

Автор ер.  
К 40

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

---

КОРЧАК А.С.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ  
ПРОДОВОЛЬСТВЕННО-ФУРАЖНОЙ КУКУРУЗЫ В ЗЕРНЕ

05.375. Хранение зерна ( элеваторно-складское хозяйство )

А в т о р е ф е р а т  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

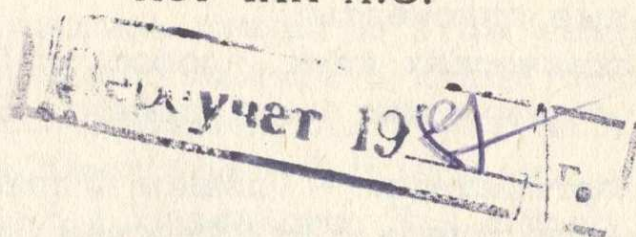
Одесса - 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ПИЩЕВОЙ  
ПРОМЫШЛЕННОСТИ имени М.В.ЛОМОНОСОВА

---

КОРЧАК А.С.



ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА СУШКИ  
ПРОДОВОЛЬСТВЕННО-ФУРАЖНОЙ КУКУРУЗЫ В ЗЕРНЕ

05.375. Хранение зерна (элеваторно-складское хозяйство)



диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Одесса - 1970

Работа выполнена на кафедре элеваторов и подъемно -  
транспортных машин Одесского технологического институ -  
та пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Научный руководитель - кандидат технических наук,  
доцент В.И.Жидко

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор П.Н.Платонов,  
кандидат технических наук, доцент Н.А.Ильвицкий.

Ведущая организация - Главное Управление по реали -  
зации и сохранности хлеба Министерства Заготовок Молдав -  
ской ССР.

Автореферат разослан 22 декабря 1970г.

Защита диссертации состоится 22 января 1971г.

на заседании Совета Одесского технологического институ -  
та пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

Просим Вас принять участие в заседании Совета, по -  
священном защите диссертации или выслать отзыв в двух эк -  
земплярах, заверенный печатью учреждения, по адресу:  
г.Одесса, ГСП-510, ул.Свердлова, 112, Технологический ин -  
ститут пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ин -  
ститута.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Л.ЗАПОРОЖЕЦ

## В В Е Д Е Н И Е

Величественные перспективы развития зернового производства, намеченные XXIII съездом партии и Пленумами ЦК КПСС, требуют всемерного совершенствования мероприятий по обеспечению сохранности хлеба. К числу наиболее эффективных методов, способствующих повышению стойкости зерна при хранении и улучшению его качества, относится сушка.

Дальнейший рост заготовок зерна настоятельно требует разработки высокопроизводительных конструкций зерносушилок, изыскания новых и совершенствования существующих схем, методов и режимов сушки. В этом направлении и развивается зерносушильная техника в нашей стране и за рубежом. Благодаря исследованиям А.В.Лыкова, А.С.Гинзбурга, Г.К.Филоненко, П.Н.Платонова, С.Д.Птицына, Л.Н.Любарского, И.Л.Любошица, В.А.Резчикова, В.И.Жидко, А.П.Гержоя и др. в области тепло- и массообмена капиллярно-пористых коллоидных материалов установлены основные закономерности процесса сушки зерна, определены факторы, от которых зависит интенсивность этого процесса, и получен ряд расчетных уравнений.

В научных учреждениях страны (Институт тепло- и массообмена АН БССР, ВНИИЗ, ВТИ, МТИПП, ОТИПП имени М.В.Ломоносова и др.) проводятся исследования процесса сушки зерна в кипящем слое. В результате этих исследований созданы лабораторные и полупромышленные образцы сушилок. Однако, из-за отсутствия рациональных экономических конструкций аппаратов сушка зерна в кипящем слое до сих пор широкого распространения не получила.

Поскольку почти все сушильное хозяйство хлебоприемных предприятий состоит из аппаратов шахтного типа, в последние годы проведена огромная теоретическая и экспериментальная работа по изысканию оптимальных режимов сушки в шахтных зерносушилках. Наряду со ступенчатыми и дифференцированными режимами разработаны и находят применение метод рециркуляции зерна с сушкой его в потоке движущегося агента сушки (проф.И.Л.Любошиц), с противоточным движением агента сушки (Казахский филиал ВНИИЗ). Одес

ским технологическим институтом пищевой промышленности имени М.В.Ломоносова исследован и предложен импульсный метод сушки с чередованием нагрева и охлаждения зерна в шахтной сушилке.

Все эти методы и режимы сушки дают возможность увеличить производительность сушилок и улучшить качество просушенного зерна.

Важнейшим резервом повышения производительности сушилок является применение повышенных температур агента сушки и нагрева зерна. Вместе с тем применение высоких температур может привести к ухудшению качества зерна.

В результате исследований качественных показателей зерна при сушке, проведенных во ВНИИЗе и ОТИПП имени М.В.Ломоносова, доказана возможность применения более высоких температур нагрева зерна по сравнению с применяемыми в производстве и на этой основе предложены научно-обоснованные нисходящие режимы сушки продовольственной пшеницы.

В производстве зерна в нашей стране значительный удельный вес занимает кукуруза, из зерна которой вырабатывают муку, крупу, пищевые полуфабрикаты, продукты бро-дильной и крахмало-паточной промышленности. Большое количество кукурузы используется для фуражных целей. В связи с этим уделяется большое внимание расширению посевов кукурузы и повышению ее урожайности. В предстоящем пятилетии намечено довести валовой сбор зерна кукурузы до 20 млн. тонн в год.

Вследствие поздней уборки кукуруза поступает на хлебоприемные предприятия с большой влажностью, что требует выполнения в короткие сроки значительных работ по ее сушке.

Целью настоящего исследования являлась проверка возможности применения и эффективности нисходящих режимов при сушке рядового зерна продовольственно-фуражной кукурузы, предназначенной для переработки, разработка и обоснование параметров нисходящих режимов, дающих возможность увеличить производительность сушилок при одновременном снижении эксплуатационных расходов и сохранении качества зерна.

## СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящее время сушка зерна кукурузы осуществляется преимущественно конвективным способом в плотном неподвижном слое (шахтные сушилки) с применением одноступенчатых и ступенчатых восходящих по температуре сушильного агента режимов.

Основными параметрами одноступенчатых режимов являются температура нагрева зерна, температура и скорость движения агента сушки. При этих режимах температура агента сушки принимается одинаковой по всей высоте сушильной камеры без учета зависимости между влажностью зерна и его термоустойчивостью, что не позволяет использовать полностью возможности сушилок.

Предложенные ВНИИЗом (М.А.Скорсаров) ступенчатые режимы зерна являются восходящими по температуре сушильного агента, которая и является определяющим фактором при построении режима. При этом температура нагрева зерна, как и при одноступенчатых режимах, выбирается без увязки с другими параметрами процесса (влажность зерна, экспозиция сушки). Следовательно, и при ступенчатых режимах температура зерна достигает своего максимального значения только в конце сушильного процесса, т.е. не полностью используются возможности интенсификации сушки за счет применения более высоких температур нагрева зерна и лучшего использования объема сушильной камеры.

