

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИНЖЕНЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На правах рукописи



КОЧАНОВ Дмитрий Сергеевич

**НАУЧНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ
ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР И РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ
ПРОИЗВОДСТВА КОМБИКОРМОВ
ИЗ МИКРОНИЗИРОВАННОГО ЗЕРНА**

Специальность: 05.18.12 – Процессы и аппараты пищевых производств

Д и с с е р т а ц и я
на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Научный руководитель –
доктор технических наук,
профессор В. А. Афанасьев

Воронеж – 2014

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	5
Глава 1. Современное состояние теории, техники и технологии микронизации зерна	10
1.1. Характеристика видового состава микрофлоры зерна	10
1.2. Применение генераторов ИК-излучения для микронизации зерна	14
1.3. Обзор современных технологий и оборудования для микронизации зернового сырья в России и за рубежом	23
1.4. Теоретическое описание взаимодействия ИК-источника излучения с плоским слоем зерна	51
1.5. Анализ литературного обзора, формулировка цели и основных задач исследования	56
Глава 2. Экспериментальные исследования процесса микронизации зерновых культур	59
2.1. Определение теплофизических характеристик пшеницы	59
2.2. Исследование оптических характеристик зерновых культур	61
2.3. Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента	65
2.4. Исследование характера изменения температуры и влажности зерна в процессе микронизации	68
2.5. Влияние выбранных режимов микронизации зерна на изменение показателей питательности	70
2.6. Оценка изменения белкового комплекса зерна при микронизации	73
2.7. Влияние микронизации на санитарное состояние зерна	78
2.8. Влияние засоренности зерна на процесс микронизации	80
Глава 3. Математическое моделирование процесса	

	микронизации зерна	85
3.1.	Постановка задачи	85
3.2.	Аналитическое решение математической модели	86
3.3.	Проверка математической модели процесса микронизации зерна на адекватность	92
Глава 4.	Исследование химического состава и питательности микронизированного зернового сырья	94
4.1.	Используемые методы и методики	94
4.2.	Исследование углеводного комплекса зернового сырья подвергнутого микронизации	98
4.3.	Исследование белкового комплекса зернового сырья, подвергнутого микронизации	101
4.4.	Оценка эффективности использования животными комбикормов с микронизированным зерном	104
4.5.	Исследование эффективности использования животными комбикормов с микронизированным зерном	108
4.6.	Эффективность использования телятами комбикормов с микронизированным ячменем	109
4.7.	Эффективность использования поросятами комбикормов с микронизированным ячменем	112
Глава 5.	Разработка оборудования, линии и способа микронизации зерна	115
5.1.	Разработка опытного образца микронизатора	115
5.2.	Разработка технологической линии для четырех технологий микронизации увлажненного зерна	129
5.3.	Технико-технологические параметры экспериментальной линии микронизации зерна	138

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ	141
ЛИТЕРАТУРА	143
ПРИЛОЖЕНИЕ	152

ВВЕДЕНИЕ

Отечественная комбикормовая промышленность выпускает комбикорма для всех видов сельскохозяйственных животных, птицы, рыбы и т.д. Однако производство комбикормов в нашей стране по объему, ассортименту и качеству отстает от производства их в развитых капиталистических странах.

В то же время научной и практической проблемой остается дальнейшее сокращение содержания зерна в структуре сырьевых ресурсов комбикормовой промышленности. Доля зерна при выработке комбикормов в России составляет 66,2 %, тогда как в США – 53 %, во Франции – 43,7 %, в Германии – 30 %, в других странах ЕЭС – 38 %.

Одним из путей сокращения доли зерна при выработке комбикормов является повышение его кормовой ценности. Для повышения кормовой ценности зернофуража применяют различные способы тепловой обработки. Ее положительное влияние проявляется в повышении переваримости крахмала, изменении белкового комплекса зерна, инактивации ингибиторов пищеварительного тракта, пастеризации (уровень грибной флоры снижается на 99,5 %, бактериальной – на 99,9 %), образовании ароматических веществ, улучшающих вкусовые качества зерна и, в конечном счете, в оплате корма продуктивностью животных.

В процессе тепловой обработки нативный крахмал зерна превращается в модифицированный. Содержание сахаров и декстринов увеличивается в 2-3 раза, степень клейстеризации достигает 35 % и выше. Доступность крахмала для организма животных вследствие его гидролитического расщепления повышается в 2-5 раз.

Значение тепловой обработки зерна особенно велико при выращивании телят в период кормления молоком и поросят ранних сроков отъема, пищеварительный тракт которых в этом возрасте плохо приспособлен к перевариванию и усвоению питательных веществ растительных кормов.

Среднесуточный прирост массы поросят, получивших комбикорм с ячменем, обработанным методом поджаривания, флакирования (плющения), микронизации (обработка инфракрасными лучами), экструдирования, был выше на 12,5 – 34,1 % (в зависимости от способа обработки), а расход комбикорма ниже на 4,5 – 12,2 %, чем при контрольном рационе.

Наиболее эффективными способами обработки ячменя для поросят оказались микронизация и экструзия ячменя. Скармливание микронизированного зерна в составе комбикормов поросятам-сосунам и поросятам до 4-хмесячного возраста повышало прирост их живой массы на 6 – 14 % и снижало затраты комбикормов на 7 – 21 % по сравнению с контрольным рационом.

ВНИИКП в течение двух десятилетий провел цикл работ по научному обоснованию методов и технологий влаготепловой обработки зерна и, в частности, микронизации зерна. Однако, технологический процесс микронизации зернового сырья при производстве комбикормов на комбикормовых заводах используется мало, т. к. отсутствует высокопроизводительное комплектное отечественное оборудование.

Цель диссертационной работы: научное обеспечение процесса микронизации зерновых культуры и повышение эффективности процесса за счет определения рациональных технологических режимов и повышение качества готовой продукции; разработка научно-технологических решений производства комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма и повышению конверсии корма.

В соответствии с целью решались **следующие задачи:**

- изучение зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы) как объектов исследования, определение их оптических и теплофизических характеристик,
- изучение кинетических закономерностей процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);

- определение рациональных технологических параметров процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);
- разработка математической модели процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);
- проведение комплексной оценки качества комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами, и оценка их эффективности использования животными;
- разработка конструкции микронизатора и технологии производства комбикормов из микронизированного зерна, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма, снижению падежа животных и птицы, повышению конверсии корма;
- оценка эффективности разработанных комбикормов и предлагаемой конструкции микронизатора;
- проведение промышленной апробации полученных результатов работы.

Научная новизна. Изучены кинетические закономерности процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы) при импульсном энергоподводе.

Определены зависимости теплофизических характеристик зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы). Выявлен характер изменения оптических характеристик (коэффициентов проникновения, отражения и поглощения) объектов исследования от длины волны ИК-излучения.

Разработана математическая модель процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы), описывающая период убывающей скорости сушки, когда фронт испарения влаги проникает внутрь продукта.

Практическая ценность. Обоснован выбор рецептурного состава смеси для производства комбикормов из микронизированного зерна.

Выявлены теплофизические и оптические характеристики микронизированного зерна пшеницы, ячменя, кукурузы.

Выявлены основные закономерности изменения технологических параметров в зависимости от влажности исходного зерна.

Разработана математическая модель, описывающая из микронизированного зерна.

Новизна технического решения подтверждена положительным решением на выдачу патента по заявке № 2013125843 «Линия микронизации зерна» от 04.06.2013.

Практическая ценность. Определены рациональные параметры процесса микронизации зерновых культур в микронизаторе.

Разработаны четыре технологии производства комбикормов из микронизированного зерна для кормления сельскохозяйственных животных, обеспечивающие производство ячменя увлажненного микронизированного; производство хлопьев из ячменя увлажненного микронизированного; производство кукурузы, пшеницы увлажненных микронизированных; производство хлопьев из кукурузы, пшеницы увлажненных микронизированных.

Разработана рабочая документация, изготовлен и испытан комплект оборудования производительностью 2 т/ч в составе: магнитный сепаратор, бункер-дозатор, микронизатор, плющильная машина, горизонтальный охладитель.

Апробация работы. Основные положения диссертационной работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях: (Воронеж, 2013), (Москва, 2014). Результаты работы демонстрировались на выставках и были награждены дипломами: 17-я агропромышленная выставка ВоронежАгро (14-16.11.2012 г., Воронеж), 7-я Агропромышленная выставка АГРОСЕЗОН – 2013 современная техника и технологии (13-15.03.2013 г., Воронеж), девятнадцатой международной специализированной торгово-промышленной выставки «Зерно-комбикорма-ветеринария» (04-07.02.2014, г. Москва).

Работа выполнялась на кафедре технологии хранения и переработке

зерна (ТХПЗ) ФГБОУВПО «Воронежский государственный университет инженерных технологий» и в ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности». Хотелось бы выразить искреннюю благодарность научному руководителю доктору технических наук, профессору Афанасьеву Валерию Андреевичу за оказанную помощь и консультации при выполнении диссертационной работы.

Глава 1. СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ, ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

1.1. Характеристика видового состава микрофлоры зерна

Зерновое сырье в той или иной степени загрязнено бактериями и поражено микроскопическими грибами, среди которых идентифицируются патогенные и токсигенные формы [66, 19]. Пути попадания микрофлоры в зерно разнообразны. Микроорганизмы появляются на поверхности растений в период их вегетации, уборки и в процессе хранения. Они попадают из окружающей среды вместе с пылевидными частицами, атмосферными осадками, насекомыми, птицами, животными и др [88, 92].

Видовой состав микрофлоры зерна тесно связан с типом почвы и зоной произрастания. Так, например, грибы р. *Mucor* тяготеют к почвам, богатым свежими растительными осадками и более распространены в почвах северной зоны, а грибы р. *Rhizopus* чаще встречаются в южных районах. В процессе обмолота зерно контаминируется спорами бактерий и грибов. Удельный вес грибов р. *Penicillium* в южной зоне уменьшается и увеличивается значение грибов р. *Aspergillus*. При обмолоте происходит механическое повреждение оболочек отдельных зерен, что открывает доступ микроорганизмам к питательным веществам зерна. Хранение зерна с поврежденными оболочками приводит к значительному развитию микроорганизмов, особенно интенсивное при температуре 25-30 °С и влажности 17-20 %. При этих условиях развиваются виды грибов *Aspergillus* и *Penicillium*. Основная часть микрофлоры сосредоточена на поверхности зерна, при его переработке микробы и грибы с оболочек частично переходят в продукт. При наличии легко доступной и богатой питательными веществами пищи и соответствующих условий численность токсигенных грибов и патогенных бактерий в зерне в случаях появления зараженности увеличивается очень быстро. И здесь важную роль играет способ обработки зерна, который должен обеспечивать снижение количества токсинообразующих грибов до безопасного уровня.

Литературные источники свидетельствуют о том, что систематический санитарный контроль зерна выявляют их постоянное заражение плесневыми грибами, бактериями, дрожжами. Видовой состав микрофлоры свежесобранного зерна представлен преимущественно бактериями и незначительным количеством грибов. Влажность зерна 13-14 % является нижним пределом, при котором начинают развиваться некоторые виды грибов рода *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*. Зерно с повышенной влажностью при хранении подвергается самосогреванию. Это происходит чаще всего температура окружающего воздуха повышается. Однако самосогревание может происходить и в другие времена года при наличии соответствующей температуры и влажности, благоприятствующих росту и развитию грибов [99, 47, 18].

При переработке зерна микробы и микромицеты его оболочек частично переходят в продукт переработки, который гораздо быстрее подвергается порче в связи с большой доступностью питательных веществ воздействию микроорганизмов и влаги. Развитие микрофлоры в продуктах разрушает их белки, жиры, углеводы и приводит к накоплению продуктов распада, изменяющих цвет, запах и вкус продукта.

П.А. Тарабрин, изучая микрофлору овса, ячменя, пшеницы установил высокую степень инфицирования кормов грибами рода *Penicillium* (40,7-75,5 %). Встречаются в значительном количестве *Aspergillus*, *Alternaria* и небольшом количестве *Mucor*. Из 263 проверенных штаммов различных грибов 112 или 42,6 % оказались токсичными [85].

Т.Т. Кузнецова и Л.Г. Сафонова исследовали 111 проб различных кормов (зернофураж, отруби, жмыхи, шроты, мясокостная и рыбная мука, кормовые дрожжи) и определили уровень колебаний степени загрязненности микромицетами, который составил от $2 \cdot 10^2$ до $7,8 \cdot 10^4$ КОЕ/г. Токсические грибы в исследованных пробах составили 0,5-16 % [41].

Зерно, ввиду сезонности его заготовки, следует хранить с соблюдением всех технологических норм и правил, чтобы не допускать развития микрофлоры. Необходимо предотвращать загрязнение зерна плесневыми грибами. Самое опасное

для загрязнения время – это послеуборочное, когда влажность зерна высока. Интенсивное развитие грибов в зерне приводит к потере веса зерна, снижению содержания общих и связанных аминокислот.

Одним из серьезных факторов на ухудшение качества зернового сырья, является поражение его насекомыми-вредителями. Они представляют огромную опасность для сельского хозяйства всех стран мира. По оценкам ученых РАСХН, Россия ежегодно теряет от повреждения насекомыми-вредителями более 5 млн. тонн собранного урожая зерна в период хранения.

При хранении зернового сырья на заготовительных пунктах и реализационных базах следует проводить систематическую борьбу с вредителями, применяя весь комплекс санитарно-гигиенических, физико-механических и химических мер.

Заражение вредителями зернового сырья может произойти до ее размещения в хранилище (на поле, натоку, при перевозке) и в процессе хранения. Поэтому успех борьбы зависит прежде всего от планового и систематического осуществления предупредительных мероприятий, препятствующих проникновению вредителей в зерновую массу. Как предупредительные, так и истребительные меры следует применять с учетом биологических особенностей вредителей различных видов [91, 44, 94].

Ослабление борьбы с ними или применение какой-либо одной меры в ущерб другим неизбежно приводит к интенсивному развитию клещей долгоносиков, мукоедов и других видов вредителей-насекомых, к появлению грызунов. Это крайне осложняет условия хранения и создает излишнюю напряженность в обеспечении сохранности зерна.

По мнению М.М. Ганиева и В.Л. Недорезкова насекомые-вредители сокращают вес зерновых запасов, загрязняют продукты экскрементами, трупами, понижают всхожесть. Глобальное развитие вредителей становится причиной увеличения влажности зерновых, быстрого слеживания и самосогревания. Если своевременно не принимать меры безопасности при хранении, качество зерновых поврежденных вредителями может ухудшиться, и следовательно, зерновые станут

непригодными и вредными для применения в производственных или фуражных целях [9].

Большая группа вредителей зерновых запасов принадлежит к классу насекомых. В отряде жуков существуют два наиболее опасных вредителей зерна амбарного и рисового долгоносиков. Значительное распространение имеют также рыжий и суринамский мукоеды, которые могут питаться дроблеными и поврежденными зернами, притворяшка вор, гороховая зерновка и др.

Из отряда бабочек часто появляются в южных районах амбарная и зерновая моли, личинки (гусеницы) которых сильно вредят зерну, выедая его мучнистую часть.

Клоп-черепашка повреждает яровую и озимую пшеницу, ячмень и другие злаковые культуры. Зерна, поврежденные в разных стадиях спелости, изменяет не только внешний вид, но и внутреннее строение.

Амбарные долгоносики могут нанести очень большой вред хранящимся зерновым запасам, так как самка откладывает яйца в мучнистую часть зерен, прогрызая для этого их оболочку. Личинка питается эндоспермом зерна, жуки также поедают его. Кроме того, зерновые насыпи загрязняются экскрементами вредителей, шкурками, трупами. Выедая зародыш, долгоносики портят семенное зерно, понижают его всхожесть. Отмечено немало случаев, когда долгоносики уничтожали значительную часть содержимого тех зерен, в которые самками были отложены яйца.

Исследователи отмечают, что жуки живут главным образом в верхних слоях насыпей пшеницы, ржи, ячменя и риса, реже они повреждают овес гречиху.

Притворяшка вор назван так потому, что при стуке или шуме притворяется мертвым, избегает света. Распространен во всех регионах страны.

