения и рефераты ВНИИЗ. Заготиздат, 1949.
5. Ленарский И. И. Химические изменения вещества зерна при термической обработке. Труды Одесского института инженеров мукомольной промышленности и элеваторного хозяйства им. И. В. Сталина, Одесса, 1948.
6. Лобанов Д. И. Технология приготовления пищи. Госторгиздат, 1951.
7. Трисвятский Л. А. Хранение зерна. Заготиздат, 1951.

П. Г. ДЕМИДОВ,
канд. технических наук,
доцент,
И. К. КРАВЧЕНКО,
канд. технических наук

МЕТОД ПОДГОТОВКИ К ПОМОЛУ ГОРЬКОПОЛЫННОГО ЗЕРНА

ЗАДАЧА ИССЛЕДОВАНИЯ

Переработка горькопыльчатого зерна до настоящего времени остается актуальным вопросом, поскольку существующие способы удаления из зерна запаха и горечи не дают достаточного эффекта.

Производственные опыты переработки горькопыльчатого зерна, проведенные специалистами Главмуки (Щербаков — 1932 г., Фунтиков — 1936 г., Гафнер и Гетман — 1939 г. и др.), показали, что степень горечи можно значительно понизить, если принимать при подготовке зерна к помолу следующие меры:

а) интенсивно очищать зерно в подготовительном отделении мельницы, полностью удаляя из него корзиночки, соцветия и семянки полыни;

б) пропаривать зерно с последующей сушкой;

в) мыть зерно холодной и теплой водой.

Однако эти меры, как было уже сказано, полностью не ликвидируют горечи в зерне и потому единственным способом использования горькопыльчатого зерна остается подсортировка его к здоровому в размерах от 25 до 50% (в зависимости от степени горечи и сорта вырабатываемой муки).

Таким образом, решающим фактором для получения муки стандартного качества является процесс подсортировки зерна, который не всегда может быть осуществлен на мельнице. Как известно, зерно, пораженное полынью, приобретает горький вкус и полынный запах, причем на практике различают три степени поражения:

1) зерно имеет полынный запах, но горечь отсутствует;

2) зерно имеет полынный запах и горький вкус в слабой степени;

3) зерно имеет полынный запах и горький вкус в сильной степени.

Отсутствие объективного метода определения степени горечи зерна не давало возможности производить более точную оценку эффективности применяемых методов для устранения горечи в

ХАРАКТЕРИСТИКА ПОДОПЫТНОГО ЗЕРНА

зерне. Передатчиком горечи и запаха полыни являются корзиночки, соцветия и пыльца полыни, от количества содержания которых в зерне зависит степень его горечи. С увеличением влажности зерна и времени хранения процесс прогоркания протекает более интенсивно. Вот почему своевременная очистка зерна от примесей полыни и последующая сушка являются одним из основных мероприятий по борьбе с устранением горечи в зерне.

Природа горького вещества полыни (абсинтина) впервые в СССР была изучена и освещена в работе В. Л. Кретовича, Ю. С. Ралль и Л. А. Трисвятского¹. По мнению исследователей, зерно приобретает горечь: а) вследствие оседания на поверхности зерна полынной пыли; б) путем проникновения в зерно растворимого в воде абсинтина.

Полынный же запах зерно приобретает путем поглощения эфирных масел полыни.

Таким образом, степень горечи зерна обуславливается влиянием двух факторов: 1) адсорбированной горечью, зависящей от количества частиц полыни, находящихся на поверхности зерна, и 2) абсорбированной горечью, т. е. количеством растворенного абсинтина, поглощенного зерном вместе с влагой. С точки зрения технологии мукомольного производства очень важно знать, является ли горечь зерна адсорбционной или абсорбционной, так как первая может быть в той или иной степени устранена, а вторая трудно поддается удалению.

В технологии мукомольного производства при подготовке зерна к помолу обычно применяют два способа очистки покрова зерна: сухой и мокрый.

Сухой способ для очистки зерна от пылевидных частиц полыни менее совершенный, чем мокрый, что обуславливается анатомическими особенностями зерна (бороздка, бородка), а также большим количеством мельчайших складок и трещин на его поверхности. Поэтому при сухом способе нельзя удалить пылевидные частицы полыни, глубоко залегающие в бороздке зерна.

Мокрый способ более эффективный, так как вода (особенно теплая) способна проникать в мельчайшие складки зерна благодаря уменьшению поверхностного натяжения. Недостаток мокрого способа очистки заключается в том, что вода, растворяя абсинтин пылевидных частиц полыни, находящихся на покровах зерна, способствует проникновению его внутрь зерна. Для устранения этого необходимо сначала, по возможности, освободить зерно от пылевидных частиц полыни сухим способом, а затем уже применять мокрый, что осуществлено нами при исследовании.

Для характеристики степени горечи зерна мы пользовались разработанным в химической лаборатории института доц. И. И. Ленарским и ассистентами П. В. Поповым и В. И. Поповой методом разбавления водных вытяжек абсинтина из 100 г горькополынного зерна.

¹ В. Л. Кретович, Ю. С. Ралль и Л. А. Трисвятский. Вещества, обуславливающие горькополынный вкус и запах зерна. А.Н. СССР, Биохимия, т. 11, вып. 6, 1946.

Исследованию подвергалась горькополынная рожь, полученная с мельницы № 5 Чкаловского треста Главмуки, имевшая слабый запах полыни и сильную горечь, характеризуемую содержанием абсинтина 1,3 мг на 100 г зерна. Показатели качества зерна до предварительной очистки были следующие: натура — 721 г, влажность — 12,6%, зольность — 2,08%, сорная примесь — 2,02%, зерновая примесь — 1,40%, корзиночек полыни — 0,04%, соцветий и семян — 0,09%.

Предварительная очистка зерна от примесей производилась на лабораторном сепараторе и куколеотборнике. Степень чистоты зерна после такой очистки, по данным анализа, оказалась следующей: сорной примеси — 0,38%, зерновой примеси — 0,40%, корзиночки полыни отсутствовали. Степень горечи зерна после очистки, характеризуемая содержанием абсинтина, оставалась 1,2 мг на 100 г зерна.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СПОСОБОВ ПОДГОТОВКИ ЗЕРНА К ПОМОЛУ НА УДАЛЕНИЕ ГОРЕЧИ

Очистка покровов зерна производилась при сухом способе по схеме: обоечная машина — сепаратор, обоечная машина — сепаратор и при мокром способе (с применением мокрого шелушения) по схеме: обоечная машина — сепаратор — моечная машина — обоечная машина — обоечная машина — сепаратор.

Обработка поверхности зерна (после последней обоечной машины в схеме) щеточной машиной не производилась ввиду ее отсутствия. При всех опытах применялись обоечная машина с терочной поверхностью и моечная машина горизонтального типа. Мойка зерна производилась: холодной водой с температурой 20°, теплой водой с температурой 40° и хлорной водой различной концентрации. Расход воды при мойке колебался от 0,35 до 0,54 л на 1 кг зерна. Наблюдениями устанавливалось: а) влияние отдельных этапов очистки покровов зерна на снижение степени горечи (методом, разработанным в химической лаборатории); б) количество удаляемых с зерна оболочек при каждом пропуске через обоечную и моечную машины и суммарно; в) изменение влажности и зольности зерна. Применение указанных способов подготовки зерна к помолу оказало следующее влияние на снижение горечи зерна:

Сухой способ. Сухой способ подготовки горькополынного зерна к помолу не обеспечивает полного удаления горечи, но все же он применялся нами для сравнения эффективности его с иными способами. Отходы сухого процесса шелушения содержали 0,7% частиц оболочек зерна со слабым запахом полыни и горьким вкусом в сильной степени. Снизилась зольность зерна на 0,14%. Зерно после очистки имело значительную поверхностную горечь вследствие большой запыленности покровов зерна частицами полыни.

Степень горечи зерна, поступавшего на I драную систему (после очистки), характеризовалась содержанием 0,65 мг абсин-

тина на 100 г зерна, тогда как зерно до очистки содержало 1,3 мг абсинтина, т. е. снижение горечи в зерне при сухом способе очистки достигает всего 50%. Следовательно, этот способ является малоэффективным и не обеспечивает получения муки стандартного качества по вкусовым показателям, поэтому применять его возможно для очистки горькопольного зерна, предназначенного для подсортировки к нормальному.

Мойка зерна холодной водой ($t=20^\circ$) и мокрый способ шелушения. При этом способе подготовки зерна на первой обочной системе были получены результаты, аналогичные при сухом способе очистки зерна; зольность зерна снизилась на 0,05% при количестве отходов 0,52%. После мокрого процесса шелушения количество отходов составило 1,84%, из них на первой системе — 1,52% и на второй — 0,32%. Зольность зерна снизилась в общем на 0,24%.

Отходы представляли крупные частицы оболочек зерна без частиц эндосперма. Вкус оболочек был горький, но запаха полыни они не имели. Горечь зерна резко снизилась, но полностью устранить ее не удалось.

Зерно, поступавшее на I драную систему, имело чистую поверхность, нормальный запах и горечь в слабой степени, характеризующую содержанием 0,50 мг абсинтина на 100 г зерна.

Таким образом, снижение горечи зерна при мойке холодной водой и мокром способе шелушения достигает 58%.

Мойка зерна теплой водой ($t=40^\circ$) и мокрый способ шелушения. Мойка зерна теплой водой и мокрый способ шелушения интенсивно устраняют горечь зерна и способствуют удалению оболочек. Общее количество отходов составило 2,75%, из них на первой обочной машине 0,55%, на второй — 1,92%, на третьей — 0,21% и после мойки — 0,07%. Зольность зерна снизилась на 0,27%. Отходы мокрого шелушения представляли чистые крупные частицы оболочек зерна, имеющие горький вкус в слабой степени. Зерно, поступавшее на I драную систему, имело чистую поверхность, нормальный запах и очень незначительную горечь. Степень горечи зерна характеризовалось содержанием 0,35 мг абсинтина на 100 г зерна.

Снижение горечи в зерне при мойке теплой водой и мокром способе шелушения достигало 71%.

Опыты мойки зерна теплой водой после предварительного пропускания через обочную машину, но без применения мокрого шелушения дали хотя и хорошие результаты, но менее положительные, чем при мокром шелушении.

Зерно, поступавшее на I драную систему, имело несколько повышенную горечь.

Мойка зерна хлорной водой и мокрый способ шелушения. Для мойки зерна применялась хлорная вода различной концентрации. Хлорирование воды производилось хлором при концентрации от 0,05 до 0,15%. Результаты исследования по-

казали, что хлорная вода очень энергично снижает горечь зерна. Степень горечи зерна характеризовалась содержанием 0,25 мг абсинтина на 100 г зерна. Следовательно, снижение горечи в зерне при мойке хлорной водой и мокром способе шелушения достигло 79%.

Однако процесс мокрого шелушения по количеству снятых оболочек с зерна при мойке хлорной водой ($t=20^\circ$) оказался менее эффективным, чем при мойке теплой водой. При значительной концентрации хлора в воде отходы после обочной машины, а также и само зерно приобретают запах хлора, который, однако, постепенно улетучивается. Общее количество полученных отходов было равно 1,09%, из них от первой обочной системы — 0,2%; от мойки — 0,08%, от второй обочной системы — 0,52% и от третьей — 0,29%. Зольность зерна снизилась на 0,18%. Отходы после мокрого шелушения представляли крупные частицы оболочек зерна, обладавшие более светлым цветом, чем отходы при мойке обычной водой, вследствие отбеливающего свойства хлора.

Зерно, поступавшее на I драную систему, имело нормальный запах, кисловатый привкус и очень незначительную горечь.

С целью выяснения возможности снижения горечи в том случае, когда она глубоко проникает в зерно, нами были проведены опыты с зерном, искусственно обработанным водным раствором абсинтина. Зерно имело нормальный запах, но горечь в очень сильной степени. Как показал анализ, степень горечи такого зерна характеризовалась содержанием от 3 до 7,2 мг абсинтина на 100 г зерна (в 2,3—5,5 раза сильнее горечи подопытного зерна). Результаты применения мокрого способа шелушения показали следующее снижение горечи:

при мойке хлорной водой до 0,4 мг на 100 г зерна, т. е. на 87%; при мойке теплой водой до 0,9 мг на 100 г зерна, т. е. на 70%.

Таким образом, и в этом случае хлорная вода снизила горечь больше, чем теплая. Однако несмотря на это, мука, полученная при обочном помолу, а также выпеченный из нее хлеб имели горький вкус.

Анализ результатов, полученных при различных методах подготовки зерна к помолу. Многочисленные опыты, проведенные для исследования влияния указанных способов подготовки горькопольного зерна к помолу, показали, что наиболее эффективным способом очистки покрова зерна является мойка с применением мокрого способа шелушения.

Мокрый способ шелушения дает возможность удалять значительное количество плодовых оболочек, что обуславливает и большее снижение горечи, так как она в основном сосредоточена на поверхности зерна. При мойке зерна абсинтин, находящийся в пылевидных частицах полыни, растворяется и поглощается в первую очередь плодовыми оболочками зерна. При мойке хлорной водой прогорькание плодовых оболочек менее возможно, так как хлор, действуя химически на абсинтин, устраняет горечь в последнем. Поэтому хлорная вода эффективнее снижает горечь зерна,

чем обычная. Мокрое шелушение при мойке зерна хлорной и теплой водой значительно повышает гигиену зерна и муки, а также питательную ценность хлеба вследствие значительного снижения клетчатки в зерне. По данным микробиологической лаборатории института, содержание микроорганизмов в 1 г зерна ржи характеризуется следующими показателями:

в зерне до очистки	27 000
после мойки теплой водой и мокрого шелушения	16 000
после мойки хлорной водой и мокрого шелушения	3 450

Таким образом, хлорная вода и в этом случае действует эффективнее теплой: в первом случае снижение микроорганизмов достигает 87%, а во втором — 60%.

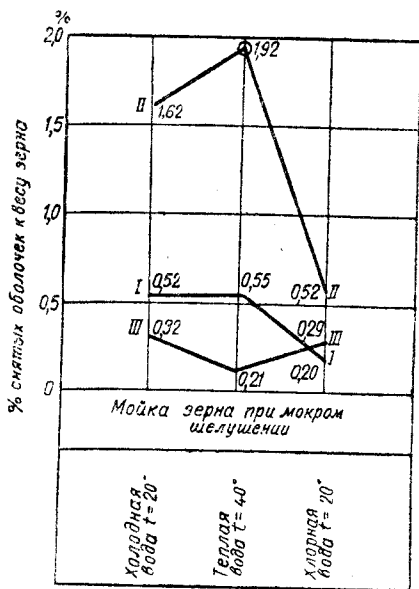


Рис. 1

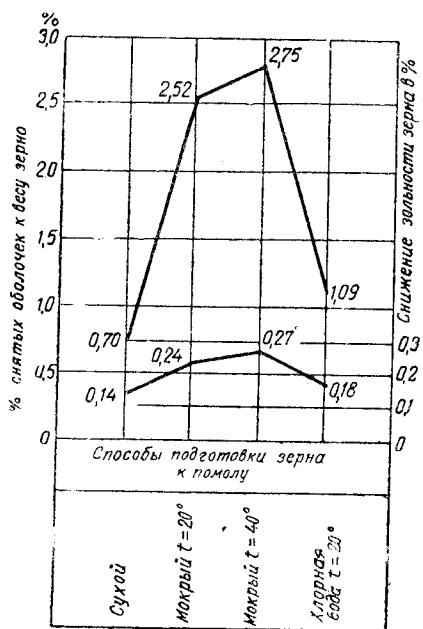


Рис. 2

Влияние мокрого способа шелушения на удаление оболочек зерна при каждом обочном проходе характеризуется диаграммой на рис. 1, а снижение общего количества оболочек и зольности зерна — диаграммой на рис. 2. Из приведенных диаграмм видно, что наибольший эффект дает мокрый способ шелушения при мойке теплой водой.

Если принять по отношению к весу зерна количество плодовых оболочек для ржи в среднем около 5%, то приходим к выводу, что эффект мокрого шелушения при мойке теплой водой равен 55%.

Характер кривой снижения зольности зерна аналогичен кривой снятия оболочек.

Диаграмма, приведенная на рис. 3, характеризует эффективность влияния мойки и мокрого способа шелушения на снижение горечи в горькопыльном зерне по данным химической лаборатории. Линия AA₁ характеризует предел органолептического определения горечи в зерне и обочной муке, а линия BB₁ — предел определения водных растворов абсинтина по принятому методу. Из диаграммы видно, что:

1) первая обочная система энергично действует на снижение горечи в зерне, удаляя пылевидные частицы помыли, находящиеся на поверхности зерна, но полностью не освобождает покровов

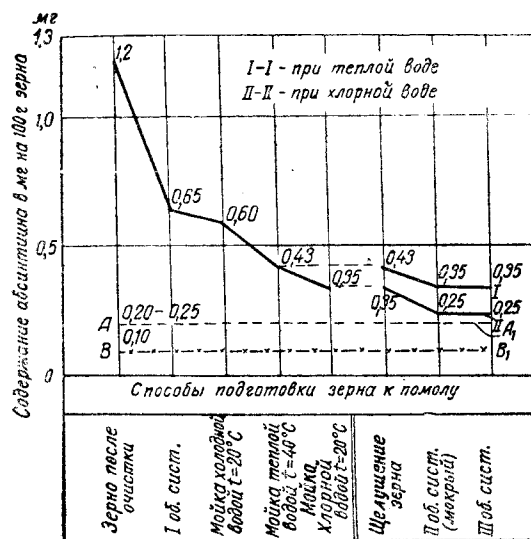


Рис. 3

зерна вследствие глубокого залегания частиц в бороздке, разрывах и трещинах;

2) мойка зерна снижает горечь за счет удаления пылевидных частиц из указанных выше мест покрова зерна;

3) удаление оболочек на третьей обочной системе отразилось на снижении горечи зерна, так как снятые оболочки имели горький вкус, но установить снижение горечи в зерне принятым методом не удалось.

На снижение горечи в зерне мойка хлорной водой действует более эффективно, чем теплой водой.

Таким образом, полученные результаты позволяют прийти к заключению, что мойка зерна хлорной водой при мокром способе шелушения почти полностью устраняет горечь в горькопыльном зерне.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ МЕТОДОВ ПОДГОТОВКИ ГОРЬКОПОЛЫННОГО ЗЕРНА НА КАЧЕСТВО МУКИ ОБОЙНОГО ПОМОЛА

Исследование по устранению горечи в зерне имело целью проследить за снижением горечи как при обработке зерна различными методами, так и при хлебопечении. Наиболее характерной для наблюдения является обойная мука, так как она почти полностью содержит оболочки зерна. Приготовленное к помолу зерно размалывалось в обойную муку при одинаковом режиме работы вальцевых станков. Степень горечи в муке зависит от содержания в ней оболочек зерна — чем больше количество их в муке, тем сильнее ощущается горечь.

Одним из способов снижения горечи в обойной муке может служить частичный отсев отрубей.

Так как предложенный химический метод определения горечи применим только для зерна, то определение горечи в муке и хлебе приходилось производить органолептически. Степень горечи обойной муки характеризуется следующими показателями:

При сухом способе очистки . . .	горькая в значительной степени
При мокром шелушении:	
а) мойка холодной водой . .	горькая в слабой степени
б) мойка теплой водой . . .	горечь почти отсутствует
в) мойка хлорной водой . . .	горечь отсутствует

Мука, полученная из зерна, обработанного хлорной водой (с большей концентрацией хлора), иногда имела слабый запах хлора, но последний постепенно улетучивался и мука приобретала нормальный запах. При всех других способах подготовки зерна к помолу мука имела нормальный запах.

ХЛЕБОПЕКАРНОЕ ИСПЫТАНИЕ МУКИ

Хлебопекарные испытания муки имели своей целью исследовать главным образом влияние процессов хлебопечения на удаление запаха и горечи из муки. Выпечка хлеба производилась обычным способом, одинаковым для всех образцов муки.

Выпеченные хлеба имели следующие вкусовые качества:

- 1) мука из зерна, обработанного сухим способом хлеб имеет горький вкус, нормальный запах
- 2) мука из зерна, обработанного мокрым шелушением при мойке холодной водой горечь в слабой степени, запах нормальный
- 3) мука из зерна, обработанного мокрым шелушением при мойке хлорной или теплой водой хлеб имеет нормальные запах и вкус

Таким образом, результаты пробных выщечек хлеба показали, что применение мокрого способа шелушения зерна при мойке теплой или хлорной водой полностью устраняет горечь и запах в горькопыльном зерне.

ВЫВОДЫ И ПРЕДЛОЖЕНИЯ

На основании полученных результатов лабораторного исследования можно сделать следующие выводы:

1. Предлагаемый метод для определения степени горечи в горькопыльном зерне является более объективным критерием для суждения о степени горечи зерна.

2. Абсорбированная горечь трудно поддается удалению как при мойке хлорной, так и теплой водой и мокрым способом шелушения.

3. Сухой способ очистки покрова горькопыльного зерна хотя и энергично снижает горечь в зерне, но не в состоянии удалить ее полностью вследствие глубокого проникновения пылевидных частиц полныи в бороздку зерна, а также в мельчайшие складки и трещины покрова зерна.

4. Мокрый способ шелушения зерна при мойке хлорной водой способен полностью устранить горечь в зерне.

5. Оптимальный эффект снижения горечи в зерне при мойке хлорной водой наблюдается при концентрации хлора от 0,05 до 0,1% (при более высокой концентрации хлора в хлебе появляется посторонний запах).

6. Мокрый способ шелушения повышает питательную ценность хлеба вследствие значительного снижения клетчатки в зерне.

7. Мойка зерна теплой и особенно хлорной водой значительно повышает гигиену муки, что особенно важно при обойном помоле.

Для проверки полученных результатов исследования в производственных условиях предлагаем следующие схемы обработки покровов горькопыльного зерна с применением мокрого способа шелушения и мойки зерна хлорной или теплой водой:

Схема № 1. Обоечная машина — сепаратор — мойка — обоечная машина — щеточная машина — сепаратор.

Схема № 2. Обоечная машина — сепаратор — моечная машина — обоечная машина — сушка или кондиционирование — щеточная машина — сепаратор.

А. В. ПАНЧЕНКО,
канд. технических наук, доцент

ГРУППОВЫЕ ЦИКЛОНЫ ОМЭИ¹ ОБСТОЯТЕЛЬСТВА РАЗРАБОТКИ ГРУППОВЫХ ЦИКЛОНОВ ОМЭИ

Циклоны Одесского института инженеров мукомольной промышленности и элеваторного хозяйства им. И. В. Сталина, сокращенно названные ОМЭИ (Одесский мукомольно-элеваторный институт), представляют малогабаритные и комплексные циклоны чисто конического типа. Такие циклоны были впервые установлены нами на мельнице № 1 в г. Абдулино (Чкаловская область) в 1943 г.

Целесообразность установки для тонкого пылеотделения взамен одного большого циклона нескольких меньших циклонов мы указывали еще в 1938 г.²

Общезвестный ныне факт — повышение эффективности пылеотделения с уменьшением наружного диаметра циклона — к тому времени был использован лишь для устройства мультициклонов (микроциклонов, мультиконов, циклонов-лилипутов), имевших диаметр всего 120—250 мм и соединенных в количестве нескольких десятков на одной раме. Однако такие мультициклоны не получили применения на зерновых элеваторах, мельницах и крупозаводах.

Среди причин, воспрепятствовавших применению микроциклонов на предприятиях нашей отрасли промышленности, одной из важнейших является частая закупорка отверстий для вывода пыли. Это вызывалось, с одной стороны, чрезмерно малым диаметром пылевыводящего отверстия циклонного элемента, равным не более одной четверти наружного диаметра циклона (т. е. всего лишь 35—50 мм для циклонов с наружным диаметром 150—200 мм) и, с другой стороны, повышенной способностью мельнично-элеваторной пыли к комкованию, образованию сводов на выводе из циклона, т. е. повышенной сцепляемостью частиц пыли между собой.

Советские институты — ЛИОТ, НИОГАЗ, ЦКТИ и др., выполнили много плодотворных научных работ, посвященных разработке

вопросов моделирования циклонного процесса и экспериментальному изучению эффективности различных конструкций циклонных элементов. Работы эти способствовали усовершенствованию мультициклонов и широкому применению их в котельных установках для отделения летучей золы. Однако для элеваторов, мельниц и крупозаводов они оказались менее пригодными, так как пыль последних обладает большей сцепляемостью частиц, чем летучая зола, что должно участить наблюдавшиеся даже на золе случаи закупорки пылевых отверстий.

Поэтому, несмотря на то что на элеваторах, мельницах и крупозаводах с 1936 г. стали применяться отечественные, более совершенные, чем заграничные, конструкции циклонов, эффективность работы их во многих случаях все же была явно неудовлетворительной. Испытания, проведенные в производственных условиях наших предприятий, показали, что даже циклоны ЛИОТ выбрасывают в атмосферу около 20% пыли, содержащейся в воздухе, подаваемом в циклоны; в ряде случаев этот процент даже выше.

Причина такой недостаточно высокой эффективности работы циклонов, по нашему мнению, заключалась главным образом в неправильном построении производственной серии циклонов ЛИОТ, имевшей восемь номеров и размеров, из которых наименьший циклон имел наружный диаметр около 800 мм, а наибольший — доходил до 2300 мм.

С целью повышения эффективности нами в 1939 г. было предложено следующее¹:

1. Ограничить номенклатуру циклонов типа ЛИОТ следующими тремя размерами:

№	1	2	3
Наружный диаметр	400	550	800 мм
Производительность	15	25	50 м ³ /мин

Уменьшение наружных диаметров циклонов в 2—3 раза должно во столько же примерно раз уменьшить количество пыли, выбрасываемой циклонами наружу, что особенно важно, если учесть, что во многих случаях пыль эта имеет несомненную ценность.