В.И.Атаназевичем и П.Н.Платоновым разработан импульсный метод сушки, суть которого заключается в чередовании нагрева (подача агента сушки), отлежки (агент сушки не подается) и охлаждения (подача наружного воздуха) зерна. Этот режим интенсифицирует процесс за счет применения высоких температур агента сушки и использования термовлагопроводности. Основным недостатком этого метода является то, что максимальная температура нагрева зерна остается на прежнем уровне, как и при ступенчатых восходящих режимах. Следовательно, во всех перечисленных режимах сушки максимально допустимая температура нагрева зерна обоснована недостаточно.

Между тем работами И.И.Ленарского и П.Н.Платонова доказано, что все важнейшие изменения свойств зерна при нагревании (всхожесть, энергия прорастания, активность ферментов и др.) определяются степенью денатурации белков, которая, в свою очередь, зависит от влажности, температуры и времени нагрева зерна. Этими исследователями были теоретически обоснованы и рекомендованы «прогрессивные» режимы сушки пшеницы продовольственного назначения, в основу которых положены зависимости между температурой нагрева зерна и тепловой денатурацией белковых молекул. При этих режимах по мере снижения влажности зерна в процессе сушки повышается его температура в соответствии с границей «условно-безопасных» температур. В.И.Жидко и П.Н.Платонов установили, что при «прогрессивных» режимах, которые являются нисходящими по количеству подводимого тепла, зерно можно нагревать без ухудшения его качества до температур, превышающих действующие нормы, и тем самым использовать резервы интенсификации сушильного процесса, вести его при более оптимальных условиях, более экономично. Применение таких режимов согласуется с законами внутреннего переноса влаги, заключающимися в том, что в конце процесса скорость сушки резко падает и уменьшаются затраты тепла на нагрев материала, а поэтому расход тепла по ходу процесса снижается.

В результате сравнительных исследований ступенчатых нисходящих и ступенчатых восходящих режимов установлено, что при нисходящем режиме производительность сушки увеличилась в 1,5 раза, а энергетические затраты снизились на 10 - 15%. Положительное влияние нисходящих температурных режимов на интенсификацию процесса сушки на основе проведенных исследований подтверждают Л.Н.Любарский, Б.В.Дамман, Л.В.Ким, М.Плешаков и др.

Известно, что скорость процесса сушки для тел с большим сопротивлением внутренней диффузии в основном определяется температурой нагрева материала (коэффициент внутреннего массообмена в сильной степени зависит от этой температуры). Следовательно, режим сушки нужно строить так, чтобы сразу, в начале процесса, увеличить температуру на -

грева зерна при условии сохранения его качества. Такому требованию отвечают нисходящие ступечатые режимы сушки, позволяющие не только сохранить качество продукта, но и обеспечить высокие технико-экономические показатели процесса.

Как известно, нагрев и обезвоживание зерна сопровождаются глубокими физическими, биологическими и биохимическими изменениями.

Большинство работ, относящихся к изучению характера этих изменений до последнего времени касались, главным образом, зерна пшеницы и других колосовых культур. Это положение существенным образом изменилось после 1955 г., когда началось широкое и всестороннее изучение процессов, происходящих при нагреве и сушке зерна семенной и продовольственно-фуражной кукурузы (работы А.Н.Репина, М.Г.Голика, С.И.Акивиса, В.П.Рязанцева, С.Е.Климова, В.А.Яковенко, С.И.Краснопоясовского, Н.А.Ильвицкого, Ф.К.Семенюка, А.М.Уварова, Л.Р.Торжинской, В.С.Уколова, П.И.Креймермана и др.).

Существенным недостатком многих исследований процесса сушки зерна кукурузы является то что при определении максимально допустимой температуры нагрева зерна не учитывались все параметры, влияющие на изменение качества зерна, а так же сущность происходящих при этом биохимических процессов. Поэтому значение этой температуры получено от 35 до 50°C (А.Коган, Е.Зингер, Д.М.Эйри, А.Н.Репин, М.Г.Голик и др.). Только в 1959 г. Ю.С.Ралль установила, что снижение посевных качеств семян кукурузы и активности каталазы происходит с увеличением степени денатурации солерастворимых белков зародыша. Автором были рекомендованы ступенчатые режимы сушки семян кукурузы в зависимости от влажности зерна. Г.И.Котляр и Г.В.Лебедева пришли к выводу, что по изменению белковой каталитической волны можно обнаружить границу безопасных температур нагрева зерна и установить продолжительность сушки при данной исходной влажности. Работами Ф.Д.Братерского установлены предельные температуры нагревания зерна при нулевой скорости денатурации белков и на их основании построены кривые допустимого нагрева зерна, что позволяет

производить сушку с получением семенного материала хорошего качества.

При изучении изменения структурно-механических свойств зерна кукурузы (С.Е.Климов, В.А.Яковенко, Л.Р.Торжинская) установлено, что тепловая сушка оказывает значительное влияние на повышение трещиноватости зерна, что отрицательно сказывается на его всхожести и сохранности. Установлено также, что степень трещиноватости не зависит от количества зон сушки (одно-двух или трехступенчатый режим) и в большей степени определяется температурой нагрева зерна, что температурой агента сушки.

Настоящее исследование посвящено изучению процесса сушки продовольственно-фуражной кукурузы в зерне с целью определения рациональных режимов сушки.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Лабораторные исследования проведены на экспериментальной установке, в которой условия сушки были максимально приближены к условиям в производственной шахтной зерносушилке (чередование секций прямотока и противотока, скорость движения воздуха, а также всего геометрические размеры, кроме горизонтального сечения, которое равно 100 на 50 мм). Работа установки видна из рисунка 1.

Расход воздуха в процессе сушки регулировали задвижками (1з, 2з, . . . . ., 12з). Объем поступающего воздуха определяли при помощи измерительных диафрагм (1д, 2д, . . . . . 12д), смонтированных в каждом подводящем и отводящем воздуховоде, а весовой расход воздуха — расчетным путем. Температуру поступающего и отработанного воздуха контролировали с помощью лабораторных термометров, относительную влажность воздуха — по показаниям психрометра Августа, температуру зерна — с помощью термопар, проградуированных на потенциометре типа ЭПП-09.

Влажность зерна определяли по стандартной методике, весовую производительность установки — путем отбора навески зерна за определенное время на выход из шахты.