Бабочки амбарной моли и зерновой моли прямого вреда зерну не причиняют, так как имеют ротовые органы сосущего типа. Зерно повреждают, грызут и поедают личинки гусениц этих бабочек, развивающиеся из яиц. Кроме того, бабочки, как и другие вредители-насекомые, загрязняют зерновые насыпи экскрементами, шкурками, коконами, трупами [49, 82].

1.2. Применение генераторов ИК-излучения для микронизации зерна

В последние десятилетия большое значение уделяется изучению и внедрению в комбикормовой промышленности различных методов тепловой обработки зерна, как одному из путей повышения эффективности его использования [11]. Тепловая обработка зерна считается одним из эффективных приемов в технологическом процессе при производстве комбикормов, позволяющим решить следующие задачи: улучшить поедаемость и вкусовые качества кормов, увеличить питательную ценность кормов с помощью расщепления труднопереваримых веществ, снизить внутренние энергозатраты организма животного на переваримость кормов, увеличить усвоение корма животными и коэффициент использования, снизить прочностные свойства зерновых, что позволит уменьшить расход энергии на измельчение корма при поедании, улучшить водопоглонительную способность корма и т. д.

Среди способов тепловой обработки зерна процесс микронизации принадлежит к числу наиболее эффективных (табл. 1.1) [8, 69, 76, 90].

Таблица 1.1

Влияние способа обработки зерна кукурузы на декстринизацию крахмала

Обработка	Желатинизация, %
Измельчение	75
Холодное экструдирование:	
1-й проход	254
2-й проход	310
Гранулирование с пропариванием	384
Гранулирование с пропариванием с повторным сухим гранулированием	447
Плющение с паром	570
Экструдирование	586
Микронизация	603

При микронизации зерно подвергается интенсивному облучению падающего потока инфракрасных (ИК) лучей с длиной волны 2-6 мкм в течение 40-180 с. Проникая в материал, ИК-лучи возбуждают колебания молекул с частотой $(70-120) \times 10^6$ мГц, благодаря чему происходит быстрый внутренний нагрев зерна до температуры 90-170 °С и резкое повышение давления пара воды в нем. Зерно размягчается и вспучивается. После этого зерно плющится, при этом происходит

изменение физических и биохимических свойства зерна в основном за счет разрушения крахмальных гранул, денатурации белка, снижения активности антипитательных веществ, улучшения санитарного состояния, что способствует повышению его доступности в пищевом тракте животных.

Физическая природа инфракрасного нагрева состоит в облучении электромагнитными волнами очень высокой частоты и большой интенсивности какого-либо вида зерна с целью его быстрого нагрева. В таком процессе в идеале отсутствует как теплоноситель и связанный с ним конвективный теплообмен, так и прямой контакт греющей поверхности с продуктом, т. е. отсутствует и кондуктивный теплообмен.

Облучаемый продукт (зерно), как и все окружающие материалы, имеет молекулярную структуру. Как установлено экспериментально при большом разнообразии молекулярных структур полоса резонансного поглощения электромагнитного излучения разных видов зерна, лежит в интервале $(70-120) \times 10^6$ мГц. Диапазон инфракрасных волн [23] согласно табл. 1.2 лежит в интервале $(0,3-400) \times 10^6$ мГц.

Таблица 1.2

Классификация электромагнитного излучения

Область	Частота, Гц	Длина волны, м	Энергия кванта, эВ
Низкие частоты (НЧ)	50-400	$6 \cdot 10^6 - 7,5 \cdot 10^5$	$< 1,65 \cdot 10^{-12}$
Высокие частоты (ВЧ)	$400 - 3,0 \cdot 10^8$	$7,5 \cdot 10^5 - 1,0$	$1,65 \cdot 10^{-12} - 1,24 \cdot 10^{-6}$
Сверхвысокие частоты (СВЧ)	$3,0 \cdot 10^8 - 3,0 \cdot 10^{11}$	$1,0 - 10^{-3}$	$1,24 \cdot 10^{-6} - 1,24 \cdot 10^{-3}$
Инфракрасное излучение (ИК)	$3,0 \cdot 10^{11} - 4,0 \cdot 10^{14}$	$10^{-3} - 7,5 \cdot 10^{-7}$	$1,24 \cdot 10^{-3} - 1,65$
Видимый свет	$4,0 \cdot 10^{14} - 7,5 \cdot 10^{14}$	$7,5 \cdot 10^{-7} - 4,0 \cdot 10^{-7}$	$1,65 - 3,10$
Ультрафиолетовое излучение (УФ)	$7,5 \cdot 10^{14} - 3,0 \cdot 10^{16}$	$4,0 \cdot 10^{-7} - 10^{-8}$	$3,10 - 124$
Рентгеновское и гамма излучение	$> 3,0 \cdot 10^{16}$	$< 10^{-8}$	> 124

Таким образом, частота колебаний молекул зерна при облучении лежит в ИК-диапазоне длин волн и по частоте ближе к частотному диапазону видимого света.

Генераторы инфракрасных волн для облучения зерна, т. е. ИК-излучатели,

выбирают с диапазоном излучения близким к частотному диапазону видимого света. По характерному красному свечению излучателя можно на расстоянии определить его рабочее состояние.

В инфракрасном диапазоне по длине волны выделяют ближнюю (светлую) $0,7 < \lambda < 2,5$ мкм, среднюю $2,5 < \lambda < 25$ мкм и дальнюю части спектра.

Для термообработки зерна в настоящее время в промышленности нашли применение излучатели четырех видов:

- трубчатые электронагреватели (ТЭН);
- керамические электронагреватели (КЭН);
- кварцевые галогенные линейные ИК-излучатели;
- газовые горелки.

Двум последним группам излучателей, которые широко используются в современных конструкциях микронизаторов, следует дать сравнительную оценку.

Конструктивное разнообразие ИК-генераторов описано в [23, 14], классификация приведена в [42, 7].

ИК-излучатели обычно подразделяют на две группы – электрические ИК-излучатели и газовые ИК-излучатели.

Классификация электрических ИК-излучателей дана на рис 1.1, где А – технические черные тела; Б – образцовые нечерные излучатели с известными параметрами излучения; В – ИК-излучатели с открытым металлическим спиральным телом накала; Г – ИК-излучатели с открытым неметаллическим или металлическим телом накала (стержневым, трубчатым или плоским), Д – ИК-излучатели с телом накала в стеклянной оболочке, Е – ИК-излучатели с керамической или металлической излучающей оболочкой, Ж – дуговые газоразрядные лампы; З – дуговые лампы, И – иразеры (ИК-лазеры).

Классификация газовых ИК-излучателей дана на рис. 1.2, где А – газовые излучатели с открытым пламенем, Б – газовые излучатели с закрытым пламенем, В – газовые излучатели с частично экранированным пламенем, Г – газовые беспламенные излучатели с внутренним сгоранием, Д – газовые беспламенные излучатели с внешним сгоранием.

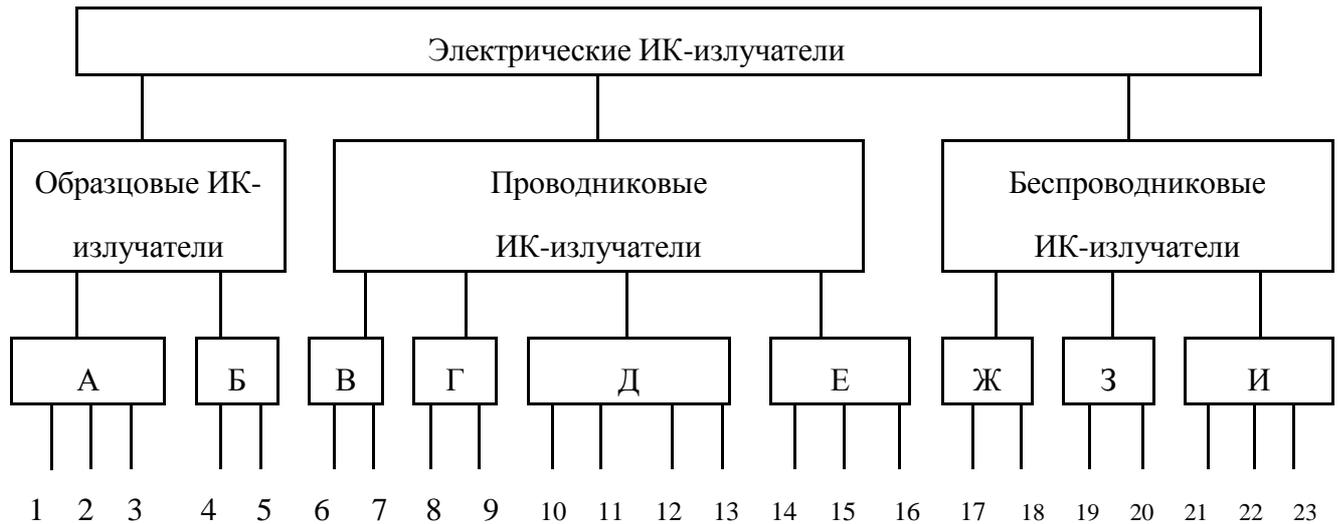


Рис. 1.1. Классификация электрических ИК-излучателей: 1- технические черные тела для работы в определенных диапазонах температур, 2 – технические черные тела для работы в постоянных температурных точках, 3 – многополосные тела, 4 – образцовые излучатели в виде термометрических ламп, 5 – другие образцовые излучатели, 6 – излучатели с односторонним вводом, 7 – излучатели с двухсторонним вводом, 8 – излучатели с неметаллическим телом накала, 9 – излучатели с металлическим телом накала, 10 – лампа накаливания, 11 – ламповые ИК-излучатели, 12 – трубчатые ИК-излучатели, 13 – плоские стеклянные излучатели, 14 – излучатели с керамической излучающей оболочкой, 15 – трубчатые излучатели с металлической излучающей оболочкой ТЭН, 16 – плоские и точечные излучатели с металлической излучающей оболочкой, 17 – дуговые газоразрядные лампы с инертным газом, 18 – дуговые газоразрядные лампы с парами металлов, 19 – дуговые лампы с угольными электродами, 20 – дуговые лампы с металлическими электродами, 21 – твердотельные иразеры, 22 – газовые иразеры, 23 – полупроводниковые иразеры

Согласно данных классификаций лампы КГ 220-1000, использованные в отечественном микронизаторе, относятся к электрическим беспроводниковым ИК-излучателям группы «Ж» и подгруппы «18», т. е. к группе «дуговые газоразрядные лампы» и подгруппе «дуговые газоразрядные лампы с парами металлов», а газовые ИК-излучатели, использованные в микронизаторе «МикроРед 20», относятся к газовым беспламенным ИК-излучателям группы «Г» и подгруппе «8», т. е. к группе «газовые излучатели с металлическим подогреваемым элементом» и подгруппе «беспламенные излучатели с пористой диафрагмой (низкотемпературные)».



Рис. 1.2. Классификация газовых ИК-излучателей: 1 – однопламенные газовые излучатели, 2 – многопламенные газовые излучатели, 3 – газовые излучатели с керамическим подогреваемым элементом, 4 – газовые излучатели с металлическим подогреваемым элементом, 5 – керосиновые излучатели с излучающими сетками, 6 – газовые излучатели с излучающими сетками, 7 – беспламенные излучатели с перфорированной диафрагмой (высокотемпературные), 8 – беспламенные излучатели с пористой диафрагмой (низкотемпературные), 9 – чашечные излучатели, 10 – макроканальные излучатели

На рис. 1.3 показано спектральное распределение излучения лампы типа КИ 220-1000 (КГ 220-1000), а на рис. 1.4 – газового ИК-излучателя с керамической накладкой.

За рубежом выпускают микронизаторы как с газовыми, так и с электрическими ИК-излучателями.

Принцип работы газового излучателя схематически показан на рис 1.5.

Газовоздушная смесь из инжектора 3 через распределительную камеру 1, где она смешивается с воздухом и подогревается, под давлением поступает в керамическую насадку 2, собранную из керамических плиток.

Горение смеси происходит в слое насадки небольшой толщины, в котором выделяется значительное количество теплоты и рабочая поверхность плиток очень быстро (примерно через 40-50 с) нагревается до 800-900 °С (1100-1170 К). Средняя длина волны излучения около 2 мкм.

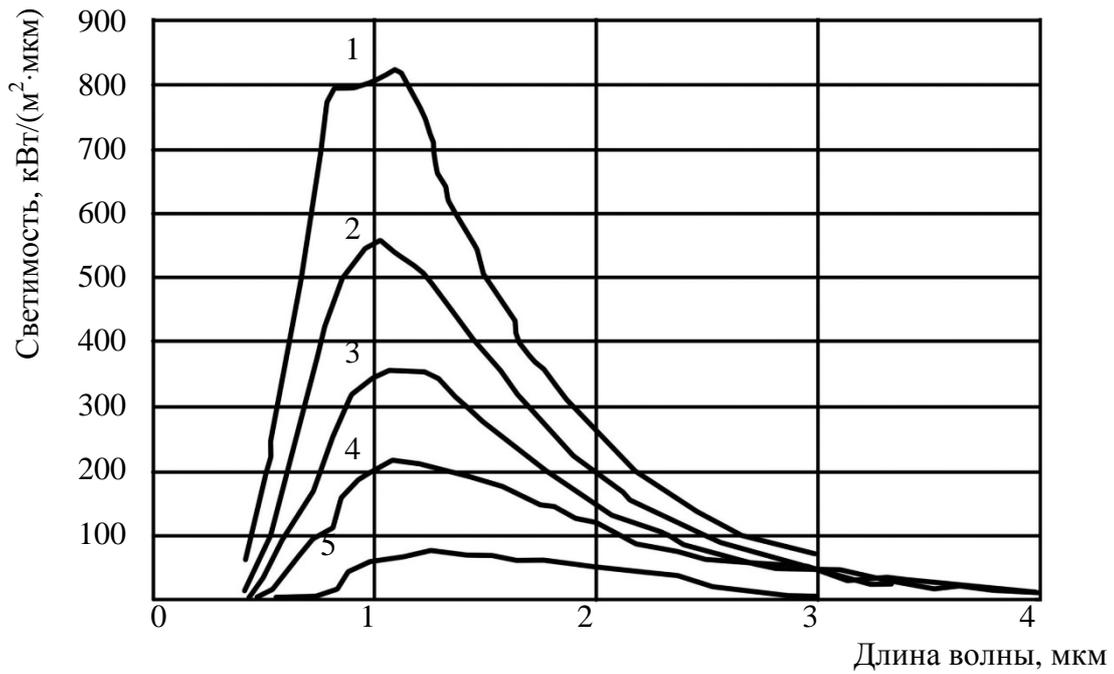


Рис. 1.3. Спектральная плотность энергетической светимости лампы типа КГТ-220-1000 при различных температурах: 1 – 2800 К; 2 – 2600 К; 3 – 2400 К; 4 – 2200 К; 5 – 2000 К

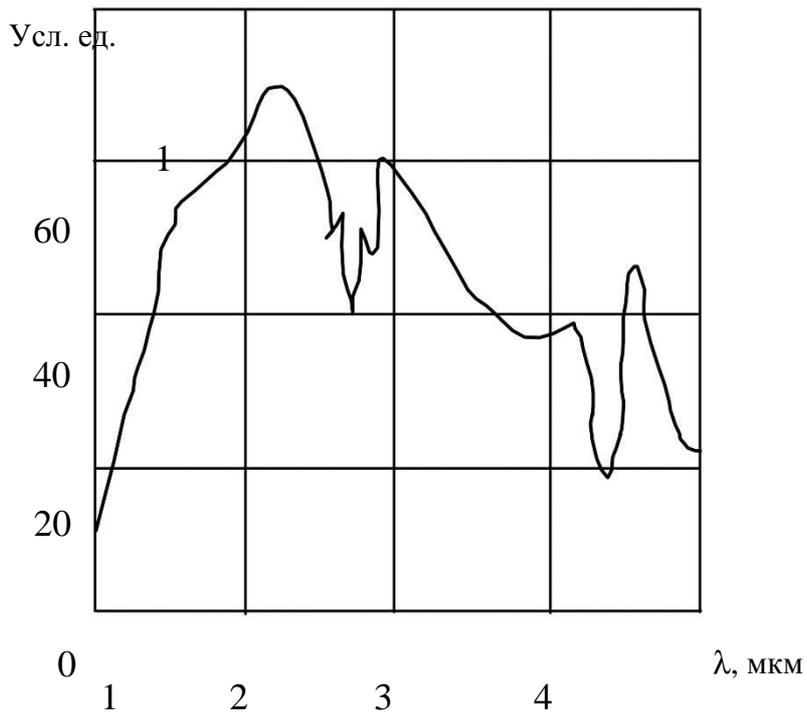


Рис. 1.4. Спектральное распределение излучения газового ИК-излучателя с керамической насадкой

