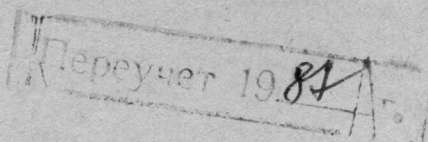


С53

Доц. П. Н. РЕКАЙКИН

Р



**ОПЫТ ВАКУУМНОЙ СУШКИ ЗЕРНА
ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ**

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук



МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ СССР
ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
им. И. В. СТАЛИНА

Доц. П. Н. РЕКАЙКИН

C53

Р

ОПЫТ ВАКУУМНОЙ СУШКИ ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ И ЯЧМЕНЯ

АВТОРЕФЕРАТ

*диссертации, представленной на соискание
ученой степени кандидата технических наук*



✓ 132196

Одесский Технологический
Институт
им. И. В. Сталина
БИБЛИОТЕКА

ОДЕССА—1954.

Сушка зерна в условиях Советского Союза имеет огромное народнохозяйственное значение. Роль сушки намного возрастает в связи с дальнейшим, более быстрым ростом производства зерна, намеченным сентябрьским Пленумом и февральско-мартовским Пленумом ЦК КПСС.

Борьба с потерями зерна приобретает особо важное значение. В комплексе мероприятий по борьбе с потерями и повышению устойчивости зерна при хранении сушка занимает первое и решающее место.

Сушка зерна в СССР в подавляющей своей массе производится при помощи шахтных зерносушилок с использованием в качестве агента сушки смеси топочных газов с атмосферным воздухом. Широкое распространение этого способа сушки находит свое оправдание в ряде бесспорных преимуществ его как с чисто технологической, так и со стороны экономической.

Однако, сушка смесью дымовых газов с воздухом не лишена весьма существенных недостатков, основным из которых следует признать опасность перегрева зерна с неизбежным при этом снижением качества, а иногда и полной порчи зерна. Особенно велики трудности и опасность при сушке семенного материала.

В связи с решениями XIX съезда КПСС об использовании имеющихся резервов особо существенное значение приобретает дальнейшее увеличение производительности сушильных агрегатов. Можно признать бесспорным, что в зерносушильном хозяйстве имеются еще значительные резервы.

Серьезное значение имеет дальнейшее увеличение производительности сушильных агрегатов.

Вместе с тем нельзя не отметить, что интенсификация процесса сушки на шахтных сушилках, осуществляемая путем повышения температуры как агента сушения, так и самого зерна, имеет в своем распоряжении весьма ограниченные возможности.

Поэтому для дальнейшего повышения температуры зерна и агента сушки конструкторы и эксплуатационники располагают сравнительно небольшими резервами.

Серьезные затруднения встречаются при осуществлении автоматизации процесса сушки на шахтных зерносушилках.

Прочие способы сушки зерна, — сушка токами высокой частоты (ТВЧ), сушка инфракрасными лучами (ИКЛ) и др., — таящие в себе большие возможности в смысле увеличения скорости сушки, до сих пор в практике не получили распространения.

Вакуумный способ сушки зерна является тем способом, при котором, если не вовсе, то в значительной мере устраняется опасность порчи зерна в результате его перегрева. Вакуумный способ сушки, связанный с очень энергичным удалением влаги из зерна, позволяет за один пропуск его через вакуумсушильный агрегат удалить значительное количество влаги, по крайней мере вдвое-втрое больше, чем при атмосферной сушке.

Последнее обстоятельство особенно оправдывает установку вакуумных кондиционеров на мельницах и позволяет значительно повысить увлажнение пшеницы перед помолом, обычно невозможное при атмосферной сушке из-за невозможности большого съема влаги при существующих режимах.

Повышенное увлажнение пшеницы, как показала практика, значительно улучшает хлебопекарные качества муки.

Применение вакуума для целей сушки зерна обещает также ряд преимуществ при обеззараживании его. Вакуумная сушка семенного материала, как показали опыты, дает обнадеживающие результаты.

Расчетом показано, что вакуум с успехом может быть использован для целей охлаждения зерна с одновременным снижением влажности. Так, при снижении влажности зерна на 1% температура его в охладителе может быть понижена на 15—17° (принимая начальную температуру зерна в охладителе равной 50°).