2. Решительно отказаться от устарелой традиции устанавливать для каждой вентиляционной сети лишь 1 циклон, а соединять несколько циклонов ЛИОТ малых диаметров в группы по 2—8 циклонов в каждой, как это показано на рис. 1 и впервые приведенной нами в указанной выше статье.

Нужно подчеркнуть, что в отличие от мультициклонов, микроциклонов, батарейных циклонов и других терминов, принятых для больших совокупностей циклонов весьма малого диаметра (десятки циклонов диаметром по 120÷250 мм) мы называли предлагаемые нами циклоны групповыми, стараясь этим подчеркнуть, что речь идет о небольших совокупностях циклонов средних размеров (обычно 2÷8 циклонов диаметром по 250÷600 мм).

¹ А. В. Панченко. Неиспользуемые возможности улучшения работы циклонов. «Мукомолье и элеваторно-складское хозяйство» № 10, 1940, стр. 15.

¹ В статье сокращенно излагается содержание докладов, прочитанных на научных сессиях института в 1945 и 1947 гг.

² А. В. Панченко, доц. Вентиляционные установки мельниц и элеваторов. Заготиздат, М., 1938, стр. 359.

Следует отметить, что после опубликования в советском техническом журнале (1940 г.) нашего предложения о групповой установке циклонов уменьшенного диаметра немецкие фирмы уже

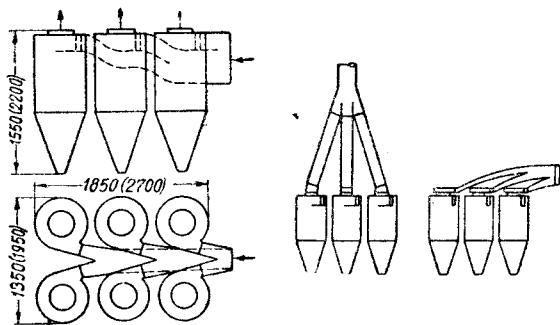


Рис. 1. Возможности группировки циклонов ЛИОТ малых размеров (в скобках даны размеры для $Q_n = 18\ 000\ \text{м}^3/\text{час}$, без скобок — $Q_n = 9000\ \text{м}^3/\text{час}$).

в 1941 г. использовали этот принцип в разрекламированном ими без упоминания советских источников «новом пылеотделителе» «Центриклон». В журналах «Die Mühle», ставших доступными нам

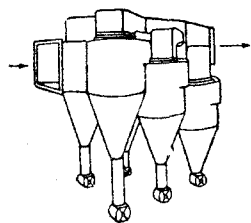


Рис. 2. Групповая установка циклонов в пылеотделителе «Центриклон», заимствованная немецкими фирмами из советской технической литературы

после войны, была опубликована статья Шмитца и Хопфа, предлагавшая групповую установку нескольких уменьшенных циклонов взамен одного большого, как показано на рис. 2, по существу точно воспроизводящую впервые опубликованную в советской литературе групповую установку циклонов (см. рис. 1).

Одновременно со сделанным предложением о возможности улучшения работы циклонов путем использования объединенных в группы циклонов уменьшенного диаметра нами совместно с аспирантом Л. И. Котляром в 1939/40 г. было начато исследование эффективности работы циклонов на мукомольно-элеваторной пыли. Эти исследования вскрыли некоторые новые, неизвестные до того закономерности в циклонном процессе и дали основание сконструировать циклоны, существенным образом отличающиеся от конструкции ЛИОТ.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ЦИКЛОНОВ НА МЕЛЬНИЧНО-ЭЛЕВАТОРНОЙ ПЫЛИ

Исследования ставили целью изучить причины отклонений фактической эффективности работы циклонов на пыли мельниц и элеваторов от эффективности их, определяемой принятыми воззрениями на существо циклонного процесса, а также установить способы повышения пылеотделяющего эффекта циклонов на указанных выше видах пыли.

Исследованию эффективности циклонов предшествовало изучение физических свойств наиболее распространенных видов зерновой и мучной пыли; элеваторной, пыли, выделяющейся при предварительной и окончательной очистке зерна на мельницах, пыли, выделяемой вальцовыми станками и вечноными машинами. Впервые было начато многостороннее изучение мельнично-элеваторной пыли, а именно: исследование дисперсности пыли методами ситового анализа и воздушной классификации, определение удельного и объемного весов с уплотнением путем встряхивания до постоянного веса, определение взвешивающих скоростей воздуха, зольности различных видов и фракций пыли, изучение морфологических особенностей пыли, а также исследование сцепляемости частиц поли- и монодисперсной пыли.

Для исследования эффективности различного вида циклонов при работе их на мельнично-элеваторной пыли была сконструирована и осуществлена собиравшаяся из отдельных элементов экспериментальная серия циклонов, характеризовавшихся различными соотношениями наружного и внутреннего диаметров, различными высотами цилиндрической и конической частей, различными соотношениями размеров поперечного сечения входного отверстия и различными способами вывода пыли. Для исследования влияния величины наружного диаметра было изготовлено несколько циклонов различного диаметра в пределах от 250 до 600 мм.

Каждая из исследуемых конструкций устанавливалась и исследовалась во всасывающей линии, в которую пыль подавалась специальным изготовленным нами ковшевым дозировщиком пыли, оказавшимся наиболее надежным для слипающихся видов пыли, позволявшим регулировать подачу при помощи скорости движения цепи, несущей ковша, количества и емкости их.

Пылевое отверстие циклона присоединялось к герметически закрытому стеклянному сосуду, исключавшему возможность притока воздуха внутрь циклона и позволявшему наблюдать за процессом вывода пыли из циклона.

Коэффициент очистки воздуха циклоном (η_n) определялся как соотношение между количествами пыли, осажденной циклоном в стеклянный сосуд и поданной ковшевым дозировщиком во всасывающий воздухопровод, ведущий к циклону.

В такого рода экспериментальной установке было произведено свыше 800 отдельных продувок с целью изучения зависимости коэффициента очистки воздуха циклоном (η_n) от концентрации пылевоздушной смеси ($\rho\ \text{г}/\text{м}^3$) и ее дисперсности, от скорости входа воздуха в циклон (v_{ax}), от величины и соотношения наружного и внутреннего диаметров циклона (D_n и D_a), от величины и соотношения высот цилиндрической и конической частей циклона (h_n и h_k), от способа вывода пыли, а также с целью исследования величины аэродинамического сопротивления циклонов (H_n).

В результате этих исследований наряду с подтверждением ряда установленных ранее зависимостей были вскрыты новые, неизвестные до этого обстоятельства и зависимости, заставляющие во

многих случаях по-новому и более широко, не только с механической стороны, рассматривать процесс пылеотделения в циклоне.

Так, например, на изучавшихся видах элеваторной и мельничной пыли было подтверждено близкое к прямой пропорциональности уменьшение потерь пыли ($1-\eta_n$) с уменьшением диаметра циклона (D_n). Точно так же было подтверждено отмечавшееся и другими исследователями повышение коэффициента очистки (η_n) с увеличением концентрации пылевоздушной смеси, поступающей в циклон.

Однако значительная часть известных ранее положений и зависимостей была исправлена и дополнена этой работой. Так, например, было исправлено известное положение о независимости коэффициента очистки от положения циклона в пространстве: перевернутый и горизонтально положенный циклон хотя и работал, но все же снижал коэффициент очистки, и тем заметнее, чем ниже была скорость входа воздуха в циклон и чем больше был его диаметр.

По существовавшим представлениям процесс пылеотделения в циклонах протекает следующим образом. Поток пылевоздушной смеси тем или иным способом закручивается в цилиндрической части циклона, благодаря чему возбуждаются центробежные силы инерции, заставляющие частицу пыли двигаться не только вместе с воздушным потоком по нисходящей вниз винтовой линии, но двигаться еще и в радиальном направлении, к наружной стенке циклона. По существовавшей теории циклонного процесса возможно было, сделав ряд допущений, вычислить время, необходимое для того, чтобы частица прошла всю разность внешнего ($\frac{D_n}{2}$)

и внутреннего ($\frac{D_a}{2}$) радиусов циклона и достигла наружной стенки циклона, т. е. попала в область пограничного слоя. Зная это время, казалось возможным вычислить ту высоту цилиндрической части циклона, которая необходима, чтобы пылинка с заданными размером и удельным весом была отделена от газовой фазы и скатилась по конусу циклона вниз, к его пылевому отверстию.

Из этого представления о процессе пылеотделения в циклоне следует, что коэффициент очистки воздуха тем выше, чем выше цилиндрическая часть циклона, только в которой по этому представлению и происходит процесс отделения пылинки от газовой среды. После соприкосновения пылинки с наружной цилиндрической стенкой циклона (при расчете полагают, что это должно произойти именно в цилиндрической части циклона) процесс разделения фаз считается законченным. По этому представлению коническая часть циклона в расчет совершенно не принимается и является необходимой лишь только как коллектор для направления уже отделенной в цилиндрической части пыли к устью самотечной трубы.

Наши исследования не подтвердили этого широко распространенного представления о физической сущности протекающего в циклоне процесса: на исследованных нами видах пыли коэффи-

циент очистки не возрастал пропорционально повышению цилиндрической части циклона.

Приняв в качестве исходной формы известный и наиболее широко распространенный циклон ЛИОТ, мы вначале пытались увеличить его коэффициент очистки путем повышения цилиндриче-

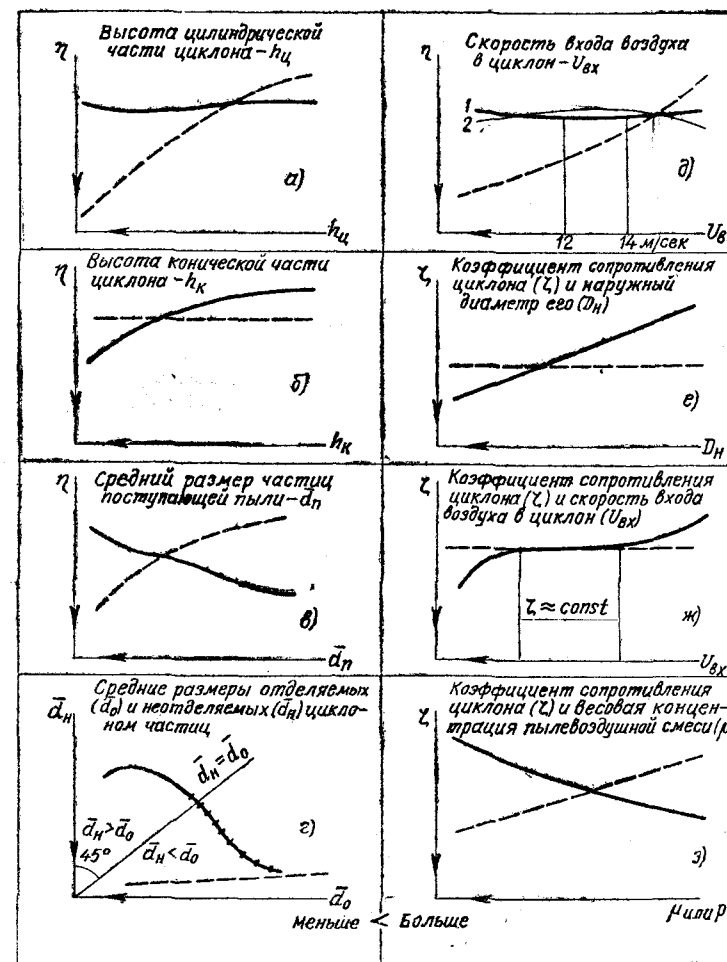


Рис. 3. Характер основных зависимостей в работе циклонов по результатам исследования их на мельнично-элеваторной пыли (сплошные линии) и по принятому представлению о работе циклонов (пунктир)

ской части, как это и предусмотрено проектной нормалью этого циклона. Убедившись в том, что даже значительное увеличение высоты цилиндрической части не приводит к существенному повышению коэффициента очистки, мы стали снижать эту высоту против исходной, принятой ЛИОТ, и нашли, что и это заметно не снижает величины η_n даже в том случае, если цилиндрическая часть полностью отсутствует ($h_{ц}=0$) и циклон представляет собой обычный

винтовой подвод, непосредственно присоединенный к конической части.

Экспериментируя далее с конической частью циклона, мы пришли к обратному выводу: при постоянном наружном диаметре циклона увеличение высоты конуса повышало коэффициент очистки воздуха вплоть до $h_k = (2,5 \div 3,0) D_n$.

Результаты этой части исследования привели нас к заключению, что процесс разделения фаз пылевоздушной смеси происходит не столько в цилиндрической, как это было принято считать, сколько в конической части циклона.

Этот пример существенного исправления общепринятых положений не является единственным. На рис. 3 в самом общем виде показаны некоторые другие примеры отклонения экспериментально найденных нами зависимостей от ожидаемых на основе общепринятых взглядов.

На рис. 3а и б показано, что, вопреки ожидаемой зависимости между h_c и η_n [показано пунктиром], высота цилиндрической части циклона не имеет значительного влияния на величину η_n , в то время как увеличение конической части его значительно повышает этот коэффициент.

Придя к заключению, что на исследованных нами видах пыли пылеотделение происходит главным образом в конической части циклона, мы сделали из этого практический вывод, сконструировали и практически применили в производственных условиях циклоны чисто конического типа, названные нами впоследствии (в 1945 г.) циклонами ОМЭИ, нормаль которых представлена на рис. 4.

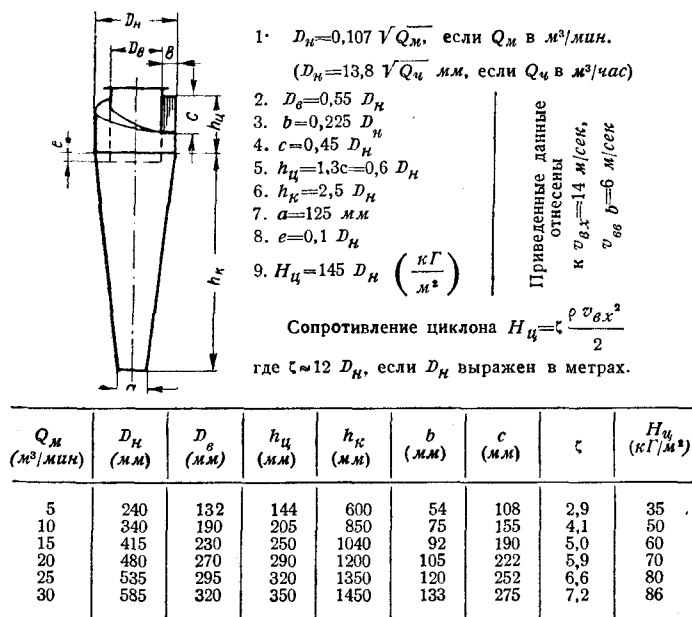


Рис. 4. Проектная нормаль элемента группового циклона ОМЭИ (Одесского мукомольно-элеваторного института имени И. В. Сталина)

Исследуя на наших видах пыли конические циклоны ОМЭИ, мы нашли, что увеличение крупности частиц пыли, поступающей в циклон, не всегда повышает величину η_n , а иногда и снижает ее, как это схематически показано на рис. 3,в. Это приводит к парадоксальному выводу: чем мельче пыль, тем иногда может быть выше коэффициент очистки воздуха от нее.

Увеличение среднего размера частиц поступающей в циклон пыли (d_n) достигалось отсевом той или иной части мелких фракций ее. С увеличением количества отсеиваемых мелких частиц, т. е. с увеличением d_n , величина η_n не росла, как следовало ожидать, а даже несколько снижалась.

Не менее неожиданными оказались результаты исследования пыли, выбрасываемой наружу циклоном (рис. 3,г). Пыль эта, уловленная бумажным фильтром, оказалась далеко не самыми мелкими фракциями пыли, поступавшей в циклон; наоборот, пыль эта содержала достаточно большое количество крупных частиц и при наличии большого количества мелких фракций оказывалась даже крупнее осажженной циклоном пыли ($d_n > d_o$). Производственный опыт также показывает, что циклоны элеваторов и зерноочистительных отделений часто выбрасывают наружу крупную полову (мякину), осаждая при этом гораздо более мелкие фракции пыли.

Все это поколебало уверенность в абсолютной правильности и достаточности общепринятых представлений о физической картине процесса отделения пыли циклоном, поколебало уверенность в полноте учета всех факторов, влияющих на эффективность работы циклона.

Результаты исследования, столь противоречащие общепринятым представлениям о процессе, происходящем в циклоне, заставили нас исследовать причины наблюдавшихся явлений.

ГИПОТЕЗА О ВЛИЯНИИ СИЛ СЦЕПЛЕНИЯ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ПЫЛЕОТДЕЛЕНИЯ В ЦИКЛОНЕ

Разгадке этих явлений помогли наблюдения над выводом пыли из пылевого отверстия, которое, как это указывалось, было присоединено к прозрачному стеклянному сосуду. Наблюдения показали, что пыль выводится из циклона не беспрерывно и равномерно во времени, как это обычно предполагают, а прерывисто, некоторыми порциями, через более или менее равные промежутки времени. Частота этого прерывистого вывода пыли повышалась с увеличением концентрации пылевоздушной смеси, подаваемой в циклон.

Эти наблюдения позволили заключить, что внутри циклона происходят некоторые накопления пыли, характер и причина образования которых оставались неизвестными.

Прозрачный конус циклона не давал возможности вести нужные наблюдения за процессом пылеотделения, так как внутренняя поверхность его быстро становилась малопрозрачной. Поэтому мы сделали конус циклона легко снимаемым и после каждой экспериментальной продувки производили осторожную разборку циклона, т. е. съемку его конической части для осмотра

внутренней поверхности конуса, винтового подвода и цилиндрической части в случаях наличия ее.

Многочисленные продувки с последующими разборками и осмотрами внутренних поверхностей циклона показали характер периодически выбрасываемых наружу накоплений пыли: на внутренних стенках циклона образовывался след нисходящего вихря (рис. 5), состоящий из уплотненных волнообразных, гребневидных отложений пыли. Постепенно нарастающая высота гребня периодически доходила, очевидно, до такой величины, при которой отложения эти отваливались от стенки и в виде дробящихся комьев и хлопьев выводились из пылевого отверстия циклона. Отрыву отложений от стенок способствует, вероятно, также и не вполне устойчивая, перемещающаяся траектория нисходящего вихря, периодически смывающего эти отложения.

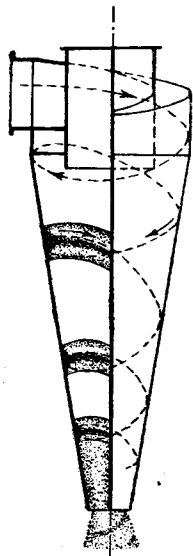


Рис. 5. Материальный след нисходящего вихря в циклоне

Установление характера этих отложений позволило построить некоторые гипотезы о причинах их образования.

Прежде всего возникла мысль о том, что причиной отложения пыли является электризация частиц и металлического циклона знаками различных зарядов, как это наблюдается при просеивании на шелковых ситах. Однако, с одной стороны, произведенные измерения не обнаружили наличия заряда, а с другой, — заземление циклона не вызвало уничтожения наблюдавшихся отложений на стенках циклона.

Это обстоятельство обратило наше внимание на возможности сцепления мелких частиц под влиянием проявления сил межмолекулярного притяжения.

Произведенные исследования показали, что отложения действительно состоят из наиболее мелких фракций пыли; кроме того, было найдено, что на некоторых видах пыли размольного отделения мельниц эти отложения наиболее интенсивны, но наряду с этим имеются и такие виды пыли (например, стеклянная пыль, искусственно приготовлявшаяся нами в качестве стандартной), которые не дают устойчивых отложений.

Обнаруженные нами явления порционно-прерывистого вывода отделяемой пыли из циклона и наличия уплотненных отложений на стенках циклонов прежде всего указывают на то, что изучение процесса пылеотделения в циклоне путем рассмотрения поведения одной изолированной частицы пыли, как это делалось обычно, является недостаточным. Рассмотрение поведения отдельной частицы без учета ее связей с другими не может дать верных, подтверждаемых объективным опытом результатов. Без учета сил, действующих между отдельными пылинками, без учета их связей, невозможно получить результат, отображающий действительность.

Между частицами пыли при сближении и соприкосновении их действуют относительно большие силы прилипания, сцепляемости, являющиеся проявлением сил притяжения, действующих между молекулами. Для мелких фракций пыли силы эти особенно велики и пренебрегать их влиянием при рассмотрении и расчете процесса, происходящего в циклоне при отделении мелкой пыли, очевидно, невозможно. Во влиянии сил прилипания, действующих между мелкими частицами пыли, мы усматриваем, с одной стороны, причины образования отложений пыли на стенках циклонов, а с другой, — причины парадоксального, как это казалось, повышения коэффициента очистки воздуха с увеличением содержания в пылевоздушной смеси мелких частиц.

Работы проф. Б. В. Дерягина в Коллоидно-электрохимическом институте Академии наук СССР показали¹, что для двух сферических частиц с радиусами r_1 и r_2 сила прилипания (сцепления) равна:

$$A = 4\pi \frac{r_1 r_2}{r_1 + r_2} \sigma, \quad (1)$$

где σ — поверхностная энергия границы раздела между частицами и средой, в которой они находятся.

С уменьшением размеров частиц силы сцепления, не имеющие для крупных частиц сколько-нибудь существенного значения, резко возрастают по сравнению со всеми другими действующими на частицу силами и становятся преобладающими над ними, т. е. определяющими собой поведение мелких частиц. Действительно, для равных между собой по величине частиц, т. е. для случая $r_1 = r_2 = r$, сила сцепления по выражению (1) равна:

$$A = 4\pi\sigma \frac{r}{2} = Br,$$

где $B = 2\pi\sigma$.

Если действию сил сцепления противостоит сила веса частиц, которая для сферической частицы с удельным весом γ равна $G = \frac{4}{3} \pi r^3 \gamma = Cr^3$, то относительная величина сил сцепления, т. е.

$$\frac{A}{G} = \frac{Br}{Cr^3} = \frac{D}{r^2} = \frac{3}{2} \frac{\sigma}{\gamma r^2} = 6 \frac{\sigma}{\gamma d^2}, \quad (2)$$

растет обратно пропорционально квадрату линейных размеров частиц.

Из этого выражения (2) ясно, что, уменьшив размеры частиц (r), возможно повысить силы сцепления до величины, во много

¹ См., например, статью «Трение и прилипание частиц в сыпучих телах» в сборнике «Сепарирование сыпучих тел». Изд. Академии наук СССР, 1937.

раз превышающей силы веса. Этим объясняется, почему горсть даже сухой, но достаточно мелкой муки, будучи сжатой в кулаке, сохраняет форму полости кулака, т. е. совокупность большого числа отдельных мелких частиц становится единым твердым телом. Этим объясняется причина того обстоятельства, что достаточно мелкие частицы легко удерживаются даже на вертикальной, сухой и полированной поверхности металла или стекла. Возможно ли, не учитывая этих относительно весьма больших сил взаимодействия частиц между собой, рассматривать процесс отделения пыли циклонами?

Для того чтобы учитывать в расчетах влияние сил сцепления, необходимо исследовать величину их, которая зависит не только от размера частиц (r), но и от фактической формы их, а также от рода вещества частиц, состояния поверхности их и состояния среды, в которой взвешены частицы, что учитывается величиной σ . Для видов пыли, распространенных в мукомольно-крупяной промышленности и элеваторном хозяйстве, величина сил сцепления пока неизвестна. Изучение этой величины следует рекомендовать физико-химикам, близким к нашей отрасли промышленности, как достойную разработки тему.

Обнаруженные факты сцепляемости мелких частиц некоторых видов пыли между собой, прилипания мелких частиц к стенкам циклона и порционного вывода их из него в виде дробящихся комьев позволяют объяснить ряд необычных зависимостей, приведенных на рис. 3.

Рис. 3, а и б показывает, как это уже отмечалось нами, что пылеотделение происходит не столько в цилиндрической, как это принято считать, сколько в конической части циклона. Действительно, в конической части происходят значительное уплотнение пылевоздушного потока, увеличение центробежного фактора $\left(\frac{v^2}{gR}\right)$

под влиянием возможного роста скорости вращения потока и под несомненным влиянием уменьшения радиуса вращения. В конической части циклона создаются значительно лучшие условия для оттеснения частиц к стенкам циклона и тесного соприкосновения их с ними и между собой, в результате чего частицы осаждаются на стенках циклона или даже, не осаждаясь на них, выводятся из циклона в виде комьев или хлопьев (агломерация частиц), образовавшихся в результате ударов и соприкосновений частиц друг с другом. Коничность стенок циклона способствует тому, что при движении нисходящего вихря вниз улучшаются по сравнению с цилиндрической частью условия соприкосновения частиц пыли со стенкой циклона и сцепления на этой стенке с другими частицами. Улучшение это вызывается тем обстоятельством, что вертикальная составляющая скорости винтового движения частицы вниз создает в конической части некоторую нормальную к поверхности стенки составляющую, стремящуюся прижать частицу к стенке, чего нет в цилиндрической части циклона.

Удлинение конуса, с одной стороны, увеличивает время пребывания частиц в нем и повышает поэтому коэффициент очистки, но,

с другой стороны, уменьшает отмеченную выше нормальную составляющую, что ухудшает условия пылеотделения. Поэтому длина конической части должна иметь какие-то наивыгоднейшие размеры. Мы полагаем, что при бесконечной длинной «конической» части (цилиндр) коэффициент очистки воздуха должен несколько снизиться по сравнению с конусом конечной длины ($h_n \approx 3D_n$).