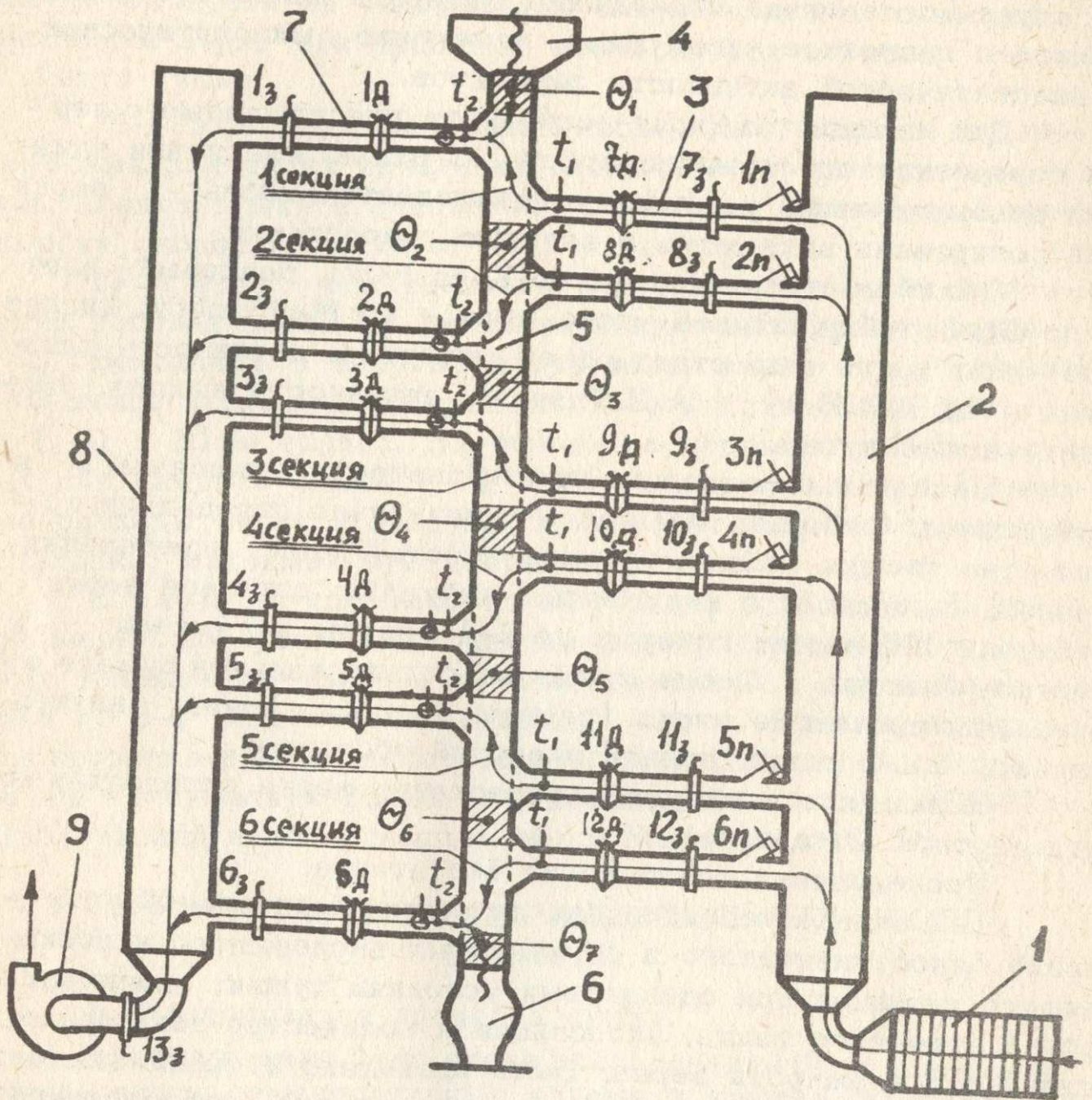


Рис.1. Схема экспериментальной установки  
 1 - калорифер ; 2 - подводящий воздуховод; 3 - подводящие  
 трубки; 4 - надсушильный бункер; 5 - сушильная шахта ;  
 6 - выпускной механизм; 7 - отводящие трубки; 8 - отво-  
 дящий воздуховод; 9 - вентилятор

- 1з, 2з, . . . . ., 12з - задвижка;  
 1п, 2п, . . . . ., 6п - потрубки холодного воздуха;  
 1Д, 2Д . . . . ., 12Д - измерительные диафрагмы.

В качестве показателей биохимической оценки качества зерна исследовали содержание общего и белкового азота, иодное и кислотное число жира, изменение амилолитической и диастатической активности ферментов.

Для оценки товарных достоинств просушиваемого зерна определяли его трещиноватость. С целью выяснения влияния рекомендуемых режимов на жизнедеятельность зерна контролировали всхожесть и энергию прорастания.

Общий азот определяли по Кьельдалю, белковый азот – по Барнштейну, иодное число жира – по Маргошесу, кислотное число жира – по стандартной методике, активность каталазы – по А.Н.Баху, и А.И.Опарину, активность амилаз – диастатическим путем.

Методика определения трещиноватости заключалась в следующем. Отбирали 100 зерен и визуально определяли количество трещин (общая трещиноватость). Для определения трещин, связанных с нарушением наружных покровов зерна, отбирали 100 зерен, которые на 2–3 минуты погружали в раствор Люголя. После сушки на фильтровальной бумаге отбирали потемневшие зерна (раствор Люголя проник внутрь зерна), т.е. с поврежденной плодовой оболочкой.

Всхожесть и энергию прорастания зерна определяли по стандартной методике.

Исследование состояло из 4-х этапов.

1-й этап – исследование на экспериментальной установке одноступенчатого и ступенчатых нисходящего и восходящего режимов при одинаковых условиях сушки: количество подведенного тепла, экспозиция и количество зон сушки, начальная влажность зерна. Было проведено 5 серий опытов, каждая из которых предполагала сушку зерна определенной исходной влажности (1 – 22; 2-я – 27; 3-я – 33; 4-я и 5-я – 40-51%). Опыты в каждой серии проводили при различных средних температурах агента сушки и экспозиции. Температуру агента сушки принимали в пределах от 100 до 180°C.

11-й этап – исследование двух режимов – нисходящего, рекомендованного на основе первого этапа исследований, и восходящего, применяемого в производстве (130/160°C при температуре нагрева зерна 50°C), с целью определения эф –

фективности нисходящих режимов. Экспозицию сушки во всех опытах выбирали из условия получения заданной конечной влажности зерна при принятых температурах нагрева зерна и агента сушки.

III-й этап - исследование нисходящих режимов при переменных значениях начальной влажности, средней температуры агента сушки и экспозиции сушки для выяснения зависимости скорости сушки от этих параметров.

IУ-й этап - исследование влияния повышенных температур нагрева зерна на ферментативную активность зерна.

Всхожесть и энергию прорастания зерна определяли на II-м этапе исследований, трещиноватость до и после сушки - на I, II и III-м этапах. На основе экспериментальных данных для каждого опыта I, II и III-го этапа вычисляли удельные расходы тепла и воздуха, производительность сушильной установки, максимальную и среднюю скорости сушки.

В качестве подопытного материала использовали рядовое зерно, которое после очистки подвергалось искусственному увлажнению при 4-х суточной отлежке с перемешиванием по 3-4 раза в течение каждых суток. Производственная проверка данных лабораторных исследований была проведена на сушилках ЗСПЖ-8 (Одесская Реалбаза) и ДСП-320т (Дрокиевский хлебоприемный пункт Молдавской ССР).

## РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

### 1. Исследование процесса сушки.

На основе данных I-го этапа исследований были построены кривые сушки, температурные кривые и кривые скорости сушки, характеризующие процесс при различных режимах. Анализ кривых сушки показал, что при одном и том же количестве подведенного в сушилку тепла наибольшее снижение влажности достигнуто при нисходящем режиме. Характер изменения кривых при всех режимах был одинаков. В начальный период сушки влажность материала снижалась по кривой, причем это снижение было незначительным. В период постоянной скорости сушки влажность зерна быстро падала, изменение ее происходило по прямой. Наконец, в периоде падающей скорости сушки интенсивность удаления влаги заметно



При всех режимах первого этапа исследования температура нагрева зерна изменялась по одному и тому же закону: резкое возрастание в период прогрева материала, снижение интенсивности этого роста в период постоянной скорости и незначительный рост в период падающей скорости сушки. При нисходящих режимах в первой зоне сушки нагрев зерна был значительно выше, чем при других режимах; в конце процесса эта разница значительно уменьшалась. На основании этого можно сделать вывод, что применение при нисходящих режимах в начале процесса более высоких температур агента сушки давало возможность быстро выйти на заданную температуру нагрева зерна и сушить его при этой температуре, тогда как при других режимах оно сушилось при этой температуре только в конце процесса. Более высокая средняя температура нагрева зерна обуславливала повышение коэффициента теплопроводности при нисходящем режиме и, естественно, интенсивность удаления влаги.