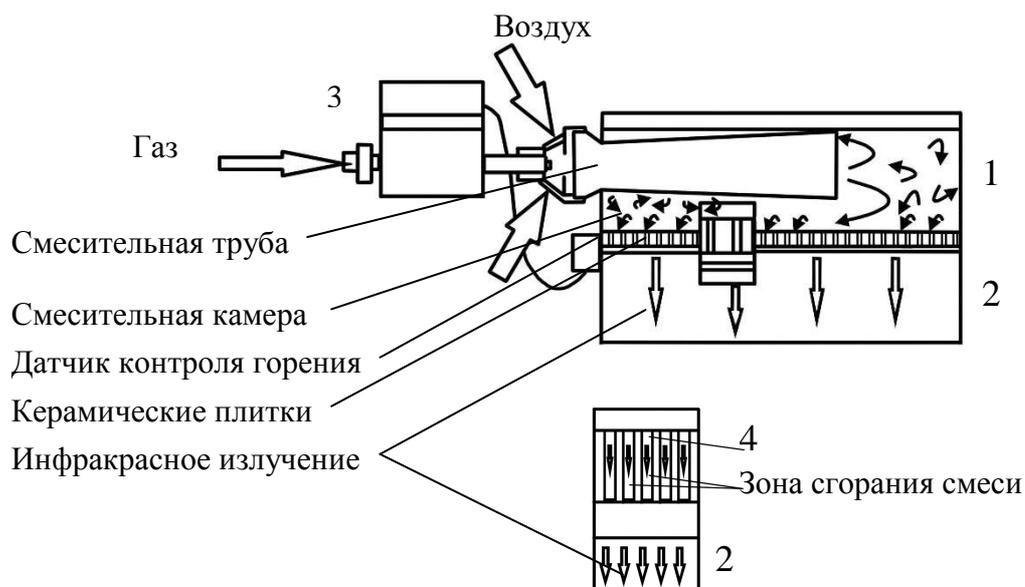


Рис. 1.5. Схема работы газового инфракрасного излучателя (ГИИ)

При этом соответственно происходит прогрев плиток по толщине, что способствует дополнительному прогреву газозвушной смеси, проходящей через каналы плиток, и препятствует отрыву факела. Проскок пламени в смеситель горелки предотвращается тем, что диаметр каналов плиток меньше критического, а малая теплопроводность пористых плиток способствует поддержанию температуры их внутренней поверхности на уровне ниже температуры воспламенения. При отсутствии газа, напряжения в сети или прерывания горения автоматически срабатывает газовый электромагнитный клапан. Все эти процессы происходят под управлением микропроцессорного блока розжига и контроля горения. Основные технические характеристики ГИИ (ЗАО «Сибшванк», г. Тюмень) даны в таблице 1.3.

Лучистый КПД теоретически может достигать 70 % (производители заявляют от 35 до 60 %), а плотность теплового потока – 30 кВт/м^2 .

Основным преимуществом газовых ИК-излучателей перед электрическими является то, что стоимость 1 ккал. тепла, полученного от газовых излучателей, в 10-15 раз ниже стоимости тепла от электрических излучателей [89].

Недостатками являются: сложность, многоступенчатость регулирования подачи газа к ИК-излучателям, необходимость наличия природного газа или хранилищ для газа; сложность очистки и подачи воздуха для смешивания его с газом;

взрывоопасность самого газа и в связи с этим необходимость в сложных контролируемых приборах и т. д.

Таблица 1.3

Основные технические характеристики ГИИ

Наименование параметра	ГИИ 5	ГИИ 10	ГИИ 15	ГИИ 20	ГИИ 31
Номер модели излучателя	2102	2104	2106	2108	2612,3
Номинальная мощность (кВт)	5	10	15	20	31
Потребляемый газ	природный или сжиженный				
Максимальное присоединительное давление газа, Па	10000				
Расход газа при номинальной тепловой мощности:					
- для природного газа, м ³ /ч	0,5	1,0	1,5	2,0	3,11
- для сжиженного газа, кг/ч	0,39	0,78	1,17	1,56	2,4
Температура излучающей поверхности, °С	800-1000	800-1000	800-1000	800-1000	800-1000
Содержание окислов азота в сухих неразбавленных продуктах сгорания при коэффициенте избытка воздуха, равном 1 мг/м ³ , не более	40				
Содержание окиси углерода в сухих неразбавленных продуктах сгорания при коэффициенте избытка воздуха, равном 1 мг/м ³ , не более	250				
Электрическое питание, В, Гц, ВА	220, 50, 30				
Масса, кг	8	12	16	21	36
Габаритные размеры, мм					
- длина	506	874	1242	1610	1386
- ширина	316	316	316	316	528
- высота	285	285	285	285	550

Преимуществом электрических ИК-излучателей является простота их конструкции, дешевизна, возможность использования на любом комбикормовом заводе и хозяйстве при наличии электроэнергии, отсутствие сложного оборудования для управления и т. д. Основным недостатком электрических ИК-излучателей является большой расход электроэнергии – на производство 2-х тонн микронизированного зерна затрачивается около 180-210 кВт.

В табл. 1.4 даны основные характеристики наиболее распространенных источников ИК-излучения.

Основные характеристики наиболее распространенных источников ИК-излучения

Наименование характеристики	Значение характеристики для						
	зеркальных ламп накаливания	кварцевых иодных ламп	кварцевых излучателей с нихромовой спиралью	трубчатых электронагревателей	панельных излучателей	керамических перфорированных	отражательного типа
Температура, °С	1650-2200	1650-2200	760-980	540-760	200-590	760-920	760-1200
$\lambda_{\text{макс}}$, мкм	1,5-1,15	1,5-1,15	2,8-2,6	3,6-2,8	6,0-3,2	2,8-2,5	2,8-2,2
Отдача энергии, %							
излучением	65-80	72-86	55-45	53-45	50-20	46-50	36-40
конвекцией	35-20	28-14	45-55	47-55	50-80	54-50	64-60
Размер, мм	125	9,5	9,5-16	9,5-16	-	76×560	76×305
	(диаметр)	(диаметр)	(диаметр)	(диаметр)		127×560	
	185 (длина)						
Цвет	Ярко-белый	Ярко-белый	Вишнево-красный	Тускло-красный	Темный	Темно-красный	Ярко-красный
Устойчивость против удара:							
механического	Плохая	Хорошая	Хорошая	Превосходная	Разная	Превосходная	Плохая
термического	Плохая	Превосходная	Превосходная	Превосходная	Хорошая	Превосходная	Превосходная
Время нагрева	Секунды	Секунды	Минуты	Минуты	Десятки минут	До 60 % за 1 мин	До 60 % за 3 мин
Время охлаждения	Секунды	Секунды	Секунды	Минуты	Десятки минут	До 18 % за 1 мин	До 18 % за 7 мин

Из табл. 1.4 видно, что кварцевые йодные лампы (КГ 220-1000) нагреваются до температуры 1650 – 2200 °С.

Поэтому в процессе работы они перегревают друг друга, взрываются и засоряют зерновое сырье осколками стекла.

При этом $\lambda_{\text{макс}}$ у данных ламп 1,5-1,25 мкм, что малоэффективно при микронизации зернового сырья.

Наиболее стабильные характеристики у кварцевых излучателей с нихромовой спиралью: температура нагрева 700 – 980 °С, $\lambda_{\text{макс}}$ 2,8 - 2,6 мкм.

Эти ИК-излучатели представляют собой спираль из нихромовой проволоки, помещенную в кварцевую трубку, предохраняющую накалившуюся проволоку от охлаждения конвекционными потоками воздуха. Спираль работает в воздухе при нормальном давлении и нагревается до 1350 °С [42].

Излучатели такого типа выпускаются рядом зарубежных фирм, например, в Германии фирмой «Херасуг Кварцшмельце», мощностью от 500 до 7500 Вт, с диаметром кварцевой трубки около 20 мм. Для удешевления излучателей кварцевое стекло заменяется термостойким стеклом «Ротосил». В некоторых типах таких излучателей внутреннюю полость спирали заполняют зернистой окисью алюминия. Подобные излучатели выпускаются в США, Нидерландах и других странах.

1.3. Обзор современных технологий и оборудования для микронизации зернового сырья в России и за рубежом

Микронизация зернового сырья по данным английской фирмы "Микронайзинг", являющейся одним из основных изготовителей технологического оборудования для этого способа обработки, микронизация приводит к увеличению привесов живой массы животных до 30 %, с одновременным снижением расходов корма до 20 % при откорме поросят комбикормами с микронизированным зерном.

Изучая микронизацию с дальнейшим плющением ячменя Л.Ф. Тучков (1989) установил, что при микронизации в ячмене происходило снижение содержания крахмала с 59,6 до 52,3 % от сухого вещества, вместе с тем, содержание сахара возросло в 1,2 раза, и декстринов в 3,7 раза. переваримость сухого вещества, определенная методом *in vitro* возросла с 72,0 до 77,4 %, а методом *in situ*, с 69,6 до 72,0 %.

В переваримости протеина наблюдается обратная зависимость, т.е. она была ниже для микронизированного зерна. Так переваримость протеина, определенная методом *in vitro* ячменя после его микронизации снизилась с 86,3 до 83,2%, а *in situ* 64,0 до 62,2 %. Эти данные свидетельствуют о том, что при микронизации зерна, благодаря частичной денатурации белка, происходит его "защита" от растворимости и распада протеина в рубце. Это положение особенно важно в кормлении высокопродуктивных коров, так как при этом возрастает эффективность использования азота в их организме.

Изучая воздействия микронизации на химический состав зерна Л.А. Складов (1984), установил, что происходит сокращение содержания крахмала с 51,8 до 49,5 %, повышение количества гексоз с 3,71 до 4,12 %, декстринов с 1,63 до 5,54 %. Происходит также уменьшение соле- и водорастворимых фракций белка с 33,3 до 21,2 % к сырому протеину.

По данным Ф.А. Струтинского (1984), на изменения химического состава при микронизации зерна влияет продолжительная обработка и исходная влажность зерна. При длительной обработке зерна до влажности 10 % с 0 до 50, 70 и 90 с степень клейстеризации увеличивалась с 33 до 40 % 45 и 63 %, растворимость крахмала с 12,2 до 32,1 % 45,5 и 62,7 %, декстринизация крахмала с 16,6 до 33,3; 37,0 и 58,3 %, а при длительной обработке до влажности 22 % показатели увеличились и составили: степень клейстеризации - 33,33; 50 и 64 % растворимость крахмала - 25,9, 36,8, 45,5 и 67,6 декстринизация крахмала - 17,4; 23,3; 48,3 и 74,3 %.

Результаты опытов И.Я. Калниньш, (1983) выявили, что предназначенное для термической обработки зерно должно иметь влажность в пределах 12-14 % и

быть жизнеспособным, так как высушенное в высокотемпературном режиме оно не поддается эффекту взрыва. В термически обработанном зерне наблюдалось некоторое изменение сырого протеина, клетчатки, сырого жира и БЭВ. При повышении содержания общего протеина и жира происходит уменьшение относительной влажности зерна на 5-6 %, а возрастание сахара (примерно на 30 %), в следствии гидролиза крахмала. Незначительное изменение содержания клетчатки происходит в связи с частичным обугливанием отдельных зерен. Микробиологические исследования показали, что при термической обработке проб количественное содержание гнилостных бактерий и плесневых грибов на зерне уменьшилось в 600-800 раз.

Зоотехническая оценка микронизированного зерна показала (Н.В.Брагинец, 1989), что откорм поросят ячменем в течение 30 дней по сравнению с контрольной группой, получавшей ячмень, неподвергавшийся микронизации, повышает прирост в среднем на 13-15 %. Годовой экономический эффект на свиноферме на 24 тыс. гол. со ставит 100 тыс. руб., или позволяет экономить 172 т комбикорма.

По данным М.Розенберге, (1988) использование микронизированного зерна и комбикорма из него в подкормке поросят-сосунов позволило получить поросят при отъеме с живой массой на 3,6-16,4 % больше, чем у поросят контрольной группы. После отъема поросята лучше усваивали концентрированные корма и продолжали интенсивнее расти. Их среднесуточные привесы в послеотъемный период за 30 дней были на 7-7,2 % больше, чем у поросят контрольных групп. В денежном выражении это составляет от 2,08 до 6,8 руб. на одного Поросенка-сосуна при отъеме. Подкормка поросят-сосунов микронизированным зерном лишь в хозяйствах Тукумского района обеспечивает годовой экономический эффект 60 тыс. руб.

В опытах, проведенных У.Э. Раманис (1981), на животных и химическими исследованиями установлено, что в муке ячменя, облученного ИК-лучами, изменяется химический состав. Повышается количество сухого вещества сырого протеина. Коэффициенты переваримости важнейших питательных веществ практи-

чески не изменялись. При подкормке мукой из облученного ячменя пороссятам в возрасте до 2 месяцев среднесуточный привес увеличился на 16,4 % в первом опыте и на 15,3 % - во втором опыте. Расход кормов на 1 кг прироста понизился соответственно на 7,5 - 11,0 %. Аналогичные результаты получены в исследованиях Н. Брагинец, В. Рабштына, 1990, В. Беркич, И. Божович, Д. Полич, 1987.

Увеличение среднесуточного привеса поросят объясняется улучшением процесса усвояемости и переваримости микронизированного зерна с помощью повышения его рыхлости и пористости, что способствует лучшему и более активному воздействию исследуемого сока и ферментов пищеварительного тракта.

При испытании Ливерпульского университета (Великобритания, 1980) среднесуточные приросты свиней при кормлении кукурузой, обработанной инфракрасными лучами, увеличились на 10 %, ячменем на 7 %.

В исследованиях, проведенных французскими учеными (1987), у цыплят-бройлеров, получавших обработанный инфракрасными лучами соевый шрот, живая масса через 49 дней увеличилась до 2,26 против 2,08 кг.

В ФРГ группе форели с начальной живой массой особи 16-17 г скармливали смесь из рыбной муки и казеина (3:1), добавок и минеральных веществ, которую постепенно заменяют до 56 % микронизированной пшеницей с добавлением рыбьего жира. Через 80 суток живая масса особи достигла 60-80 г. При скармливании форели смеси с термообработанной пшеницей в теле рыбы накапливалось большее количество протеина, но не отмечалось повышенного отложения жира (1983).

В Великобритании установлено, что содержание энергии повышалось после высокотемпературной обработки (экструдирование, микронизация), но эффективность использования корма оставалась неизменной или понижалась (1987). Проведена оценка влияния различных температур микронизации на переваримость зерна пороссятами. Данные опытов убедительно свидетельствуют о том, что микронизация не улучшает питательной ценности пшеницы для свиней. Однако микронизация ячменя при температуре 175 °С в течение 40 с увеличивает содержание переваримой энергии на 3,8 %.

Опытами по эффективности использования зерна, обработанного методом микронизации, в составе комбикормов для поросят-сосунов и отъемышей, приведенных В.М. Голушко, Л.Н. Винник, (1990) установлено, что скармливание их не оказало заметного влияния на скорость их роста, хотя и прослеживается тенденция лучшего влияния на продуктивность животных, не выявлено существенных различий в коэффициентах переваримости протеина и клетчатки изучаемых комбикормов. Однако достоверно лучше переваривали животные, потреблявшие комбикорма с микронизированным зерном и жиром.