Вакуумный способ сушки намного облегчает осуществление автоматизации процесса. Значительно снижается расход тепла на сушку.

Несмотря на целый ряд бесспорных преимуществ вакуумного способа сушки зерна, последний очень мало исследован.

Настоящая работа представляет собой опыт вакуумной сушки зерна пшеницы и ячменя под углом зрения оценки этого способа по сравнению с атмосферной сушкой.

Данная работа содержит семь глав.

В I главе излагается история применения вакуума для целей сушки зерна. Впервые в мировой практике вакуумный агрегат с эксплуатационными целями был применен для сушки голов сахара на рафинадном заводе в Петербурге в 1881 году.

Первая вакуумная зерносушилка была также впервые сооружена с эксплуатационными целями в России на элеваторе в г. Виндаве.

Таким образом в России прежде других стран нашли практическое применение вакуумные сушилки.

В разделе о современном состоянии вакуумной сушки зерна рассмотрена единственная, насколько известно, работа, проведенная под руководством проф. Я. Н. Куприца с сотрудниками.

Приводимые высказывания ряда авторов (проф. В. И. Колычева, проф. Я. Н. Куприца, доц. А. П. Гержой, В. П. Самочетова, А. Г. Бекасова, Н. И. Денисова и др.) показывают, что оценка ими вакуумной сушки зерна различна, но большинство из них все же склонно считать этот способ, как способ имеющий будущее.

В главе II — О свойствах и особенностях вакуума — дана физика вакуума, отдельные свойства которого рассмотрены применительно к сушке зерна.

В главе III — Методика проведения эксперимента — приводится описание лабораторной вакуумсушильной установки и методика проведения опытов.

Сушка зерна проводилась параллельно как в условиях вакуума, так и при атмосферном давлении. Сушка зерна проводилась в неподвижном слое.

Регистрация убыли в весе зерна в течение всего процесса сушки производилась при помощи специальных циферблатных весов, показания которых наблюдались через смотровое окно.

Переменными параметрами процесса сушки являлись:

а) начальная влажность зерна (влажность зерна всюду приводится в расчете на абсолютно сухой вес): 15,50; 19,30; 26,35; 31,35 и 43,70%;

б) глубина вакуума 740, 715 и 640 мм рт. ст. (20, 45 и 120 мм рт. ст. остаточного давления);

в) длительность процесса (180 и более минут) и

г) температура сушильного пространства (30, 40, 50, 60, 70 и 80° Ц).

Основные опыты по сушке производились в двух вариантах:

1) весовые стаканчики с зерном помещались непосредственно на нагревательную плиту (передача тепла путем теплопроводности) и

2) весовые стаканчики помещались на чашечке весов. Тепло передавалось при помощи лучеиспускания (вакуумная сушка) и конвекцией (атмосферная сушка).

В качестве подопытного материала служили озимая мягкая

пшеница сорта ОД-3 и яровой ячмень сорта ОД-9, выведенные Всесоюзным селекционно-генетическим институтом им. Т. Д. Лысенко.

Для получения начальной влажности, превышающей 15,5%, зерно искусственно увлажнялось с последующей отлежкой его перед сушкой в течение не менее 72 часов.

Было проведено также некоторое количество опытов вакуумной сушки муки и отрубей. Пшеничная мука и пшеничные отруби, служившие в качестве объекта сушки, были получены на лабораторной мельнице из подопытного зерна.

В главе IV — Влага в зерне — рассмотрены вопросы классификации формы связи влаги с материалом. Особенно уделено внимание такой, как говорит проф. А. В. Лыков: «наиболее подробной и объемлющей все разнообразные формы связи» схеме, как схема, предложенная акад. П. А. Ребиндером.

Показаны схемы классификации форм связи влаги с зерном, предложенные проф. Я. Н. Куприц и доц. А. П. Гержой.

Затронут такой интересный и достаточно дискуссионный, по крайней мере в отношении зерна, вопрос о связанной воде. Разобраны различные точки зрения по этому вопросу.

В итоге нельзя не прийти к выводу о том, что проблема форм связи влаги с зерном и продуктами его переработки не получила еще окончательного разрешения. Так, в результате вакуумной сушки муки остаточное количество влаги в ней намного меньше того количества, которое принято считать связанной водой (по данным ВНИИЗ). При этом предполагается, что количество связанной влаги в зерне и в муке одинаковое.