На первом этапе исследований было установлено, что при нисходящих режимах производительность сушильной установки было в среднем на 25-30% выше, чем при одноступенчатых и восходящих режимах (рис.2) при условии

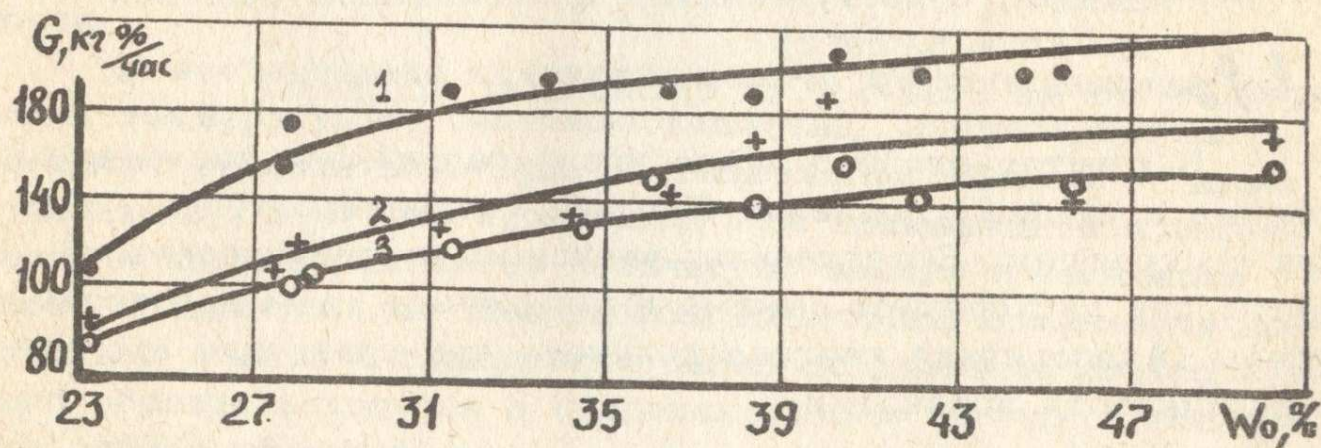


Рис.2. Режим: 1 нисходящий; 2 - одноступенчатый; 3 - восходящий

подачи в сушилку одинакового количества тепла. При этом же условии удельный расход воздуха и тепла при нисходящем режиме был меньше на 20-25% по сравнению

восходящим ступенчатым и на 15-20% по сравнению с одно-ступенчатым режимами (рис.3).

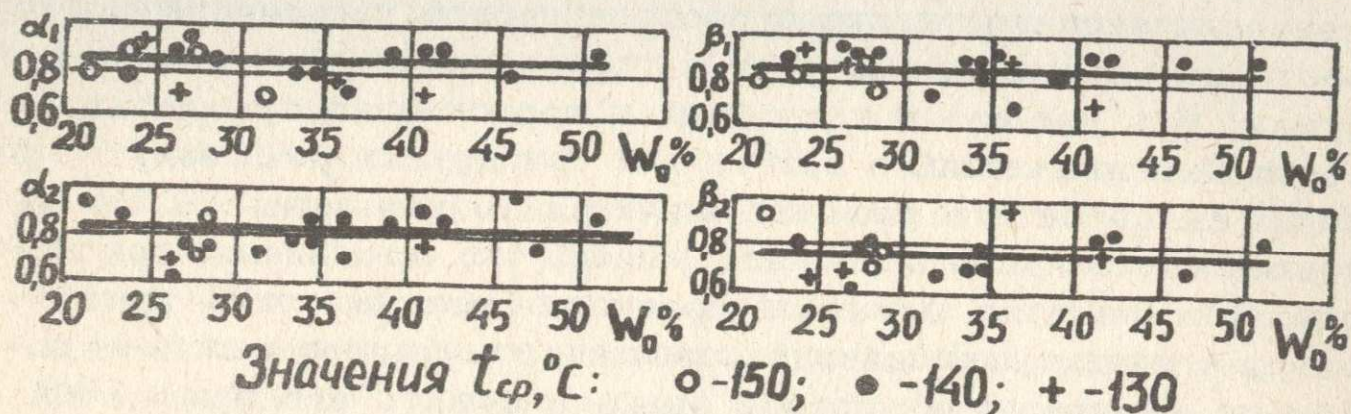


Рис.3. Удельные энергетические затраты

$$\alpha_1 = \frac{q_H}{q_0}; \quad \alpha_2 = \frac{q_H}{q_B};$$

$$\beta_1 = \frac{l_H}{l_0}; \quad \beta_2 = \frac{l_H}{l_B}.$$

$q_H, q_0, q_B$  - удельный расход тепла соответственно при нисходящем, одноступенчатом и восходящем режимах дж/кг исп.влаги;

$l_H, l_0, l_B$  - то же воздуха, кг сух.возд/кг исп.влаги.

В опытах второго этапа исследований при нисходящем режиме в сушилку подавали большее количество тепла, чем при восходящем. Естественно, удельные энергетические затраты при нисходящем режиме были меньше, чем при восходящем. Аналогичная картина получена при сравнении производительности установки.

## 2. Влияние сушки на физиологические и некоторые биохимические показатели качества зерна

Сохранение жизнедеятельности продовольственно-фуражной кукурузы является обязательным при использовании ее в крахмало-паточной промышленности. В остальных случаях (переработка в муку и крупу, производство комбикормов и не -

соложенных материалов) снижение всхожести не влияет на технологию производства и качество получаемых продуктов.

Исследованием (таблица 1) установлено, что при не продолжительном нагреве зерна до конечной влажности 17-18% и температуре 48-53°C всхожесть его уменьшилась незначительно (3-6%), а энергия прорастания несколько больше (4-11%). Незначительное снижение всхожести и от носительно высокая при этом энергия прорастания объясня ются тем, что зерно перед проращиванием длительно не хра нилось и сушилось при малой экспозиции. С повышением ко нечной влажности до 23-24% всхожесть и энергия пророста ния при нагреве зерна до 50°C снизились более заметно (7-8 и 9-14% соответственно), а при конечной влажности 26,7 % и нагреве до 67°C зарегистрирована полная потеря энергии прорастания и почти полная потеря всхожести.

Полученные данные полностью соответствуют извест ной закономерности, заключающейся в том, что с повыше нием температуры нагрева, увеличением влажности и време ни сушки снижаются физиологические свойства зерна.

Поэтому показатели всхожести и энергии пророста ния зерна должны учитываться при выборе режимов сушки зерна, являющегося сырьем крахмало-паточной промышлен ности.

В исследовании ставилась задача изучить влияние вы соких температур на белковые вещества, которые при нагре ве могут разлагаться. Судя по содержанию общего азота (таблица 2), этого не произошло. При примененных в иссле довании параметрах сушки количество общего и белкового азота практически не изменилось. Некоторые отклонения по лученных значений содержания азота от значения контроль ного образца находятся в пределах ошибки метода и точно сти отбора образцов.

Под воздействием высоких температур жировые веще ства могут окисляться, что приводит к изменению свойств зерна. Из таблицы 2 видно, что при нагреве зерна происхо дило увеличение кислотного числа жира. Полученные значе ния этого показателя находятся в пределах ГОСТ"а. Иодное число жира также находится в пределах ГОСТ"а.