Большой объем исследований технологического процесса микронизации зернового сырья в течение двух десятков лет проведен во ВНИИКП [4, 5]. В представленных исследованиях охвачены все составные части технологического процесса, в стендовых и производственных условиях на отечественном и некоторых типах зарубежного оборудования, отработаны режимы получения всех основных видов микронизированных зернопродуктов, применяемых в составе рецепта комбикормов, а также кормовых рационов различных групп животных.

На рис. 1.6 представлена обобщенная технологическая схема линии микронизации зерна, включающая необходимый набор оборудования и структуру коммуникаций между отдельными машинами.

Схема на рис. 1.6 в развернутом виде позволяет реализовать на практике десять вариантов технологий и соответствующих им технологических схем. Состав оборудования технологических линий в зависимости от вида готовой продукции вместе с основными качественными показателями приведены в таблице 1.5.

Обобщенная технологическая схема линии микронизации зерна включает набор машин, объединенных по функциональному принципу в составе семи блоков: очистки сырья, шелушения (для ячменя, овса), увлажнения, кондиционирования, микронизации, плющения, охлаждения. Конкретные технологические схемы комплектуются подходящим набором машин с учетом не только технических характеристик, но и временных, ценовых и т. п. факторов и критериев.

С позиции системного анализа [5] обобщенная технологическая схема

представляет собой систему машин, входящих в группу специальных методов обработки зернового сырья. Согласно рис. 1.6, система состоит из семи подсистем. При этом подсистемы 3 и 4 охватывают все варианты гидротермической подготовки зерна, и структурно представляют собой систему с распределенными параметрами.

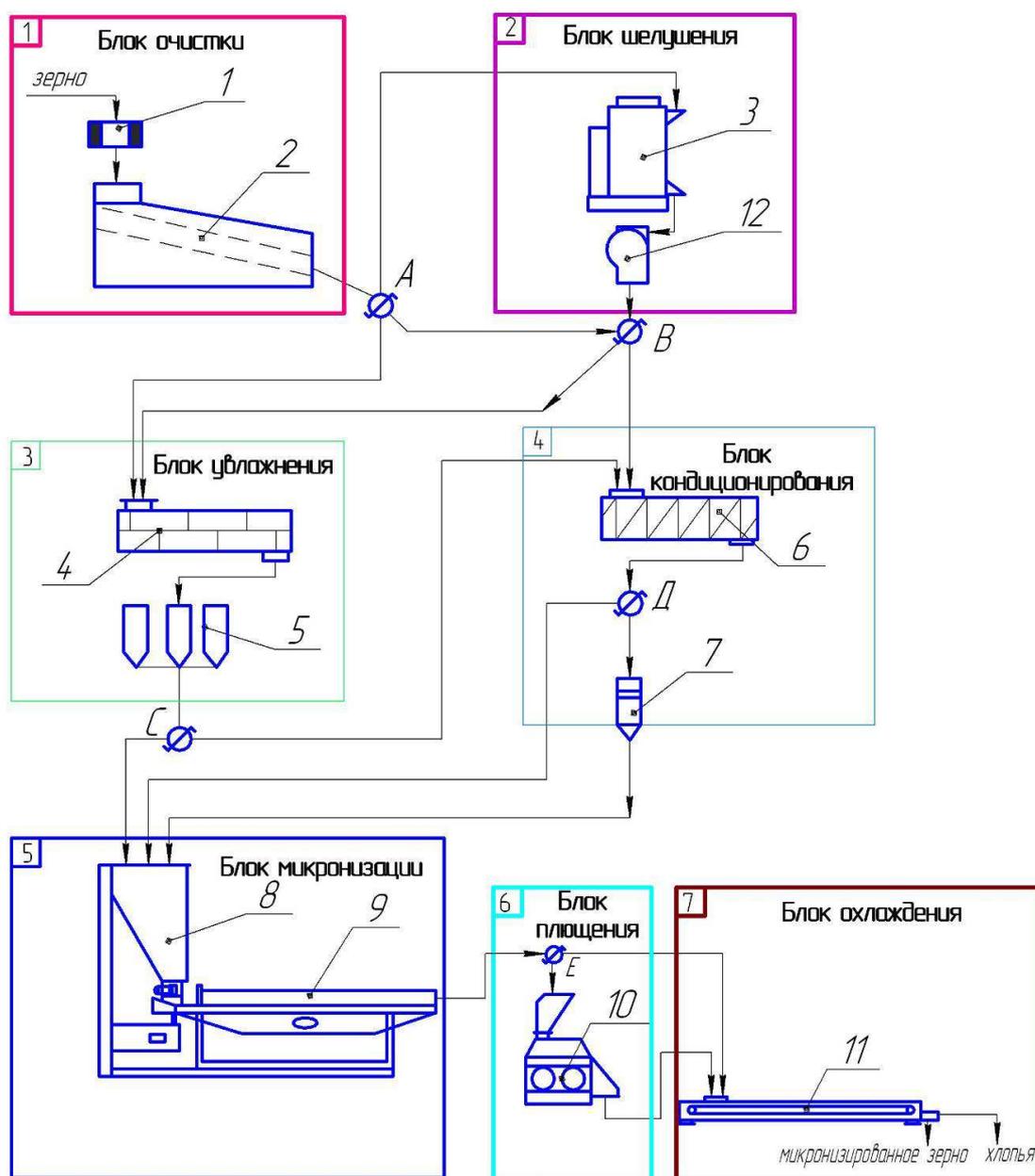


Рис. 1.6. Технологическая схема линии микронизации зерна: 1 – магнитный сепаратор; 2 – сепаратор решетный; 3 – шелушильно-шлифовальная машина; 4 – машина для увлажнения зерна; 5 – бункер для отволаживания; 6 – кондиционер-пропариватель; 7 – бункер-термостат; 8 – бункер-дозатор; 9 – микронизатор; 10 – плющильная машина; 11 – охладитель; 12 – аспиратор, А, В, С, Д – перекидной клапан

Современный уровень развития гидротермической обработки зерна позво-

ляет заменить подсистемы 3, 4 на подсистему с сосредоточенными параметрами, состоящую из одной машины – гидротермического реактора, что дает экономию на объемно-планировочных решениях и эксплуатационных затратах.

Подсистемы 5, 6, 7 также допускают объединение в одну подсистему, с соответствующим положительным экономическим эффектом, что реализовано в Великобритании в разработках ведущей фирмы – производителя оборудования для ИК-обработки «Micronizing Company (U. K.) Limited».

Конкретные схемы линий микронизации зерна характеризуются существенным разнообразием при соблюдении описанных выше закономерностей.

Например, схема (рис. 1.7) линии обработки зерна [22] на базе шелушителя и микронизатора производительностью 200-250 кг/ч с установленной мощностью 300 кВт обеспечивает повышение среднесуточных привесов при откорме поросят рационами с термообработанным зерном на 13-15 %.

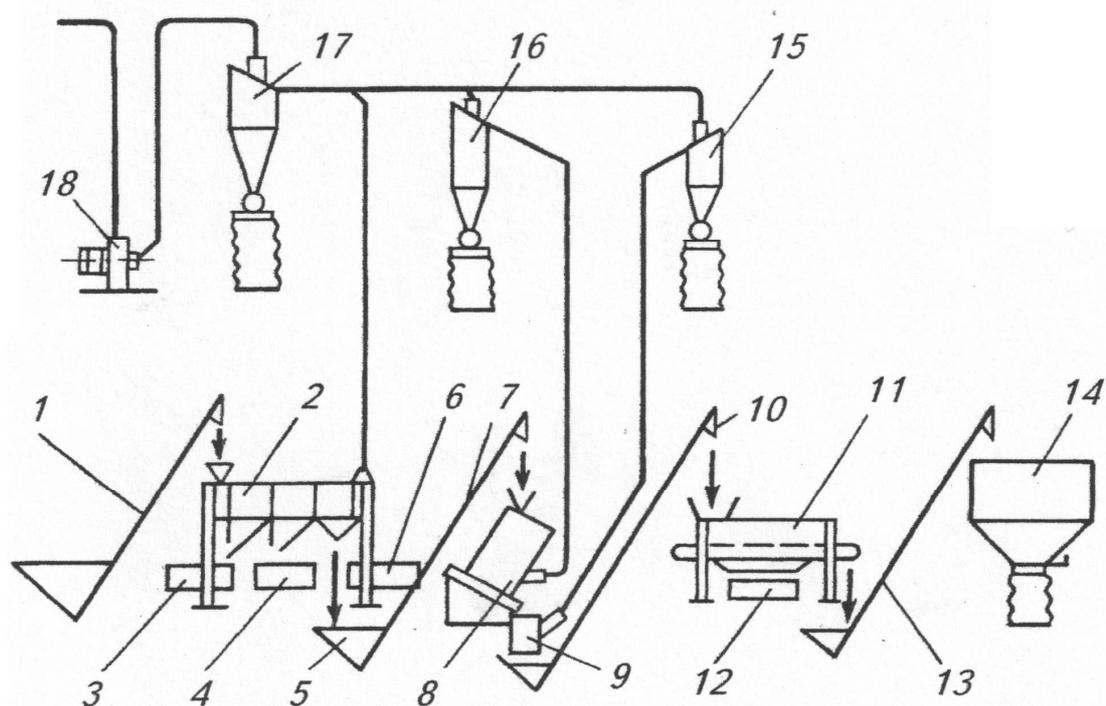


Рис. 1.7. Линия микронизации зерна: 1 – транспортер; 2 – барабанный сепаратор; 3 – емкость для мелкой примеси; 4 – емкость для мелкого зерна; 5 – бункер-накопитель очищенного зерна; 6 – емкость для крупных примесей; 7 – транспортер; 8 – шелушительная машина; 9 – пневмоклассификатор; 10 – транспортер; 11 – микронизатор; 12 – емкость для отсева; 13 – транспортер; 14 – бункер готовой продукции; 15 – циклон (контроль выноса зерна); 16 – циклон (контроль состояния перфорированного цилиндра); 17 – циклон (очистка воздуха); 18 – вентилятор

Технологическая схема линии микронизации зерна фирмы «Micronizing

Company (U. K.) Limited» приведена на рис. 1.8.

Схема по структуре и функциям соответствует подсистемам 5, 6, 7 на рис. 1.6, объединенным в единый комплекс.

Состав оборудования технологических линий

№ Техно- логии	Виды готовой продукции (компоненты комбикорма)	Варианты технологий											Показатели качества технологии	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	Степень декст- ринизации крахмала, %	Переваримость крахмала (in vitro), мг глюкозы на 1 г продукта
1	Ячмень увлажненный микронизированный	+	+	+	+	+	-	-	+	+	-	+	4,9	13,3
2	Хлопья из ячменя увлажненного	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	20,62	31,1
3	Хлопья из ячменя пропаренного, микронизированного	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	22,53	39,72
4	Ячмень пропаренный, микронизированный	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-	+	6,43	12,74
5	Кукуруза увлажненная, микронизированная	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	6,1	8,7
6	Пшеница увлажненная, микронизированная	+	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	5,2	15,5
7	Кукуруза пропаренная, Микронизированная	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	9,3	11,24
8	Пшеница пропаренная, микронизированная	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-	+	6,9	11,7
9	Хлопья из кукурузы увлажнен- ные, микронизированные	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	27,2	44,8
10	Хлопья из пшеницы пропарен- ные, микронизированные	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+	+	21,2	33,6

Вопросам совершенствования процесса инфракрасной обработки зерна, повышению его эффективности посвящены работы [21, 16, 17, 74, 93], которые вносят существенный научно-практический вклад в рамках сложившегося тренда.

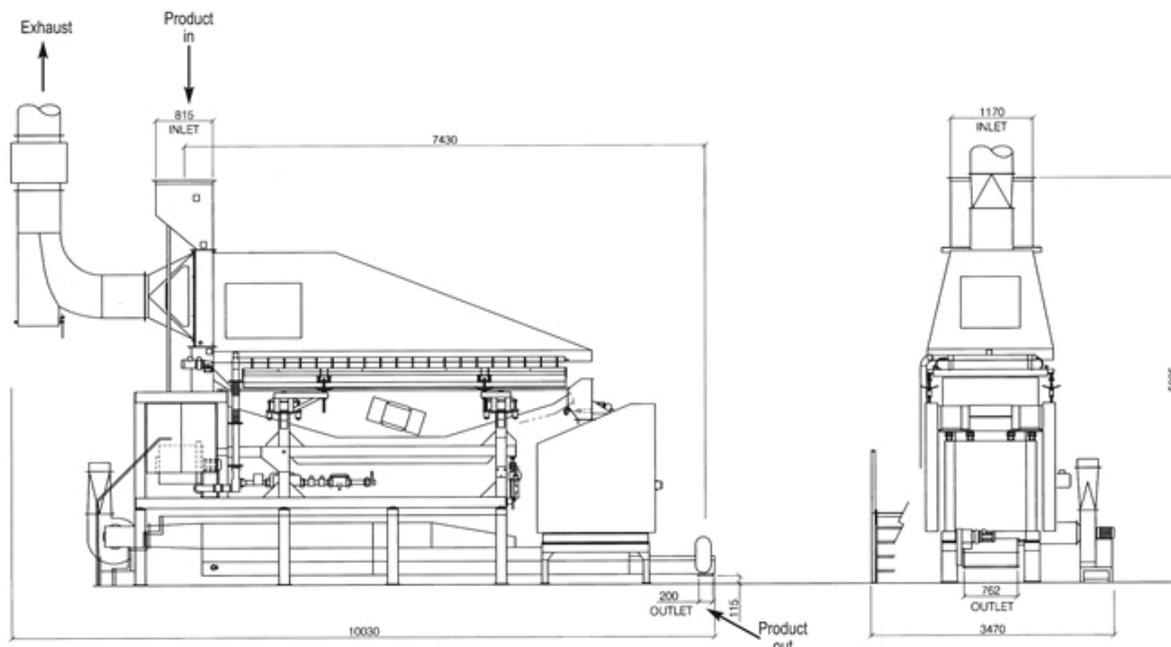


Рис. 1.8. Технологическая схема линии микронизации зерна фирмы «Micronizing Company (U. K.) Limited»

На основе работ, сложившейся в 70-80-х годах в Московском государственном университете пищевых производств научной школы [25], в значительной мере выросло понимание процесса ИК-нагрева в его конкретных реализациях, а также значительно расширилось его использование в технологических процессах производства пищевых продуктов и компонентов комбикормов. В частности, стало возможным создание промышленных установок для термообработки сыпучих продуктов на базе электрических линейных кварцевых галогеновых ИК-ламп. В настоящее время такие установки в России выпускает ряд фирм, в частности: ОПКТБ СибНИПТИЖ (Новосибирская область), ООО «Старт» (Московская область), Корпорация «Русская еда» (Ленинградская область) и другие.

В большинстве микронизаторов отечественного производства в качестве ИК-генераторов используются линейные электрические кварцевые галогеновые лампы (типа КГТ 220-1000), хотя в периодических изданиях и в рекламных

интернет-сайтах встречаются описания микронизаторов, где нагрев осуществляется ТЭНами или силовыми нагревателями. Транспортирование продукта в зоне обработки производится ленточным транспортером, чем они и отличаются от микронизаторов фирмы «Micronizing LTD» (Великобритания), которые работают на керамических излучателях, нагреваемых газом, и транспортируют продукт через зону обработки вибротранспортером.

Функциональная схема микронизатора отечественного производства на базе ленточного транспортера с поперечно расположенными линейчатыми излучателями дана на рис. 1.9.

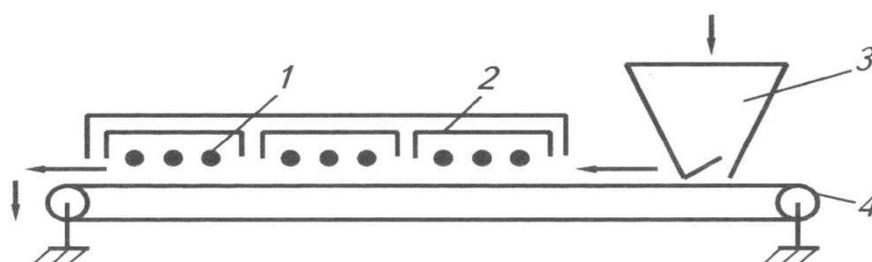


Рис. 1.9. Функциональная схема микронизатора на линейных излучателях с ленточным транспортером: 1 – излучатели; 2 – отражатели; 3 – бункер; 4 – ленточный транспортер

Микронизатор работает следующим образом: из загрузочного бункера 3 подается зерно монослоем на транспортирующее устройство 4, далее поступает в зону обработки под генераторы излучения 1, которые системой отражающих экранов 2 объединены в блоки. Время экспозиции регулируется в зависимости от вида обрабатываемого продукта и технологических задач, за счет увеличения или уменьшения скорости движения транспортерной ленты.