В качестве примера можно привести следующее: конечная влажность муки после сушки ее при температуре вакуумсушильного пространства 30°, разрежении 740 мм рт. ст. составляет около 5,5% спустя 3 часа.

Зерно — живой организм, обладающий способностью к активному регулированию протекающих в нем физико-химических и биологических процессов. Эта особенность зерна не может не проявляться также в процессе сушки.

Зерно относится к группе капиллярно-пористых коллоидных тел. Поэтому в процессе сушки возможны все виды перемещения влаги, обусловленные как диффузионно-осмотическими, так и капиллярными силами, а также миграция влаги под влиянием температурного градиента.

Опыты показали, что влияние вакуума в основном и в первую очередь сказывается на скорости внешней диффузии, которая в несколько раз выше, чем при обычной сушке.

В результате проведения большого количества опытов собран обильный цифровой материал, построены кривые сушки, кривые скорости сушки и температурные кривые.

Анализ кривых скорости сушки зерна пшеницы и ячменя позволил сделать некоторые заключения.

Прежде всего надлежит отметить, что кривые сушки и кривые скорости сушки, построенные как для процесса вакуумной, так и атмосферной сушки порознь принципиально ничем не отличаются друг от друга.

Характер поведения кривых является достаточно убедительным доказательством в пользу высказанного автором допущения об идентичности процессов обоих видов сушки.

Вакуумная кривая сушки, как и следовало ожидать, всегда расположена ниже атмосферной; вакуумная кривая скорости сушки всегда расположена выше атмосферной скорости сушки.

Из анализа кривых можно заключить, что на кривой скорости сушки всегда имеется период постоянной скорости сушки. Надо заметить, что термин «постоянная скорость сушки» для зерна при вакуумной сушке также имеет условный характер, поскольку температура зерна, как показали опыты, не является постоянной величиной.

Обращает на себя внимание общий характер поведения кривых скорости сушки: при атмосферной сушке кривые более плавные, «спокойные», в то время как в вакууме они имеют скачкообразный, «непокойный» характер.

Первая критическая точка при вакуумной сушке четко и характерно выделяется.

Весьма специфическим для вакуумной сушки является наличие второй критической точки, которая почти во всех экспериментах заметно себя обнаруживает.

Судя по кривым, следует сделать заключение, что наибольшее преимущество вакуума в отношении скорости сушки проявляется при относительно низких температурах сушильного пространства и нагрева зерна. Простые расчеты подтверждают указанное положение.

Это обстоятельство делает вакуумную сушку значительно экономичнее атмосферной в отношении удельного расхода тепла.

Наблюдения за динамикой температуры нагрева зерна в процессе сушки обнаружили некоторые особенности. Температура нагрева зерна при вакуумной сушке всегда оказывалась ниже по сравнению с атмосферной сушкой. Объяснение этого факту можно найти в том, что:

1. При вакуумной сушке почти не сказывается влияние

нагрева зерна конвективным способом, в то время как при атмосферной сушке, последний имеет решающее значение.

2. При вакуумной сушке удаление влаги протекает более интенсивно и вследствие этого большая часть тепла расходуется на процесс испарения за счет нагрева зерна.

По мере приближения конца сушки разность между температурой зерна обоих видов сушки уменьшается.

Обычно считают, что температура материала в условиях вакуума не может быть выше температуры кипения воды, соответствующей определенной степени разрежения, при котором протекает процесс сушки. Опыт показал, что максимальная температура нагрева зерна под вакуумом выше температуры кипения воды, которая (температура) соответствует данной величине разрежения (температурная депрессия). Опыты, проводившиеся в Ленинградском химико-технологическом институте проф. П. Г. Романковым, обнаружили это же явление на ряде других различных материалах при вакуумной сушке.

В зерне с повышенной исходной влажностью при вакуумной сушке температура зерна в начальный период понижается, т. е. в нем отсутствует в начальный момент период прогрева, столь характерный при атмосферной сушке твердых тел.

Понижение температуры сухого зерна ($W_a=14,94\%$) наблюдалось только при температуре вакуумсушильного пространства, равной 30° , т. е. при температуре наибольшей скорости сушки. Это является также одним из доказательств того, что эффективность вакуумной сушки выше при относительно низких температурах.