Малое влияние высоты цилиндрической части циклона (h_n) на коэффициент очистки воздуха (см. рис. 3, а) можно объяснить, с одной стороны, ухудшением условий отделения пыли в цилиндрической части по сравнению с конической, с другой стороны, — тем обстоятельством, что отрывающиеся от цилиндрических стенок отложения слипающейся пыли должны пройти до пылевыводящего отверстия относительно длинный путь, на котором хлопья пыли снова измельчаются. Однако при этом часть пыли не сможет обратиться в исходное состояние и быть подвергнутой снова слипанию. Эта часть пыли в виде мелких, но уже не слипающихся между собой хлопьев, обладающих высокой «парусностью», может быть вынесена из циклона наружу восходящим вихрем. Очевидно поэтому в некоторых случаях нами отмечался факт даже некоторого снижения коэффициента очистки с увеличением высоты цилиндрической части.

Мы не имеем достаточных данных для того, чтобы точно представить распределение количества отделяемой пыли по высоте конуса. Однако, судя по количеству пылевых отложений, можно заключить, что наиболее интенсивное пылеотделение происходит в нижней части конуса, в той зоне его, в которой происходит «выворачивание» нисходящего вихря в восходящий.

Увеличение коэффициента очистки воздуха с ростом количества мелких частиц в пылевоздушной смеси, т. е. с уменьшением среднего размера частиц (см. рис. 3, б), понятно для тех видов пыли, которые отличаются высокими значениями σ и малыми величинами r : влияние сил сцепления $\left(\frac{\sigma}{r^2}\right)$ преобладает при этом над влиянием центробежных сил инерции $\left(\frac{v^2}{gR}\right)$. Уменьшение относительного количества мелких, легко слипающихся и поэтому отделяемых частиц ведет к уменьшению коэффициента очистки.

В свете гипотезы преобладающего влияния сил сцепления для многих видов пыли становятся более понятными наблюдающиеся факты выбрасывания из циклона наружу частиц более крупных даже, чем отделяемые частицы (см. рис. 3, в): при наличии в пылевоздушной смеси большого количества весьма мелких частиц с высокими значениями σ они достаточно легко отделяются от газовой фазы под влиянием сил сцепления, безотказно прилипают к стенкам циклона и друг к другу при первом соприкосновении с ними. Крупные же частицы, имеющие сниженную величину сил сцепления, нелегко, очевидно, слипаются с массой мелких частиц, продолжают витать в потоке и частично выносятся из циклона восходящим вихрем.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППОВЫХ ЦИКЛОНОВ ОМЭИ

Следует отметить, что конические циклоны нашего типа имеют весьма устойчивый, очень мало зависящий от входной скорости коэффициент очистки воздуха (см. рис. 3,б); на многих видах пыли кривая $\eta_n - v_{вх}$ для наших конических циклонов имеет некоторую, весьма небольшую, обращенную вверх выпуклость, достигающую максимума при $v_{вх} = 12 \div 14$ м/сек (кривая 2 на рис. 3,б). На эту скорость и рассчитана нами серия циклонов ОМЭИ, приведенная на рис. 4. Однако при подборе циклонов по этой нормали следует учитывать присущую циклонам ОМЭИ устойчивость коэффициента очистки воздуха и поэтому без заметного изменения его циклоны ОМЭИ можно перегружать или недогружать в пределах $\pm 35\%$ от указанной в нормали на рис. 4, т. е. входная скорость может изменяться в пределах от 9 до 19 м/сек. Обстоятельство это предоставляет большие преимущества также и при эксплуатации циклонов ОМЭИ, особенно при переменном режиме работы вентиляционных сетей, уменьшая потери хлебопродуктов при увеличении или уменьшении подачи воздуха в циклоны против проектной величины.

Кроме того, следует указать еще на одну особенность конических циклонов нашего института: коэффициент сопротивления циклона (ζ), отнесенный к динамическому напору, соответствующему скорости входа в циклон, обычно принимаемый величиной постоянной для данной конструкции и не зависящей ни от скорости входа, ни от размеров циклонов, оказался изменяющимся в зависимости от входной скорости и увеличивающимся пропорционально наружному диаметру D_n , как это приведено на рис. 3,в. Произведенные исследования геометрически подобных циклонов ОМЭИ различных диаметров в пределах D_n от 180 до 600 мм показали, что зависимость эта близка к прямой пропорциональности и численно может быть выражена следующим образом:

$$\zeta = m D_n, \quad (3)$$

где D_n в метрах, а m для конических циклонов ОМЭИ равен около 11; отклонения от этой величины ζ находятся в пределах $\pm 10\%$. Зависимость эта является, очевидно, особенностью чисто конических циклонов. Причины обнаруженного влияния D_n на величину ζ нами пока не изучены. Следует отметить, что коэффициент сопротивления, как показали наши исследования, не являются постоянными даже для одного и того же циклона, увеличиваясь с ростом скорости входа так, как это показано на рис. 3,ж: лишь только в средней части возможного диапазона скорости величину ζ можно считать постоянной.

ГИПОТЕЗА О ВОЗНИКНОВЕНИИ ПАРНОГО ВИХРЯ ВДОЛЬ ОСНОВНОЙ ТРАЕКТОРИИ ПОТОКА В ЦИКЛОНЕ

Нахождение способа получения следа нисходящего вихря в виде отложений мелких фракций пыли на стенках циклона (см. рис. 5) имеет, на наш взгляд, большое значение как метод

фиксации и последующего изучения фактической траектории вихря при различных условиях работы циклона. Производившиеся нами измерения траектории, зарисовки и фотографирование ее показали, что траектория эта ни в коей мере не определяется винтовым подводом воздуха, а зависит от других факторов, в частности от скорости подачи воздуха и величины сопротивлений на выходе из циклона. Шаг винтовой траектории, не постоянный по высоте, в среднем изменяется с повышением скорости входа в циклон при постоянном сопротивлении выхода.

Из результатов измерений траектории мы сделали вывод об отсутствии крайней необходимости в винтовом подводе воздуха, наличие или отсутствие которого несколько не определяет собой фактической траектории потока. Отсутствие винтового подвода крайне упрощает изготовление циклонов ОМЭИ на месте производства монтажных работ. В проектной нормали (см. рис. 4) мы, однако, не удалили винтового подвода до проведения

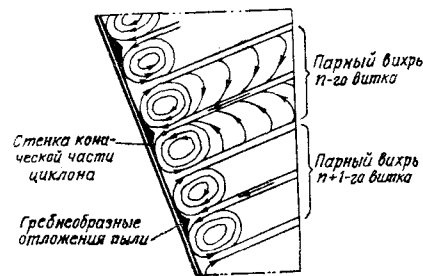


Рис. 6. Схема образования гребневидных отложений на стенках циклона

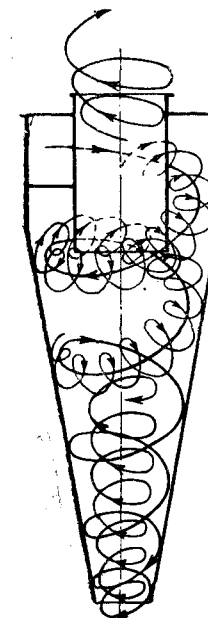


Рис. 7. Схема расположения одного из пары вихрей вдоль траектории нисходящего потока

специальных работ для проверки сделанного вывода об отсутствии необходимости в нем.

Изучение следов нисходящего вихря привело к возникновению гипотезы о наличии парного вихря вдоль винтовой траектории нисходящего потока (рис. 6 и 7).

Рассмотрение следов нисходящего вихря показывает, что они имеют в своей средней части гребневидные возвышения, схематически приведенные на рис. 5 и 6; от середины к краям толщина следов уменьшается и сходит «на-нет». Ширина явного следа изменяется в зависимости от условий работы циклона и несколько уменьшается с увеличением скорости входа. Ширина следа уменьшается также и по высоте конуса, по мере уменьшения диаметра его, из чего можно сделать заключение о возрастании скорости потока по мере сужения конуса.

Гребневидная форма поперечного сечения следов траектории позволяет сделать предположение о наличии парного вихря

(см. рис. 6) аналогично парному вихрю, образуемому, как известно, в отводах (коленах) вентиляционных воздухопроводов (рис. 8). Мелкие частицы пыли, увлекаемые парным вихрем, движутся с большой скоростью к стенке циклона, в направлении, нормальном к ней, как это схематически показано на рис. 6. Ударяясь о стенку в направлении, близком к нормальному, мелкие частицы пыли прилипают под влиянием сил сцепления вначале к стенке циклона, а затем друг к другу, образуя уплотненные гребневидные отложения (см. рис. 6), которые, увеличиваясь до определенного предела, в конце концов разрушаются тем же парным вихрем, особенно при перемещениях его вдоль стенки, и выводятся к пылевому отверстию циклона. Возможно предположить,

что отделившись от стенки, крупные хлопья, опускаясь вниз, не только измельчаются сами, но и обрушивают собой нижележащие отложения, обуславливая этим наблюдавшийся нами порционный вывод пыли из циклона.

Несомненно, что температура и влажность подаваемого в циклон воздуха играют большую роль в описанном процессе пылеотделения. При подаче в циклон теплого и влажного воздуха возможно «одеть» циклон изнутри столь интенсивными отложениями пыли, которые могут полностью закупорить циклон, особенно в том случае, если температура среды, в которой он установлен, относительно низка.

Первая гипотеза (гипотеза преобладающего влияния сил сцепления) имеет практическое

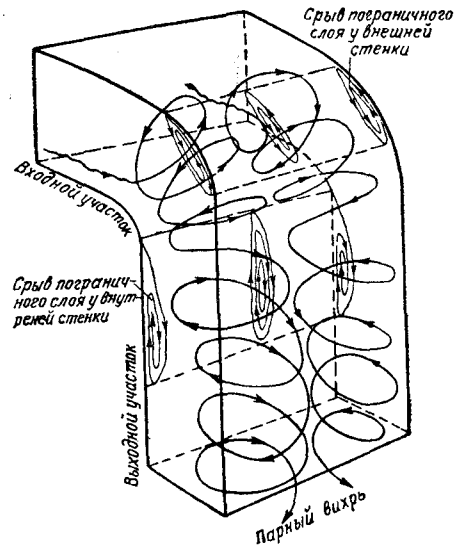


Рис. 8. Схема парного вихря в колене воздухопровода

значение только лишь для многих видов мелкой пыли, не являясь общей для всех условий циклонного пылеотделения. Вторая (гипотеза образования парного вихря в циклоне и его активной роли в процессе пылеотделения) — имеет более общее значение. Наличие парного вихря вне зависимости от величины сил сцепляемости для данного вида пыли может иметь положительное значение, как способствующее введению пылинок в пограничный слой нисходящего потока в циклоне.

Гипотеза образования парного вихря в циклоне уточняет наши представления о процессе пылеотделения в циклоне и после всестороннего обсуждения и проверки ее, а также изучения интенсивности парного вихря может дать новые основания для расчета процесса пылеотделения в циклоне.

Коэффициент очистки воздуха циклонами ОМЭИ доходит до 96—98%, колеблясь в зависимости от вида отделяемой пыли; следует подчеркнуть, однако, что на эту величину может существенно повлиять, как это наблюдается и для других конструкций, способ вывода пыли из циклона.

Экспериментально установлено, что присоединение самотечной трубы непосредственно к циклону несколько снижает коэффициент очистки воздуха, так как восходящий вихрь, проникая, очевидно, в узкую самотечную трубу и не теряя в ней своей интенсивности, выхватывает и уносит с собой часть уже отделенной от воздуха пыли. Для предотвращения этого явления нами предложены и практически применяются специальные пылевыводящие патрубки (рис. 9), при помощи которых циклон присоединяется к самотечной трубе или, в случае группы циклонов, — к винтовому транспортеру, бункеру и другим местам, в которые производится выгрузка пыли.

Опыт показал, что если циклон ОМЭИ непосредственно присоединяется к шлюзовому затвору, то восходящий вихрь все же выхватывает пыль из ячеек барабана шлюза и разгрузка циклона прекращается. Для этого случая мы рекомендуем устанавливать в пылевыводящем патрубке выпрямляющую крестовину (см. рис. 9, в), обеспечивающую, как показал опыт, нормальную разгрузку циклона. Крайней необходимости в выпрямляющей крестовине нет лишь в том случае, когда шлюзовая затвор присоединяется к циклону при помощи самотечной трубы длиной хотя бы около 1 м. Следует, однако, заметить, что и в этом, и в других случаях рекомендуемая крестовина не только не ухудшает работы циклона, а несколько улучшает ее.

Работа циклонов ОМЭИ, как и других конструкций, значительно ухудшается при наличии присоса воздуха в циклон через пылевыводящее отверстие. Присос воздуха, если циклон работает в нагнетающей линии, легко устранить, обратив разрежение в центральных областях пылевыводящего отверстия в избыточное давление путем введения некоторого дополнительного сопротивления после циклона (например опустив противодаждоной колпак циклона). Однако это мероприятие нельзя рекомендовать как неэкономичное, повышающее расход энергии на пылеотделение.

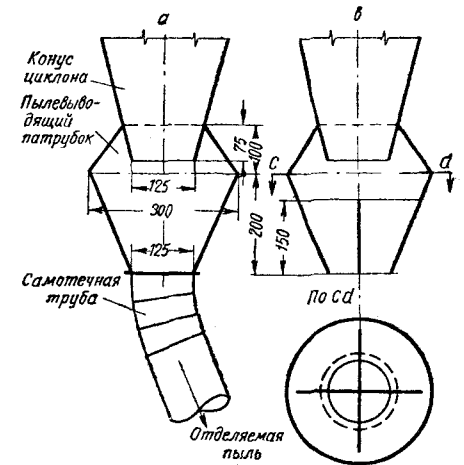


Рис. 9. Пылевыводящие патрубки циклонов ОМЭИ:

а — для вывода пыли в самотечную трубу; в — для вывода пыли в шлюзовую затвор.

Присосы воздуха в циклоны следует ликвидировать, либо устанавливая шлюзовые затворы под каждой группой циклонов, либо подавая пыль из группы циклонов в винтовой транспортер с клапаном при выходе пыли, либо, при отсутствии привода, устанавливая два резиновых клапана в пылевыводящем отверстии на расстоянии 1—1,5 м друг от друга.

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЦИКЛОНОВ ЛИОТ И ОМЭИ

Для характеристики эффективности работы циклонов ОМЭИ на рис. 10 нами приведены объективные данные проведенного во ВНИИЗ сравнительного исследования наших циклонов и циклонов ЛИОТ, имевших одинаковые диаметры — 400 мм.

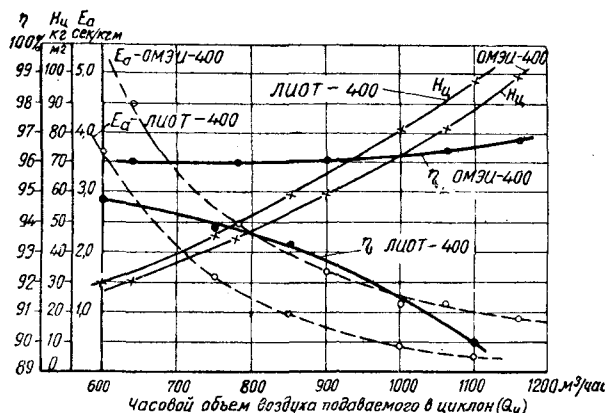


Рис. 10. Сравнительная характеристика циклонов ОМЭИ-400 и ЛИОТ-400

Исследования эти¹ были проведены в 1948 г. под руководством старшего научного сотрудника ВНИИЗ — канд. технических наук, инж. В. С. Пальцева при участии младшего научного сотрудника инж. П. Г. Олимпиева на пыли зерноочистительного отделения, имевшей зольность 9,13%, влажность 8,6%, насыпной объемный вес 0,274 г/см³ и дисперсность, определенную воздушным анализатором и приведенную в таблице, в которой расчетные размеры пылинок найдены при условном удельном весе их, принятом равным 2 г/см³.

Результаты анализа указывают на значительную неоднородность состава пыли, на которой было проведено сравнительное испытание.

Из кривых, приведенных на рис. 10, видно, что величина ζ не может характеризовать собой энергетической экономичности циклона, т. е. величины потерь напора в нем: при меньшем $\zeta=2,78$

¹ Статья дополнена результатами этого исследования по цифровым данным, присланным автору канд. технических наук В. С. Пальцевым.

Дисперсность подопытной пыли зерноочистительного отделения

Снаперирующая скорость движения воздуха в см/сек. . . .	0÷1	1÷4	4÷16	16÷30	30÷60	60÷120	120÷240	240÷480
Расчетные размеры частиц в микронах . . .	0÷7	7÷25	25÷60	60÷80	80÷115	115÷185	185÷380	380÷780
Весовое содержание их в % . . .	7,5	17,1	3,8	24,4	25,2	6,0	11,0	5,0
	7,5	24,6	28,4	52,8	78,0	84,0	95,0	100,0

потери напора в циклоне ЛИОТ на всех подачах больше, чем для циклона ОМЭИ ($\zeta=4,45$). Это обусловлено тем, что скорость ввода воздуха в циклоны ОМЭИ примерно на 25% ниже, чем для циклонов ЛИОТ:

для циклона ОМЭИ. . . $D_n=400$ мм $v_{вх}=0,0164 Q_{ч}$ м/сек
 „ „ ЛИОТ . . . $D_n=400$ „ $v_{вх}=0,0221 Q_{ч}$ „

Несмотря на более низкую скорость входа и меньшие потери напора, коэффициент очистки воздуха (η_n) циклонами ОМЭИ существенно больше, чем для циклонов ЛИОТ, как это видно из кривых, полученных при начальной запыленности воздуха, равной 5 г/м³.

Факт снижения коэффициента очистки воздуха циклоном ЛИОТ 400 с повышением скорости входа, начиная от $v_{вх}=13$ м/сек ($Q_{ч}=600$ м³/час), подтверждается не только исследованиями ВНИИЗ, но и данными ВНИОГАЗ (руководитель лаборатории М. М. Зайцев).

ПОКАЗАТЕЛЬ ОБЩЕЙ ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ ПЫЛЕОТДЕЛИТЕЛЕЙ

Эффективность работы пылеотделителей, в частности циклонов, гораздо более выразительно характеризуется не величиной η_n , а величиной относительных потерь: $A_{пот}=1-\eta_n$ или абсолютных потерь пыли: $a_{п}=(1-\eta_n) a_n$ [г/м³].

Однако и эта величина характеризует работу пылеотделителя только с технологической точки зрения, что является недостаточным во многих случаях. Действительно, возможно и нетрудно добиться резкого снижения потерь пыли, если израсходовать при этом большое количество энергии на преодоление дополнительных сопротивлений. Из этого ясно, что необходимо оценивать работу пылеотделителей еще и с энергетической точки зрения, например величиной затрат энергии на единицу веса отделяемой пыли:

$$N_{уд} = \frac{Q_c H_n}{a_n Q_c \eta_n} = \frac{H_n}{a_n \eta_n} \left[\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{сек}} : \frac{\text{кг}}{\text{сек}} = \text{м} \right].$$

Общая технико-экономическая эффективность работы пылеотделителя тем выше, чем меньше величина потерь пыли с каждым кубическим метром воздуха (a_y) и чем меньше затрата энергии на отделение единицы веса пыли ($N_{y\partial}$). Из этого ясно, что показателем общей эффективности работы пылеотделителя может быть величина:

$$E = \frac{1}{a_y N_{y\partial}} = \frac{a_n \eta_n}{(1 - \eta_n) a_n H_n} = \frac{\eta_n}{H_n (1 - \eta_n)} \left[\frac{\text{м}^2}{\text{кг}} \right].$$

Предлагаемая величина показателя общей технико-экономической эффективности работы пылеотделителя (E) имеет следующий физический смысл: величина E представляет собой объем воздуха, приходящийся на 1 кг потерь пыли и на единицу работы, затрачиваемой на отделение 1 кг пыли; понятно, что чем больше эта величина, тем выше технико-экономическая эффективность работы пылеотделителя.

Подставляя в выражение E значения η_n и H_n , выраженные в зависимости от объема подачи (Q_n м³/час) очищаемого воздуха в пылеотделитель, возможно получить более общее выражение для данного пылеотделителя.

Введение показателя общей эффективности работы пылеотделителя (E) несколько, конечно, не уменьшает значения частных показателей работы его (коэффициента очистки воздуха и величины потерь), которые в отдельных конкретных случаях могут иметь и большое самостоятельное значение. Например, при весьма ценной пыли большее значение будет иметь величина потерь пыли ($1 - \eta_n$), чем величина потерь напора. Общему показателю эффективности возможно придать и конкретное для данного частного случая значение, если учесть в нем ценность пыли и стоимость энергии для заданных частных условий.

На рис. 10 приведены кривые $Q-E$, показывающие, что величина показателя общей технико-экономической эффективности для циклонов ОМЭИ в 1½÷3 раза выше, чем для циклонов ЛИОТ.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИКЛОНОВ ОМЭИ ДЛЯ МАШИН, РАБОТАЮЩИХ С ЗАМКНУТЫМ ЦИКЛОМ ВОЗДУХА

Нет никакого сомнения в том, что возможны конструкции циклонов значительно более эффективные, чем циклоны ОМЭИ в их современном состоянии. Однако и сейчас циклоны ОМЭИ по своему коэффициенту очистки воздуха не уступают матерчатым нагнетательным фильтрам. Это позволило нам в 1943 г. на мельнице № 1 Чкаловского треста Главмуки заменить громоздкие и устаревшие нагнетательные фильтры коническими циклонами. Воздух после этих циклонов частично, а иногда и полностью возвращался в помещение зерноочистительного отделения, не повышая сколько-нибудь заметно запыленности воздуха в нем, что отмечено актом, составленным в результате полугодовой эксплуатации циклонов.

В 1944/45 г. на мельнице № 1 в г. Абдулино по нашему предложению, как нам известно, впервые для предприятий Главмуки

был осуществлен замкнутый цикл воздуха для зерноочистительных машин этой мельницы. После продувки зерна отходы отделялись в обычных осадочных камерах машин, после чего воздух поступал на вторичную очистку групповыми циклонами ОМЭИ, установленными вследствие незначительных их размеров на станинах машин, и после них возвращался в продувочные каналы машин. Применение циклонов ОМЭИ после обычных осадочных камер полностью уничтожило заметные и трудно устранимые пылевыведения от машин, работающих при замкнутом цикле воздуха.

Так, без сколько-нибудь сложной переделки существующих машин был осуществлен силами предприятия замкнутый цикл воздуха в зерноочистительных машинах мельницы с очисткой зерна воздухом, который по своей чистоте мало отличается от атмосферного.

В конце 1945 г. нами было сделано аналогичное предложение о переводе действующих вечноных машин на централизованный замкнутый цикл воздуха с применением групповых циклонов ОМЭИ и полным освобождением большого количества всасывающих фильтров от обслуживания вечноных машин. Сущность этого предложения, являющегося расширением области применения циклонов ОМЭИ, заключается в следующем. На станине каждой вечноной машины или над ней устанавливаются групповые циклоны ОМЭИ, выхлопные отверстия которых присоединяются к всасывающему воздухопроводу, ведущему к вентилятору, обслуживающему несколько веек. К нагнетающему отверстию этого вентилятора присоединяется воздухопровод, возвращающий в каждую вейку отсасываемый от нее воздух.

При отсутствии места непосредственно у вечноных машин групповой циклон возможно разместить в любом другом месте на всасывающей или нагнетающей линии.

Осуществление такого централизованного замкнутого цикла воздуха, возможного для всех машин, работающих воздушными потоками, позволит в кратчайший срок без замены машин или сложных переделок их уменьшить воздухообмен в зданиях мельниц и крупозаводов, уменьшить связанные с этим огромные потери тепла, повысить температуру в зданиях этих предприятий и существенно улучшить не только условия труда, но и условия ведения процесса помола зерна с повышением выхода высоких сортов муки.

Циклоны ОМЭИ пригодны и для тонкого пылеотделения, особенно при му尘истой пыли с повышенной сцепляемостью частиц между собой. Мы представляем себе крупные промышленные мельницы в недалеком будущем освобожденными от матерчатых фильтров и обслуживаемыми высокоэффективными циклонами с такой же вторичной очисткой воздуха, какая сейчас требуется органами пожарного надзора после всасывающих матерчатых фильтров. Желательно, конечно, чтобы вторичная очистка была сухой (например, бумажные фильтры), не увлажняющей и без того влажного воздуха, не отнимающей от него тепла и не вызывающей безвозвратных потерь ценной пыли во время вторичной очистки воздуха.

Применяя взамен всасывающих фильтров групповые циклоны, мы при равном сопротивлении тех и других уменьшаем расход энергии на вентиляционные установки по крайней мере на одну треть, ликвидируя присосы воздуха всасывающими фильтрами.

Несмотря на то что нормаль элемента группового циклона ОМЭИ не была опубликована нами в литературе, циклоны эти, начиная с 1944/45 г., после успешного опыта их работы на мельницах в г. Абдулино получили достаточно большое распространение на мельницах Главмуки в порядке обмена опытом. Бюро по делам изобретательства при Министерстве заготовок в январе 1947 г. сообщило нам, что в отчетных материалах Главмуки за 1946 г. имеются данные о применении групповых циклонов ОМЭИ на мельницах Главмуки. Распространению циклонов ОМЭИ способствуют легко осуществимое изготовление их на месте монтажных работ и относительно высокая эффективность. Отсутствие нормы групповых циклонов ОМЭИ на местах вызвало в некоторых случаях отклонения от необходимых размеров и в результате — снижение эффективности установленных циклонов.