В микронизаторах с кварцевыми линейными излучателями производства ООО «Старт» [80, 56] их располагают вдоль или поперек транспортера.

Установка для термообработки зернового сырья (патент № 2264108 RU) выполнена по схеме с продольным расположением линейных излучателей (рис. 1.9). Она содержит теплоизолированную камеру, размещенный внутри нее контейнер для перемещения обрабатываемого сырья, нагревательный блок, включающий инфракрасные излучатели с отражательными экранами, расположенными над конвейерной лентой. Отличительной особенностью

установки является то, что индивидуальные экраны имеют параболическую отражательную поверхность, которая описывается уравнением параболы в каноническом виде $y^2 = 2px$, где y , x – текущие координаты, p – фокальный параметр параболы, каждый излучатель располагается в фокусной плоскости параболической поверхности индивидуального отражательного экрана, параболические поверхности каждого последующего и предыдущего отражательного экрана геометрически подобны, коэффициент геометрического подобия находится в диапазоне 1,1-1,3, соотношение между фокальными параметрами параболических поверхностей каждого последующего и предыдущего отражательных экранов составляет 1:5-1:4, а соотношение расстояния от фокуса до вершины параболической поверхности к ее фокальному параметру составляет 1:2-1:3, при этом установка снабжена теристорным блоком для регулирования спектрального состава и мощности инфракрасного излучения в соответствии с изменяющимися терморациационными характеристиками обрабатываемого материала.

Специальная форма отражателей и установка теристорного регулятора снижает энергозатраты и увеличивает производительность.

Примером конструкции с продольным расположением может служить установка модели УТЗ-4.

В этом случае ширина рабочей зоны не ограничена длиной лампы.

Установка ламп вдоль транспортера теоретически позволяет создать любую разумную ширину конвейера. Однако при таком расположении цоколи ламп находятся в рабочей зоне при повышенной температуре, что существенно снижает их ресурс. При попытке интенсифицировать процесс термообработки за счет плотности расположения ламп в зоне облучения требуется специальная защита ламп, как это сделано в установке ЗР-УОС.

Конструктивно ЗР-УОС подобен УТЗ-4, однако имеет дополнительный блок и систему охлаждения цоколей ИК-генераторов.

Схема с поперечным расположением кварцевых ламп типа КГ-220-1000 использована в моделях ВТМ-02 и МЗС-1, общий вид одной из которых дана на

рис. 1.10.

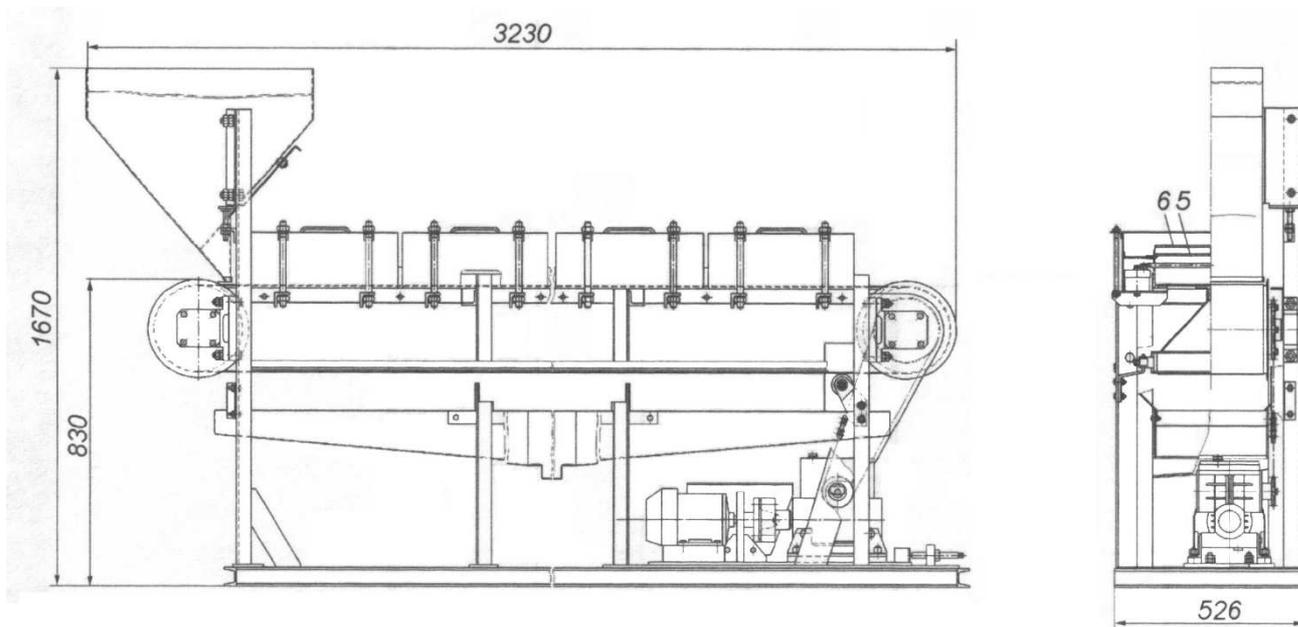


Рис. 1.10. Установка ВТМ-02

Основные технические характеристики предлагаемых потребителям и реально работающих в производстве отечественных микронизаторов приведены в табл. 1.6.

Совершенствование конструкции микронизаторов связано так же с расширением области применения и сочетания инфракрасного нагрева с обработкой электрическим, электромагнитным полями с различными диапазонами длин волн.

Известен миконизатор (Патент РФ № 2087107), содержащий рабочую камеру с приводным ленточным транспортером из бесконечной сетчатой ленты, над которым размещены излучатели, вибростол на пружинах с виброприводом, загрузочный и разгрузочный бункеры (рис. 1.11).

В области излучателей рабочая ветвь сетчатой гибкой ленты опирается на роликовые опоры, закрепленные на вибрирующем столе. В рабочей камере дополнительно могут быть установлены пылесборник, секции с источниками радиационного или ультрафиолетового, или лазерного, или электромагнитного излучения, или источники коронного или тлеющего разряда.

Дополнительно в рабочей камере могут быть установлены элементы дози-

рования и распыления микроэлементов или биологически-активных веществ.

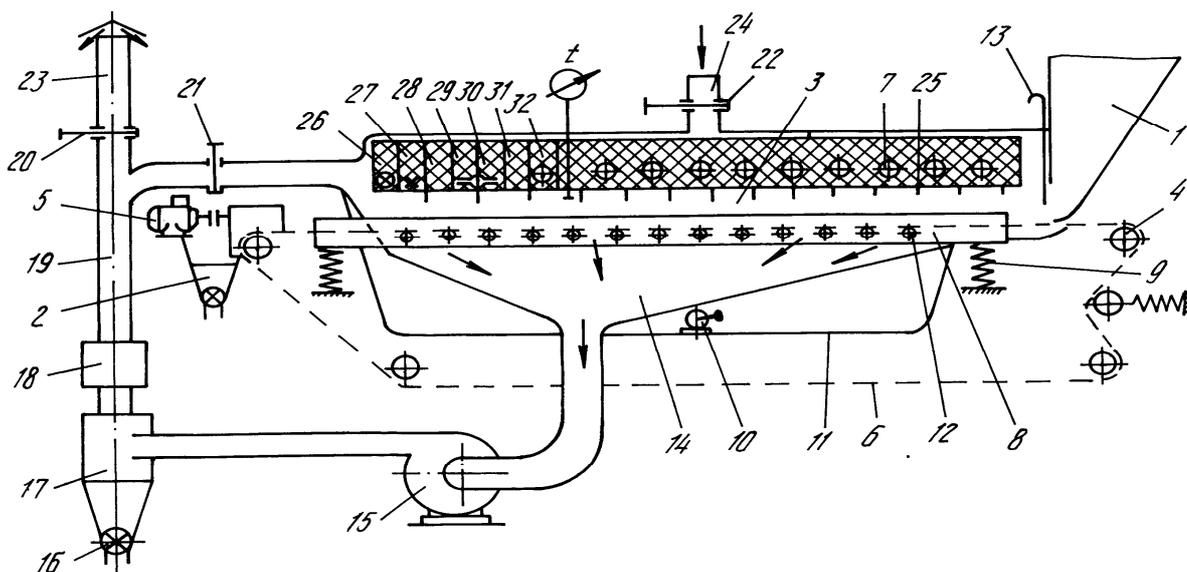


Рис. 1.11. Микронизатор: 1 – загрузочный бункер; 2 – разгрузочный бункер; 3 – рабочая камера; 4 – ленточный транспортер; 5 – привод; 6 – транспортер; 7 – инфракрасные излучатели; 8 – вибростол (рама); 9 – пружины; 10 – вибропривод; 11 – кронштейн; 12 – роликовые опоры; 13 – заслонка; 14 – пылеприемник; 15 – вентилятор; 16 – затвор; 17 – циклон; 18 – фильтр; 19 – трубопровод; 20, 21, 22 – регулирующие задвижки; 23 – труба для выхода отработанного воздуха; 24 – патрубок для подсоса воздуха из атмосферы; 25 – коронирующие иглы; 26, 27, 28, 29, 30 – регулировка контроля излучателя энергии; 31, 32 – форсунки

Обработка зерна на микронизаторе должна проводиться по технологии, в которой от свойства зерна, его загрязнения и требований по качеству должны быть указаны параметры работы микронизатора, а именно скорость перемещения ленты 6 с зерном, толщина слоя зерна, амплитуда колебаний вибрационной рамы 8, температура в рабочей камере, мощность излучателей и т.д.

После включения привода 5, выводят на необходимую скорость движения сетчатую гибкую ленту 6, включают источники инфракрасного излучения 7, выводя на заданный режим работы, и включают вибрационный привод 10.

Открывают заслонку 13 на заданную величину, и из бункера 1 зерно поступает на ленту 6. При движении ленты 6 над вибрационной рамой 8 благодаря роликам 12 она колеблется с заданной вибратором 10 частотой и амплитудой, образуя "кипящий" слой зерна.

"Кипящий" слой способствует всестороннему облучению зерна инфракрасными лучами излучателей 7. Время процесса микронизации задается скоро-

стью перемещения ленты б.

Таблица 1.6

Технические характеристики отечественных микронизаторов

Модель	Максимальная установленная мощность ИК-излучателей, кВт	Габариты, м	Длина и ширина рабочей зоны, м. S – площадь, м ²	Максимальная плотность установленной мощности излучателей, кВт, м ²	Высота ламп, мм	Шаг ламп, мм	Материал и форма отражателя	Расположение ламп относительно движения транспорта
УТЗ-4	24	2,80×1,03×1,28	1,20×0,65; S = 0,8	30	20-120	81	Шамотный кирпич, парабола	Продольное
ЗР-УОС	32	4,50×1,06×1,40	1,48×0,615; S = 0,91	35	55		Нерж. Сталь, полуцилиндр	Продольное
УМЗ-0,2	36	3,30×1,00×2,20	–	–	–	–	–	–
ВТМ-02	28	3,25×0,52×1,70	2,43×0,31; S = 0,75	37	45	65	Керамика - алюминий, плоские	Продольное

При выполнении микронизатора с устройством пылеподавления, образующаяся при работе пыль через отверстия в сетчатой гибкой ленте 6 вентилятором 15 просасывается и направляется в циклон 17, где осаждаются крупная фракция пыли. Тонкая очистка воздуха ведется фильтром 18. Очищенный воздух по трубопроводу 19 при закрытой задвижке 20 и открытой задвижке 21 направляется в рабочую камеру 3 для повторного использования. Отработанный воздух, проходя очистку от пыли, охлаждается.

Микронизатор может работать и при открытом цикле обеспыливания, когда свежий воздух подается через патрубок 24 при открытой задвижке 22, а отработанный воздух выдается через трубу 23 при открытой задвижке 20 и закрытой задвижке 21.

Для уничтожения микрофлоры может использоваться технология в обработке зерна в поле высокой напряженности. При прохождении зерна по рабочей камере 3 оно подвергается действию коронного разряда между коронирующими иглами 25 и сетчатой лентой 6 транспортирующего устройства.

Обработка зерна в электрическом поле коронного разряда при экспозиции 10 минут при напряженности поля 5 кВ/см^2 приводит к уничтожению плесневых грибов, при этом остаточная микрофлора составляет 0,01-1,00 % от исходной. Уничтожению микрофлоры способствует "кипящий" слой зерна.

Для уничтожения микрофлоры в зависимости от ее природы, степени поражения, требования к качеству, может быть использована технология с применением радиационного излучения установленной в камере секцией 26, ультрафиолетовым излучением 27, лазерного излучения 28, тлеющего разряда 29, электромагнитного излучения 30.

Отличительной особенностью при использовании микронизатора для обработки семенного зерна является облучающие секции, щадящий режим которых не угнетает прорастание зерна, при этом максимально уничтожается вредная флора. В рабочей камере устанавливаются дополнительные секции 31 и 32, которые после уничтожения вредной флоры вводят химические и биологиче-

ские активаторы для развития и роста растений.

Перечисленные выше технические решения реализованы в конструкциях микронизаторов производственной компании «Старт». Начав свою деятельность в 1998 году, компания «Старт» активно развивается, в настоящее время в ее номенклатуру оборудования дополнительно включены параметрический ряд ИК-сушилок с вибрационным транспортером: СВИК-50, СВИК-100, СВИК-150, СВМК-300. Новой разработкой является барабанная сушилка с ИК-энергоподводом, характеризующаяся пониженным энергопотреблением, равномерностью сушки по объему продукта. Возможно осуществлять разные технологические режимы сушки.

Установка для инфракрасной обработки зерна и зернопродуктов ВОЭ-401 [79] (см. рис. 1.12) производства Подольского (Московская обл.) электро-механического завода включает в себя ленточный конвейер с ламповыми ИК-генераторами. Отличается возможностью плавной регулировкой времени обработки и толщины слоя зерна.

Установленные габаритные размеры оборудования, мм: 3500×1000×1700

Потребляемая мощность, кВт: 24,5

Производительность, кг/ч: до 300

Задача экономии энергозатрат решается в патенте № 2333036 RU.

Способ обработки зерновых материалов производится в два этапа, который заключается в следующем, при нагреве материалов тепловой энергией и энергией электромагнитного поля СВЧ. На первом этапе обработки зерновой материал в течение 30 - 90 сек нагревают с помощью конвективного подвода теплоты до температуры 105 - 120 °С при повышении давления в камере до 0,15 - 0,20 МПа с целью исключения фазового превращения внутрикапиллярной влаги зерна. На втором этапе обработки зерно в течение 10 - 30 сек нагревают до температуры 120 - 180 °С, с помощью электромагнитного поля СВЧ с удельной мощностью не менее 5 кДж/кг при одновременным уменьшением давления

в СВЧ камере до 0,01 - 0,02 МПа.



Рис. 1.12. Установка для инфракрасной обработки (ИФ) зерна и зернопродуктов

Данный способ реализован в установке Микронизатор-2, разработанный тремя организациями – ВНИПТИМЭСХ, ФГУП Таганрогский НИИ связи и НПП ЗАО Магратеп. Заявленная производительность установки Микронизатор-2 400 кг/ч при удельном расходе электроэнергии 125 кВт·ч/т.

Таким образом, установки СВЧ энергоподвода имеют преимущество по удельному расходу электроэнергии, однако по производительности далеко отстают от потребностей комбикормовой промышленности.

В то же время опыт развития ИК-оборудования за рубежом показывает значительные резервы экономии затрат электроэнергии.