Таким образом при вакуумной сушке могут иметь место такие периоды — период охлаждения —> период прогрева —> период постоянной скорости сушки —> период убывающей скорости сушки —> период равновесного состояния.

Понижение температуры зерна при вакуумной сушке колебалось в пределах $5-15^\circ\text{C}$ (при температуре сушильного пространства $30-80^\circ\text{C}$). Наибольшая разность между температурой зерна вакуумной и атмосферной сушки достигала в наших опытах 34° ($W_a=25,16\%$; $t=80^\circ\text{C}$ и $\theta=40$ мин.).

Разность в конце сушки составляла, как уже указывалось, менее значительную величину от $2,5^\circ$ ($W_a=25,16\%$; $t=30^\circ\text{C}$) до $17,5^\circ$ ($W_a=35,93\%$; $t=50^\circ\text{C}$).

Анализ опытных данных показывает, что понижение температуры зерна при вакуумной сушке тем больше, чем выше

начальная влажность зерна и чем ниже температура вакуумсушильного пространства.

Эти факты находят свое объяснение в том, что необходимая скрытая теплота испарения частично заимствуется у зерна, интенсивно отдающего влагу, следствием чего является падение температуры.

Что касается длительности периода понижения температуры зерна, то она оказалась тем большей, чем ниже температура вакуумсушильного пространства и колебалась в наших опытах от 10 до 80 минут.

Опыты показали, что влияние фактора длительности на процесс вакуумной и атмосферной сушки неодинаковый. Общим для обоих способов является то, что по мере увеличения длительности процесса скорость сушки падает. Но уменьшение скорости сушки с течением времени сказывается при вакуумной сушке значительно слабее. Сказанное можно иллюстрировать данными таблицы (1).

Таблица 1.

ПШЕНИЦА

Экспозиция (мин.)	Влажность (%)	Вакуум 740 мм рт. ст.			Атмосферное давление		
		Температура			Температура		
		30°	50°	80°	30°	50°	80°
30	25,16	100	150	300	100	280	680
60		100	166	272	100	233	575
90		100	173	262	100	244	556
120		100	154	229	100	208	458
150		100	156	222	100	196	400
180		100	147	201	100	212	370
30	35,93	100	144	240	100	136	400
60		100	142	244	100	168	474
90		100	161	259	100	204	492
120		100	151	240	100	226	513
150		100	152	225	100	228	478
180		100	149	215	100	214	423

Примечание: Скорость сушки при температуре 30° принята за 100.

В главе VI—Некоторые особенности вакуумной сушки зерна — исследованы отдельные частные вопросы сушки пшеницы и ячменя в условиях вакуума.

I—сушка семенного материала всегда представляла значи-

тельные трудности и вместе с тем постоянно существовала надобность в сушке такого зерна.

Это обстоятельство и побудило автора заняться выяснением, насколько пригоден вакуум для этих целей.

Влияние вакуумной сушки на всхожесть зерна, как показали опыты, вполне благоприятное, факт отмеченный в упомянутой работе проф. Я. Н. Куприца с сотрудниками.

Сушка зерна производилась при температуре 30, 50 и 80°C в неподвижном слое толщиной в одно зерно (на металлическом сите) и в алюминиевых стаканчиках в слое толщиной 20 мм.

Вакуумная сушка производилась при разрежении 740 мм рт. ст.

Опыты показали в частности, что отрицательное влияние высокой температуры на всхожесть сказалось в меньшей мере при вакуумной сушке, чем при атмосферной. Это вполне закономерно, если принять во внимание, что при вакуумной сушке температура зерна всегда ниже, чем при атмосферной сушке.

Следует иметь в виду также и то обстоятельство, что скорость вакуумной сушки больше и, следовательно, термоустойчивость такого зерна более повышенная.

В разделе о факторах, влияющих на всхожесть зерна, рассмотрены те части работ отдельных авторов (Г. К. Филоненко, И. И. Ленарский, П. Н. Платонов, С. Д. Птицын), которые имеют непосредственное отношение к данной проблеме.

II—опыты, проведенные с целью выяснения обеззараживающего действия вакуума, показали его высокую эффективность.