Под непосредственным наблюдением работников института циклоны ОМЭИ были успешно применены в 1946 г. на мельнице № 1 в Одессе, в 1948 г. они были включены в осуществленный ныне проект обеспыливающих вентиляционных установок зернового механического амбара Одесского порта, тогда же и позднее — на мельнице № 18 для установок пневматического транспорта продуктов помола.

Попутно следует отметить, что в условиях пневматического транспорта, т. е. при больших весовых концентрациях пылевоздушной смеси (от 0,8 до 2), особенно четко выявлялось снижение сопротивления циклона: до $1\frac{1}{2}$ —2 раз по сравнению с сопротивлением его на чистом воздухе.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ РАЗМЕРОВ ЭЛЕМЕНТОВ ГРУППОВЫХ ЦИКЛОНОВ ОМЭИ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ УСЛОВИЙ ИХ РАБОТЫ

Прежде всего необходимо предупредить, что, проектируя установку циклонов ОМЭИ, нет никакой необходимости обязательно пользоваться таблицей нормалей для этих циклонов (см. рис. 4), т. е. принимать размеры, соответствующие пропускной способности по указанной в таблице шкале. Циклоны ОМЭИ легко изготавливаются из 5—6-килограммовой стали на месте производства работ обычными жестянщиками-вентиляционниками, поэтому нет необходимости обязательно соблюдать указанные в таблице шесть размеров циклонов.

Если речь идет о массовой установке групповых циклонов ОМЭИ на предприятии, то необходимо, скомпоновав все вентиляционные сети и зная объемы воздуха, которые подлежат очистке по каждой сети, решить вопрос о наиболее выгоднейшей для данного предприятия пропускной способности элемента группового циклона. Из соображений упрощения, улучшения и удешевления изготовления элементов циклонов, а также из соображений взаимозаменяе-

мости циклонов различных групп, желательно избрать такой один или два стандартных для данного предприятия размера элемента группового циклона, повторяя который несколько раз, можно составить любую группу циклонов, необходимую по результатам компоновки сетей.

Математически это представляет задачу об отыскании такого общего делителя для чисел, выражающих подачу воздуха от каждой сети, который обуславливал бы собой элементы циклонов с наружным диаметром (D_n) в пределах от 200 до 600 мм, что соответствует Q_n от 3 до 35 м³/мин, если учитывать крайние допустимые скорости подачи воздуха в циклон ОМЭИ.

Кроме таблицы размеров серии циклонов ОМЭИ, в проектной нормали (см. рис. 4) приведены выражения, позволяющие определить размеры элемента группового циклона по заданной подаче воздуха в него. Однако выражения эти для определения величины модуля (D_n) не имеют общего характера и относятся лишь к частному случаю скорости подачи воздуха в циклон ($v_{вх}$), равной 14 м/сек.

Для того чтобы целесообразно для каждого конкретного случая произвести определение нужных размеров элемента циклона, необходимо познакомиться с исходными положениями, полученными в результате экспериментальных исследований, кратко описанных выше и положенных в основу конструкции элемента циклона ОМЭИ:

1) Наивысший коэффициент очистки воздуха при заданной общей относительной высоте циклона ($h_0 : D_n$) был получен при минимальной высоте цилиндрической части циклона и высоте конической части его, равной

$$h_k = (2,5 \div 3,2) D_n. \quad (4)$$

Поэтому цилиндрическая часть элемента циклона ОМЭИ представляет собой только винтовой подвод воздуха и высота ее равна высоте входного отверстия (c), увеличенной на 50—80 мм для удобной посадки фланца, соединяющего цилиндрическую часть с конической, если элементы циклона изготавливаются разборными, т. е. $h_n \approx 1,3$, $c \approx 0,6 D_n$.

2) Коэффициент очистки воздуха коническим циклоном устойчиво сохраняется на достаточно высоком уровне при изменении скорости входа воздуха в пределах $v_{вх} = 9 \div 19$ м/сек.

Конструируя циклон вне зависимости от каких-либо частных конкретных условий, следует рассчитывать его на среднюю скорость входа воздуха ($v_{вх} = 12 \div 14$ м/сек). При необходимости уменьшить размеры элемента и группы циклонов возможно без увеличения потерь пыли по приведенным ниже формулам рассчитать его на повышенную скорость входа воздуха, если развиваемый вентилятором напор позволяет сделать это, и, наоборот, если напор вентилятора ограничен по каким-либо причинам, то возможно понизить скорость входа воздуха и потери напора в циклоне до нужного предела, придав элементу циклона ОМЭИ другие размеры, определяемые выражением (7).

3) Скорость вывода воздуха из выхлопной трубы циклона ($v_{\text{вв}}$), существенно не изменяющая величины коэффициента очистки, колебалась в пределах от 4 до 8 м/сек, будучи пропорциональной входной скорости и равной:

$$v_{\text{вв}} = (0,40 \div 0,45) v_{\text{вх}}. \quad (5)$$

4) Наивыгоднейшая ширина кольцевого канала вокруг выхлопной трубы $\left[b = \frac{D_n - D_s}{2} \right]$ оказалась находящейся в пределах:

$$b = (0,19 \div 0,25) D_n. \quad (6)$$

Уменьшение b до $0,15 D_n$, незначительно увеличивая η_n для некоторых видов пыли, существенно уменьшает пропускную способность циклона, требуя увеличения размера c и общей высоты циклона.

С увеличением высоты входного отверстия (c) при $b = \text{const}$ пропорционально растет пропускная способность циклона, но для сохранения постоянства η_n при этом требуется увеличение высоты циклона. Относительно высоким η_n по сравнению с циклонами ЛИОТ, оказались, например, циклоны с величиной $c = (2 \div 4) b$.

Исходя из этих результатов экспериментального исследования и принимая $v_{\text{вв}} = 0,43 v_{\text{вх}}$ и $b = 0,222 D_n$, мы можем получить, что с одной стороны $D_s = D_n - 2b = 0,556 D_n$, а с другой, — $D_s = 0,222 \sqrt{\frac{Q_m}{v_{\text{вх}}}}$, ибо

$$Q_m = 60 \frac{\pi D_s^3}{4} v_{\text{вв}} = 47,1 \times 0,43 v_{\text{вх}} D_s^3 \left[\text{м}^3/\text{мин} \right].$$

Из этих выражений мы можем найти искомую величину основного размера элемента:

$$D_n = 0,4 \sqrt{\frac{Q_m}{v_{\text{вх}}}} = \frac{0,4}{\sqrt{v_{\text{вх}}}} \sqrt{Q_m} = S \sqrt{Q_m}. \quad (7)$$

При $v_{\text{вх}} = 14$ м/сек выражение это обращается в приведенное на рис. 4.

Однако подбор элемента циклона ОМЭИ, т. е. определение размеров его, в реальных условиях должен производиться не только по величине подачи воздуха в него (Q), но учитывая также и другие конкретные условия его работы.

Вообще говоря, могут быть по крайней мере три случая подбора размеров циклона:

1) неограниченное место для установки группы циклонов и неограниченная величина напора, развиваемого вентилятором; при этом подбор элемента циклона ведется по заданной величине подачи (выражение 7);

2) ограниченное место для установки группы циклонов и неограниченная величина полного напора вентилятора; при этом подбор должен производиться по заданным величинам D_n или $h_0 = h_u + h_n$, в зависимости от того, какой из размеров является ограничивающим;

3) ограниченная величина напора, развиваемого вентилятором, или другие условия, ограничивающие величину потерь напора в циклоне (H_u); при этом подбор должен производиться по заданной величине H_u ($\text{кг}/\text{м}^2$).

Найдем выражение, определяющее взаимную зависимость величин Q , D_n и H_u для циклонов ОМЭИ, необходимое для подбора циклонов, особенно во втором и третьем случаях.

Потери напора в циклоне равны, как известно $H_u = \zeta \frac{\rho v_{\text{вх}}^2}{2}$. Если выразить скорость входа через Q_m , b и c , то, приняв, как было указано выше, $b = 0,222 D_n$ и $c = 2b = 0,45 D_n$, получим при $\zeta = mD$ (3), что

$$H_u = m D_n \frac{\rho}{2} \left(\frac{Q_m}{6 D_n^2} \right)^2 = \frac{m \rho}{72} \frac{Q_m^2}{D_n^3}. \quad (8)$$

Для стандартного воздуха, принимая $m = 12 \left[\frac{1}{\text{м}} \right]$, получим:

$$H_u = 0,020 \frac{Q_m^2}{D_n^3}. \quad (9)$$

Покажем пример использования этого основного выражения для подбора элементов циклона ОМЭИ.

Предположим, что на действующем предприятии осуществляется описанный выше централизованный замкнутый цикл воздуха для веечных машин с применением циклонов ОМЭИ, т. е. заменяем всасывающий фильтр элементами циклона, установленными подле каждой веечной машины, воздух от которых отсасывается общим вентилятором и снова подводится к каждой машине.

Определим размеры элемента циклона, обслуживающего одну половину веечной машины, если полный напор, который развивал вентилятор при наличии в сети всасывающего фильтра, должен остаться неизменным вследствие нежелательности изменения числа оборотов электровентилятора.

Из этого ясно, что размеры элемента циклона нужно определить так, чтобы потери напора в нем были равны по величине фактическим потерям напора во всасывающем фильтре. Предположим, что потери напора в фильтре были равны $H_\phi = 68 \text{ кг}/\text{м}^2$; следовательно, подбор циклона мы должны произвести так, чтобы $H_u = H_\phi = 68 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Допустим также, что по требованию главного технолога мельницы от каждой двоянной веечной машины необходимо обеспечить отсос $45 \text{ м}^3/\text{мин}$ в среднем при отклонениях, доходящих до $50 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха. Следовательно, чтобы обеспечить возможность регулирования работы веечной машины, необходимо проектировать циклон не на $\frac{45}{2} \text{ м}^3/\text{мин}$, а на $Q_m \frac{50}{2} = 25 \text{ м}^3/\text{мин}$ при $H_u = 68 \text{ кг}/\text{м}^2$.

Удовлетворяющий этим условиям наружный диаметр циклона (D_n) мы можем найти из выражения:

$$D_n = 0,271 \sqrt[3]{\frac{Q_m^2}{H_n}} [м] \quad (10)$$

(для данного случая $D_n = 570$ мм).

В соответствии с этим основным размером определяются и все остальные размеры элемента циклона по выражениям, приведенным в проектной нормали (см. рис. 4). Элементы циклона ОМЭИ этих размеров, отсутствующие в таблице проектной нормали, будут удовлетворять поставленным требованиям, т. е. пропускать до $25 \text{ м}^3/\text{мин}$ воздуха при сопротивлении, не превышающем 68 кг/м^2 .

Точно так же, если бы были заданы предельные размеры элементов циклона, наружный диаметр или общая высота, которую возможно привести к наружному диаметру ($h_0 = h_u + h_k = 3,1 D_n$), и предельное сопротивление элемента, то мы могли бы определить пропускную способность его, равную при этих условиях:

$$Q_m = 7,06 \sqrt{H_n D_n^3} [м^3/\text{мин}], \quad (11)$$

а, следовательно, определить необходимое число элементов группового циклона для заданной общей пропускной способности.

Нужно подчеркнуть, что выражения (9), (10) и (11) относятся только лишь к циклонам ОМЭИ; если ζ не зависит от D_n , то

$H_n = \frac{\zeta}{590} \frac{Q_m^2}{D_n^4}$ для тех же соотношений, которые приняты для циклона ОМЭИ ($bc = 0,1 D_n^2$).

Следует отметить, что если общая высота элементов циклона ничем не ограничена, то в соответствии с результатами исследования возможно несколько увеличить коэффициент очистки воздуха и пропускную способность циклона за счет некоторого уменьшения ширины (b) входного отверстия и увеличения высоты его (c).

Такой циклон ОМЭИ увеличенной высоты (условное обозначение его ОМЭИ-в) имеет несколько меньший диаметр, а именно

$$D_n = \frac{0,342}{\sqrt{v_{ax}}} \sqrt{Q_m} [м], \quad (12)$$

выражение которого получено так, как и выражение (7), но при следующих относительных размерах циклона ОМЭИ-в:

$$D_g = c = 0,65 D_n; \quad b = 0,175 D_n; \quad h_u = 0,9 D_n; \quad h_k = 3,1 D_n; \quad (13)$$

остальные размеры циклона ОМЭИ-в точно те же, что и указанные в основной проектной нормали обычного циклона ОМЭИ (см. рис. 4).

При $v_{ax} = 14 \text{ м/сек}$, как это принято в указанной проектной нормали, наружный диаметр повышенных циклонов ОМЭИ-в равен:

$$D_n = \frac{0,342}{\sqrt{14}} \sqrt{Q_m} = 0,09 \sqrt{Q_m}. \quad (14)$$

т. е. несколько меньший, чем для обычных циклонов ОМЭИ.

Учитывая, что величина сопротивления циклонов ОМЭИ прямо пропорциональна D_n или $\sqrt{Q_m}$ (это можно получить из приведенных выше выражений), нужно предостеречь от чрезмерного увеличения размеров элемента циклона и, следовательно, уменьшения числа элементов, ибо это ведет не только к увеличению потерь напора, но и к увеличению потерь пыли.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Народнохозяйственное и социально-гигиеническое значение вопроса полноты очистки воздуха, выводимого наружу промышленными предприятиями, весьма велико вообще, а в применении к мукомольно-крупяным предприятиям и зерновым элеваторам имеет особо большое значение, так как связано с вопросами учета хлебных продуктов и уменьшения безвозвратных потерь их в пыльном состоянии.

Как велико значение повышения коэффициента очистки воздуха циклонами — можно видеть из следующих цифр. Расчеты показывают, что при выработке 20 млн. t муки в год, если 25% аспирируемого объема воздуха очищается циклонами, безвозвратные потери веса хлебопродуктов при циклонах ЛИОТ даже с D_n , равным 400 мм, составляли бы 24 200 $t/\text{год}$, а при циклонах ОМЭИ такого же диаметра — всего 10 300 $t/\text{год}$, т. е., примерно на 14 000 $t/\text{год}$ меньше; это эквивалентно сохранению $3000 \div \div 4000 \text{ т/год}$ веса хлебопродуктов с повышением η_n всего лишь на 1%.

Так как фактически применяемые диаметры циклонов ЛИОТ значительно больше 400 мм, то указанная величина уменьшения потерь веса хлебопродуктов является резко сниженной по сравнению с фактически возможной.

Если даже и не вся пыль, теряемая через циклоны, имеет реальную кормовую ценность, то все же высокие потери учитываемого веса хлебопродуктов дезорганизуют учет и маскируют собой потери действительно высокоценных хлебных продуктов.

Более широкое применение циклонов ОМЭИ в элеваторном хозяйстве и мукомольно-крупяной промышленности позволит в $1\frac{1}{2}$ —2 раза сократить потери хлебопродуктов, обуславливаемые выносом пыли из циклонов ЛИОТ.

Циклоны ОМЭИ требуют меньших затрат металла, чем циклоны ЛИОТ, просты по конструкции, изготавливаются жестящиками на месте производства монтажных работ из той же листовой стали, что и вентиляционные воздухопроводы.

Все это заставляет рекомендовать групповые циклоны ОМЭИ с коническим элементом элеваторно-складскому хозяйству, мукомольно-крупяной, комбикормовой и другим отраслям промышленности, требующим обязательной очистки запыленного воздуха или другого газа.

Г. Д. ДОМБРОВСКИЙ,
канд. технических наук, доцент
И. Е. ДРАГУН,
канд. технических наук

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЗЕРНА ЧУМИЗЫ

Исследование переработки чумизы в крупу проводилось на двух сортах, из которых один мелкозерный, а другой крупнозерный. Подопытное зерно предназначалось для посева и поэтому было довольно чистым, о чем свидетельствуют показатели качества, приведенные в табл. 1:

Показатели качества зерна чумизы

Таблица 1

Сорт зерна	Влажность в %	Сорная примесь в %		Зерновая примесь в %			Абсолютный вес в г	Пленчатость в %
		всего	в т. ч. минеральной	всего	В том числе			
					битых	испорченных		
Мелкозерная	13,2	0,1	0,04	0,4	0,2	0,2	2,75	13,4
Крупнозерная	13,8	0,3	0,2	0,2	—	0,2	3,95	18,0

Промеры толщины цветочной пленки показали, что у крупнозерной чумизы они составляют 0,08 мм, а у мелкозерной—0,07 мм.

Цветочные пленки мелкозерной чумизы снимаются значительно легче, чем пленки второго образца. Определение пленчатости проводилось нами следующим образом. От зерна, оставшегося после определения засоренности, были взяты две навески по 2,5 г каждая. Обе навески поочередно были перенесены в фарфоровую ступку. Способ шелушения зерна пестиком, обернутым металлическим ситом, в данном случае неприменим, так как большое количество получаемой при этом муки искажало показания пленчатости. Нами был применен резиновый пестик, который благодаря легкой шелушимости зерна чумизы вполне обеспечивал снятие цветочных пленок. Для того чтобы во время шелушения зерна не выбрасывались наружу, фарфоровая ступка накрывалась крышкой, имеющей посредине отверстие для пестика.

Абсолютный вес зерна мелкозерной чумизы значительно меньше, чем абсолютный вес зерна другого образца. Исследования размеров зерна каждого из перерабатываемых образцов, а также размеров ядра показали, что они находятся в следующих пределах (табл. 2 и 3):

Размеры зерен чумизы в мм

Таблица 2

Сорт зерна	Длина			Ширина			Толщина			Толщина оболочки
	наибольший	средний	наименьший	наибольший	средний	наименьший	наибольший	средний	наименьший	
Крупнозерная	2,59	2,34	2,00	2,30	2,07	1,77	1,77	1,47	1,21	0,08

Размеры ядра чумизы в мм

Таблица 3

Сорт зерна	Длина			Ширина			Толщина		
	наибольший	средний	наименьший	наибольший	средний	наименьший	наибольший	средний	наименьший
Крупнозерная	2,07	1,89	1,65	2,37	1,91	1,63	1,56	1,36	1,07

Ядро двух испытываемых образцов имеет роговидное строение и довольно большую прочность.

Для определения мелкого, не годного для переработки зерна исследовался проход испытываемых сортов через сито с продолговатыми отверстиями размером 1,2×20 мм, причем для мелкозерной чумизы проход составил 3%, а для крупнозерной — 1%.

Ядро мелкозерной чумизы, полученной проходом через сито с продолговатыми отверстиями размером 1,2×20 мм, имеет правильную форму и нормальную структуру, так что отнести его к щуплому, неполноценному зерну нельзя. Поэтому для отделения щуплого зерна чумизы следует ставить сито с продолговатыми отверстиями размером 1,1×20 мм.

Ядро мелкого зерна (проход через сито с продолговатыми отверстиями размером 1,2×20 мм) крупнозерной чумизы имеет неправильную форму и мучнистый эндосперм. Для этого образца чумизы щуплым зерно, не подлежащим переработке, следует считать проход через сито с продолговатыми отверстиями размером 1,2×20 мм.

Предварительные опыты переработки зерна на лабораторном шелушителе показали, что зерно мелкозерной чумизы шелушится легче, чем зерно крупнозерной.

Выходы и качество крупы

Сорт зерна	Нагрузка на 1 м ² наждачной поверхности в т/сутки	Выход крупы в %			Мука и лузга в %	Качество крупы		
		целой	дробленной, проход сита d=1,5 мм	общий		доброкачественного ядра в %	необрушенного в %	
Мелкозерная	{	4,5	71,5	8,9	80,4	19,6	99,2	0,1
		7,3	75,9	5,8	81,7	18,3	99,2	0,3
Крупнозерная	{	2,8	51,0	19,3	70,3	29,7	99,0	0,1
		6,0	59,2	15,4	73,6	21,4	99,0	0,3
		7,3	63,8	11,0	75,8	24,2	99,0	0,1

При шелушении зерна чумизы хорошие результаты были получены на вальцедековом станке с резиновой декой.

Для этой цели был использован лабораторный вальцедековый станок. Техническая характеристика станка следующая: диаметр вала 400 мм, окружная скорость его 12,5 м/сек; валок залит наждачной массой № 24. Дека резиновая, набранная из частей разрезанной автопокрышки, поставленных в торец.

Очищенное зерно чумизы подвергалось двукратному шелушению на вальцедековом станке.

Выход готовой продукции и отходов, а также качество крупы, полученной в лаборатории при применении вальцедекового станка, приводятся в табл. 4.

Таблица 4

Выходы и качество крупы

Сорт зерна	Выход крупы в %			Лузга и мука в %	Качество крупы	
	всего	в т. ч. дробленной			доброкачественного ядра в %	необрушенного в %
		проход сита d=1,5 мм, сход с сита d=1,2 мм	проход сита d=1,2 мм			
Мелкозерная	84,4	0,6	0,2	15,6	99,4	0,4
Крупнозерная	80,0	0,7	0,5	20,0	99,0	0,4

Исследование состава дробленки (проход через сито с отверстиями диаметром 1,5 мм, сход с сита с отверстиями диаметром 1,2 мм) показало, что 50% ее состояло из целого ядра, поэтому продукт, полученный проходом и сходом с этого сита, следует считать целой крупой.

При установлении стандартных выходов дробленной крупы следует считать проход через сито с отверстиями диаметром 1,2 мм и сход с проволочного сита № 36.

Опыты переработки зерна чумизы на наждачной обойке № 3 дали результаты, приведенные в табл. 5.

Из таблицы видно, что при переработке зерна чумизы на наждачной обоечной машине нагрузка на 1 м² наждачной поверхности достигла 7,3 т/сутки.

Исследование дробленной крупы, полученной проходом через штампованное сито с отверстиями диаметром 1,5 мм, показало, что часть ее следует отнести к целой крупе.

Просеивание дробленной крупы, полученной из мелкозерной чумизы на проволочном сите № 24, и анализ схода с этого сита дали следующие результаты: 14% прохода и 86% схода. При анализе схода в нем оказалось хорошо выполненного целого, но мелкого ядра 76%. Это свидетельствует о том, что при отборе дробленки для мелких сортов мелкозерной чумизы необходимо ставить проволочное сито № 24 и, следовательно, выход крупы целой будет не 75,9, а 81,7% (см. табл. 5).

Сравнивая результаты технологического эффекта переработки чумизы на вальцедековом станке и на наждачной обоечной ма-

шине, приходим к выводу, что лучшие результаты в смысле выхода крупы и содержания битого ядра получались при переработке на вальцедековом станке с резиновой декой.

Надо полагать, что путем изменения режима работы наждачной обоечной машины можно добиться некоторого улучшения технологического эффекта в сторону уменьшения дробленной крупы и увеличения общего выхода крупы.

При шелушении мелкозерной чумизы на бичерушке (нагрузка 5,8 т/сутки) за один проход был получен продукт, содержащий около 97% доброкачественного ядра, причем дробленной крупы получилось менее 1%. При снижении нагрузки до 4 т/сутки эффект шелушения несколько улучшился — полученный продукт содержал около 98% доброкачественного ядра, увеличения дробленого продукта не наблюдалось. Унос доброкачественного ядра в лузгу был менее 1% к весу лузги.

Однако и в первом и во втором случае крупа не была стандартной из-за повышенного содержания нешелушенных зерен.

Количество нешелушенных зерен составило соответственно 3 и 2%. Надо полагать, что на бичевой просорушке можно добиться выхода стандартной крупы из некоторых сортов чумизы за один проход.

Для остальных сортов чумизы, обладающей прочной связью оболочки с ядром, можно рекомендовать двукратный проход через бичевую просорушку.

Проведенный опыт двукратного пропуска чумизы через бичевую просорушку показал, что содержание нешелушенных зерен снизилось за второй проход с 2 до 0,2%. Однако при этом происходит некоторая потеря ядра, ибо дробленной крупы увеличилось вдвое.

Исследование потребительских достоинств крупы из зерна чумизы показало, что: а) разваримость ее более быстрая, чем пшена; время разваримости от 12 до 14 мин.; б) привар составляет 4,0—4,25 крат.

Каша на вкус более сладкая и нежнее, чем из пшена.

А. Я. НОХОТОВИЧ,
канд. технических наук

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОБЛАСТИ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ РЖИ

Изучение влияния кондиционирования ржи на улучшение качества и выход муки является составной частью исследований, направленных на разрешение проблемы максимального извлечения эндосперма из зерна, которые ведутся на кафедре технологии мукомольно-крупяного производства института в течение ряда лет.

Совершенствование методов переработки ржи в сортовую муку является актуальной задачей, получившей определенное значение еще в свете исторических решений Февральского пленума ЦК ВКП(б) 1947 г. «О мерах подъема сельского хозяйства в послевоенный период», предусматривавших наряду с увеличением производства пшеницы расширение посевов и увеличение производства ржи.

Первые исследования кондиционирования ржи проводились проф. Я. Н. Куприцом в 1940 г. в Московском технологическом институте пищевой промышленности. Они были продолжены после Отечественной войны и в 1946 г. дали весьма положительные результаты.

Изучение этого вопроса в Одесском институте было начато под руководством проф. В. Я. Гирсона в 1940 г., но вскоре было прервано войной. Вернуться к этой работе представилась возможность лишь в 1947 г.

Задача исследований состояла в следующем:

- 1) изучить методы кондиционирования ржи при сортовом помоле;
- 2) исследовать возможности и условия получения высокосортной ржаной муки;
- 3) отыскать такие параметры и режимы кондиционирования, при которых достигались бы наиболее благоприятные мукомольные и хлебопекарные свойства ржи.

В соответствии с этим исследования велись в двух направлениях: а) подготовка и помол ржи с применением холодного кондиционирования; б) подготовка и помол ржи с применением горячего кондиционирования.