Техникой и технологией инфракрасной сушки активно занимаются в ближнем и дальнем зарубежье. В частности, на Украине – ООО НПК «БНД» (г. Днепропетровск), СПКБ «МеНас» (г. Киев), в Казахстане – ИЦ «Vibrowash» (г. Усть-Каменогорск), в Узбекистане – НПП «Keramik Sintez» (г. Ташкент).

В Беларуси в промышленных масштабах на установке фирмы «Micronizing Company (U. K.) Limited» началось производство микронизированного зерна для откорма молодняка КРС и поросят.

В работе [70] приведены результаты скармливания плющенного ячменя бычкам черно-пестрой породы в группах по 18 голов. В сравнении среднесуточные привесы от скармливания ячменя, обработанного на установках фирмы «Micronizing Company (U. K.) Limited» и микронизаторе, разработанного БелНИИМСХ составили соответственно 61 г и 84 г.

Печь непрерывного действия на ИК-излучателях барабанного типа (см. рис. 1.13) производится ВАЭМ, ОДО, г. Минск [60]. Печь предназначена для сушки и жарки зерна, семечек, орехов и т.п., и в процессе обработки экономит около 25 % электроэнергии.

Габаритные размеры, мм: от 4000 до 7000 мм × 1000 мм × 1700 мм

Подключение излучателей: 220 В / 380 В

Мощность нагрева: 40 кВт (30 кВт - поддерживающая мощность)

Производительность: до 200 кг/ч

Вращение печи: от 0,3-12 об/мин.



Рис. 1.13. Жарочно-сушильная печь ВАЭМ

В последние десятилетия на Западе явным лидером в производстве техники и технологии переработки сыпучих зернопродуктов с применением ИК-излучения является фирма «Micronizing Company (U. K.) Limited» (Великобритания) [78]. Основанная в 1971 г., фирма непрерывно расширяет границы про-

даж оборудования: в 2006 г. – в 22 страны, в 2011 г. – 46 стран по всему миру.

В установках для микронизации (рис. 1.14), завоевавших признание в мире в качестве тепловых генераторов, применяются газовые керамические ИК-излучатели. При этом количество газовых горелок на одной установке варьирует от 18 до 90 штук. Источником энергии является пропан – природный или сжиженный газ.



Рис. 1.14. Микронайзер марки MR-30

Перемещение продукта в рабочей зоне производится вибрационным транспортером (вибрационным столом) или ленточным транспортером (лента составлена из одинаковых прямоугольных плоских рамок, покрытых сеткой из нержавеющей стали). Вибрационные транспортеры обеспечивают более качественную ИК-обработку за счет переворачивания зерен при вибротранспортировании. Длина транспортера может изменяться в диапазоне 3-5 м.

Производительность установок по данным фирмы лежит в интервале от 500 до 8000 кг/ч в зависимости от продукта и технологии обработки.

Каждый инфракрасный микронизатор фирмы снабжен автоматизированной системой управления, обеспечивающей возможность, как автономной работы установки, так и в составе технологической линии в течение (согласно рекламному проспекту) 24 часов в сутки и 7 дней в неделю.

В настоящее время все ИК-установки фирмы снабжены системой рекуперации теплоты (HRS) (рис. 1.15), которая обеспечивает 30 %-ым снижением потребления энергии при обработке продуктов или 30 %-ое увеличение выпуска готовой продукции.

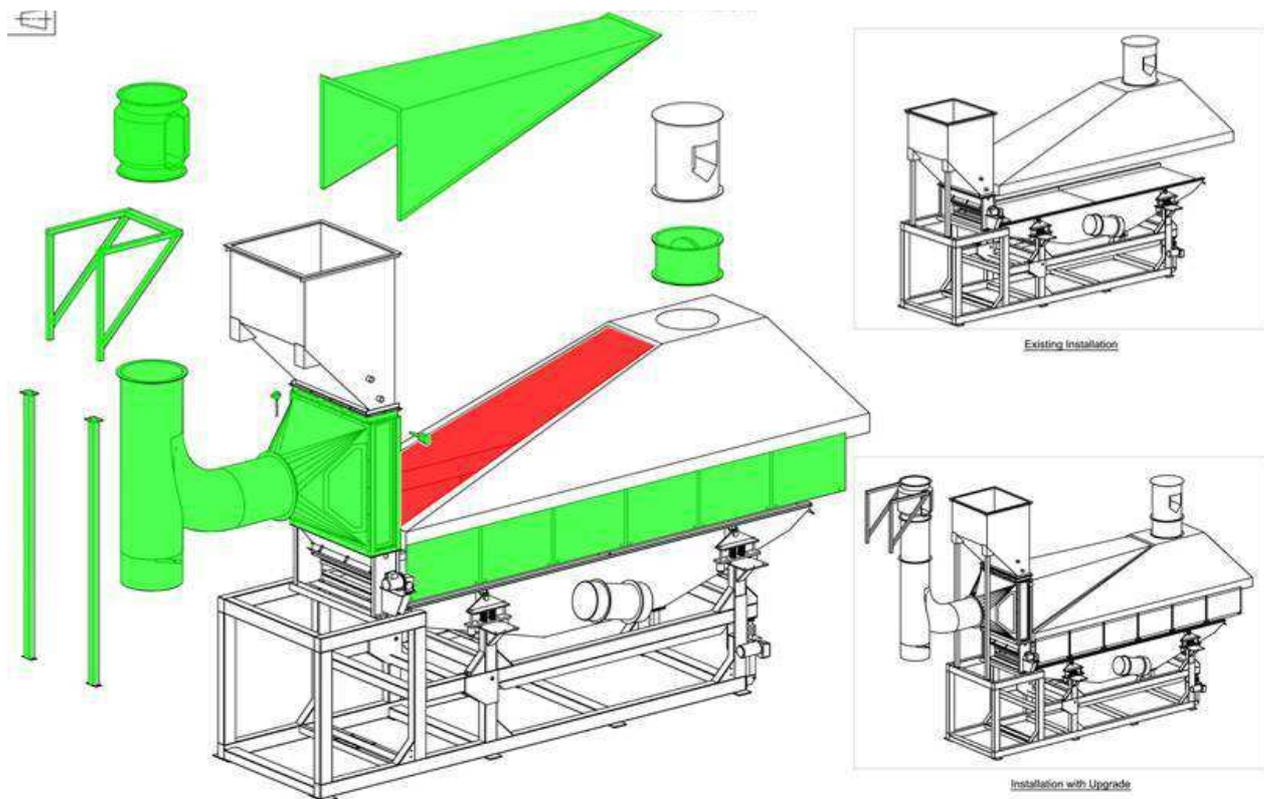


Рис. 1.15. Микронизер марки MR-20/30с системой рекуперации теплоты

Известна установка, предназначенная для термической обработки зернового сырья (Патент РФ № 2134995), содержащая (рис. 1.16) теплоизолированную камеру 1, ленточный конвейер 2, выполненный из металлической нержавеющей сетки, загрузочный бункер 3 и лоток 4 для разгрузки готового продукта.

Над конвейерной лентой установлены три секции 5, 6, 7 нагревательного

блока, которые содержат продольно расположенные вдоль конвейера инфракрасные излучатели 3 (типа КГТ 220-1000), они размещены с шагом, увеличивающимся от периферии к центру конвейерной ленты установки.

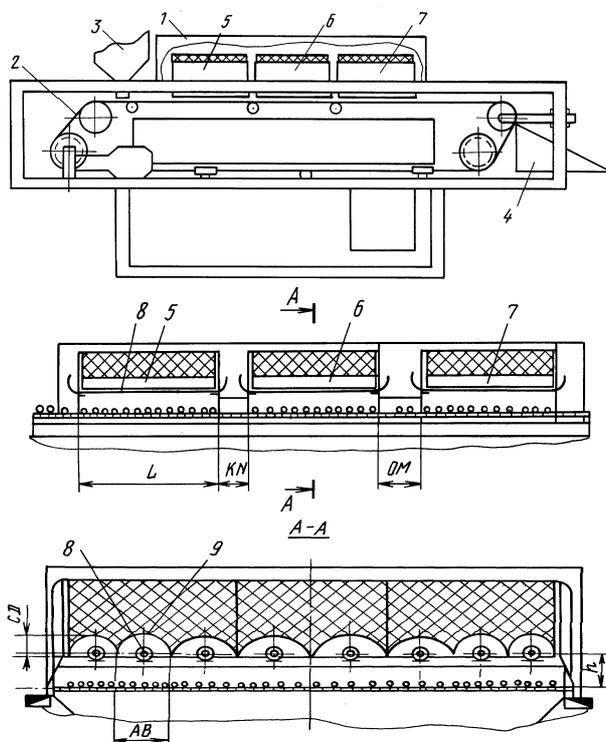


Рис. 1.16. Установка для термообработки зернового сырья: 1 – теплоизоляционная камера; 2 – ленточный конвейер; 3 – загрузочный бункер; 4 – лоток; 5, 6, 7 – нагревательный блок; 8 – излучатель; 9 – индивидуальный экран

% для каждого последующего экрана по отношению к предыдущему. Нижние кромки экранов 9 расположены не выше уровня излучателей 8. Расстояние CD от излучателя до верхней точки отражающей цилиндрической поверхности составляет $45 \text{ } ^\circ\text{C} \ 65 \%$ от наименьшего расстояния AB.

Экраны 9 расположены симметрично относительно вертикальной плоскости, проходящей через центральную продольную ось конвейерной ленты.

Секции 5, 6, 7 установлены вдоль конвейера так, что расстояние KN равно $1/6 \text{ } ^\circ\text{C} \ 1/5$ длины L секции, а расстояние OM равно $1/4 \text{ } ^\circ\text{C} \ 1/5$ длины L секции. Расстояние h от излучателей 8 до конвейерной ленты составляет 4-10 см. Излучатели смонтированы с возможностью регулирования их расположения по высоте.

Над каждым излучателем 8 имеется индивидуальный экран 9 из облегченного шамотного кирпича, имеющий цилиндрическую отражающую поверхность, симметричную относительно вертикальной плоскости, проходящей через продольную ось излучателя 8.

Расстояние AB между нижними кромками индивидуального экрана 9 увеличивается от периферии к центру конвейерной ленты на 13-16

Такое расположение излучателей и отражателей обеспечивает однородность лучистого и теплового потока, падающего на зерно в поперечном сечении ленты конвейера, а также позволяет добиться равномерного нагрева внутренней и внешней части зерна.

Применение такой конструкции и расположения излучателей и отражателей позволяет интенсивно прогреть зерно до температуры 150-180 °С, перевести находящуюся в нем воду в пар, который, выходя, разрывает структуру зерна, происходит деструкция крахмала и белков. Это делает зерно высокоусвояемым, ароматным, санитарно чистым. Установка с такими блоками способна работать продолжительное время без перерыва цоколей ламп, так как они выведены из зоны интенсивного нагрева.

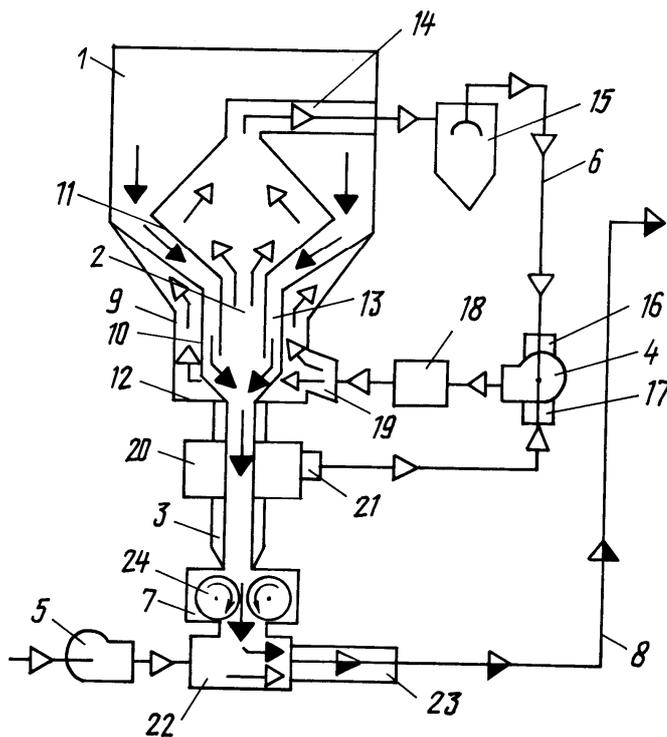


Рис. 1.17. Установка для микронизации зерновых продуктов: 1 – загрузочный бункер; 2 – теплообменное устройство; 3 – камера облучения; 4 – вытяжной вентилятор; 5 – нагнетающий вентилятор; 6 – система рециркуляции; 7 – плющилка-дозатор; 8 – пневмотранспортная система; 9 – наружный корпус; 10 – промежуточный корпус; 11 – внутренний корпус; 12 – дно наружного корпуса; 13 – зазор; 14 – вытяжной воздуховод; 15 – циклон; 16, 17 – патрубки; 18 – электронагреватель; 19 – подводящий воздуховод; 20 – СВЧ; 21 – воздуховод; 22 – приемное устройство; 23 – продуктопровод

Известна установка для микронизации зерновых продуктов (Патент РФ № 2168911), содержащая (рис. 1.17) загрузочный бункер 1, теплообменное устройство 2, камеру облучения 3, вытяжной 4 и нагнетающий 5 вентиляторы, замкнутую систему рециркуляции, очистки и подогрева воздуха 6, плющилку - дозатор 7, пневмотранспортную систему 8, наружный 9, промежуточный 10, внутренний 11 корпуса теплообменного устройства, дно 12 наружного корпуса, зазор 13 между внутренним и промежу-

точным корпусами, вытяжной воздуховод 14 замкнутой системы рециркуляции, очистки и подогрева воздуха, циклон 15, первый 16 и второй 17 патрубки вытяжного вентилятора, теплоэлектронагреватель 18, подводящие воздуховоды 19, источник СВЧ-энергии 20 с воздуховодом 21, приемное устройство 22, дуктопровод 23.

Загрузочный бункер 1 имеет цилиндрическую форму, в его нижней части расположено теплообменное устройство 2. Оно состоит из трех концентрических вертикально расположенных корпусов 9-11. В верхней части теплообменного устройства 2 наружный 9 сплошной и промежуточный 10 перфорированный корпуса выполнены в виде усеченных конусов, соединенных с загрузочным бункером 1. В нижней части теплообменного устройства 2, дно 12 наружного корпуса 9 и промежуточный перфорированный корпус 10 соединены с входом камеры облучения 3. Внутренний корпус 11 теплообменного устройства 2 своей перфорированной частью повторяет форму промежуточного корпуса 10 и образует с ним равномерный зазор 13, размеры которого выбраны таким образом, чтобы по нему обеспечивалось устойчивое движение зерна самотеком, под тяжестью собственного веса, и в то же время обеспечивался минимальный слой зерна, для максимального обтекания его горячим воздухом.

Замкнутая система рециркуляции, очистки и подогрева воздуха 6 состоит из вытяжного воздуховода 14, циклона 15, соединенного с вытяжным вентилятором 4 через его первый патрубок 16, электронагревателя 18, который через равномерно распределенные подводящие воздуховоды 19 соединен с наружным корпусом 9 теплообменного устройства 2.

Камера облучения 3 состоит из СВЧ-камеры, соединенной с источником СВЧ-энергии 20, поскольку обработка зерна производится воздействием на него СВЧ-излучением. СВЧ-камера выполнена максимально компактной, до размеров, обеспечивающих напряженность электромагнитного поля, требуемую для качественной обработки зерна в соответствии с техпроцессом (не менее 5 кДж/кг.с), но исключая возможность возникновения электрического про-

боя и зависания зерна. Она расположена под загрузочным бункером 1, соосно с теплообменным устройством 2. Выход ее соединен с плющилкой - дозатором 7. Источник СВЧ-энергии 20 выполнен с принудительным охлаждением, выделенное тепло используется в замкнутой системе рециркуляции, очистки и подогрева воздуха 6. Для этого воздуховод 21 от источника СВЧ-энергии 20 соединен со вторым патрубком 17 вытяжного вентилятора 4.

Все конструктивные элементы теплообменного устройства 2, системы рециркуляции, очистки и подогрева воздуха 6 и камеры облучения 3, обеспечивающие тепловую обработку зерна и контактирующие с окружающей средой, выполнены теплоизолированными, что снижает энергоемкость обработки.