Таблица 1

№№ опытов	Влажность зерна, %		Максимальная температура нагрева зерна, °С	Экспозиция сушки, мин.	Температура агента сушки, °С		Всхожесть, %		Энергия прорастания, %	
	До сушки	После сушки			1 зона	II зона	До сушки	После сушки	До сушки	После сушки
101	20,6	16,1	170	130	16,0	61	81	73	71	59
102	20,6	18,0	130	160	15,0	53	82	76	74	63
103	20,6	17,5	101	130	26,0	49	91	88	78	72
104	28,5	17,4	165	135	20,0	64	79	19	66	6
105	28,5	22,9	128	160	14,0	51	83	76	74	65
106	28,5	23,7	100	129	26,0	50	74	68	64	50
107	37,6	26,7	172	130	24,0	67	83	2	76	0
108	37,6	31,8	130	158	16,0	52	71	50	65	38
109	37,6	28,5	100	133	27,0	51	72	44	67	31

Таблица 2

№ опы- тов	Температура агента сушки по зонам в °С		Максимальная температура нагрева зерна в °С	Влажность зерна в % на сухое вещество		Продолжительность сушки в минутах	Кислотное число жира, мг КОН на 1 г жира	Иодное число иода на 100 г жира	Общий азот в % на абсолютное сухое в-во		Белковый азот в % на абсолютное сухое в-во
	I	II		III	начальная				конечная	азот в % на абсолютное сухое в-во	
Контрольный образец											
15	174	155	140	14,2	-	-	2,58	114,66	1,86	1,77	
32	180	150	120	21,3	15,8	25,4	3,40	114,28	1,78	1,77	
49	160	120	-	23,2	17,5	20,0	3,81	111,34	1,79	1,75	
37	165	120	90	23,2	16,6	23,0	2,87	118,71	1,85	1,73	
18	158	140	120	24,3	16,3	25,6	2,58	115,53	1,77	1,74	
21	160	140	120	26,6	14,2	25,4	3,93	111,82	1,78	1,77	
55	161	120	120	31,6	18,0	23,0	2,65	114,29	1,79	1,73	
58	160	120	-	33,7	22,0	21,5	3,21	117,55	1,80	1,77	
24	160	120	-	34,6	26,6	14,5	4,44	-	1,86	1,76	
6	156	137	124	35,1	21,5	26,0	5,92	113,40	1,86	1,74	
29	161	140	120	36,3	21,6	27,0	3,09	112,28	1,85	1,72	
12	160	130	100	38,7	24,7	25,4	2,69	117,40	1,85	1,77	
9	159	140	120	40,7	9,0	50,0	4,92	114,90	1,83	1,74	
61	160	120	-	40,8	11,6	46,8	2,82	114,42	1,80	1,71	
40	160	140	120	41,8	23,2	37,0	3,87	117,24	1,79	1,71	
64	179	100	-	45,9	25,1	35,0	-	110,07	1,82	1,67	
				50,6	26,8	37,0	3,21	109,74	1,78	1,69	

В.В. 11587

Для выявления количественной характеристики зависимости кислотного и иодного чисел жира от параметров сушки применен корреляционный анализ. Первоначально была установлена зависимость изучаемых показателей от отдельных параметров путем определения коэффициентов парной корреляции. Поскольку при изучении зависимости между результативным признаком и рядом факторов нельзя ограничиться вычислением только парных коэффициентов и на этой основе сделать окончательный вывод о наличии или отсутствии связи была применена частная корреляция (определены коэффициенты корреляции второго порядка с предварительным определением коэффициентов первого порядка). Однако на биохимические показатели качества зерна совместно влияют все параметры процесса. Характеристика этого влияния может быть выражена через коэффициент множественной корреляции, который для кислотного числа жира равен  $R_{s \cdot klm} = 0,520$ , для иодного числа жира -  $R_{s \cdot klm} = 0,249$ . Значение этих коэффициентов указывает, что хотя и существует связь между кислотным и иодным числами жира и рассматриваемыми параметрами процесса (влажность зерна, температура зерна, экспозиция зерна), однако, эти параметры не являются исчерпывающими по своему влиянию на результативный признак. Видимо, существуют другие факторы, помимо рассматриваемых параметров сушки, которые существенно влияют на изменение кислотного и иодного числа жира.

Как видно из данных, помещенных в таблице 3, с повышением исходной влажности зерна при одной и той же температуре нагрева активность каталазы резко падает. Аналогичная картина наблюдается и с диастатической активностью зерна. Снижение диастатической активности указывает, что происходит денатурация белковых веществ, что в свою очередь, уменьшает выход крахмала. Из таблиц 1 и 3 видно, что изменение ферментативной активности зерна взаимосвязано с изменением его всхожести. Следовательно зерно, нагретое до температуры  $65-70^{\circ}\text{C}$ , нельзя использовать для переработки в крахмало-паточной промышленности. При одной и той же температуре и времени нагрева амилазы являются более устойчивыми к температурным воздействиям, чем ката-

лаза. Таким образом, при сушке зерна кукурузы, нагретой до 65–70°C и постоянном времени нагрева, снижение активности амилаз и каталазы зависит только от влажности зерна на выходе из сушилки, что подтверждает данные, полученные М.Г.Голиком, В.А.Яковенко и Л.Р.Торжинской.

Таблица 3

Температура нагрева зерна, °С	Продолжительность нагрева, мин.	Влажность зерна, % на абсолютно сухое вещество		Каталаза, мл 0,1 КМпО <sub>4</sub> за 20 мин. на 1 г сухого вещества		Диастатическая активность, мг мальтозы на 10 г сухого вещества	
		начальная	конечная	до сушки	после сушки	до сушки	после сушки
70	60	18,8	13,6	4,98	4,07	294,28	238,03
67	60	25,6	18,3	9,60	5,64	296,39	198,33
68	60	34,9	25,1	7,50	3,71	219,34	107,25
70	60	43,2	32,4	4,78	0,33	336,70	74,42

### 3. Влияние нагрева на трещиноватость зерна

В результате сушки общая трещиноватость при одноступенчатом, восходящем и нисходящем режимах возросла и достигла 52–93% при среднем значении 75%. Примерно в два раза в среднем увеличилась и наружная трещиноватость. В ряде опытов температура нагрева зерна была выше 80°C, в других – 50–55°C. Несмотря на такой большой интервал температур трещиноватость зерна и при нагреве до 50°C, и при нагреве до 85°C была почти одинаковой. Значит, утвержденные официальной инструкцией и применяемые в практике зерносушения температуры нагрева зерна (50°C) не предохраняют зерно от растрескивания при сушке. Полученные результаты примерно совпадают с данными С.Е.Климова и подтверждают выводы других исследователей о том, что имеется определенный предел нагрева зерна (40–45°C), после которого начинается резкое увеличение трещиноватости зерна. На даль-

нейшее увеличение трещиноватости зерна не влияет повышение температуры нагрева зерна и экспозиция сушки, а также количество зон сушки. Следовательно, предусмотренный инструкцией по сушке предел нагрева зерна в сушильной камере  $50^{\circ}\text{C}$  допускает сушку продовольственно-фуражной кукурузы при высокой степени трещиноватости. Поэтому увеличение трещиноватости зерна при нагреве его свыше  $50^{\circ}\text{C}$  не может являться ограничением при выборе режима сушки, а трещиноватость служить показателем сравнительной оценки различных режимов сушки продовольственно-фуражной кукурузы, идущей на переработку.