Подопытным зерном служила сортовая рожь Петкуская, Весело-Подольская Одесской области урожая 1948 г.

Качественные показатели этой ржи были следующие: влажность — 12,4%; зольность зерна — 2,27%; натура — 740 г/л; стекловидность — 38—40%; зольность эндосперма — 0,495%. Характеристика крупности зерна и зольности каждой фракции приведена на диаграмме (рис. 1).

Как видно из диаграммы, основную массу зерна составляли крупные и средние фракции. Фракции мелкого зерна в процессе очистки отделялись на сите с продолговатыми отверстиями размером $1,5 \times 20$ мм.

Принимая во внимание важное значение, которое имеет процесс очистки и подготовки зерна к помолу для получения высоко- сортной ржаной муки, нами в этот процесс была включена мойка зерна. Мойка ржи осуществлялась на лабораторной горизонтальной мочечной машине, причем результаты показали достаточно высокую степень очистки загрязненных наружных покровов зерна. Так, зольность покровов, составляющая (по литературным данным) 8—10%, снижалась до 4,5—5,5%, а зольность зерна в целом после мойки уменьшалась на 0,05—0,06%.

При выработке сортовой ржаной муки эффективность кондиционирования тесно связана с возможно максимальным удалением наружных покровов зерна, чему способствует тщательный проведенный шелушильный процесс.

Для выяснения лучшего способа шелушения нами было проведено сравнительное исследование двух принципиально отличных способов шелушения — мокрого и сухого, с применением как наждачной, так и терочной рабочих поверхностей обочных машин. В результате было установлено преимущество мокрого способа шелушения при помощи терочной поверхности, давшего количество снятых оболочек в 1,5—2 раза больше, чем при сухом способе. На основании этого в процесс очистки было включено мокрое шелушение зерна, которое следовало непосредственно за мойкой.

Первые опыты с мокрым шелушением в производственных условиях были в свое время успешно проведены проф. В. Я. Гирсоном (2) применительно к пшенице. Для ржи этот способ применен нами впервые.

Эффект мокрого шелушения характеризовался следующими показателями:

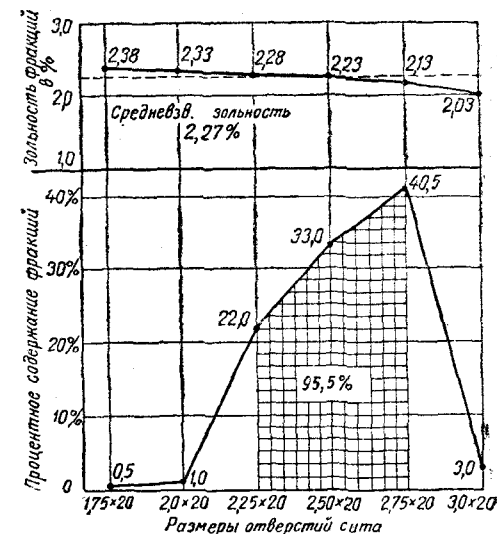


Рис. 1. Качественная и количественная характеристика подопытного зерна ржи в зависимости от крупности фракций

1) Количество плодовых оболочек, удаленных за один сухой и два мокрых прохода, достигало 3,35% вместо 1,5% при сухом шелушении.

2) Зольность зерна снижалась на 0,3—0,4%.

3) Содержание клетчатки в зерне снижалось наполовину, т. е. процент снижения составлял 53 по отношению к ее первоначальному содержанию. В то же время при сухом шелушении это снижение составило лишь 12%.

4) Количество удаленных плодовых оболочек по отношению к весу этих же оболочек в зерне достигало 70%. Обычно при сухом шелушении за 3 прохода через обоечную машину это количество составляет лишь 30% (4).

Завершающим этапом очистки и подготовки ржи к помолу являлось плющение зерна на гладких валках, вращающихся с одинаковой окружной скоростью.

Сравнительные помолы, проведенные нами с целью определения эффекта плющения ржи до и после кондиционирования, показали:

1) Извлечение муки на I и II драных системах из некондиционированного зерна увеличивается на 6—7% и на 13—15% из зерна, подвергавшегося кондиционированию.

2) Зольность муки из некондиционированного зерна, полученной с этих систем, снижается на 0,05%. Изменения в зольности муки из кондиционированного зерна не наблюдались благодаря удалению при мойке грязи, залегающей в бороздках зерна.

3) Облегчается работа первых драных систем. Так, расход энергии при размоле некондиционированного зерна снижался на I драной системе на 26% и на II системе — на 12%.

Для зерна, подвергавшегося кондиционированию, это снижение составило на I драной системе 29% и на II драной системе — 17,5%.

Как было указано выше, зерно кондиционировалось двумя способами: холодным и горячим. При постановке серии опытов с холодным кондиционированием была принята следующая методика.

Зерно одновременно увлажнялось до 14, 15, 16 и 16,5%; причем для каждой степени увлажнения назначалось отволаживание продолжительностью 8 и 12 час. Температура воды, поступающей в моечную машину, поддерживалась на уровне 20—25°.

Увлажненное зерно после тщательного перемешивания в бутылки, плотно закрытой пробкой, оплавленной менделеевской замазкой, оставлялось для отволаживания.

Кондиционирование зерна горячим способом производилось в горизонтальном лабораторном водяном кондиционере, сконструированном нами по идее доц. П. Г. Демидова (3).

Принцип работы кондиционера позволял приблизить опыт к производственным условиям благодаря тому, что зерно, перемешиваемое медленно вращающимся лопастным барабаном, все время находилось в соприкосновении с обогретыми горячей водой внутренними стенками кондиционера (рис. 2).

Режим горячего кондиционирования применялся в следующих вариантах: 1) влажность зерна при поступлении в кондиционер во всех случаях 17—17,5%; 2) влажность зерна после кондиционера, в зависимости от назначения, — 14, 15 и 16%; 3) температура нагрева зерна в кондиционере назначалась для каждой степени увлажнения 35 и 45° поочередно; 4) продолжительность отволаживания для всех вариантов исследования соответствовала 4 час.; 5) температура зерна после кондиционера 25—26°.

Продолжительность пребывания зерна в кондиционере Θ являлась функцией трех переменных величин: t — температуры нагрева зерна в кондиционере, B_1 — влажности зерна при поступлении в кондиционер и B_2 — влажности зерна после кондиционера; таким образом,

$$\Theta = f(t; B_1; B_2).$$

Величина экспозиции изменялась в зависимости от варианта, в свою очередь подразделяясь на три основных периода:

Первый период — предварительного нагрева зерна до температуры 35 и 45°.

Второй период — сушки зерна при установившейся температуре 35 и 45°.

Третий период — охлаждения зерна до 25°.

В связи с этим был изучен тепловой режим работы кондиционера и определена температура теплоносителя (воды) в местах его поступления и выхода, необходимая для нагрева зерна в кондиционере до 35 и 45°.

Полученные данные приведены в табл. 1.

Таблица 1

Температура в °С		
заданная	воды у входа	воды у выхода
35	56	36
45	65	50

Первый и третий периоды устанавливались по фактической скорости нагрева и охлаждения зерна. Второй период назначался по кривым съема влаги, которые были нами определены опытным путем (рис. 3).

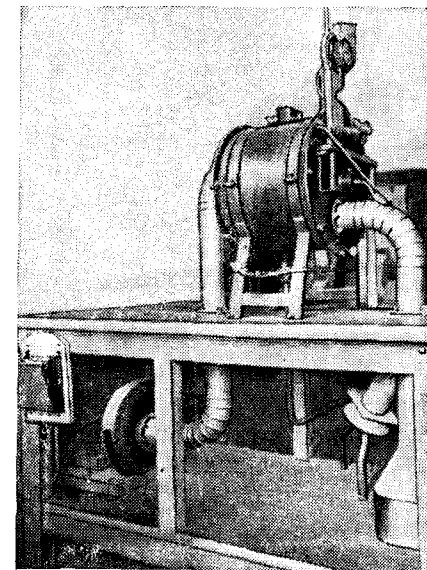


Рис. 2. Горизонтальный лабораторный водяной кондиционер

Зерно после обработки в кондиционере и отволаживания подвергалось повторному увлажнению с добавлением 0,5% воды, и кратковременному отволаживанию продолжительностью не более 20—30 мин. Подобное увлажнение имело место также и при холодном кондиционировании зерна.

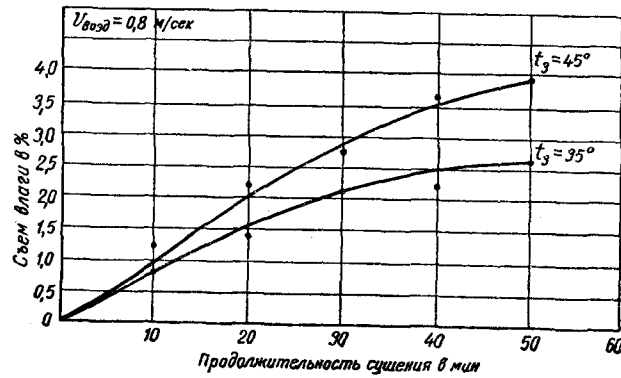


Рис. 3. Кривая съема влаги в кондиционере

Повторным увлажнением достигалось повышение вязкости оболочек, успевших подсохнуть в кондиционере, или при продолжительном отволаживании в течение 8—12 час., а кратковременное

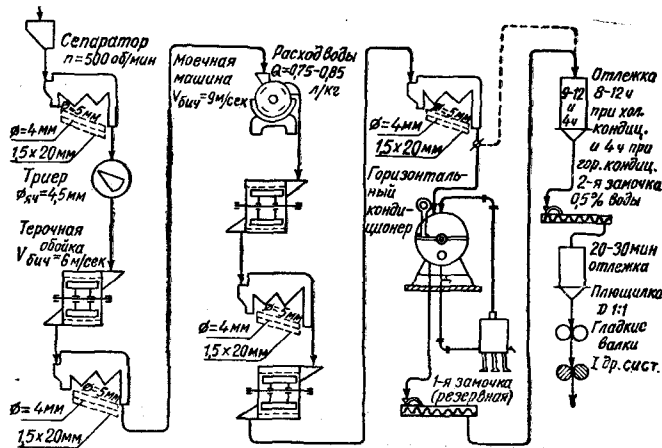


Рис. 4. Схема лабораторной подготовки ржи к сортовому помолу

отволаживание (20—30 мин.) предупреждало возможность проникновения излишней влаги в эндосперм.

Таким образом, очистка и подготовка ржи к помолу на лабораторном оборудовании заключались в трехкратном пропуске зерна

через обочные машины, четырехкратном пропуске через сепараторы, мойке (после первого пропуска), горячем либо холодном кондиционировании, дополнительном увлажнении и плющении перед I драной системой (рис. 4).

Для обеспечения возможности получения высокосортной ржаной муки была разработана схема помола, которая состояла из семи драных систем, одной драной системы для переработки вторых сходов и пяти размольных систем (рис. 5). Мука высшего сорта отбиралась проходом через сито № 52 (XIII).

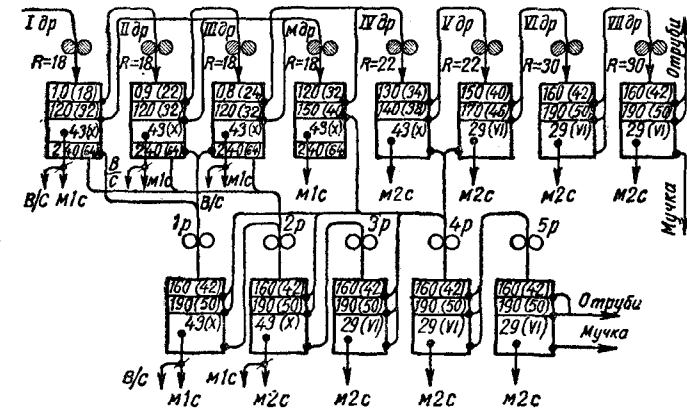


Рис. 5. Схема лабораторного двухсортного помола ржи

В отличие от существующих методов размола ржи в нашем случае вся размольная линия состояла из нерифленых валков с шероховатой поверхностью. Предварительные испытания показали, что при этом достигается большее извлечение муки лучшего качества из промежуточных продуктов помола.

В результате применения процесса кондиционирования было намечено получить в лабораторных условиях муку двух сортов с общим выходом 70%, в том числе муку I сорта с выходом 30%, зольностью 0,60—0,65% и муку II сорта с выходом 40%, зольностью 1,30—1,35%.

С целью изучения влияния процессов кондиционирования на изменение механических свойств подопытного зерна производились испытания по определению степени сопротивления целого зерна разрушающим усилиям сжатия и скалывания. Испытания производились на пружинном динамометре (рис. 6).

Испытаниям подвергались три основные фракции зерна, составляющие 95—97% всего состава зерновой массы:

	Проход через сито с продолговатыми отверстиями в мм
Первая фракция	2,75×20
Вторая	2,50×20
Третья	2,25×20

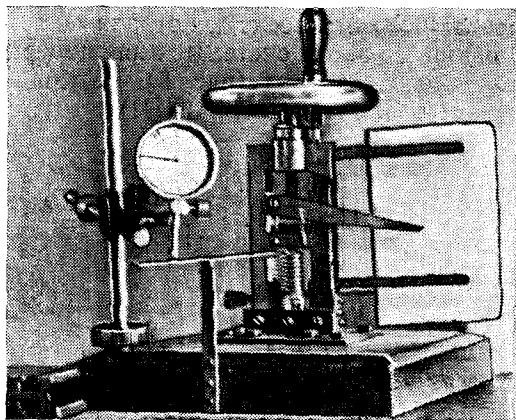


Рис. 6. Пружинный динамометр

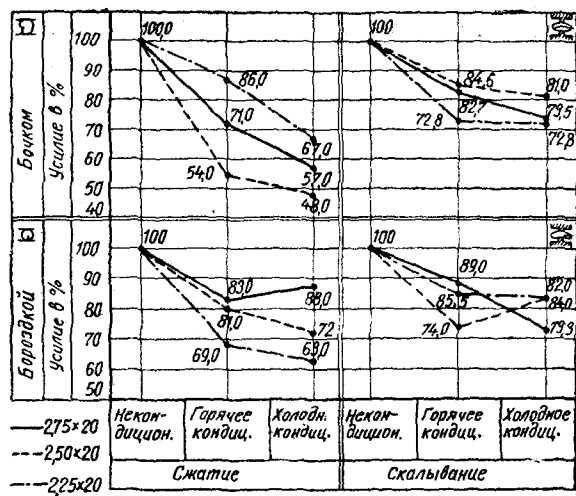


Рис. 7. Сравнительная диаграмма изменения усилий сжатия и скалывания при деформации зерна до и после кондиционирования

Результаты испытаний показали, что в процессе кондиционирования как горячим, так и холодным способом значительно снижается прочность целого зерна ржи и уменьшаются требуемые усилия сжатия и скалывания (рис. 7).

При этом оказалось, что наибольшее снижение усилий для деформации целого зерна как сжатием, так и скалыванием имеет место при холодном кондиционировании зерна.

Исследуя вопрос о влиянии процесса кондиционирования на величину потребляемой мощности при размоле зерна на вальцевых станках, нами по ходу производства опытных помолов осуществлялся замер мощности при помощи электроизмерительных приборов, включенных в цепь мотора.

Помол производился на 4 лабораторных вальцевых станках, имеющих валки диаметром 225 мм и длиной 80 мм, что в значительной степени приближало опыт к производственным условиям. Станки имели индивидуальный привод. Режим помола на протяжении всех опытов оставался неизменным. Мощность моторов определялась по их рабочим характеристикам. Из мощности мотора, затрачиваемой на рабочем ходу станка, вычиталась мощность, затрачиваемая на холостой ход.

Окончательные результаты измерений показали, что процесс как холодного, так и горячего кондиционирования значительно уменьшает потребляемую мощность на размол ржи (рис. 8).

Снижение мощности при холодном кондиционировании ржи составляло 13,2%, а при горячем — 16,2%.

Диаграмма показывает, что несколько больший процент снижения мощности имеет место при горячем кондиционировании, причем в сравнении с результатами испытания прочности одиночных зерен холодное и горячее кондиционирование как бы меняются местами. Подобное перемещение, однако, не нарушает общей картины снижения мощности при кондиционировании и является вполне возможным ввиду того, что дробление на вальцевых станках протекает в более сложных условиях и является комплексом различных деформаций в отличие от результатов, полученных при разрушении одиночных зерен на пружинном динамометре, сопровождающемся одним лишь чистым видом деформации.

Как известно, рожь отличается значительной вязкостью эндосперма и оболочек и достаточно прочной связью между ними. Это обстоятельство обычно затрудняло ее размалывание и было сопря-

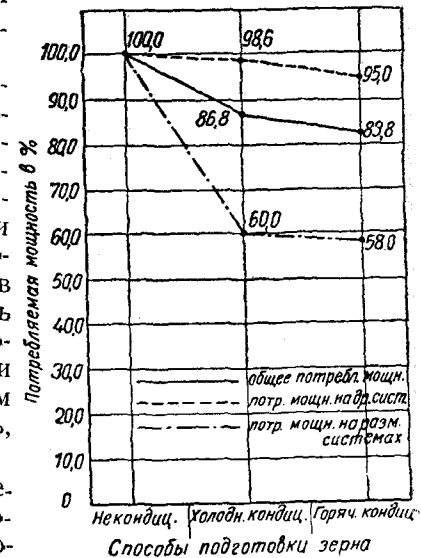


Рис. 8. Диаграмма потребляемой мощности на процесс размола (в процентах)

жено с более высокой затратой энергии. Под влиянием кондиционирования указанные свойства ржи меняются, условия размалывания облегчаются, вследствие чего, как показали исследования, снижается потребляемая мощность.

С первых же опытов стало очевидным, что кондиционирование меняет физическую структуру эндосперма: снижает его вязкость, делает его более рыхлым и обуславливает возможность получения высосортной муки большего выхода.

У кондиционированного зерна процесс разрыхления эндосперма происходит главным образом в его центральной части. Это подтверждается тем, что извлечение муки высшего качества на первых драных системах значительно возрастает по сравнению с данными помола некондиционированного зерна ржи. Это возрастание идет одновременно с резким уменьшением суммарного извлечения промежуточных продуктов этих систем (проход через приемное сито) в результате возросшего количества сходовых продуктов, получающихся в виде широких развернутых лопастных частиц.

Высказанные соображения наглядно иллюстрирует табл. 2.

Таблица 2

Способ подготовки зерна	Извлечение в %					
	I драная система		II драная система		III драная система	
	суммарное	муки	суммарное	муки	суммарное	муки
Некондиционированное	69,0	8,95	73,2	3,0	45,0	0,88
Холодное кондиционирование	53,0	10,45	54,5	4,18	32,0	1,77
Горячее	56,3	11,40	60,0	4,75	35,0	1,78

Однако наблюдаемое увеличение выхода муки на этих системах не следует рассматривать с точки зрения абсолютных показателей, оторванно и изолированно от суммарного извлечения всех прочих промежуточных продуктов. Наоборот, эти факторы следует рассматривать с точки зрения их взаимной связи, их взаимозависимости, так как последняя вскрывает сущность физико-механических процессов, наступающих в зерне под влиянием кондиционирования. И действительно, увлажнение зерна в процессе кондиционирования приводит к повышению вязкости оболочек, благодаря чему они оказывают большее сопротивление разрывающим усилиям рифлей, в меньшей степени дробятся на мелкие части, образуя широкие лопастные частицы схода, и в меньшем количестве попадают в муку. Благодаря этому мука становится чище, количество сходов на приемных ситах драных систем резко возрастает, уменьшая тем самым суммарное извлечение промежуточных продуктов.

Одновременно с этим благодаря изменению физической структуры эндосперма ржи увеличивается и извлечение муки на этих системах.

Таким образом, под влиянием кондиционирования возникает единство противоположных качественно-количественных изменений физико-механических свойств зерна. Для того чтобы более полно представить физический смысл взаимосвязи, возникающей между показателями извлечения муки и суммарного извлечения всех промежуточных продуктов на данной системе, нами введено условное понятие о так называемой величине относительного извлечения муки. Под относительным извлечением муки следует понимать отношение извлекаемой муки к суммарному извлечению всех промежуточных продуктов на данной системе, которое может быть выражено следующим образом:

$$K = \frac{I_m}{I_c} 100,$$

где K — величина относительного извлечения;

I_m — извлечение муки;

I_c — суммарное извлечение.

Величина K отражает одновременность и совокупность физико-механических изменений в зерне в результате кондиционирования, которое вызывает повышение вязкости оболочек параллельно с разрыхлением центральной части эндосперма. Вследствие этого извлекается больше чистосортной муки наряду с резким уменьшением суммарного извлечения.

Величина K для основных драных систем имеет следующие значения (табл. 3):

Таблица 3

Основные драные системы	Относительное извлечение K в %		
	некондиционированное	холодное кондиционирование	горячее кондиционирование
I драная	13,0	19,6	20,6
II "	4,0	7,6	8,0
III "	14,5	15,8	16,4

Тенденция роста величины относительного извлечения с переходом от помола некондиционированной ржи к помолу ржи, прошедшей холодное и горячее кондиционирование, очевидна из таблицы, а также графика, приведенного на рис. 9. Эта тенденция свидетельствует также о том, какое большое значение имеет процесс кондиционирования для получения высоких сортов ржаной муки.

Сравнивая абсолютные и относительные величины извлечения муки на этих системах, видим, что при горячем кондиционировании

получается несколько большее извлечение высокосортной муки. Следовательно, тепловое воздействие способствует большему разрыхлению эндосперма ржаного зерна в его центральной части. Вязкость же периферийных частиц дробленого продукта, наоборот, возрастает.

Это явление наблюдалось на промежуточных продуктах, характеризовавшихся ситами 71/120 (18/32) и 120/240 (32/64).

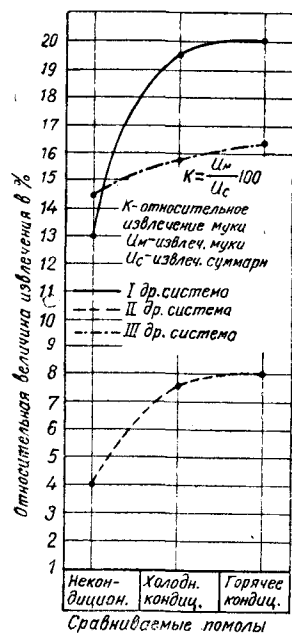


Рис. 9. График относительных величин извлечения муки по основным драным системам

зом из конечных продуктов помола — высокосольных фракций муки II сорта и мучки.

Приведенное дает ключ к объяснению частичного снижения выхода муки при размоле крупочных продуктов из периферийных частей зерна. Однако на суммарном выходе I сорта это не сказывалось. Ассортимент этой муки комплектовался одновременно из нескольких потоков первых драных и первых размольных систем, которые в сумме давали муку соответствующего качества в пределах ожидаемых выходов.

В результате значительного числа опытных помолов, выполненных по ранее намеченным режимам холодного и горячего кондиционирования, была выяснена возможность получения в лабораторных условиях двухсортного помола ржи с общим выходом до 72%, что согласно корреляции, предложенной проф. Я. Н. Куприцом, соответствует 75%-ному выходу в производственных условиях.

Исследование этих продуктов при помощи оптического увеличения показало, что эти продукты в подавляющем большинстве состоят из периферийных частиц, так как на каждой из них имелся оболочечный покров. Извлечение муки из этих продуктов было несколько ниже, чем при помоле некондиционированного зерна.

Увеличение вязкости периферийных частиц предположительно можно отнести за счет присутствия в зерне ржи слизистых веществ, которые придают всему ржаному зерну вязкую консистенцию, отличающую его от пшеничного зерна (1,5 и 6).

По данным ряда исследований, в том числе проводившихся на кафедре неорганической химии института доц. Ф. Г. Криволаповым и ассистентом В. А. Сипатовой, слизи в присутствии воды значительно набухают, причем вязкость водных растворов слизей соответственно возрастает. Обнаруживаются слизи преимущественно в периферийной части зерна ржи. Это было установлено опытами по осаждению и экстракции слизей из продуктов наших экспериментальных помолов, производившихся в лаборатории физической и коллоидной химии института. Слизь успешно осаждалась, главным образом

В I сорт отбиралась мука со средневзвешенной зольностью 0,60—0,65%, а во II сорт — со средневзвешенной зольностью не выше 1,30%.

Все помолы, выполненные при разных режимах кондиционирования, сравнивались с контрольным помолом некондиционированного зерна.

На диаграмме (рис. 10) приведены качественно-количественные показатели серии помолов ржи, подвергавшейся холодному кондиционированию при различных режимах увлажнения и отволаживания. Сравнительный анализ показателей этих помолов дал нам основание остановиться на одном из них как на оптимальном помоле, характеризовавшемся следующим режимом холодного кондиционирования: увлажнение ржи 15%, отволаживание 12 час.