Плющилка-дозатор 7 расположена под СВЧ-камерой 3, выполнена с автоматически регулируемой скоростью вращения вальцов 24, что позволяет поддерживать технологические режимы обработки зерна.

Пневмотранспортная система 8 состоит из нагнетающего вентилятора 5 приемного устройства 22 и продуктопровода 23.

Отличительной особенностью этого аппарата является использование СВЧ-излучения для обработки зерна в камере облучения 3, вместо ИК-излучения, позволяет увеличить глубину равномерного нагрева зерна и, следовательно, создать ее компактной, с малыми потерями тепла в окружающую среду, а также обеспечить снижение энергоемкости обработки зерна за счет использования тепла от источника СВЧ-энергии 20.

Компоновка установки обеспечивает движение зерна, в процессе всего пути обработки, самотеком, под действием собственного веса, что исключает в своем составе подвижные механизмы, а следовательно, упрощает ее и снижает эксплуатационные затраты.

Известна установка для термообработки сыпучего продукта (Патент РФ № 2266678) содержащая раму 1, транспортирующий механизм 2, бункер-питатель 3 с дозирующим устройством 4, блок излучателей 5, расположенный над транспортером, содержащий камеру, образованную верхним отражателем

б, поддоном транспортера 7 и боковыми экранами 8 (рис. 1.18). Внутри блока излучателей расположены линейчатые или плоские излучатели 9, установленные в горизонтальном положении над транспортером по его длине поперек направления транспортирования. Установлены продольные вертикальные отражатели 10.

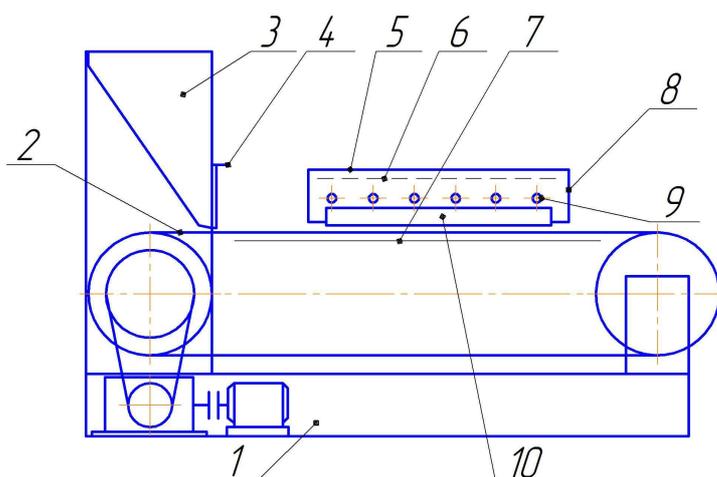


Рис. 1.18. Установка для термообработки сыпучего продукта: 1 – рама; 2 – транспортирующий механизм; 3 – бункер-питатель; 4 – дозирующее устройство; 5 – блок излучателей; 6 – отражатель; 7 – поддон транспортера; 8 – пневмотранспортная система; 9 – боковой экран; 10 – продольные отражатели

Повышение качества готового продукта достигается тем, что в установке для термообработки сыпучих продуктов, содержащей транспортирующий механизм, бункер-накопитель с дозирующим устройством, нагревающее излучением устройство в виде размещенных по длине транспортера перпендикулярно направлению транспортирования линейных или плоских излучателей, и боковые отражатели введены в месте установки излучателей вдоль направления транспортирования вертикальные отражатели, разбивающие зону обработки в поперечном направлении на ряд самостоятельных зон. Это улучшает равномерность облучения обрабатываемого продукта, что в свою очередь ведет к повышению качества готового продукта. Кроме того, применение сражающих экранов, установленных с шагом $S = kH$, где H – высота отражателей над транспортером, k – коэффициент, обеспечивает снижение неравномерности облученности в зоне обработки, что также повышает качество готовой продукции.

Известно устройство для термообработки зерна (Патент РФ № 2294108) содержащее наклонно расположенный, под углом, близким к углу естественного ската, стальной желоб с бортиками прямоугольной формы 1, по которому

Повышение качества готового продукта достигается тем, что в установке для термообработки сыпучих продуктов, содержащей транспортирующий механизм, бункер-накопитель с дозирующим устройством, нагревающее излучением устройство в виде размещенных по длине транспортера перпендикулярно направлению транспортирования линейных

сверху вниз под действием скребкового транспортера 2 скребком 6 перемещается зерно (рис. 1.19). Под желобом размещены нагревательные элементы 3. На расстоянии 30-40 мм от желоба расположены инфракрасные излучатели 4 с металлическими экранами параболической формы 5.

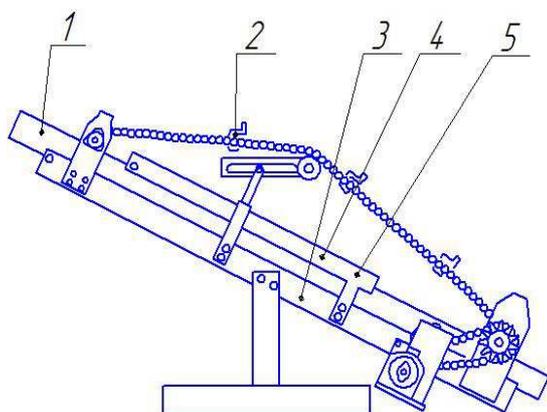


Рис. 1.19. Устройство для термообработки зерна: 1 – желоб; 2 – скребковый транспортер; 3 – нагревательные элементы; 4 – инфракрасные излучатели; 5 – экран; 6 – скребок

Отличительной особенностью данного устройства являются инфракрасные излучатели, расположенные на расстоянии 30-40 мм над поверхностью желоба. Такое расположение излучателей обеспечивает интенсивный прогрев зерна до температуры 200°C и давление 10 атм. При такой температуре наблюдается наилучший эффект дезинсекции кормового материала, уменьшается механическая прочность

зерна, делает зерно более доступным для пищеварения.

При двустороннем подводе теплоты конвективно и путем теплопроводности от стального желоба - снизу и сверху - от инфракрасных излучателей снижается время на обработку кормового зерна и, как следствие, значительное снижение энергозатрат.

Известна установка для микронизации зерна (Патент РФ № 2327367) содержащая корпус 5 с размещенными внутри концентрично расположенными внешним и внутренним цилиндрами 4,6, образующими между собой полость 13 для перемещения зерна (рис. 1.20). Внутренний цилиндр 6 выполнен из кварцевого стекла, обладающего высоким коэффициентом пропускания в ИК-области спектра излучения. Между внешним цилиндром 4 и корпусом 5 имеется полость для теплоизоляции, заполненная воздухом.

Внутри кварцевого цилиндра 6, закрытого сверху направляющим конусом, размещены ИК-излучатели 7, каждый из которых расположен в горизон-

тальной плоскости перпендикулярно выше- и нижерасположенному ИК-излучателю, на расстоянии между ними, увеличивающемся к центру цилиндра 6 и уменьшающемся к торцам цилиндра 6.

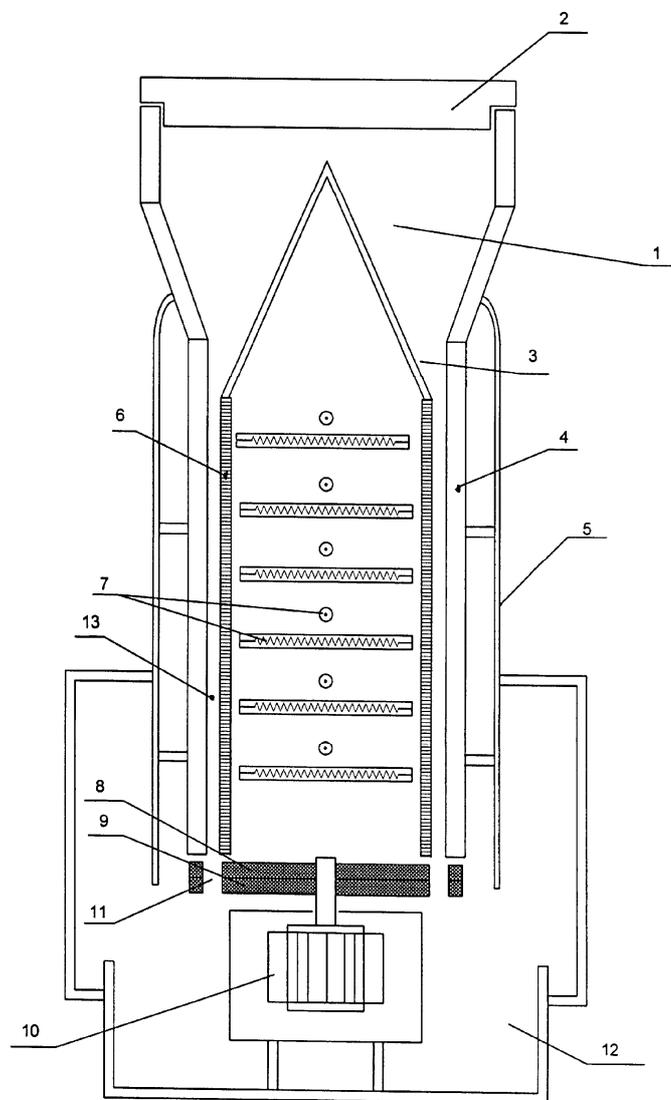


Рис. 1.20. Усановка для микронизации зерна: 1 – приемный бункер; 2 – крышка; 3 – направляющий конус; 4 – внешний цилиндр; 5 – корпус; 6 – внутренний цилиндр; 7 – ИК-излучатели; 8 – верхний диск; 9 – нижний диск; 10 – электропривод; 11 – выгрузное отверстие; 12 – бункер; 13 – полость для перемещения зерна

ботанного зерна.

При использованном расположении ИК-излучателей в данной конструкции установки удастся получить достаточно равномерное тепловое поле по поверхности внутреннего цилиндра камеры облучения при его высокой плотно-

Сверху кварцевый цилиндр 4 закрыт направляющим конусом 3, служащим дном приемного бункера 1, который в свою очередь может быть закрыт крышкой 2. Под цилиндрами расположено выгрузное устройство, состоящее из взаимно смещающихся и имеющих общий центр верхнего и нижнего дисков 8, 9. В зависимости от смещения дисков 8 и 9 образуются выгрузные отверстия 11 площадью, определяемой производительностью установки.

Предусмотрена возможность вращения дисков 8, 9 от регулируемого электропривода 10. Ниже выгрузного диска 9 находится бункер 12 обра-

сти, что позволяет достигать высокой производительности при меньших габаритах установки. Изолирование ИК-излучателей от рабочей зоны установки препятствует попаданию в зону ламп пыли и влаги, что повышает срок службы ламп. Также снижены затраты энергии на транспортировку зерна в камере облучения за счет просыпания зерна под действием собственного веса и дозирования выгрузным устройством, рабочим органом которого является составной вращающийся составной диск с регулируемыми по площади отверстиями.

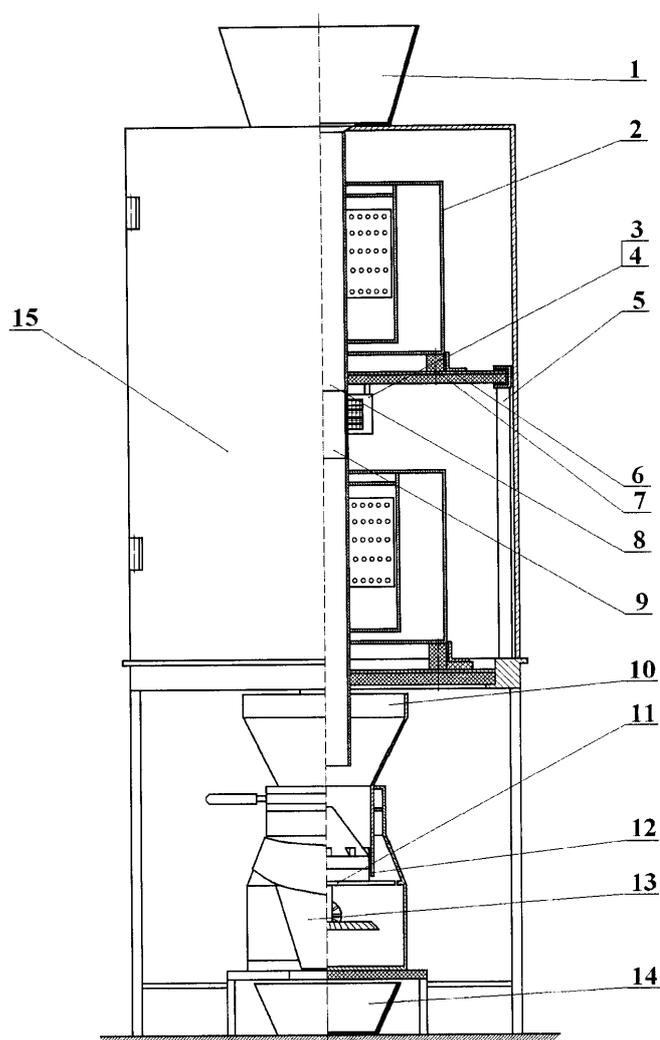


Рис. 1.21. Усановка для микронизации зерна: 1 – загрузочный бункер; 2 – СВЧ-генераторы; 3 – облучатель; 4 – лампы; 5 – рама; 6 – полки; 7 – опоры; 8 – короб; 9 – стекло; 10 – бункер; 11 – тарелка; 12 – манжета; 13 – выгрузной рукав; 14 – бункер; 15 – корпус-экран

Известна установка для микронизации зерна (Патент РФ № 2389418) содержащая загрузочный бункер 1, два генератора СВЧ энергии 2, расположенные поярусно (рис. 1.21). Между ними установлен инфракрасный облучатель 3 с галогенными лампами 4. Каркасная рама 5 установки представляет собой сварную конструкцию металлического профиля, на разных ярусах которой расположены полки 6 с покрытием из неферромагнитного материала (алюминий). СВЧ-генераторы 2 установлены на диэлектрические опоры 7, расположенные на полках 6.

Фторопластовый короб 8, установленный вертикально, по центру функционального модуля установки, и проходящий последова-

тельно через два СВЧ-генератора, имеет вставку из кварцевого стекла 9 в зоне

воздействия ИК-лучей. Верхний конец короба соединен с загрузочным бункером 1, а другой его конец входит внутрь питающего бункера 10 тарельчатого дозатора. Дозатор состоит из следующих основных элементов: тарелка 11, манжета (заслонка) 12, выгрузной рукав 13. Под дозатором установлен приемный бункер 14 для микронизированного зерна. Функциональный модуль полностью закрыт алюминиевым корпусом-экраном 15, что препятствует потере ИК-излучений и отрицательному воздействию электрического поля СВЧ на обслуживающий персонал.

Технический результат достигается тем, что между поярусно расположенными СВЧ-генераторами установлены источники ИК-лучей, причем через рабочие камеры СВЧ-генераторов проложен радиопрозрачный короб, со вставкой из кварцевого стекла на уровне ИК-облучателей, при этом концы короба соединены с загрузочным бункером и с тарельчатым дозатором.

Использование установки позволит повысить качество микронизации зерна, увеличить скорость процесса, а также снизить удельные энергозатраты.

1.4. Теоретическое описание взаимодействия ИК-источника излучения с плоским слоем зерна

В теоретическом описании [25, 32, 33, 10] процесса взаимодействия электромагнитного излучения и слоя зерна необходимы интегральные характеристики процесса, одной из которых является полная энергия излучения $W_\lambda(H)$, поглощенная слоем зерна толщиной H . С учетом многократного монохроматического диффузного отражения потока излучения между поверхностями экрана и слоем зерна, выражение имеет вид

$$W_\lambda(H) = E_\lambda \frac{1 - R_{\lambda\infty}}{(1 - f_A R_{\lambda\infty}) [1 + R_{\lambda\infty} \exp(-L_\lambda H)]} [1 - \exp(-L_\lambda H)], \quad (1.1)$$

в котором облучаемость, E_λ , равна

$$E_{\lambda} = \frac{E_{\lambda 0}(1 - f_A R_{\lambda})}{1 - R_{\lambda}}, \quad (1.2)$$

где $E_{\lambda 0}$ – часть падающего излучения, которое проходит в слой, (в общем случае зависит от конструкции блока излучения); $R_{\lambda \infty}$ – спектральный коэффициент отражения оптически бесконечно толстого слоя; L_x – спектральных коэффициент эффективного ослабления, m^{-1} ; H – толщина слоя зерна, мм; f_A – коэффициент отражения экранов (на практике лежит в интервале [0,5-0,7]); R_{λ} – спектральный коэффициент отражения слоя толщиной H .