Действие вакуума (750 мм рт. ст.) было испытано на амбарном долгоносике (*Calandra granaria* L.) и мучном клеще (*Tiroqliphus farinae* L.).

В наших выводах мы исходили из того, что температура тела вредителей в процессе сушки равнялась температуре зерна, а это означало, что температура последних в наших опытах не превышало 45°C. Эксперименты наглядно свидетельствуют о том, что при вакуумной сушке вредители погибают при значительно более низкой температуре и более короткой экспозиции, чем при атмосферной сушке (опыты проводились и при атмосферной сушке).

Наблюдения показали, что амбарные долгоносики обладают большей живучестью, чем клещи, хотя впадают в оцепенение весьма быстро, еще до момента получения требуемого вакуума (750 мм рт. ст.).

Вес тела долгоносиков в результате вакуумной сушки из-

менялся весьма незначительно (не более 1%). Поэтому, их гибель нельзя объяснить большой потерей влаги. Нельзя было также признать причиной гибели клещей разрыв их тела парами влаги, энергично испаряющейся в вакууме, как об этом пишет проф. Колычев. При рассматривании под микроскопом погибших клещей нарушений целостности их тела не обнаружено. Результаты опытов можно иллюстрировать, например, данными таблицы (2).

Таблица 2.

Температура вакуум-сушильного пространства (в°C)	Максимальная температура нагрева зерна (в°C)	Длительность пребывания вредителей после достижения зерном максимальной температуры в мин.	Влажность зерна (%%)		Результаты обеззараживания
			Начальная	Конечная	
55	45	15	33,0	17,2	Полная гибель амбарных долгоносиков и мучных клещей
55	40	23	29,2	13,4	

Параллельно проводившиеся опыты сушки зараженного зерна при атмосферном давлении гибели вредителей не показали.

III—Небезинтересно было провести сравнение способности пшеницы и ячменя к отдаче влаги в условиях вакуумной сушки.

Количественные данные опытов вакуумной и атмосферной сушки позволили провести сравнение способности пшеницы и ячменя к отдаче влаги. Анализ свидетельствует о том, что более быстрая отдача влаги (1,1—2 раза) пшеницей по сравнению с отдачей влаги ячменем сказывается при вакуумной сушке. Заслуживает быть отмеченным тот факт, что при низкой ($W_a=15\%$) и высокой ($W_a=35\%$) влажности различия в отдаче влаги между пшеницей и ячменем относительно незначительны. Наибольшая разница в отношении отдачи влаги между пшеницей и ячменем наблюдалась при влажности примерно 25%.

Процесс внутренней диффузии, на величину которой вакуум почти не оказывает влияния, в ячмене протекает медленнее. Анатомическое строение оболочек ячменя (губчатое строение, обилие капилляров, наличие воздушных пазух), благоприятствует отдаче влаги. Действительно, в начальный

период скорость сушки ячменя даже несколько выше, чем пшеницы, благодаря испарению периферийной влаги. В дальнейшем наблюдается замедление испарения влаги ячменем в частности из-за сопротивления, которое оказывает перемещению влаги структура эндосперма, многорядный алейроновый слой и оболочки ячменя.

IV—С целью выяснить, насколько влияет глубина вакуума на скорость сушки, было поставлено несколько опытов.

Сушка зерна производилась при вакууме 740, 715 и 640 мм рт. ст. при температуре сушильного пространства 30, 40, 60 и 80°. Начальная влажность зерна 15,5; 19,3; 26,3; 31,35 и 43,7%.

Анализируя полученные данные, можно заключить, что скорость сушки зависит от вакуума:

1) с понижением глубины вакуума скорость сушки падает;
2) с увеличением температуры влияние глубины вакуума сказывается менее заметно;

3) по мере увеличения длительности сушки влияние глубины вакуума падает;

4) по мере увеличения начальной влажности зерна влияние глубины вакуума сказывается менее заметно.

Расчеты показывают, что процесс испарения влаги из зерна при вакуумной сушке в период постоянной скорости сушки не соответствует ни количественно, ни качественно (t_m = перемен.) закону испарения влаги со свободной поверхности.

Отклонения от закона испарения влаги со свободной поверхности увеличиваются по мере роста температуры сушильного пространства и уменьшения начальной влажности зерна.