При этом условия качественно-количественные показатели помола таковы:

выход муки I сорта	30% зольностью 0,61%
выход муки II сорта	40,93% зольностью 1,29%
суммарный выход муки	70,93% зольностью 1,00%

На диаграмме (рис. 11) приведены показатели помолов ржи, подвергавшейся горячему кондиционированию. Из этой серии помолов также выделен оптимальный помол ржи, подвергавшейся горячему кондиционированию при следующем режиме:

влажность зерна при поступлении в кондиционер	17—17,5%
влажность зерна после кондиционера	15%
температура нагрева зерна в кондиционере	45°
продолжительность отволаживания	4 часа

Качественно-количественные показатели помола таковы:

выход муки I сорта	32,5% зольностью 0,61%
выход муки II сорта	38,92% зольностью 1,28%
суммарный выход муки	71,42% зольностью 0,98%

Как видно из диаграмм (рис. 10 и 11), качественно-количественные показатели контрольного помола некондиционированной ржи следующие:

выход муки	30,85% (I сорт) зольностью 0,89%
выход муки	41,65% (II сорт) зольностью 1,37%
суммарный выход муки	72,5% зольностью 1,16%

Сравнивая полученные качественные показатели помолов до и после кондиционирования видим, что холодное и горячее кондиционирования приводят в равной степени к резкому повышению качества муки I сорта, при этом снижение зольности составляет 0,28%. Зольность муки II сорта снижается на 0,08—0,09%, а муки общего выхода на 0,16—0,18%.

Анализ полученных результатов подтверждает, что кондиционирование способствует получению высоких сортов ржаной муки, обеспечивая выход последних в 30—32,5%.

Благодаря мокрому шелушению значительно снижается также содержание клетчатки в муке II сорта — на 45%.

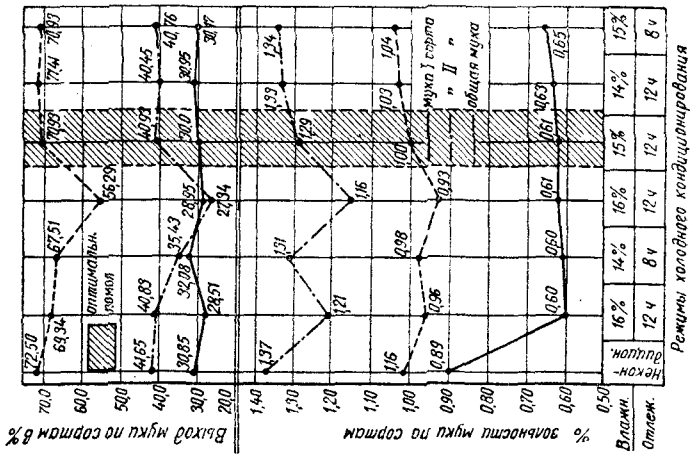


Рис. 10. График количественно-качественных показателей сортовых помолов ржи в зависимости от режима холодного кондиционирования

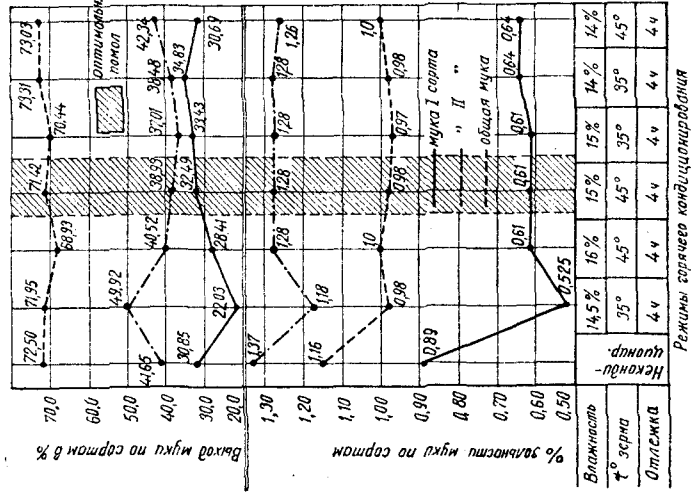


Рис. 11. График количественно-качественных показателей сортовых помолов ржи в зависимости от режима горячего кондиционирования

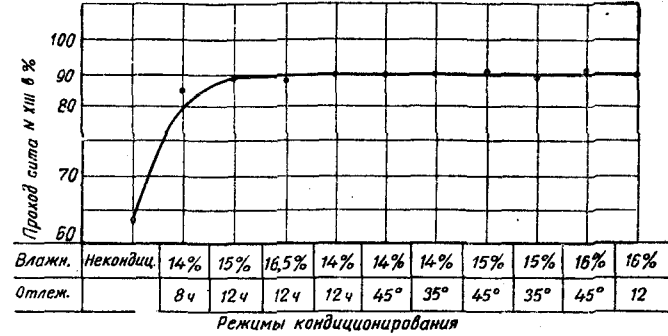


Рис. 12. Изменение дисперсности муки I сорта в зависимости от способа подготовки зерна к помолу

До сего времени главным образом пеклевань получалась с выходом от 3—4 до 10—15% (2).

Следует указать, что в муке I сорта наблюдалось появление кремового оттенка, напоминавшего оттенок пшеничной муки, отличающегося от обычного синеватобелого цвета ржаной сортовой муки. Более определенно этот цветовой эффект сказался на муке высшего сорта, которая почти полностью была освобождена от отрубянистых частиц. Это в известной мере влияло на различие глубины оттенков муки I и высшего сортов.

Проверка цвета муки наших экспериментальных помолов на цветометре с отраженным светом в лаборатории мукомольного производства МТИПП дала по «коэффициенту желтизны» вполне удовлетворительные результаты.

Для оценки хлебопекарных качеств полученной сортовой ржаной муки производились хлебные выпечки из образцов каждого помола. Ввиду того что до сего времени не было единой стандартной методики лабораторных выпечек хлеба из сортовой ржаной муки нами после испытания нескольких методов был принят один из них. Внеся в него частичные изменения, мы получили относительно стабильные результаты.

Наблюдения за результатами хлебных выпечек показали, что:

Влияние кондиционирования на степень дисперсности муки I сорта было исследовано путем ситового анализа на шелковых ситах № 43(X), 46(XI), 49(XII) и 52(XIII). Результаты показали, что под влиянием кондиционирования дисперсность муки заметно возрастает, ввиду чего проход муки через сито № 52(XIII) увеличивается на 18—23%, т. е. с 67 до 85—90% (рис. 12).

Такое высокое содержание диспергированной фракции в муке I сорта сделало возможным решить вопрос о получении муки высшего сорта (пеклевани).

В результате помола с отсевом сортовой муки на шелковых ситах № 52(XIII) мы получили 22% муки высшего сорта зольностью 0,525% и 50% муки II сорта зольностью 1,18%. При этом зольность муки высшего сорта была очень близка к зольности эндосперма, составлявшей 0,495%.

Хлеб из муки I и высшего сортов в результате кондиционирования ржи получался очень светлым, достаточно разрыхленным, хорошей пористости, часто равномерной и тонкостенной.

Мякиш постоянно отличался хорошей эластичностью и упругостью.

Цвет корки и мякиша в большинстве случаев имел светложелтый или кремовый оттенок, напоминая пшеничный хлеб, в отличие от обычного синеватого оттенка ржаного хлеба из муки сеяного помола.

Хлеб обычно был очень ароматный и имел приятный вкус.

Хлеб из муки II сорта отличался также не менее положительными свойствами: цвет корки, структура мякиша, вкусовые качества были соответственно очень хорошие.

Результаты исследования хлебопекарных свойств муки по данным оптимальных помолов приведены в табл. 4.

Таблица 4

Мука из зерна	Хлеб из муки I сорта						Хлеб из муки II сорта					
	вес хлеба в г	Выход хлеба из 100 г муки		отношение веса к объему	пористость в %	прирек хлеба в %	вес хлеба в г	Выход хлеба из 100 г муки		отношение веса к объему	пористость в %	прирек хлеба в %
		в %	объемный в см ³					в %	объемный в см ³			
Некондиционированного	529	130	276	0,48	61	30	580	142	260	0,85	48	42
Холодного кондиционирования . .	535	131	334	0,40	72	31	560	135	294	0,47	58	35
Горячего кондиционирования	515	126	326	0,40	69	26	555	135	313	0,44	60	35
	510*	125*	346*	0,37*	70*	25*	565	137	328	0,44	64	37

Как видно из таблицы, показатели изменения объемного выхода хлеба, отношения веса к объему, пористости, а следовательно, и уменьшения веса объемной единицы мякиша свидетельствуют о том, что процесс кондиционирования улучшает эти качества.

Выводы

1. Применение процесса кондиционирования значительно улучшает мукомольные и хлебопекарные свойства ржи. Меняет физическую структуру эндосперма и оболочек. При этом вязкость эндосперма снижается — он становится более рыхлым. Вязкость же оболочек еще более возрастает.

2. Разрыхление эндосперма идет главным образом в его центральной части, благодаря чему повышается извлечение муки на первых драных системах (I, II, III).

3. Процесс кондиционирования способствует снижению показателя зольности муки I сорта (с выходом 30—32,5%) на 0,28% и муки II сорта (с выходом 40—42%) — на 0,08—0,09%.

* Из муки высшего сорта (пеклевань).

4. Горячее кондиционирование способствует более интенсивному разрыхлению эндосперма, благодаря чему выход муки I сорта больше на 2,5%.

5. Оптимальным режимом холодного кондиционирования можно рекомендовать следующий: влажность — 15%, отволаживание — 12 час. При этом выход муки I сорта 30% зольностью 0,61%; выход муки II сорта 40,93% зольностью 1,29%.

6. Оптимальным режимом горячего кондиционирования можно рекомендовать следующий: влажность зерна после кондиционера 15%, температура нагрева зерна в кондиционере 45°, продолжительность отволаживания 4 часа. При этом выход муки I сорта 32,5% зольностью 0,61%; выход муки II сорта 38,92% зольностью 1,28%.

7. Высокая дисперсность муки дает возможность получать муку высшего сорта (пеклевань) с выходом 22% зольностью 0,525% и муку II сорта — с выходом 50% зольностью 1,18%.

8. Для сортового помола ржи можно рекомендовать схему помола с числом драных систем семь, одной драной системой для переработки вторых сходов и пять размольных систем. Размольный процесс целесообразно вести на нерифленых валках с шероховатой поверхностью.

9. Считать возможным и необходимым применение мойки ржи в процессе подготовки к сортовому помолу, дающей высокий эффект очистки покровов зерна.

10. Считать целесообразным применение мокрого способа шелушения (на обойке с терочной рабочей поверхностью), способствующего снижению зольности зерна на 0,30—0,40% и снижению клетчатки в зерне — на 53%.

11. Применение плющильного станка облегчает работу первых драных систем, снижает зольность муки и увеличивает процент ее извлечения на I и II драных системах.

12. Применение процесса кондиционирования снижает прочность целого зерна ржи и уменьшает величину разрушающих усилий, снижает величину потребляемой мощности на дробление и размол ржи: при холодном кондиционировании снижение равно 13,2%, при горячем — 16,2%.

13. Хлеб, выпеченный из муки I и II сортов, обладает хорошими вкусовыми качествами, ароматом и цветом. Структура мякиша отличается хорошей пористостью, эластичностью и упругостью.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ауэрман Л. Я. Технология хлебопечения. Пищепромиздат, М., 1948.
2. Гиршсон В. Я. Экспериментальное исследование процессов технологии зерна. Заготиздат, М., 1949.
3. Демидов П. Г. Кондиционирование твердой пшеницы. Труды ОИИМП, Одесса, 1938.
4. Курец Я. Н. Физико-химические основы размолла зерна. Заготиздат, М., 1946.
5. Кретович В. Л. и Петрова И. С. Исследование слизей ржаного зерна. Журн. «Биохимия», т. 12, вып. 2, 1948.
6. Козьмина Н. П. и Кретович В. Л. Химия зерна и продуктов его переработки. Заготиздат, М., 1938.

В. Я. БЕЛЕЦКИЙ,
канд. технических наук, доцент

НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ДИНАМИКИ САМОБАЛАНСИРУЮЩИХСЯ РАССЕВОВ

Кинематическая схема самобалансирующегося рассева с грузом-противовесом, подвешенном независимо от кузова, приведена на рис. 1.

Известно, что величина радиуса колебаний такого рассева определяется из следующего уравнения:

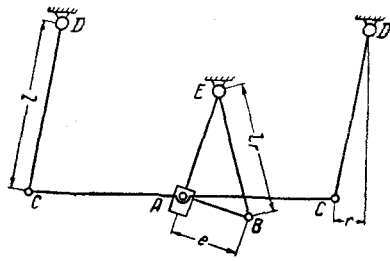


Рис. 1

$$r = \frac{e}{\frac{G_k + G_c}{G_2} + 1} \quad (1)$$

где e — расстояние между центрами тяжести кузова A и груза B ;
 G_k — вес кузова рассева с рамой;
 G_2 — вес грузов-противовесов;
 G_c — вес сыпучей смеси, находящейся в кузовах рассева.

Из этого уравнения следует, что с изменением веса G_c просеиваемой смеси, заполняющей рамки кузовов рассева, соответственно изменяется и величина r — радиуса колебаний рассева.

Для ненагруженного рассева радиус колебаний его будет наибольшим и равен:

$$r_{\max} = \frac{e}{\frac{G_k}{G_2} + 1} \quad (2)$$

Минимальную длину радиуса колебаний рассева получим при наибольшей G_{cm} загрузке его просеиваемой смесью. Она будет равна:

$$r_{\min} = \frac{e}{\frac{G_k + G_{cm}}{G_2} + 1} \quad (3)$$

Назовем средним радиусом колебаний рассева r_{cp} полусумму максимального и минимального значений радиуса колебаний рассева, т. е.

$$r_{cp} = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} \quad (4)$$

В силу уравнений (2) и (3) ту же величину можно представить в таком виде:

$$r_{cp} = 0,5 \frac{G_2}{G} \cdot \frac{2G + G_{cm}}{G + G_{cm}} e, \quad (5)$$

где

$$G = G_k + G_2.$$

Совершенно очевидно, что для каждого значения среднего радиуса r_{cp} диапазон изменения величины r , или разность $r_{\max} - r_{\min}$, должен быть не более некоторой величины, чтобы при этом не нарушился технологический процесс просеивания смеси, осуществляемый рассевом, не снизилась производительность рассева и т. п.

Назовем коэффициентом изменения радиуса колебаний кузова рассева величину ε , определяемую отношением:

$$\varepsilon = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{r_{cp}} \quad (6)$$

Как известно, средняя величина радиуса колебаний кузова рассева r_{cp} должна выбираться по технологическим условиям и, следовательно, при проектировании (расчете) рассева она должна быть известна. Наряду с этим путем специально поставленных экспериментальных исследований должна быть установлена допускаемая максимальная величина коэффициента ε изменения длины радиуса колебаний кузова рассева.

Таким образом, при проектировании рассева величины r_{cp} и ε должны быть известны и заранее заданы.

Принимая во внимание, что $G_k = G - G_2$, из уравнения (6) находим:

$$G_2 = \left(\frac{1}{\varepsilon} - 0,5 \right) G_{cm} - G_k. \quad (7)$$

Тогда из уравнения (5) получим:

$$e = 2 \frac{G}{G_2} \cdot \frac{G + G_{cm}}{2G + G_{cm}} r_{cp}. \quad (8)$$

Этими формулами (7) и (8) и следует пользоваться для расчета веса грузов-противовесов и для определения расстояния центра тяжести грузов-противовесов от центра тяжести кузовов рассева. При этом радиус колебаний кузова будет изменяться в заранее установленных пределах.

В существующих конструкциях рассевов Главпродмаша: $G_k = 1500$ кг, $G_2 = 290$ кг, $e = 250$ мм; наибольший вес смеси, заполняющей рамки кузовов рассева, не превышает 200 кг.

Поэтому

$$r_{\max} = \frac{e}{\frac{G_k}{G_s} + 1} = \frac{250}{\frac{1500}{290} + 1} = 41,7 \text{ мм},$$

$$r_{\min} = \frac{e}{\frac{G_k + G_{cm}}{G_s} + 1} = \frac{250}{\frac{1500 + 200}{290} + 1} = 37,3 \text{ мм},$$

$$r_{cp} = \frac{r_{\max} + r_{\min}}{2} = \frac{41,7 + 37,3}{2} = 39,5 \text{ мм},$$

$$\varepsilon = \frac{r_{\max} - r_{\min}}{r_{cp}} = \frac{41,7 - 37,3}{39,5} = 0,11.$$

При рассмотрении вопроса о самобалансировании рассева¹ сопротивления, возникающие в результате относительного движения звеньев его механизма, во внимание не принимаются. Однако в действительности силы трения в шаровых кинематических парах *A* и *E* (см. рис. 1), в поступательной паре *A*, а также сопротивления жесткости тяг, на которых подвешены кузова рассева, должны, конечно, преодолеваться силами веса кузовов и грузов-противовесов и развиваемыми ими силами инерции.

Механизм рассева должен быть, разумеется, спроектирован так, чтобы при заданном изменении веса продукта изменение сил инерции масс было достаточным для преодоления сил сопротивления. В противном случае «самобалансирования» не произойдет.

На рис. 2 приведен так называемый жесткий рычаг проф. Н. Е. Жуковского, построенный¹ для механизма рассева и приведенные к точке *A* рассева (см. рис. 1 и 2) сила инерции $P_{n.u}$, сила веса $P_{n.v}$ и сила сопротивления $P_{n.c}$.

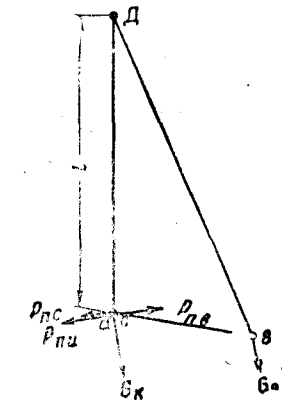


Рис. 2

ния $P_{n.c}$.

Предположим, что вес смеси, находящейся в кузовах рассева, уменьшился; тогда радиус колебаний рассева в соответствии с уравнением (1) должен увеличиться. Однако действительное изменение длины радиуса r колебаний рассева произойдет лишь после того, как разность приведенных сил инерции $P_{n.u}$ и веса $P_{n.v}$ станет равной приведенной к той же точке *A* механизма горизонтальной силе сопротивления рассева $P_{n.c}$, т. е. когда

$$P_{n.u} - P_{n.v} = P_{n.c} \quad (9)$$

¹ В. Я. Белецкий. Кинестатика самобалансирующихся рассевов. Труды Одесского института инженеров мукомольной промышленности и элеваторного хозяйства им. И. В. Сталина, т. 2, 1948.

Для рассева, у которого длина подвесок l и расстояние l от центра тяжести грузов-противовесов до «точки» подвеса вала (см. рис. 1) мало разнятся друг от друга, при небольших величинах r (обычных эксплуатационных) величины $P_{n.u}$ и $P_{n.v}$ соответственно равны¹:

$$P_{n.u} = \frac{\omega^2}{g} [G_k \cdot r - G_s(e - r)], \quad (10)$$

где ω — угловая скорость вала рассева и

$$P_{n.v} = \frac{G_k \cdot r - G_s(e - r)}{l}. \quad (11)$$

Если вес сыпучей смеси, находящейся в кузовах рассева, уменьшается, но он меньше

$$G'_c = \frac{\left(\frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{l}\right) G_s e - P_{n.c}}{r \left(\frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{e}\right)} - G, \quad (12)$$

то радиус колебаний рассева увеличивается.

Если вес сыпучей смеси увеличится, то длина радиуса колебаний кузова начнет уменьшаться только в том случае, если этот новый вес не меньше величины G'_c , определяемой из следующего равенства:

$$G''_c = \frac{\left(\frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{l}\right) G_s \cdot e + P_{n.c}}{r \left(\frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{l}\right)} - G. \quad (13)$$

Из выражений (12) и (13) видно, что при изменении веса G_c смеси, находящейся в кузове, в пределах $G'_c < G_c < G''_c$ радиус колебания кузова будет отличаться от величины r , определяемой формулой (1).

Каждый из предельных весов G'_c и G''_c , зависящий от длины радиуса колебаний рассева (при неизменной угловой скорости ω вращения вала рассева), можно нанести на график (рис. 3), при помощи которого можно судить о действительных изменениях длины радиуса колебаний рассева.

Так, при данном r на вертикальном участке, заключенном (см. рис. 3) между предельными кривыми G'_c и G''_c , рассев не реагирует на изменение веса продукта в нем. Область, ограниченную кривыми G'_c и G''_c , следует назвать областью нечувствительности рассева.

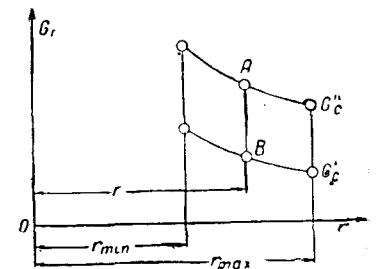


Рис. 3

¹ В. Я. Белецкий. Кинестатика самобалансирующихся рассевов. Труды Одесского института инженеров мукомольной промышленности и элеваторного хозяйства им. И. В. Сталина, т. 2, 1948.

Если $G'_c - G_c = \Phi$, то на основании уравнений (12) и (13) будем иметь:

$$\Phi = \frac{2P_{н.с}}{r \left(\frac{\omega^2}{g} - \frac{1}{l} \right)} \quad (14)$$

Из формулы (14) видно, что нечувствительность Φ рассева к изменению веса находящейся в его кузовах смеси прямо пропорциональна приведенной силе сопротивления $P_{н.с}$, обратно пропорциональна длине радиуса колебаний r рассева; нечувствительность рассева тем меньше, чем больше величина угловой скорости вращения вала рассева и чем больше длина подвесок рассева.

Так как длина радиуса колебаний рассева должна изменяться, как выяснено выше, в определенных пределах, то для уменьшения нечувствительности рассева нужно, чтобы приведенная сила сопротивления его механизма была возможно меньше, а длина тяг рассева была возможно больше.

В. Я. БЕЛЕЦКИЙ,
канд. технических наук, доцент

МЕХАНИКА РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МУКОМОЛЬНОГО ВАЛЬЦЕВОГО СТАНКА

Рабочими органами вальцевого станка являются два круглых цилиндрических вала равных диаметров $2R$ (рис. 1), вращающихся вокруг параллельных осей с различными угловыми скоростями ω_b и ω_m .

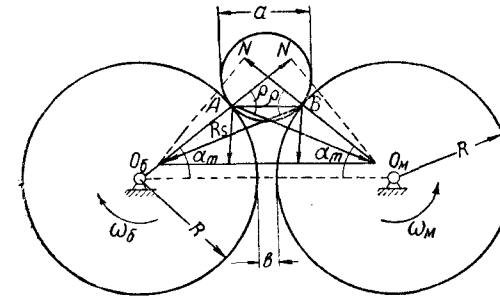


Рис. 1.

Рабочий процесс валков заключается в том, что поступающее в рабочую зону между валками зерно, характеризуемое диаметром a (см. рис. 1) окружности, описанной вокруг его поперечного сечения, захватывается валками и деформируется.

Совершенно очевидно, что зерно будет захвачено валками, если угол α_m между радиусом валка, проведенным в начальную точку контакта зерна с валком и линией центров валков $O_m O_b$, не более некоторой определенной величины. Этот угол α_m называется углом захвата.

В начальный момент контакта зерна с валками между ним и каждым валком возникает нормальное давление и ввиду наличия стремления к относительному движению (к проскальзыванию валков по зерну)—сила трения. Поэтому полная реакция R' (см. рис. 1), прилагаемая каждым валком к зерну, будет отклонена от нормали к поверхности валка на некоторый угол.

В предельном случае, когда сила трения равна своему максимально возможному для данной пары тел (в рассматриваемом слу-

чае валок — зерно) значению, упомянутой угол отклонения полной реакции от нормали к поверхности равен, как известно, величине угла трения ρ .

Отсюда ясно, что зерно будет втягиваться валками, лишь в том случае, если составляющая R_1' каждой силы R' вдоль перпендикуляра к линии центров валков будет направлена к этой линии, что будет выполнено, если

$$\alpha_m < \rho. \quad (1)$$

Из чертежа (см. рис. 1) видно, что

$$R + 0,5b = (R + 0,5a) \cos \alpha_m,$$

где b — минимальный (рабочий) зазор между валками.

Поэтому

$$2R = \frac{a \cos \alpha_m - b}{1 - \cos \alpha_m}. \quad (2)$$

Минимальный диаметр валков, т. е. тот наименьший диаметр, при котором зерно будет захватываться валками в рабочую зону, найдем, если примем в последнем равенстве величину b равной нулю.

Следовательно,

$$2R_{min} = \frac{a}{\sec \alpha_m - 1}. \quad (3)$$

Некоторые соображения относительно характера движения зерна между валками. При исследовании работы валков одним из основных, подлежащих выяснению вопросов, является поведение зерна, находящегося в рабочей зоне между валками, относительно каждого из валков в отдельности. К сожалению, до настоящего времени наши знания в этой области еще весьма скудны. Можно лишь утверждать, что характер этого поведения сложен и зависит от многих трудно поддающихся учету обстоятельств.

Вопрос о движении зерна между валками является динамической задачей, так как движение определяется величинами и направлениями усилий, прилагаемых к зерну каждым из валков в отдельности. Эти силы в свою очередь зависят от многих факторов, в частности от степени сопротивления зерна деформированию, производимому валками. Таким образом, поскольку приложенные к зерну силы не могут быть (при современном состоянии наших знаний) учтены, то и характер движения зерна не может быть установлен обычным для механики путем.

В настоящее время мы располагаем рядом экспериментальных данных о движении зерна между валками. Так, во Всесоюзном научно-исследовательском институте зерна Министерства заготовок канд. технических наук Г. И. Креймерманом установлено (путем фиксации движения зерна в рабочей зоне между валками на киноплёнку), что в зависимости от некоторых условий абсолютная

линейная скорость зерна либо равна окружной скорости медленно вращающегося валка, либо несколько превышает ее.

В принятых в Советском Союзе конструкциях вальцевых станков внешняя энергия подводится к быстро вращающемуся валку, от которого она может передаваться на медленно вращающийся валок при помощи пары цилиндрических зубчатых колес: ведущего C и ведомого D (рис. 2). Поэтому естественно было ожидать, что износу всегда будут подвергаться профили mt зубцов; однако практикой уже сравнительно давно установлено, что фактически изнашиваются профили pn зубцов.