Технология выработки муки и крупы предусматривает дробление кукурузного зерна с обязательным удалением оболочек и зародыша. Исследование показало, что зерно в большей части растрескивалось изнутри; нарушение плодовой оболочки и зародыша было относительно невысоким, о чем свидетельствует сравнительно небольшое увеличение наружной трещиноватости.

#### 4. Выбор режимов сушки

Исходя из полученных результатов исследования, можно считать безопасной температурой нагрева зерна продовольственно-фуражной кукурузы, идущего на переработку,  $65-70^{\circ}\text{C}$ . Однако, учитывая имеющуюся неравномерность нагрева зерна в шахтных зерносушилках, следует рекомендовать для внедрения в производство нисходящие ступенчатые режимы сушки зерна при начальной влажности до  $23\%$  -  $170/140^{\circ}\text{C}$  и свыше  $23\%$  -  $160/130^{\circ}\text{C}$  при максимальной температуре нагрева до  $55-60^{\circ}\text{C}$ .

#### 5. Расчет температуры нагрева зерна при нисходящем режиме

Из всех рассмотренных в диссертации методов расчета температуры нагрева зерна наиболее приемлемым является метод теплового баланса, разработанный А.С.Гинзбургом и В.А.Резчиковым. В дифференциальной форме уравнение теплового баланса имеет вид:

$$20 \quad 2C_e(t-\theta)d\tau = Gc d\theta + G \frac{dw}{100+w} z + dQ_{\text{пот}} \quad (1)$$

При допущениях, что коэффициенты влагопроводности являются постоянными, температура агента сушки на выходе из слоя равна температуре зерна, физические параметры зерна и агента сушки не зависят от температуры, а внутреннее сопротивление зерна отсутствует, уравнение (1) решено относительно температуры нагрева зерна в конце процесса сушки:

$$\theta_2 = \frac{A}{B} - \left( \frac{A}{B} - \theta_0 \right) \left( \frac{D - N^c t}{D} \right)^{\frac{B}{N^c}}, \quad (2)$$

где  $A = \frac{2\alpha C_s}{G_1} (100 + W_0^c) t_0 - 60 Z_0 N^c, \quad (3)$

$$B = \frac{2\alpha C_s}{G_1} (100 + W_0^c) - 60 (C_m - C_n) N^c, \quad (4)$$

$$D = 100 C_{cs} + W_0^c. \quad (5)$$

Подсчитанные по уравнению (2) значения температуры нагрева зерна близки к опытным данным — среднее квадратичное отклонение составляет не более 10%.

Входящая в уравнение (2) средняя скорость сушки определена из экспериментальных данных в виде эмпирической зависимости:

$$N^c = K t_c + B, \quad (6)$$

где коэффициенты  $K$  и  $B$  являются функциями начальной влажности.

Зависимость этих коэффициентов от влажности определена по методу средних:

$$K = 10^{-2} (0,115 + 0,026 W_0^c - 0,000288 W_0^{c^2}), \quad (7)$$

$$B = 0,00024 W_0^{c^2} + 0,02 W_0^c - 0,81. \quad (8)$$

Тогда, 
$$N^c = 10^{-2} (0,115 + 0,026 W_0^c - 0,000288 W_0^{c^2}) t_c - 0,00024 W_0^{c^2} + 0,02 W_0^c - 0,81. \quad (9)$$

Расчет средней скорости сушки по уравнению (9) дает вполне удовлетворительные результаты, незначительно отличающиеся от опытных данных (рис.4).

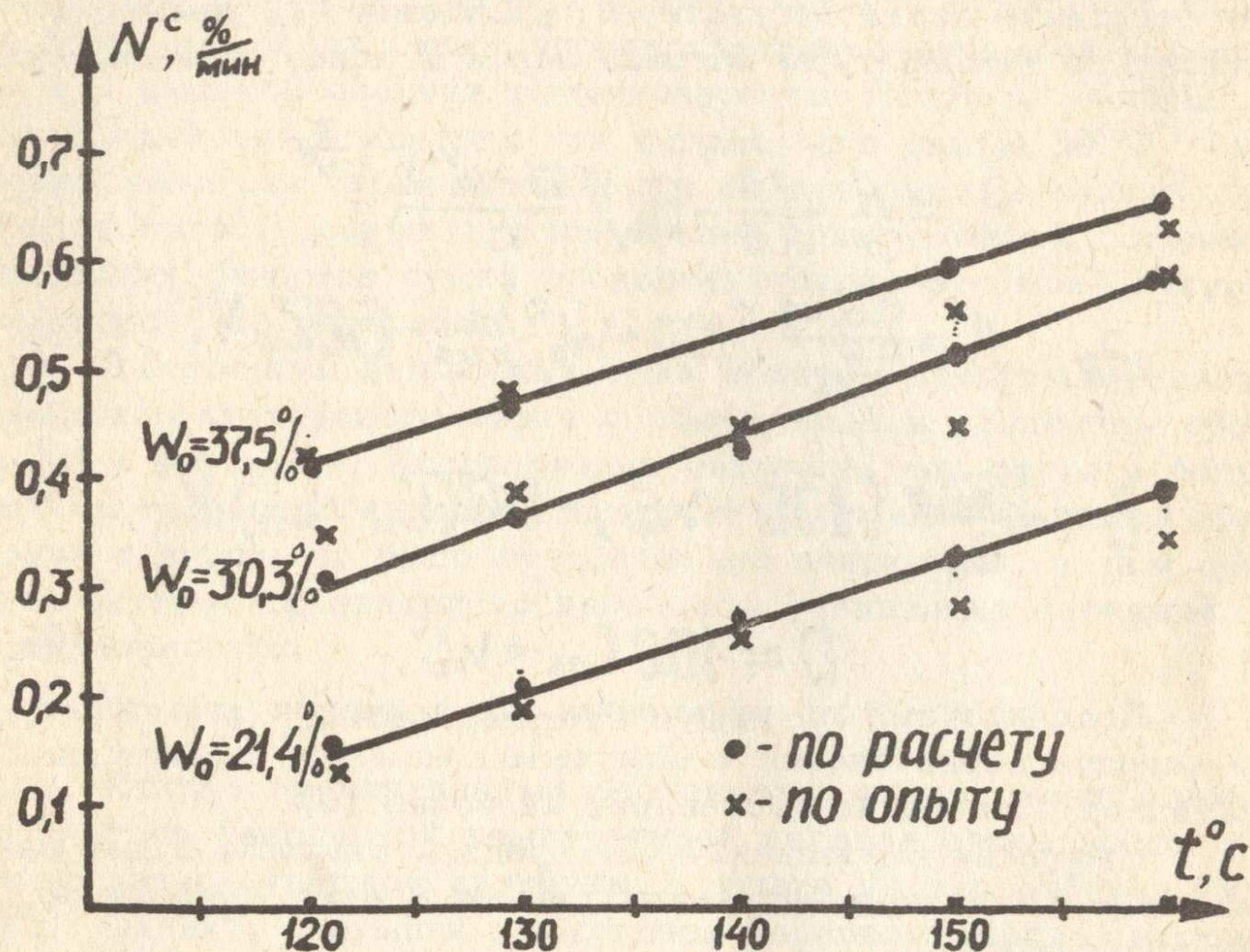


Рис.4

#### 6. Проверка рекомендуемых режимов в производственных условиях

В таблице 4 приведены результаты опытной сушки на сушилке ЗСПЖ-8. Из этой таблицы видно, что при низких температурах агента сушки (опыты №№ 1, 2) производительность сушилки при нисходящем режиме была на 10% выше, чем при восходящем, а с применением более жестких режимов (опыты №№ 5-10) этот показатель возрос до 34-38%. Среднее снижение удельных энергетических затрат при нисходящем режиме составило 20%.