Таким образом необходимо приходим к выводу, что между процессом испарения влаги со свободной поверхности и процессом вакуумной сушки зерна в периоде постоянной скорости существует большая не только количественная, но и принципиальная разница. Если в первом случае испарение происходит с геометрической свободной поверхности жидкости, то во втором случае оно протекает не только на поверхности, но и в глубине материала, в пределах определенной зоны. Эти положения, выдвинутые проф. А. В. Лыковым, автор в полной мере относит и к вакуумной сушке зерна.

В последней VII главе — Анализ результатов вакуумной и атмосферной сушки — подводятся итоги работы и дан общий анализ всего экспериментального материала.

Из цифрового материала таблиц можно заключить, что интенсивность вакуумной сушки далеко неодинакова и колеблется в довольно широких пределах в зависимости от ряда

факторов: температуры вакуумсушильного пространства и температуры нагрева зерна, длительности процесса, степени разрыхления, начальной влажности зерна и объекта сушки (пшеница, ячмень, мука, отруби).

При вакуумной сушке, так же как и при атмосферной, скорость сушки тесно связана с температурой сушильного пространства. Если проследить на нескольких примерах, как изменяется величина скорости сушки в зависимости от температуры сушильного пространства (под вакуумом и под атмосферным давлением) и полученные данные свести в таблицу (3), то оказывается следующее:

Таблица 3

Вакуум 740 мм рт. ст.			Атмосферное давление		
Длительность сушки в мин.					
Темпера- тура	15	60	15	60	Темпера- тура
Пшеница (влажн. 31,35%)					
30	100	100	100	100	30
40	137	133	154	154	40
50	167	151	290	270	50
60	200	208	382	340	60
70	252	220	550	560	70
80	234	250	820	670	80
Ячмень (влажн. 26,34%)					
30	100	100	100	100	30
40	143	140	143	256	40
50	172	160	180	320	50
60	222	193	370	480	60
70	260	228	470	540	70
80	300	264	586	700	80

В таблице скорость сушки принята за 100 при температуре сушильного пространства 30°.

Из таблицы видно, что повышение температуры сушильного пространства вызывает увеличение средней скорости сушки, причем последнее:

- почти одинаково для пшеницы и ячменя;
- для атмосферной сушки значительно больше, чем для вакуумной;
- мало зависит от длительности сушки при данной температуре (сравниваются относительные цифры).

Можно, следовательно, говорить о том, что **влияние температуры сушильного пространства на скорость атмосферной сушки относительно более интенсивное, чем вакуумной.**

Отмеченное можно объяснить, во-первых, условиями лучшей теплопередачи при атмосферной сушке, благодаря наличию агента сушки, воздуха. Некоторое значение имеет, во-вторых, лучшая теплопроводность зерна при атмосферной сушке вследствие более высокой влажности последнего по сравнению с вакуумной сушкой. Этими причинами можно также объяснить более высокую температуру зерна в атмосферной сушилке. Наконец, в третьих, вязкость воды, уменьшаясь по мере роста температуры зерна, также благоприятствует увеличению скорости сушки.

Все сказанное не находится, однако, в противоречии с тем, что **абсолютные значения скорости сушки остаются в вакуумной сушке более высокими, чем при атмосферной сушке.**

Следует далее отметить, что по мере повышения температуры сушильного пространства отношение n скорости вакуумной сушки, m_v , к скорости сушки при атмосферном давлении m_a падает, приближаясь к единице.

Так, например, для ячменя, имеющего начальную влажность $W_a = 14,90\%$ при длительности сушки $\theta = 15$ мин. видно, что:

при $t = 30^\circ$	отношение	$n = 2,5$
при $t = 40^\circ$	отношение	$n = 2,0$
при $t = 70^\circ$	отношение	$n = 1,4$
при $t = 80^\circ$	отношение	$n = 1,0$

Значительное влияние на скорость вакуумной сушки оказывает начальная влажность зерна.

Так, если принять скорость сушки для ячменя с начальной влажностью $W_a = 14,90\%$ за 100, то при прочих равных условиях увеличение скорости при влажности 19,90; 26,34; 31,35 и 43,00% соответственно составит 170, 300, 380 и 600.

Здесь уместно отметить одну деталь — указанное свойство зерна к отдаче влаги сказывается под вакуумом с относительно большей силой.