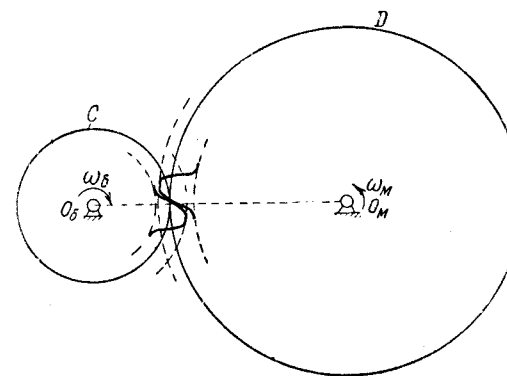


Рис. 2

Это обозначает, что в действительности ведомым является меньшее зубчатое колесо (за исключением, разумеется, времени холостого хода станка), ибо оно тормозит движение большего колеса D , стремящегося вращаться с угловой скоростью, большей ω_m . Кроме того, из практики также хорошо известно, что если вовсе удалить зубчатые колеса и привести в движение только один из валков, то с того момента, когда в рабочую зону начнет поступать зерно, второй валок, бывший до тех пор неподвижным, придет во вращение.

На основании вышесказанного можно сделать вывод, что зерно, попав в рабочую зону между валками, стремится приобрести линейную скорость большую, чем окружная скорость медленно вращающегося валка.

Зерно движется совместно с одним из валков. Пусть зерно движется совместно с медленно вращающимся валком. В этом случае относительное движение между зерном и медленно вращающимся валком полностью отсутствует и абсолютная скорость зерна векторно равна окружной скорости соприкасающейся с ним точки медленно вращающегося валка. Следовательно, движение быстро вращающегося валка относительно зерна будет точно таким же, как и относительное движение между валками.

Поэтому рассмотрим движение быстро вращающегося валка относительно медленно вращающегося. Для этого удобнее всего при-

менить широко используемый в современной теории механизмов и машин метод обращения движения звеньев механизма.

Известно, что относительное движение двух систем не нарушается и становится более наглядным, если одна из них неподвижна относительно другой. Поэтому сообщим обоим валкам (рис. 3) новое общее вращение вокруг точки O_m — центра вращения медленно вращающегося валка — с угловой скоростью минус ω_m , равной и прямо противоположной по направлению действительной угловой скорости валка ω_m .

В результате этого медленно вращающийся валок как бы остановится, а быстро вращающийся валок будет совершать сложное движение, состоящее из двух вращений вокруг параллельных между собой осей (осей вращения валков) с угловыми скоростями ω

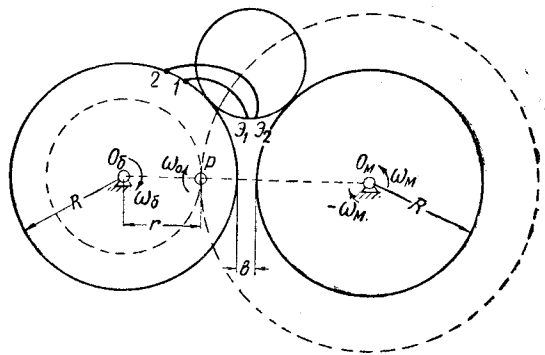


Рис. 3

и минус ω_m . Такие два вращения, как известно из курса теоретической механики, эквивалентны вращению вокруг одной оси, параллельной упомянутым и делящей расстояние между осями в отношении, обратном пропорциональному угловым скоростям ω_0 и ω_m .

Так как эти угловые скорости ω_0 и минус ω_m имеют одно и то же направление, то упомянутая мгновенная ось вращения находится между осями валков и ее положение определяется следующим уравнением:

$$\frac{(O_m P)}{(O_0 P)} = \frac{\omega_0}{\omega_m} = i, \quad (4)$$

где i — передаточное отношение между валками.

Итак, при заданном расстоянии между осями валков положение мгновенной оси относительного движения валков определяется величиной передаточного отношения между валками.

Ввиду того что минимальный зазор между поверхностями валков b чрезвычайно мал по сравнению с диаметром валков ($2R$ — не менее 250 мм, а b — не более 2 мм), то ясно, что при определении положения мгновенной относительной оси вращения между

валками (мгновенного полюса P) на линии центров валков можно считать, что

$$(O_0 P) + (O_m P) = 2R.$$

Поэтому из уравнения (4) следует, что величина $(O_0 P)$, которую для краткости обозначим через r , равна:

$$r = \frac{2R}{i+1}. \quad (5)$$

Нетрудно усмотреть, что центроидами относительного движения валков будут две соприкасающиеся друг с другом по линии центров валков в мгновенном полюсе P окружности с центрами соответственно в точках O_0 и O_m , причем в рассматриваемом случае относительно неподвижной центроидой будет окружность радиуса $O_m P$ с центром в точке O_m .

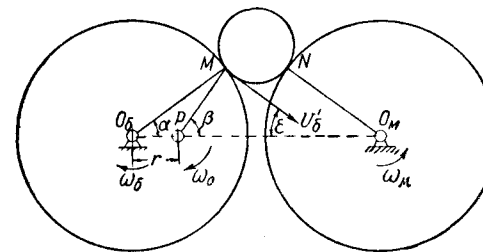


Рис. 4

Что касается величины относительной угловой скорости между валками, то согласно упомянутой теореме она равна:

$$\omega_0 = \omega_0 + \omega_m,$$

или

$$\omega_0 = \omega_0 \left(1 + \frac{1}{i}\right). \quad (6)$$

По отношению к зерну, соприкасающемуся с валками в точках M и N (рис. 4), положение которых относительно линии центров определяется величиной угла α , быстро вращающийся валок движется, следовательно, с мгновенной линейной скоростью v'_0 , перпендикулярной к мгновенному радиусу $(PM) = r_0$ и равной

$$v'_0 = \omega_0 \cdot r_0 \quad (7)$$

Из треугольника $O_0 P M$ (см. рис. 4) видно, что

$$r_0 = \sqrt{R^2 + r^2 - 2R \cdot r \cos \alpha}.$$

Так как в мукомольных вальцевых станках угол α невелик, его максимальная величина α_m не превышает 10° , то с достаточной для

практических расчетов точно можно для таких валков принять, что

$$r_0 = R - r.$$

Поэтому

$$v'_0 = \omega_0 (R - r). \quad (8)$$

Подставляя в это уравнение взамен r и ω_0 их значения соответственно с уравнениями (5) и (6), получим:

$$v'_0 = v_0 - v_m.$$

Значит, величина относительной скорости между валками может быть принята равной относительной скорости между точками быстровращающегося и медленно вращающегося валков, находящихся на линии центров, т. е. равной разности между окружными скоростями валков.

Однако, как будет доказано ниже, существенное значение имеет то обстоятельство, что направление упомянутой относительной скорости не совпадает с направлением скорости — разности между окружными скоростями валков.

Обозначим буквой α_m величину угла PMO_m (см. рис. 4). Тогда из треугольника PMO_m получим:

$$\frac{\sin(\beta - \alpha)}{\sin \beta} = \frac{r}{R};$$

отсюда после простейших преобразований и замены величины отношения $\frac{r}{R}$ ее значением по формуле (5) находим:

$$\operatorname{ctg} \beta = \operatorname{ctg} \alpha - \frac{2}{(1+i) \sin \alpha}. \quad (9)$$

Обозначим буквой ε угол, образуемый направлением относительной скорости быстровращающегося валка и зерна v'_0 с линией центров валков; поскольку этот угол равен $90^\circ - \beta$ (см. рис. 4), то в силу уравнения (9) имеем:

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{ctg} \alpha - \frac{2}{(i+1) \sin \alpha}. \quad (10)$$

Из только что полученной формулы следует, что наименьшая величина угла ε определяется следующим равенством:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_{\min} = \operatorname{ctg} \alpha_m - \frac{2}{(i+1) \sin \alpha_m}. \quad (11)$$

Чем больше величина этого угла ε_{\min} , тем меньше величина составляющей относительной скорости валка и зерна по линии центров валков и, напротив, тем больше величина составляющей относительной скорости по направлению перпендикуляра к линии цент-

ров валков. Так как при деформации зерна, находящегося в рабочей зоне между валками, оно подвергается в направлении, перпендикулярном к линии центров валков, сжатию, а по направлению, перпендикулярному к линии центров, — сдвигу, то, следовательно, чем больше передаточное отношение между валками, тем больше относительная скорость валков в направлении сдвига и меньше в направлении сжатия.

Поэтому при назначении величины передаточного отношения между валками нужно исходить из того, превалирование какого вида деформации (сдвига или сжатия) желательно получить по условиям ведения технологического процесса вальцевого станка в каждом отдельном случае.

Когда точки соприкосновения зерна с валками находятся на уровне линии центров, то угол $\varepsilon = 90^\circ$. Следовательно, при обработке зерна валками угол ε возрастает от величины ε_{\min} до 90° .

Решая уравнение (2) относительно $\cos \alpha_m$, находим:

$$\cos \alpha_m = \frac{2R + b}{2R + a},$$

или

$$\frac{\cos \alpha_m}{1 - \cos \alpha_m} = \frac{2R + b}{a - b}.$$

Обозначая величину разности $(a - b)$, характеризующую так называемую высоту режима помола, через c и пренебрегая величиной рабочего зазора между валками b в сравнении с величиной их диаметров, получаем:

$$\cos \alpha_m = \frac{1}{\frac{c}{2R} + 1}, \quad (12)$$

В табл. 1 приведен ряд значений угла ε_{\min} , полученных при помощи формул (11) и (12).

Таблица 1
Значения угла ε_{\min} в зависимости от величин $\frac{c}{R}$ и i

$\frac{c}{R}$ \ i	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5
0,030	25	45	59	67	70	72
0,020	42	56	67	72	74	76
0,010	51	56	70	75	77	78
0,008	54	68	77	79	80	81
0,006	58	71	78	81	82	83
0,002	66	71	80	83	84	84

На основании полученных результатов можно сделать следующие выводы:

1. Увеличение передаточного отношения i целесообразно лишь до некоторого определенного предела, устанавливаемого в каждом отдельном случае величиной отношения $\frac{c}{R}$. При дальнейшем увеличении i величина угла ε_{\min} изменяется незначительно.

Так, например (см. табл. 1), при увеличении i с 3 до 3,5 приращение величины ε_{\min} незначительно (на $1-2^\circ$) и, следовательно, почти не отразится на технологическом процессе вальцевого станка (в той степени, в какой он зависит от величины ε_{\min}).

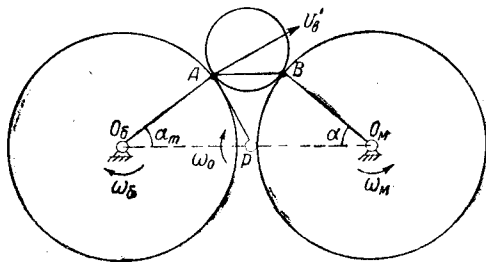


Рис. 5

Кроме того, при одноступенчатой зубчатой передаче между валками увеличение передаточного отношения сопряжено с необходимостью уменьшения числа зубцов на ведущей зубчатке-шестерне, что при расстоянии между центрами колес порядка 250—350 мм вызывает опасность подреза зубцов, заострения их вершин и, следовательно, быстрого износа зубцов.

2. Чем ниже режим помола, т. е. чем больше при данных i и R разность $a-b=c$ между начальным размером частицы и рабочим зазором между валками, тем больше ε_{\min} , а следовательно, больше скорость сдвигающих усилий.

3. Чем больше диаметр валков (при неизменных i и c), тем меньше скорость сдвигающих усилий.

Из формул (11) и (12) следует, что если

$$i < \frac{c}{R} + 1, \quad (13)$$

то скорость начальной точки контакта зерна с валком отклонена от линии AB не вниз, а вверх, как это показано на рис. 5. Отсюда следует, что быстровращающийся валок в этом случае не только не захватывает зерна и не втягивает его в рабочую зону между валками, а, наоборот, выталкивает зерно из этой зоны. Но так как последнее невозможно, то можно прийти только к единственному выводу: если величина передаточного отношения между валками удовлетворяет неравенству (13), то зерно не может двигаться совместно с медленно вращающимся валком.

Значит, при отсутствии принудительного движения второго валка зерно, попадая в рабочую зону между валками, увлекает в движение второй валок со скоростью, меньшей скорости вращения приводимого валка. Этот теоретический вывод находит полное подтверждение на практике, где для обеспечения наличия равных скоростей валков ставят пару одинаковых зубчатых колес.

В свете сказанного ясно, что практический интерес представляет тот случай, когда относительная скорость быстровращающегося валка и зерна v'_c в начальный момент их контакта имеет направление, параллельное линии центров валков (угол $\varepsilon_{\min}=0$), и, следовательно, скорость деформации сдвига в этот момент равна нулю.

Этому условию будет соответствовать обращение неравенства (13) в равенство:

$$i = \frac{c}{R} + 1. \quad (14)$$

Следовательно, чем больше величина отношения $\frac{c}{R}$, т. е. чем ниже режим помола и меньше диаметр валков, тем больше должна быть величина передаточного отношения, при которой в начальный момент контакта зерна с валками отсутствует деформация сдвига.

Перейдем к выяснению характера траекторий, описываемых точками цилиндрической поверхности быстровращающегося валка в движущемся совместно с медленно вращающимся валком зерне. Совершенно очевидно, что практический интерес представляют траектории лишь тех точек, которые воздействуют на зерно за время его пребывания в рабочей зоне между валками. Ясно, что упомянутые траектории будут траекториями возможных деформаций зерна. Они были бы фактическими траекториями деформаций зерна, если бы оно было вполне упругим.

Так как точки быстровращающегося валка (см. рис. 3) лежат вне пределов относительно подвижной центроиды — окружности радиуса r , то ясно, что при перекачивании без скольжения этой окружности по относительно неподвижной центроиде — окружности радиуса $O_M P$ с центром в точке O_M — они описывают удлинненные эпициклоиды.

Так, например, точка 1 (см. рис. 3) описывает эпициклоиду \mathcal{E}_1 , а точка 2 — эпициклоиду \mathcal{E}_2 .

Для наглядной иллюстрации влияния величины передаточного отношения i на вид траектории, описываемой точкой валка, соприкасающейся с зерном, на рис. 6 вычерчены удлиненная эпициклоида $\mathcal{E}'(i=1,5)$ и удлиненная эпициклоида $\mathcal{E}''(i=3)$. На основании рис. 6 можно заключить, что чем больше передаточное отношение, тем круче по отношению к линии центров валков траектория точки контакта. Одновременно с этим замечаем, что чем больше передаточное отношение между валками, тем больше длина траектории, описываемой точкой контакта в зерне, а значит, тем больше площадь сдвига частей зерна.

Таким образом, чем больше передаточное отношение между валками, тем на большее число частей разделится зерно¹.

При обработке зерна рифлеными валками возможен захват зерна рифлями быстровращающегося валка, поэтому целесообразно рассмотреть здесь также и тот случай, когда зерно движется совместно с быстровращающимся валком.

При движении зерна совместно с быстровращающимся валком относительное движение будет совпадать с движением медленно вращающегося валка по отношению к быстровращающемуся.

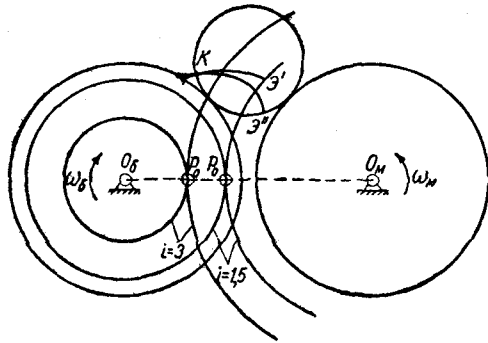


Рис. 6

Выше рассмотрено движение быстровращающегося валка относительно медленно вращающегося; ясно, что движение медленно вращающегося валка по отношению к быстровращающемуся приводится к вращению вокруг того же мгновенного полюса P (см. рис. 3), но направление мгновенной линейной скорости будет теперь иным, а именно таким, как показано на рис. 7.

Величина мгновенного радиуса вращения точки N контакта зерна с медленно вращающимся валком, как это видно из рис. 7, равна:

$$r'_0 = \sqrt{R^2 + (2R - r)^2 - 2R(R - r) \cos \alpha}$$

¹ Этот вывод находит подтверждение в экспериментальных исследованиях, выполненных канд. технических наук С. Д. Хусидом (см. «Труды Всесоюзного научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки», вып. 18, Заготиздат, 1949) и приведенных в следующей таблице:

v_6 м/сек	i	Извлечение—проход металлочанного сита № 20 в %	Нагрузка в кг/см/сутки
6,0	1,00	0,62	490
6,06	1,24	4,20	495
6,06	1,51	5,78	500
6,12	2,50	8,55	490

Ввиду того что угол α мал, можно принять величину относительной линейной скорости v'_m точки соприкосновения зерна с валком, как и в случае движения зерна совместно с медленно вращающимся валком, равной:

$$v'_m = v_6 - v_m$$

При помощи теоремы синусов и рис. 7 можем записать, что

$$\frac{\sin(\beta' + \alpha)}{\sin \beta'} = \frac{2R - r}{R} = 2 - \frac{r}{R}$$

Производя элементарные преобразования и заменяя величину отношения $\frac{r}{R}$ ее значением согласно уравнению (5), находим:

$$\operatorname{ctg} \beta' = \frac{2i}{i+1} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \quad (15)$$

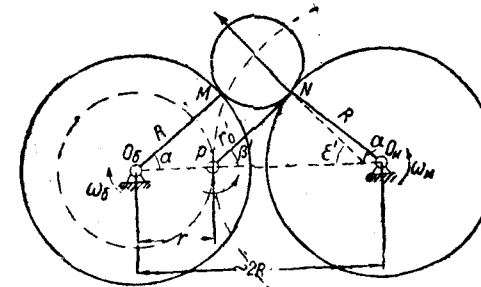


Рис. 7

Если обозначить через ϵ' угол, образуемый направлением относительной скорости v'_m с линией центров (см. рис. 7), то поскольку $\epsilon' = 90^\circ - \beta'$:

$$\operatorname{tg} \epsilon' = \frac{2i}{i+1} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha \quad (16)$$

$$\operatorname{tg} \epsilon'_{\min} = \frac{2i}{i+1} \cdot \frac{1}{\sin \alpha_m} - \operatorname{ctg} \alpha_m \quad (17)$$

Некоторые значения угла ϵ'_{\min} , подсчитанные по формулам (17) и (12) при $\frac{c}{R} = 0,03$, приведены в табл. 2.

Таблица 2

Значения угла ϵ'_{\min} в зависимости от i при $\frac{c}{R} = 0,03$								
i	1,0	1,25	1,5	2,0	2,5	3,0	3,5	4,0
ϵ'_{\min}	13	38	53	65	70	73	75	75

Анализируя полученные результаты (сравнивая между собой данные табл. 1 и 2), заключаем, что при движении зерна в рабочей зоне между валками совместно с быстровращающимся валком имеем в общем такую же закономерность, как и в случае движения зерна совместно с медленновращающимся валком, и подробно освещенную выше.

Однако при движении зерна совместно с быстровращающимся валком неподвижной центроидой будет окружность радиуса r с центром в точке $O_б$ (см. рис. 7), а подвижной центроидой будет окружность радиуса $O_мP$ с центром в точке $O_м$. Так как точка M лежит при этом внутри катящегося круга, то ее траектория — укороченная эпициклоида. Следовательно, воздействие каждого из валков на зерно будет различным.

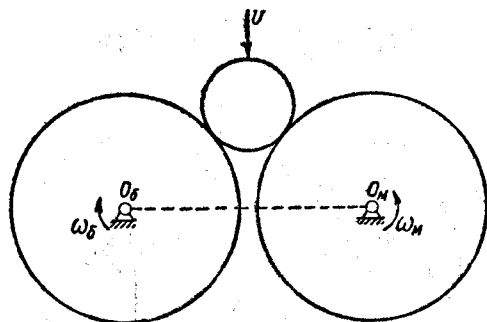


Рис. 8

Зерно движется поступательно. Выше рассмотрены два граничных случая, а именно, когда зерно движется совместно либо с медленновращающимся валком, либо с быстровращающимся. Однако зерно может двигаться в рабочей зоне между валками также и поступательно в направлении, перпендикулярном к линии центровалков, с некоторой скоростью v (рис. 8).

Истинная величина этой скорости, конечно, неизвестна, но ясно, что она больше, чем окружная скорость медленновращающегося валка и меньше окружной скорости быстровращающегося, т. е.

$$v_м < v < v_б.$$

Рассмотрим движение зерна относительно каждого из валков в отдельности.

Для установления характера этого движения и его законов сообщим одновременно и зерну, и медленновращающемуся валку (рис. 9) общую поступательную скорость минус v , равную и противоположную по направлению скорости v поступательного движения зерна. В результате этого зерно как бы остановится, а медленновращающийся валок, помимо вращения вокруг своей собственной оси с угловой скоростью $\omega_м$, будет совместно с этой осью двигаться поступательно со скоростью минус v .

Из курса теоретической механики известно, что поступательное движение тела эквивалентно так называемой паре вращения, т. е. эквивалентно вращению вокруг двух параллельных между собой осей с равными по величине угловыми скоростями в противоположных направлениях; причем кратчайшее расстояние между осями перпендикулярно к направлению скорости поступательного движения и равно частному от деления величины этой скорости на величину угловых скоростей пары.

Поэтому, выбрав в качестве одной из осей пары вращения ось медленновращающегося валка, а за величину угловых скоростей пары — угловую скорость медленновращающегося валка (см. рис. 9), найдем, что два упомянутых мгновенных движения валка (вращение вокруг собственной оси и поступательное движение со скоростью минус v) приведутся к вращению вокруг оси, параллельной оси валка, проходящей через точку $P_м$ с угловой скоростью $\omega_м$.

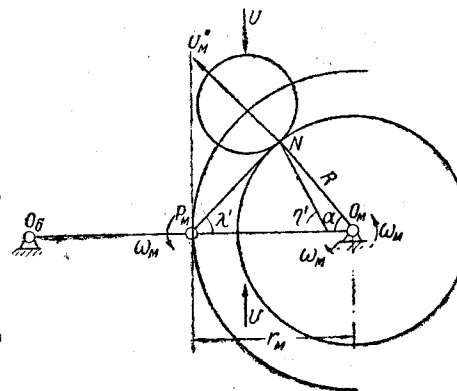


Рис. 9

Положение мгновенного центра вращения $P_м$ найдется из условия, что его расстояние $O_мP_м$ от оси медленновращающегося валка равно:

$$r_м = \frac{v}{\omega_м}. \quad (18)$$

Как уже отмечалось выше, опытами установлено, что зерно движется либо совместно с медленновращающимся валком, либо несколько быстрее его, поэтому:

$$r_м > \frac{v_м}{\omega_м} = R \text{ и } r_м < \frac{v_б}{\omega_м} = i \frac{v_б}{\omega_б} = iR,$$

или

$$i \cdot R > r_м > R,$$

т. е. мгновенный центр относительного движения медленновращающегося валка и зерна, движение которого отличается от движения каждого из валков, лежит за пределами медленновращающегося валка и тем дальше, чем больше скорость поступательного движения зерна по сравнению с окружной скоростью этого валка.

Центроидами относительного движения в рассматриваемом случае будут: неподвижная (связанная с зерном) — прямая, перпендикулярная к линии центров валков, а подвижная — окружность, описанная из центра $O_м$ радиусом $r_м$.

Значит, относительное движение медленновращающегося валка и поступательно движущегося зерна состоит в перекачивании без

скольжения окружности по прямой. Ввиду того что точки контакта валка с зерном лежат внутри окружности — центроиды, то эти точки описывают в зерне укороченные циклоиды.

Вследствие того что угол захвата зерна валками α_m невелик, можно полагать, что величина относительной линейной скорости валка и зерна равна:

$$v_m^* = v - v_m.$$

Направление этой относительной скорости по отношению к линии центров найдется из треугольника $O_m P_m N$ (см. рис. 9), из которого следует, что

$$\frac{\sin(\lambda' + \alpha)}{\sin \lambda'} = \frac{r_m}{R},$$

или, заменяя угол λ' соответствующим ему значением $90^\circ - \eta'$, имеем:

$$\frac{\cos(\eta' - \alpha)}{\cos \eta'} = \frac{r_m}{R}. \quad (19)$$

Повторив рассуждения, совершенно аналогичные вышеприведенным для случая медленно вращающегося валка, найдем, что движение быстро вращающегося валка относительно движущегося поступательно со скоростью v зерна приводит к вращению этого валка со скоростью ω_σ вокруг оси, параллельной оси валка и проходящей через точку P_σ , лежащей на линии центров валков (рис. 10), причем расстояние $O_\sigma P_\sigma$ равно:

$$r_\sigma = \frac{v}{\omega_\sigma}. \quad (20)$$

Так как $v < v_\sigma$, то $r_\sigma > R$. С другой стороны, так как $v > v_m$, то $r_\sigma > \frac{R}{i}$. Следовательно,

$$\frac{R}{i} < r_\sigma < R.$$

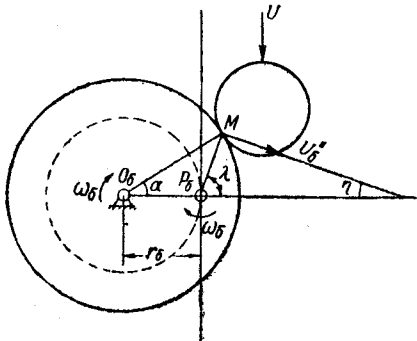


Рис. 10

Неподвижной центроидой рассматриваемого относительного движения будет прямая, проведенная через точку P_σ перпендикулярно к линии $O_m O_\sigma$ центров. Подвижной центроидой, принадлежащей быстро вращающемуся валку, будет окружность с центром в точке O_σ и радиусом r_σ .