Таблица 4

№№ опы- тов	Влажность зер- на в % на об- щий вес		Температу- ра агента сушки, °С		Тем- пера- тура нагре- ва зерна, °С	Про- изве- дит . су - шил- ки, пл. т/ч	Удельный расход на 1 пл. тонну	
	началь- ная	конеч- ная	I зона	II зона			Усл. топ- лива, кг	Элект- роэнер- гии, кВтч
1	21,7	14,0	110	130	47	5,5	16,9	6,4
2	21,9	13,3	130	110	49	6,1	15,2	5,8
3	21,5	13,4	110	130	48	4,9	17,5	7,3
4	21,7	12,6	130	110	50	5,5	15,6	6,5
5	24,8	19,7	130	150	52	6,1	-	5,9
6	24,8	17,5	150	130	56	8,25	-	4,4
7	28,2	21,1	130	160	52	4,45	16,5	5,5
8	28,5	18,6	160	130	58	6,15	12,0	4,0
9	25,0	18,6	130	170	61	5,5	13,8	4,6
10	24,9	15,5	170	130	66	7,4	10,3	3,4

Анализ результатов производственных исследований на сушилке ДСП-32 от (табл.5) показал, что производительность сушилки при нисходящих режимах в среднем увеличилась на 25-30%, по сравнению с восходящими. Средняя температура агента сушки при сравниваемых восходящих и нисходящих режимах находилась на одном уровне и примерно на одном уровне был нагрев зерна на выходе из сушилки. Следовательно, увеличение производительности сушилки при нисходящих режимах получено за счет более рационального распределения тепла по высоте сушилки и значительного повышения коэф-фициента влагопроводности в самом начале процесса, т.е. полностью подтвердились выводы, полученные в лабораторных условиях.

Поджаренных и обуглившихся зерен при сушке не обнаружено. Степень трещиноватости при сравниваемых режимах была примерно одинакова, что имело место и при лабораторных опытах.

Показатели	Опыты										
	1	3	4	5	6	8	9	10	11		
Температура агента сушки в I зоне, °С	100	130	132	151	148	129	160	170	175		
То же во II-й зоне	132	100	150	122	120	158	131	130	146		
Начальная влажность зерна, % на общий вес	27,9	28,2	27,1	28,4	28,5	28,6	27,2	30,2	28,8		
Конечная " " " "	21,8	19,8	20,0	19,8	20,1	20,2	15,8	19,7	19,0		
Начальная температура зерна, °С	3,5	-1	-2	+2	+2	+2	+2	+2	+2		
Температура нагрева зерна, °С	50	52	53	52	53	49	55	58	61		
Экспозиция сушки, мин.	101	98	85	83	82	83	81	67	63		
Трещиноватость зерна до сушки, %	17	18	26	22	25	36	18	32	27		
То же после сушки	80	79	84	72	89	85	83	90	85		
Производительность сушилки, пл.т/час	18,8	25,2	25,8	31,1	31,4	31,2	40,7	42,3	48,3		
Удельный расход усл.топлива, кг/пл.т	14,9	13,5	14,2	11,2	11,3	13,9	10,3	9,9	9,7		
Удельный расход электроэнергии, квтч/пл.т	3,88	2,98	2,87	2,29	2,30	2,22	1,81	1,72	1,58		

Расход топлива и электроэнергии снизился на 20-25 % по сравнению с восходящими режимами при температуре агента сушки в пределах, рекомендованных Инструкцией по сушке (до 160°C), и максимальном нагреве зерна до 55-60°C.

#### 7. Экономическая эффективность нисходящих режимов сушки

Независимо от применяемого режима сушки численность обслуживающего персонала для сушилки определенной конструкции будет одинаковой. Поэтому производительность труда целиком определяется количеством просушенного зерна, т.е. производительностью сушилки.

Исходя из полученных результатов исследования о снижении при нисходящих режимах энергетических затрат в среднем на 20% по сравнению с восходящими и одноступенчатыми, был сделан специальный расчет, который показал, что внедрение в производство нисходящих режимов даст только по СССР экономию электроэнергии и топлива на сумму около 1370 тыс.рублей в год.

При изучении возможности внедрения в производство нисходящих режимов признано необходимым осуществить ряд разработанных в ОТИПП имени М.В.Ломоносова (В.И.Жидко, П.Н.Платонов) мероприятий по устранению основного недостатка шахтной зерносушилки - неравномерности нагрева и сушки зерна по горизонтальному сечению шахты. Согласно укрупненному сметно-финансовому расчету затраты на связанную с этими мероприятиями реконструкцию сушилки ДСП-32 от составляют 4 тыс.руб.

В таблице 6 приведены затраты на сушку зерна по сравниваемым режимам, а в таблице 7 - основные технико-экономические показатели этих режимов. Из таблицы 7 видно, что коэффициент общей экономической эффективности капиталовложений выше отраслевого ( $0,28 > 0,20$ ), что указывает на их эффективность. Абсолютная экономическая эффективность действующих производственных фондов при нисходящем режиме значительно выше, чем при восходящем ( $0,301 > 0,178$ ).

Об экономической эффективности этих режимов также говорит показатель сравнительной экономической эффективно-

Таблица 6

Статьи затрат (руб.)	Режимы сушки (варианты):		
	восходя- щий	нисходящий безрекон - струкции сушилки	нисходящий с реконст - рукцией су - шилки
	I	II	III
Заработная плата сна- числениями	4230	4230	4230
Амортизация	2283	2283	2775
Текущий ремонт	1161	1161	1411
Электроэнергия	924	738	738
Т о п л и в о	8750	7000	7000
Вспомогательные мате- риалы	120	120	120
Прочие расходы	15	15	15
И т о г о :	17483	14547	16289
На 1 плановую тонну	0,583	0,485	0,543

Таблица 7

Показатели	Ед. из- мерения	Режимы сушки (варианты):		
		восходя- щий	нисходя - щий без реконст - рукции сушилки	нисходя - щий с ре - конструк - цией су - шилки
1. Производитель- ность сушилки	<u>пл.тонн</u> час	32	40	40
2. Объем сушки	пл.тонн	30000	30000	30000
3. Период сушки	час	937	750	750
4. Расход условного топлива	<u>кг</u> пл.тонну	12,2	9,8	9,3
5. Расход электро - энергии	<u>кВтч</u> пл.тонну	3,08	2,46	2,46

6. Затраты на 1 плановую тонну	руб.	0,583	0,485	0,543
7. Численность обслуживающего персонала	чел	4	4	4
8. Производительность труда	<u>пл. тонн</u> чел.	8	10	10
9. Дополнительные капиталовложения	руб.	-	-	4169
10. Условно-годовая экономия	руб.	-	2936	1194
11. Общая экономическая эффективность капиталовложений	-	-	-	0,28
12. Общая экономическая эффективность действующих производственных фондов	-	0,178	0,301	-
13. Сравнительная экономическая эффективность	-	-	2936	360
14. Срок окупаемости капиталовложений	год	-	-	3,4

сти. Значит, применение нисходящих режимов для сушки зерна продовольственно-фуражной кукурузы не только технологически целесообразно, но и экономически эффективно.

### ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. По сравнению с восходящими ступенчатыми и одноступенчатыми режимами нисходящие ступенчатые режимы являются более совершенными, так как позволяют за счет более рационального распределения тепла по высоте сушильной камеры и применения повышенных средних температур нагрева материала интенсифицировать на 30-40% испарение влаги.

В первую зону сушки целесообразно подавать максимальное количество тепла, чтобы получить на первом этапе процесса максимально возможный нагрев зерна. В дальнейшем температура агента сушки должна выбираться с учетом снижения интенсивности испарения влаги и поддержания температуры нагрева зерна на максимальном уровне. Такое построение нисходящего режима позволяет увеличить производительность сушилки по сравнению с восходящим ступенчатым и одноступенчатым режимами при условии подачи одинакового количества тепла на сушку.

2. За счет более рационального распределения тепла по высоте сушильной камеры энергетические затраты на сушку при нисходящем ступенчатом режиме в среднем на 20% ниже, чем при одноступенчатым и восходящем ступенчатым режимах.

3. Исследования показали, что при температуре агента сушки в I-й зоне 150-180°C, во II-й - 100-150°C, в III-й - 80-140°C и нагреве зерна до 67-85°C при соответствующей экспозиции сушки ухудшения качества жира не наблюдалось: повышение кислотного числа и изменение иодного числа жира находилось в пределах допустимых отклонений. Содержание общего и белкового азота при указанных параметрах сушки практически не менялось.

Установлена корреляционная зависимость между кислотным и иодным числами жира и основными параметрами процесса сушки (начальная влажность и температура нагрева зерна, экспозиция сушки). Коэффициенты множественной корреляции соответственно равны  $R_1=0,52$  и  $R_2=0,249$ .

4. Главнейшие ферменты зерна амилазы и каталаза заметно снижают свою активность при нагреве до 67-70°C в течение 1 часа. Это снижение возрастает с увеличением конечной влажности зерна. При одних и тех же температуре, времени нагрева и влажности зерна амилазы являются более устойчивыми к температурным воздействиям, чем каталаза.

5. С повышением температуры и времени нагрева снижаются физиологические свойства зерна. Пределом, после которого начинается резкое падение всхожести и энергии про-

растания является температура  $49-53^{\circ}\text{C}$  при длительности нагрева порядка одного часа.

6. Трещиноватость зерна не зависит от выбранного режима и определяется только экспозицией сушки и максимальной температурой нагрева зерна.

7. Для зерна кукурузы продовольственно-фуражного назначения, идущего в переработку, можно считать безопасной температурой нагрева  $65-70^{\circ}\text{C}$ . Однако, учитывая имеющуюся неравномерность нагрева зерна в шахтных зерносушилках, следует рекомендовать нисходящие ступенчатые режимы сушки зерна кукурузы при начальной влажности до  $23\%$  -  $170/140^{\circ}\text{C}$  и свыше  $23\%$  -  $160-130^{\circ}\text{C}$  при максимальной температуре нагрева до  $55-60^{\circ}\text{C}$ .

8. Получено уравнение (2) для расчета температуры нагрева зерна на выходе из сушильной камеры. В этом уравнении средняя скорость сушки подсчитана по эмпирическому уравнению (9).

9. Результаты лабораторных исследований были проверены в производственных условиях на зерносушилках ЗСПЖ-8 и ДСП-32 от. Данные этой проверки полностью подтвердили выводы лабораторных исследований об эффективности и целесообразности применения нисходящих ступенчатых режимов сушки зерна продовольственно-фуражной кукурузы.

10. По сравнению с восходящими ступенчатыми режимами затраты на одну плановую тонну сушки при нисходящих ступенчатых режимах ниже на  $17\%$ , а производительность труда в среднем выше на  $25\%$ .

Общая экономическая эффективность действующих производственных фондов при этом увеличивается почти в  $1,7$  раза (с  $0,178$  до  $0,301$ ).

11. Капитальные вложения, связанные с устранением конструктивных недостатков шахтной зерносушилки, по данным ОТИПП имени М.В.Ломоносова составляют примерно пятую часть балансовой стоимости сушилки. Срок окупаемости капиталовложений -  $3,4$  года. При этом общая экономическая эффективность капиталовложений равна  $0,28$  при отраслевом нормативном коэффициенте  $0,20$ .

## ПРИНЯТЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

$W, W_0^c, W_2^c$  – влажность зерна на сухой вес зерна соответственно текущая, начальная, конечная, %;  $t, t_0, t_2$  – температура агента сушки соответственно текущая, на входе и выходе из слоя, °С;  $G$  – производительность сушилки, пл.т/час (кг·%/час);  $G_1$  – вес зерна, находящегося в шахте, кг;  $C_a, C, C_{co.}, C_{ж}, C_n$  – удельная теплоемкость соответственно воздуха, зерна, сухого вещества, воды и пара кдж/кг град;  $Z_0$  – теплота парообразования, кдж/кг;  $\theta, \theta_0, \theta_2$  – температура нагрева зерна соответственно текущая, в начале и конце сушильной камеры, °С;  $Q_{int}$  – потери тепла в окружающую среду, °С;  $N^c$  – средняя скорость сушки за весь период сушки %/мин.;  $\tau$  – экспозиция сушки, мин.;  $\alpha$  – весовой расход воздуха, кг/час;  $\eta$  – коэффициент, учитывающий потери тепла в окружающую среду.

### Список работ, опубликованных по теме диссертации.

1. В.И.Жидко, А.С.Корчак. Эффективность режимов сушки зерна продовольственно-фуражной кукурузы, Известия вузов, пищевая технология, № 4, 1965.
2. В.И.Жидко, А.С.Корчак. О режимах сушки зерна в шахтных зерносушилках, „Мукомольно-элеваторная промышленность“, № 8, 1965.
3. В.И.Жидко, А.С.Корчак. Качество зерна при нисходящих режимах сушки зерна, „Кукуруза“, № 10, 1966.
4. А.С.Корчак, В.И.Жидко. Экономическая эффективность нисходящих режимов сушки зерна, „Кукуруза“, № 10, 1967.
5. А.С.Корчак, В.И.Жидко. О нисходящих ступенчатых режимах сушки зерна продовольственно-фуражной кукурузы, Известия вузов, Пищевая технология, № 1, 1968.
6. В.И.Жидко, А.С.Корчак. Исследования режимов сушки зерна продовольственно-фуражной кукурузы. Тезисы докладов на научной конференции по теории и технике сушки зерна, ВНИИЗ, 1969.

По материалам диссертации сделаны доклады:

1. На XXUII научной конференции ОТИ имени М.В.Ломоносова, 1965.
2. На XXVIII научной конференции ОТИ имени М.В.Ломоносова, 1966.
3. На Всесоюзной научной конференции по теории и технике сушки зерна, ВНИИЗ, Москва, 1969.

---

БР 03462 Подписано к печати 8/XII-1970 г. Объем 1,9 печ.л.  
Уч.-изд.л. 1,8 Заказ № 297 Тираж 200 экз.

---

Лаборатория фотомеханической печати ОТИПП  
имени М.В.Ломоносова, г.Одесса, ул.Свердлова, 112