Можно, таким образом кратко формулировать следующие положения:

1. Скорость вакуумной сушки больше скорости атмосферной сушки.
2. Эффективность вакуумной сушки падает по мере роста температуры сушильного пространства и экспозиции.
3. Чем выше начальная влажность зерна, тем заметнее сказывается эффективность вакуумной сушки.

Сравнительно высокая дисперсность таких продуктов как

пшеничная мука и пшеничные отруби сказались с особой силой при вакуумной сушке. Приводимая таблица (4) наглядно подтверждает отмеченное обстоятельство.

Таблица 4.

Температура сушильного пространства	Вакуумная сушка			Атмосферная сушка		
	Конечная влажность продукта (в %%)					
	Пшеница	Мука	Отруби	Пшеница	Мука	Отруби
30°	12,55	5,52	6,41	13,81	12,84	12,50
50°	11,17	4,12	6,98	11,86	8,48	7,81
80°	8,98	1,42	2,20	9,16	2,22	2,35

Как видно из таблицы разница между конечной влажностью муки и отрубей вакуумной и атмосферной сушки весьма заметна. Так, при вакуумной сушке муки удалено в два с лишним раза больше влаги, чем при атмосферной сушке ($t = 30^\circ$).

Таблица показывает, что при сушке зерна влияние вакуума слабее, чем при сушке муки и отрубей.

Следует обратить внимание на то, что и **при сушке муки (отрубей) преимущество вакуума особенно велико при относительно низких температурах сушильного пространства.** Приведенная таблица может служить в качестве примера.

Следует отметить, что аналогичная закономерность наблюдалась и при сушке зерна, о чем уже выше упоминалось.

Хотя количество опытов сушки муки и отрубей было невелико, тем не менее можно сделать по крайней мере один основной вывод — вакуум является весьма эффективным средством понижения влажности. Показатели вакуумной сушки муки (отрубей) в наших опытах еще более высокие, чем при сушке зерна. Практика показывает, что сушка муки с целью увеличения ее транспортабельности не является редкостью (например, дальние морские перевозки).

Автор считает, что при вакуумной сушке муки эксплуатационные трудности будут значительно меньшими по сравнению с атмосферной сушкой.

ВЫВОДЫ

В настоящей работе ставилась задача исследования процесса вакуумной сушки зерна пшеницы и ячменя по сравнению с атмосферной.

Полученные результаты исследования позволяют сделать следующие основные выводы, относящиеся ко всем разделам работы:

1. Вакуумная сушка зерна качественно аналогична атмосферной сушке. Кривые сушки и кривые скорости сушки, а также температурные кривые, построенные для процесса как вакуумной, так и атмосферной сушки порознь подобны друг другу. Поэтому с достаточным основанием можно говорить о подобии процессов вакуумной и атмосферной сушки зерна при более или менее значительном количественном различии их.

2. Скорость вакуумной сушки больше скорости атмосферной сушки, но:

а) по мере роста температуры сушильного пространства разность между количеством удаляемой влаги под вакуумом и при атмосферном давлении постепенно уменьшается;

б) количество влаги, удаляемой при вакуумной по сравнению с количеством влаги, удаляемой при атмосферной сушке падает с течением времени.

3. Температура сушильного пространства оказывает различное влияние на скорость сушки в зависимости от того, происходит ли сушка под вакуумом или под атмосферным давлением: при вакуумной сушке влияние температуры пространства сказывается менее значительно, чем при атмосферной сушке.

4. Чем больше разрежение сушильного пространства, тем выше скорость сушки, однако по мере увеличения температуры сушильного пространства и длительности процесса эффект разрежения падает.

5. Максимальная температура нагрева зерна при вакуумной сушке выше температуры кипения воды, соответствующей данной величине разрежения (температурная депрессия).

6. При вакуумной сушке периоду прогрева зерна повышенной влажности (25% и больше) предшествует период охлаждения.

7. Вакуумная сушка зерна семенного назначения дает значительно лучшие результаты по сравнению с атмосферной сушкой.

8. Вакуумная сушка может служить эффективным средством борьбы с амбарными вредителями (мучной клещ, амбарный долгоносик), при низких температурах нагрева зерна и короткой экспозиции.

9. Вакуум позволяет проводить интенсивную сушку муки.

132196

Одесский Технологический институт