Точки соприкосновения валка с зерном лежат за пределами подвижной центроиды — окружности, поэтому траектории этих точек будут удлиненные циклоиды.

Величина относительной линейной скорости точек контакта валка с зерном равна:

$$v_\sigma^* = v_\sigma - v_m.$$

Из треугольника $O_\sigma P_\sigma M$ (рис. 10) видно, что

$$\left. \begin{aligned} \frac{\sin(\lambda - \alpha)}{\sin \lambda} &= \frac{r_\sigma}{R}; \\ \frac{\cos(\eta + \alpha)}{\cos \eta} &= \frac{r_\sigma}{R}. \end{aligned} \right\} \quad (21)$$

или

Только что полученное уравнение дает возможность определить направление относительной скорости быстро вращающегося валка и поступательно движущегося между валками зерна по отношению к линии центров валков.

Из уравнений (19) и (21) находим, что

$$\frac{\cos(\eta' - \alpha)}{\cos \eta'} \cdot \frac{\cos \eta}{\cos(\eta + \alpha)} = \frac{r_m}{r_\sigma};$$

отсюда после простейших преобразований, принимая во внимание, что на основании уравнений (18) и (20),

$$\left. \begin{aligned} \frac{r_m}{r_\sigma} &= \frac{\omega_\sigma}{\omega_m} = i, \\ \frac{\operatorname{ctg} \alpha + \operatorname{tg} \eta'}{\operatorname{ctg} \alpha - \operatorname{tg} \eta'} &= i. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

получаем:

Из последнего уравнения следует, что взаимоотношение между величинами углов η и η' определяется величинами угла α и величиной i передаточного отношения между валками и совершенно не зависит от действительной (истинной) скорости v поступательного движения зерна в рабочей зоне между валками.

Таким образом, и при поступательном движении зерна между валками воздействие каждого из валков на зерно различно и своеобразно.

Рифленые валки. На основании теоретических исследований проф. П. А. Афанасьева¹ и других, а также главным образом экспериментальных данных, на отечественных мукомольных мельницах принят единый профиль рифлей валков, определяемый следующими величинами углов (рис. 11).

Угол между радиусом валка, проведенным в вершину рифли, и ее короткой гранью (гранью острия) называется углом острия рифли, он равен $\gamma = 20^\circ$; угол между тем же радиусом валка и длинной гранью рифли (спинкой рифли) называется углом спинки рифли, он равен $\psi = 70^\circ$. Угол $\psi + \gamma = 90^\circ$ носит название угла заострения рифли.

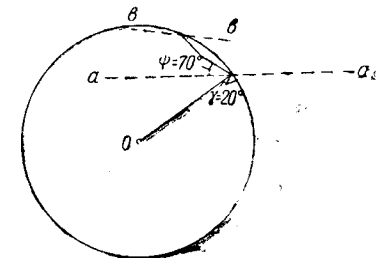


Рис. 11

¹ П. А. Афанасьев. Мукомольные мельницы. 1883.

На основании ранее сказанного об относительном движении зерна и каждого валка ясно, что при обработке зерна рифлеными валками воздействие валка на зерно уподобляется процессу фрезерования; причем в случае движения зерна совместно с одним из валков получим картину, аналогичную обработке профильных изделий на металлорежущих (фрезерных) станках.

Характер деформирования зерна рифлеными валками определяется следующими тремя факторами: формой рифлей, их шагом (длиной дуги окружности валка, заключенной между двумя смежными остриями рифлей) и направлением скорости точки контакта рифли с зерном относительно последнего.

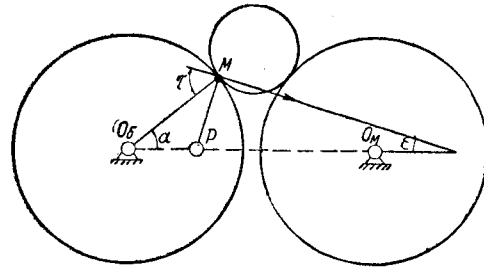


Рис. 12

При выборе формы рифлей, кроме чисто технологических условий дробления зерна, приходится считаться и со следующим практическим весьма важным обстоятельством — стойкостью рифли как режущего инструмента.

Критерий затупления рифли является одним из исходных соображений для рационального выбора ее формы, так как при затуплении рифли ухудшаются технологические показатели работы вальцевого станка и растет расход энергии.

Как уже упоминалось ранее, к настоящему времени практикой установлено, что удовлетворяющими в известной степени требованиями стойкости и технологического эффекта являются рифли, форма которых приведена на рис. 11.

Что касается направления скорости движения рифли, то совершенно ясно, что если это направление aa (см. рис. 11) проходит внутри контура рифли, т. е. между ее передней и задней гранями, то рифля будет как бы расклинивать зерно, если же упомянутое направление проходит вне контура рифли (линия на рис. 11), то рифля будет резать (фрезеровать) зерно.

Так как положения граней (передней и задней) рифли определяются углами, образованными этими гранями с радиусом валка, проведенным в вершину рифли, то для выяснения направления относительной линейной скорости валка и зерна по отношению к граням рифли определим величину угла, образуемого направлением этой скорости с упомянутым радиусом валка.

Из рис. 12 видно, что острый угол между направлениями относительной скорости, образующей с линией центров угол ϵ (см. рис. 3), и радиусом валка O_1M :

$$\tau = \alpha + \epsilon. \quad (23)$$

Следовательно, величина угла τ , т. е. ориентация скорости v_0' относительно радиуса валка, проведенного в вершину рифли, зависит от величин углов α и ϵ .

Так как при $\alpha = \alpha_m$ $\epsilon = \epsilon_{\min}$, то ясно, что в начальный момент соприкосновения зерна с валком:

$$\tau_{\min} = \alpha_m + \epsilon_{\min}. \quad (24)$$

На основании всего изложенного приходим к выводу, что если $\tau_{\min} > \psi$ (рис. 13), то возможно резание (фрезерование) зерна рифлями; причем угол резания δ равен:

$$\delta = \tau + \gamma. \quad (25)$$

Итак, угол резания δ — переменная величина, а именно:

$$\delta_{\min} = \tau_{\min} + \gamma; \quad \delta_{\max} = 90^\circ + \gamma,$$

т. е.

$$\delta_{\min} = \tau_{\min} + 20^\circ > \psi + 20^\circ = 90^\circ$$

и

$$\delta_{\max} = 90^\circ + 20^\circ = 110^\circ.$$

Значит, в процессе фрезерования зерна валком угол резания изменяется в следующих пределах:

$$90^\circ < \delta \leq 110^\circ. \quad (26)$$

Известно, что разработанный передовыми людьми нашей социалистической промышленности скоростной метод резания металлов характеризуется тем, что углы резания больше, чем 90° (они порядка 105 — 110°), поэтому, вопреки распространенному среди мукомолов неправильному мнению, вероятность резания зерна рифлями валка не вызывает никаких сомнений.

Как уже упоминалось, фрезерование зерна рифлями будет возможным только тогда, когда грань спинки рифли не будет соприкасаться с зерном, т. е. если $\tau_{\min} > \psi$.

Решая уравнение (11) относительно величины передаточного отношения i , получаем:

$$i = \frac{2}{\cos \alpha_m - \sin \alpha_m \cdot \operatorname{tg} \epsilon_{\min}} - 1,$$

или, принимая во внимание, что угол α_m мал и потому можно принять $\cos \alpha_m = 1$, имеем:

$$i = \frac{1 + \sin \alpha_m \cdot \operatorname{tg} \epsilon_{\min}}{1 - \sin \alpha_m \cdot \operatorname{tg} \epsilon_{\min}}. \quad (27)$$

Если принять $\epsilon_{\min} = \psi$, то на основании формулы (24) ясно, что в этом случае $\tau_{\min} > \psi$, т. е. приведенное требование, обуславливающее возможность резания зерна рифлями валка, будет выполнено. При этом грань спинки и направление относительно скорости образуют угол α_m .

Так как угол $\psi = 70^\circ$, то уравнение (27) после замены ϵ_{\min} на $\psi = 70^\circ$ примет следующий вид:

$$i_{\min} = \frac{1 + 2,75 \sin \alpha_m}{1 - 2,75 \sin \alpha_m}. \quad (28)$$

Из этого уравнения, а равно и из уравнения (27) следует, что для обеспечения возможности резания зерна рифлями валка пере-

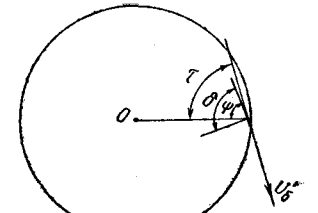


Рис. 13

даточное отношение между валками должно быть тем больше, чем больше угол захвата зерна валками α_m . Поэтому, принимая во внимание уравнение (12), приходим к выводу, что для создания возможности резания зерна передаточное отношение между валками должно быть тем больше, чем интенсивнее воздействие валков на зерно и чем меньше диаметры валков.

Числовые значения минимальной величины передаточного отношения между валками i_{\min} для различных величин $\frac{c}{R}$, определяемой по формуле (28) и при помощи уравнения (12), приведены в табл. 3.

Таблица 3

Значения i_{\min} в зависимости от $\frac{c}{R}$

$\frac{c}{R}$	0,002	0,006	0,008	0,01	0,02	0,03
i_{\min}	1,32	1,47	1,66	1,74	2,2	2,7

Для выяснения роли и значения шага рифлей (или числа рифлей на единицу длины окружности валка) и угла их наклона к образующей валка достаточно ограничиться рассмотрением одного из случаев движения зерна в рабочей зоне между валками, например, когда зерно движется совместно с медленно вращающимся валом.

Если под точкой 1 поверхности быстро вращающегося валка (см. рис. 3) подразумевать теперь острие одной рифли, а под точкой 2 — острие смежной (т. е. отстоящей от первой на величину шага) рифли, то становится совершенно ясным, что чем меньше шаг рифлей, тем на большее число частей будет разрезано зерно.

Что касается угла наклона рифли к образующей валка, то, кроме того, что наклон рифли обеспечивает непрерывность и достаточно плановость работы валков, он имеет еще и следующее немаловажное значение.

В самом деле, ту же точку 1 можно рассматривать как нижнюю точку рифли, соприкасающейся с зерном, а точку 2 — как верхнюю точку той же наклонной (точнее винтовой) рифли, соприкасающейся с тем же зерном. Следовательно, различные точки рифли, воздействующей на зерно, описывают в этом зерне различные траектории.

Значит, в то время как рифля, параллельная образующей валка, дает одну плоскость среза, наклонная (винтовая) рифля дает несколько таких плоскостей, и тем больше, чем больше угол наклона рифли.

Следовательно, чем больше угол наклона рифли, тем интенсивнее измельчается зерно рифлеными валками.

Гладкие валки. Гладкими в мукомольной промышленности, как известно, называют валки, не нарезанные на специальных рифель-

ных станках. Конечно, такое название условно и вовсе не обозначает, что валки действительно «гладкие».

Рассмотрим вопрос о том, при выполнении каких условий зерно движется совместно с медленно вращающимся валком. Совершенно понятно, что такое движение будет возможным только в том случае, если быстро вращающийся валок способен сам без помощи (и даже, наоборот, при противодействии) медленно вращающегося валка захватывать зерно и втягивать его в рабочую зону валков. Для решения этого вопроса нужно принять во внимание силы, приложенные к зерну в рабочей зоне валков.

Пренебрегая весом зерна ввиду его незначительности, заключаем, что со стороны валков к зерну приложены силы нормального давления N_1 и N_2 (рис. 14); кроме того, быстро вращающийся валок прилагает к зерну силу трения $f \cdot N_1$, а медленно вращающийся валок, поскольку по условию рассматриваемой задачи зерно не скользит по нему, — силу сцепления S , меньшую максимальной величины силы трения $f \cdot N_2$.

Величину S можно заменить следующей

$$S = k \cdot f \cdot N_2, \quad (29)$$

где k — некоторый коэффициент, меньший единицы.

Обозначая произведение $k \cdot f$ через $f_0 = \operatorname{tg} \rho_0$, получаем:

$$S = f_0 \cdot N_2. \quad (30)$$

Выберем прямоугольную и прямолинейную систему координат так, чтобы одна ее ось совпадала с линией центров валков. В этом случае (см. рис. 14) зерно будет захватываться валками, если выполняются следующие два условия:

$$N_1 \cos \beta + f \cdot N_1 \sin \beta - N_2 \cos \alpha + f_0 N_2 \sin \alpha = 0$$

и

$$-N_1 \sin \beta + f \cdot N_1 \cos \beta - N_2 \sin \alpha - f_0 N_2 \cos \alpha \geq 0,$$

или соответственно:

$$N_1 (\cos \beta + f \sin \beta) = N_2 (\cos \alpha - f_0 \sin \alpha)$$

и

$$N_1 (f \cos \beta - \sin \beta) \geq N_2 (f_0 \cos \alpha + \sin \alpha).$$

Отсюда получаем:

$$\frac{f \cos \beta - \sin \beta}{\cos \beta + f \sin \beta} > \frac{f_0 \cos \alpha + \sin \alpha}{\cos \alpha - f_0 \sin \alpha},$$

¹ Направление силы трения $f \cdot N_1$ будет совпадать со скоростью, с которой точка соприкосновения валка с зерном воздействует на последнее (см. рис. 4), а нормальное давление N_1 перпендикулярно к силе трения $f \cdot N_1$.

или после элементарных преобразований:

$$\operatorname{tg}(\rho - \beta) > \operatorname{tg}(\rho_0 + \alpha). \quad (31)$$

Ввиду того что в реальных условиях работы гладких валков вальцовых станков как разность $\rho - \beta$, так и сумма $\rho_0 + \alpha$ всегда меньше, чем 90° , то на основании неравенства (31) заключаем, что:

$$\beta < \rho - \alpha - \rho_0. \quad (32)$$

Поэтому

$$\operatorname{ctg} \beta > \operatorname{ctg}(\rho - \alpha - \rho_0). \quad (33)$$

Заменяя в только что полученном неравенстве величину $\operatorname{ctg} \beta$ ее значением согласно уравнению (9) и производя соответствующие преобразования, получаем:

$$i > \frac{2}{\cos \alpha - \cos(\rho - \alpha - \rho_0) \sin \alpha} - 1. \quad (34)$$

Так как величина передаточного отношения i всегда положительная ($i > 1$), то, следовательно, знаменатель неравенства (34) должен быть положительным. Последнее будет выполнено, если

$$\operatorname{ctg}(\rho - \alpha - \rho_0) < \operatorname{ctg} \alpha.$$

Отсюда следует, что

$$\rho_0 < \rho - 2\alpha. \quad (35)$$

Поскольку $\rho_0 > 0$, то ясно, что условие (35) будет выполняться только в том случае, если

$$\rho > 2\alpha. \quad (36)$$

Отметим, что это положение, выясненное теоретическим путем, целиком подтверждается данными промышленной практики, где всегда стремятся придать «гладким» валкам возможно большую шероховатость, т. е. увеличить угол трения ρ , для чего в свое время применяли даже не чугунные, а более шероховатые фарфоровые валки.

Решая неравенство (33) относительно величины ρ_0 , находим:

$$\operatorname{ctg} \rho_0 > \operatorname{ctg}(\beta - \rho - \alpha).$$

Следовательно,

$$\rho_0 < \beta - \rho - \alpha. \quad (37)$$

Итак, величина угла ρ_0 должна одновременно удовлетворять требованиям, выраженным неравенствами (35) и (37).

Так как первое условие (35) обеспечивается, как уже отмечалось выше, соответствующим подбором материала и физического состояния (шероховатости) валков, то второе условие (37) будет выполняться, если

$$\beta - \rho - \alpha \geq \rho - 2\alpha.$$

Это неравенство можно заменить следующим:

$$\operatorname{ctg} \beta \leq \operatorname{ctg}(2\rho - \alpha), \quad (38)$$

более удобным для выполнения расчетов.

Подставляя в формулу (37) взамен $\operatorname{ctg} \beta$ его величину согласно уравнению (9), после преобразований получаем:

$$i \leq \frac{2}{\cos \alpha - \operatorname{ctg}(2\rho - \alpha) \sin \alpha} - 1.$$

Следовательно,

$$i_{\max} = \frac{2}{\cos \alpha - \operatorname{ctg}(2\rho - \alpha) \sin \alpha} - 1. \quad (39)$$

Итак, на основании уравнений (36) и (39) заключаем: движение зерна совместно с медленно вращающимся валком возможно только при выполнении следующих двух условий:

1) величина ρ угла трения зерна о быстро вращающийся валок должна быть больше удвоенной величины угла захвата $2\alpha_m$;

2) величина передаточного отношения i между валками должна быть не больше величины правой части формулы (39).

Чтобы оценить степень соответствия теоретической формулы (39) опытным данным мукомольной промышленности, произведем числовой расчет.

Определим величину i_{\max} при следующих соответствующих практике данных: $\alpha = 5^\circ$ и $\rho = 20^\circ$.

Согласно формуле (39) имеем:

$$\begin{aligned} i_{\max} &= \frac{2}{\cos \alpha - \operatorname{ctg}(2\rho - \alpha) \sin \alpha} - 1 = \\ &= \frac{2}{\cos 5^\circ - \operatorname{ctg}(2 \cdot 20^\circ - 5^\circ) \sin 5^\circ} - 1 = 1,3. \end{aligned}$$

Полученный теоретическим путем результат ($i = 1,3$) вполне соответствует промышленной практике.

Кстати заметим, что из равенства (30) и неравенства (35) следует, что сила сцепления между зерном и медленно вращающимся валком:

$$S < N_2 \operatorname{tg}(2\rho - \alpha).$$

Значит, предельная величина этой силы сцепления равна:

$$S_{\max} = N_2 \cdot \operatorname{tg}(2\rho - \alpha).$$

До сих пор мы рассмотрели лишь возможность движения зерна совместно с медленно вращающимся валком и определили условия, выполнение которых обеспечивает осуществление такого движения зерна.

Теперь займемся изучением других возможных видов движения зерна относительно валков.

Выясним, может ли зерно двигаться так, чтобы оно скользило не только по быстро вращающемуся валку, но одновременно и по медленно вращающемуся, вращаясь при этом вокруг оси последнего, т. е. вокруг точки O_x (см. рис. 14).

Ясно, что такое движение могло бы осуществляться, если бы попрежнему выполнялось неравенство (31), но только под величи-

ной ρ_0 следует понимать не условную, а истинную величину угла трения между медленно вращающимся валком и зерном, ибо в рассматриваемом случае предполагается, что зерно скользит по медленно вращающемуся валку.

Так как в действительных условиях работы вальцового станка величины коэффициентов трения зерна о медленно- и быстро вращающиеся валки практически одинаковые, то на основании неравенства (31) заключаем, что зерно не может скользить по медленно вращающемуся валку, вращаясь вокруг оси этого валка.

Однако это обстоятельство еще не исключает возможности скольжения зерна не только по быстро вращающемуся, но и по медленно вращающемуся валку, если оно движется в рабочей зоне валков поступательно.

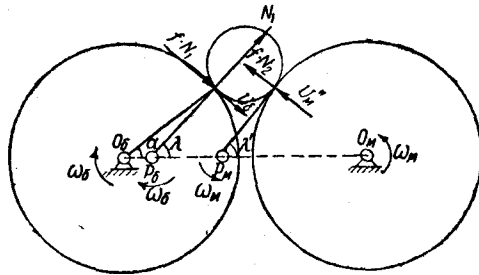


Рис. 15

Рассмотрим силы, действующие на зерно в случае его поступательного движения (рис. 15), не учитывая попрежнему силы тяжести зерна.

Направления приложенных к зерну сил трения со стороны валков определяются направлениями скоростей точек соприкосновения валков с зерном, известных нам из изложенного выше и приведенных на рис. 9 и 10. Силы нормального давления N_1 и N_2 перпендикулярны соответственно $v_δ$ и $v_м$. Так как медленно вращающийся валок вращается вокруг мгновенного полюса $P_м$ (см. рис. 9 и 15) в направлении, прямо противоположном вращению часовой стрелки, то нормальное давление N_2 направлено так, как это показано на рис. 15.

Проектируя перечисленные силы на линию центров валков и на линию, к ней перпендикулярную, получим условия захвата зерна валками в следующем виде:

$$N_1 \cos \lambda + f \cdot N_1 \sin \lambda - N_2 \cos \lambda' - f \cdot N_2 \sin \lambda' = 0$$

и

$$-N_1 \sin \lambda + f \cdot N_1 \cos \lambda + N_2 \sin \lambda' - f \cdot N_2 \cos \lambda' > 0;$$

отсюда находим:

$$\frac{f \cdot \cos \lambda - \sin \lambda}{\cos \lambda + f \sin \lambda} > \frac{f \cos \lambda' - \sin \lambda'}{\cos \lambda' + f \sin \lambda'}$$

Из полученного неравенства после простейших преобразований получаем:

$$\operatorname{tg}(\rho - \lambda) > \operatorname{tg}(\rho - \lambda'). \quad (40)$$

Если угол λ' больше, чем угол λ , то, следовательно, неравенство удовлетворяется и зерно будет двигаться так, как мы предположили, т. е. поступательно. Поэтому займемся выяснением величин углов λ и λ' .

Уравнения (19) и (21) в силу уравнений (18) и (20) нетрудно привести соответственно к следующему виду:

$$\operatorname{ctg} \lambda' = \frac{v}{v_м} \cdot \frac{1}{\sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha$$

и

$$\operatorname{ctg} \lambda = \operatorname{ctg} \alpha - \frac{v}{v_δ} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}$$

Если $\lambda' > \lambda$, то, следовательно, $\operatorname{ctg} \lambda' < \operatorname{ctg} \lambda$.

Поэтому очевидно:

$$\frac{v}{v_м \sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha < \operatorname{ctg} \alpha - \frac{v}{v_δ \sin \alpha};$$

отсюда после элементарных преобразований приходим к следующему неравенству:

$$\frac{v}{v_м} + \frac{v}{v_δ} < 2 \cos \alpha. \quad (41)$$

Вследствие того что в мельничных вальцовых станках угол α не превышает 10° , можно принять $\cos \alpha = 1$ и заменить неравенство (41) таким:

$$\frac{v}{v_м} + \frac{v}{v_δ} < 2.$$

Так как величина отношения $\frac{v_δ}{v_м}$ равна передаточному отношению между валками i , то полученное выше неравенство можно привести к следующему виду:

$$v < \frac{2v_δ}{i+1}. \quad (42)$$

Итак, максимальная скорость поступательного движения зерна между валками меньше правой части неравенства (42), зависящей от окружной скорости быстро вращающегося валка и передаточного отношения между валками.

В литературе по мукомольному производству и по мельничным машинам часто встречается указание на то, что зерно движется в рабочей зоне валков со скоростью, равной среднему арифметическому окружных скоростей валков, т. е. что

$$v = \frac{v_δ + v_м}{2} = \frac{v_δ}{2} \left(1 + \frac{1}{i}\right).$$

Подставляя это значение v в левую часть неравенства (42), имеем:

$$\frac{v_δ}{2} \left(1 + \frac{1}{i}\right) < \frac{2v_δ}{i+1};$$

* Каждый из углов λ' и λ меньше, чем 90° .

отсюда получаем:

$$i-1 < 0.$$

Так как $i > 1$, то последнее неравенство неосуществимо и, следовательно, зерно не может двигаться со скоростью, равной среднему арифметическому окружных скоростей валков.

Рассматривая неравенство (42) в предельном случае как равенство и решая его совместно с уравнением (18), находим:

$$r_m = \frac{2Ri}{i+1}.$$

Подставляя это значение r_m в уравнение (19) после простейших преобразований найдем, что:

$$\operatorname{tg} \eta' = \frac{2i}{(i+1) \sin \alpha} - \operatorname{ctg} \alpha. \quad (43)$$

В силу уравнений (20) и (42) имеем:

$$r_\sigma = \frac{2R \cdot i}{i+1}.$$

Поэтому уравнение (21) можно записать следующим образом:

$$\operatorname{tg} \eta = \operatorname{ctg} \alpha - \frac{2}{(i+1) \sin \alpha}. \quad (44)$$

Сопоставляя уравнения (11) и (17) соответственно с уравнениями (43) и (44), видим, что их правые части равны. Это обозначает, что при поступательном движении зерна в рабочей зоне валков с предельной скоростью $v = \frac{2v_\sigma}{i+1}$ быстровращающийся валок воздействует на зерно так, как будто бы оно движется совместно с медленно вращающимся валком, а медленно вращающийся валок воздействует на зерно так же, как и в случае, когда зерно движется совместно с быстровращающимся.

Принимая во внимание, что в гладких валках, применяющихся на мукомольных мельницах, передаточное отношение между валками i обычно не больше чем 1,5, а также и условие (40), можно с достаточной степенью вероятности утверждать, что зерно движется в рабочей зоне гладких валков совместно с медленно вращающимся валком.

Редактор *Б. И. Кривякин*

Техн. редактор *Г. А. Лабус*

Сдано в производство 16/IV 1952 г.

Подп. в печать 28/XI 1952 г.

Формат $60 \times 92 \frac{1}{16} = 8,13$ б. л. — $16 \frac{1}{4}$ п. л. Учетно-изд. л. 17,25. Зак. 519.

Л75755.

Изд. № 56

Тираж 2000.

Цена 9 р. 90 к.

Типография Оборонгиза