Согласно выражению (1.1) распределение поля облученности внутри слоя зерна напрямую зависит от оптических характеристик, т.е. спектральных коэффициентов $R_{\lambda \infty}$, L_x . Из них коэффициент эффективного ослабления L_x характеризует ослабление спектрального потока излучения по глубине проникновения в толщину слоя облучаемого зерна и в значительной степени определяет градиент температуры в начальный момент времени электромагнитного нагрева слоя по объему.

Тепловой коэффициент полезного действия (КПД), вместе с температурой, будут тем выше, чем больше энергии излучения поглощено слоем зерна.

Формула (1.1) определяет поглощенную энергию монохроматического диффузионного потока излучения ИК, спадающего на слой зерна с одной стороны. Дифференцируя по λ выражение (1.1) и приравняв правую часть к нулю, можно вычислить длину волны λ_0 , характерную для максимального поглощения $\max W_{\lambda}$ и соответствующую наибольшему тепловому КПД.

Применяемые на практике источники ИК-излучения генерируют волновые пакеты достаточно узких непрерывных диапазонах длин волн.

На границе воздух – поверхность зернового слоя волновой пакет делится на три неравных части: отраженную, поглощенную и часть, прошедшую сквозь слой без изменения (пропущенную), которые можно охарактеризовать соответственно тремя коэффициентами $R(\lambda, H)$, $A(\lambda, H)$ и $T(\lambda, H)$. Каждый из коэффициентов, по определению, меньше единицы, т.к. представляет собой отношение одной из трех частей энергии к полной энергии подающего излучения. Пренеб-

регая взаимодействием волнового пакета с воздушной средой, очевидно

$$R(\lambda, H) + A(\lambda, H) + T(\lambda, H) = 1 \quad (1.3)$$

Это соотношение справедливо для каждой длины волны из волнового пакета падающего излучения.

Спектральные характеристики зерна ячменя, характерные и для других видов зерна, приведены [31, 73] на рис. 1.22.

Из рис. 1.22 видно, что максимум пропускательной способности лежит в интервале 0,8-2,0 мкм, а максимум отражательной (соответственно минимум поглотительной) способности лежит в области $\lambda = 1$ мкм.

Зависимость спектральных оптических характеристик слоя ячменя толщиной в одно зерно от длины волны [79] показано на рис 1.23.

Спектральный осредненный коэффициент поглощения K_λ для монохроматической волны длиной λ имеет вид:

$$K_\lambda = R_{\lambda\infty} \exp(-L_\lambda H). \quad (1.4)$$

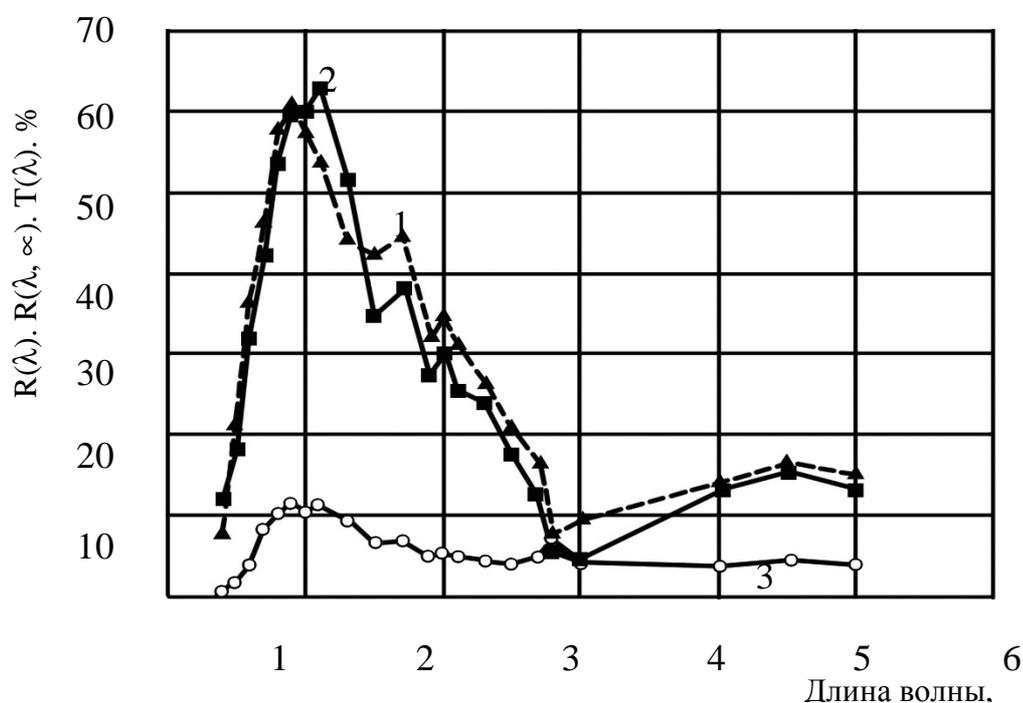


Рис. 1.22. Спектральные оптические характеристики ячменя рядового слоя в одно зерно ($H=2,9$ мм, $W=11,8$ %): 1 — $R(\lambda)$, 2 — $R(\lambda, \infty)$, 3 — $T(\lambda)$

График на рис. 1.23 показывает, что для ячменя, и это типично для зерно-

вых, $L_\lambda \sim 0,6-1,0 \text{ мм}^{-1}$. При данном L_λ и $H=1 \text{ мм}$ $K_\lambda \approx 0$, следовательно, на глубине два миллиметра и более в зерне облученность пренебрежимо мала.

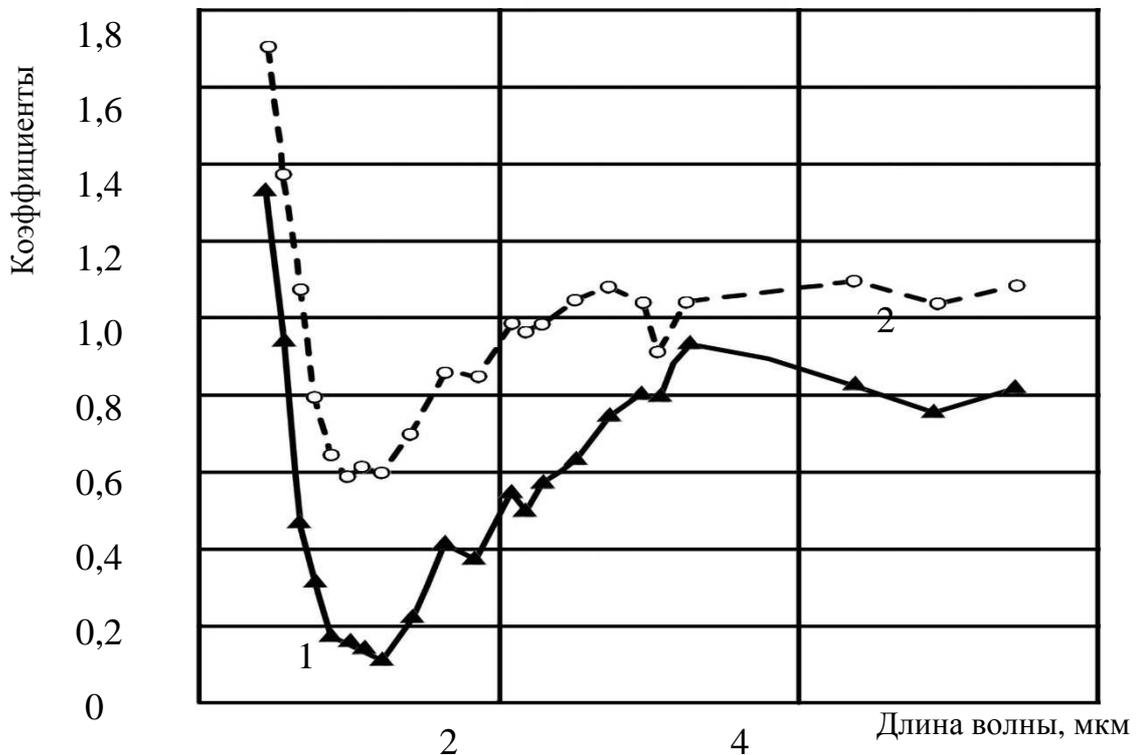


Рис. 1.23. Зависимость оптических характеристик зерна ячменя от длины волны: 1 – $K_\lambda(\lambda)$; 2 – $L_\lambda(\lambda)$

Полезные для практики оценки могут быть сделаны на основе интегральных соотношений (1.1), (1.2). В частности, для слоя ячменя толщиной в одно зерно ($H = 2,9 \text{ мм}$) построенная на основании (1.1) при двух предельных значениях коэффициента отражения, зависимость энергии поглощения от длины волны по данным [24] показано на рис. 1.24.

При подборе излучателя заманчивой для выбора является область спектра в диапазоне длин волн 2,7-4 мкм. Однако, как всегда, при проектировании машин и оборудования следует стремиться к минимуму приведенных затрат на ИК-установку в целом.

Для этого надо определить стоимость излученной и поглощенной энергии излучения. А для зерна, как материала с низкой теплопроводностью, характерен высокий градиент поглощения и, как показано выше, большой L_λ – коэффициент эффективного поглощения.

Это заставляет вести ИК-обработку в тонком слое, (например, в одно зерно). Тем не менее, глубина проникновения излучения в зерновку оказывается недостаточной, а кондуктивная и конвективная составляющие нагрева без специальных мер не могут повысить скорость нагрева.

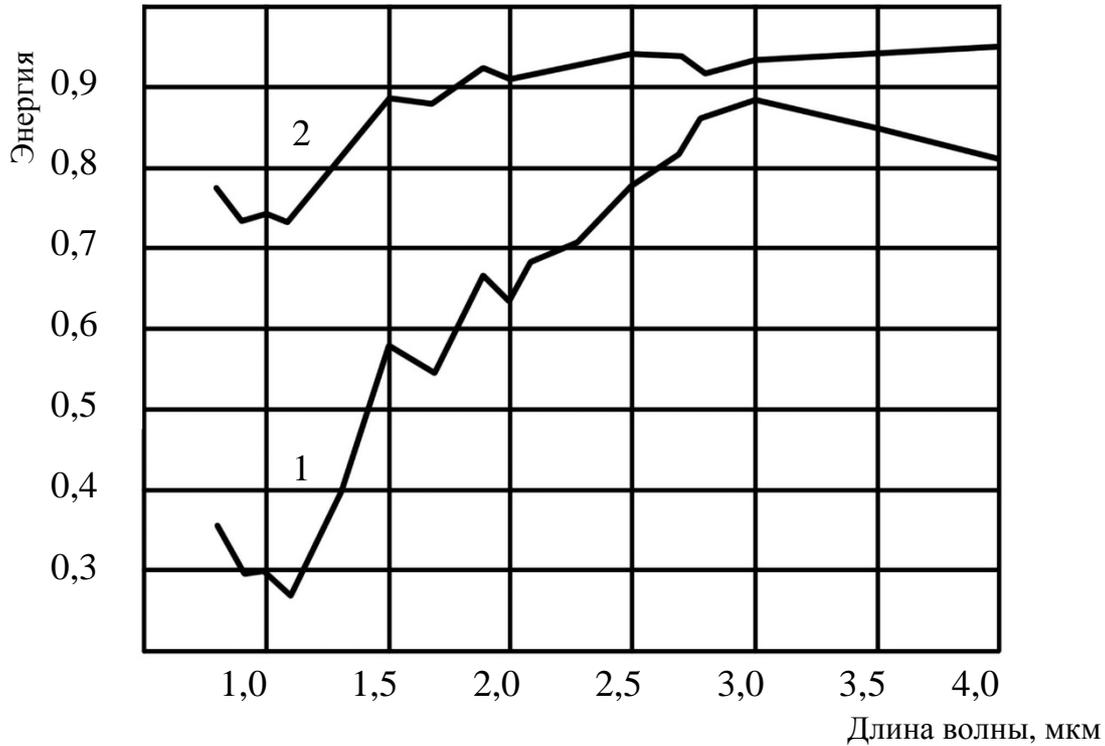


Рис. 1.24. Зависимость энергии поглощаемого монослоем ячменя излучения относительно падающего (влажность $W = 11,8 \%$) от длины волны: 1 – $f_A = 0$; 2 – $f_A = 1$

Вариантами для выбора здесь могут быть переворачивание зерновок, применяя вибротранспортирование или, при близких значениях поглощенной лучистой энергии, сдвигать рабочую область в диапазон длин волн с пониженным коэффициентом эффективного ослабления L_λ .

В целом, приведенные выше элементы теории взаимодействия ИК-излучения со слоем зерна, несмотря на упрощения, дают существенные преимущества в сравнении с «экспериментальным» подходом. Так соотношение (1.1) можно применять для оценки энергии поглощения от излучения существующих типов излучателей с определенным диапазоном длин волн. Для этого рабочий спектр излучения разбивается на малые интервалы, внутри которых

значение функции энергетической светимости заменяется на ее среднее значение внутри интервала, а длина интервала заменяется на среднее значение длины волны внутри интервала. Вычисляя для каждой такой пары чисел $W_{\lambda}(H)$ по соотношению (1.1) и просуммируя их по длине рабочего спектра излучения, можно вычислить на практике с помощью компьютерной модели энергию поглощенного излучения с достаточно малой погрешностью.

1.5. Анализ литературного обзора, формулировка цели и основных задач исследования

Анализ приведенных данных показывает, что недостаточное изучение общих закономерностей процесса тепло- и массообмена в процессе микронизации зерна сдерживает использование новых, перспективных способов и разработку на их основе эффективных микронизаторов, позволяющих интенсифицировать технологию с одновременным рациональным использованием энергетического потенциала и обеспечением высокого качества готового продукта.

Цель диссертационной работы: научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и повышение эффективности процесса за счет определения рациональных технологических режимов и повышение качества готовой продукции; разработка научно-технологических решений производства комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма и повышению конверсии корма.

В соответствии с целью решались **следующие задачи:**

- изучение зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы) как объектов исследования, определение их оптических и теплофизических характеристик,
- изучение кинетических закономерностей процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);
- определение рациональных технологических параметров процесса микро-

низации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);

- разработка математической модели процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);

- проведение комплексной оценки качества комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами, и оценка их эффективности использования животными;

- разработка конструкции микронизатора и технологии производства комбикормов из микронизированного зерна, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма, снижению падежа животных и птицы, повышению конверсии корма;

- оценка эффективности разработанных комбикормов и предлагаемой конструкции микронизатора;

- проведение промышленной апробации полученных результатов работы.

Цель диссертационной работы: научное обеспечение процесса микронизации зерновых культур и повышение эффективности процесса за счет определения рациональных технологических режимов и повышение качества готовой продукции; разработка научно-технологических решений производства комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма и повышению конверсии корма.

Задачи исследования:

- изучение зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы) как объектов исследования, определение их оптических и теплофизических характеристик;
- изучение кинетических закономерностей процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);
- определение рациональных технологических параметров процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);
- разработка математической модели процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы);
- проведение комплексной оценки качества комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами и оценка их эффективности использования животными;
- разработка конструкции микронизатора и технологии производства комбикормов из микронизированного зерна, способствующих росту привесов, сокращению сроков откорма, снижению падежа животных и птицы, повышению конверсии корма;
- оценка эффективности разработанных комбикормов и предлагаемой конструкции микронизатора;
- проведение промышленной апробации полученных результатов работы.



Рис. 1.25. Общая схема теоретических и экспериментальных исследований процесса микронизации зерновых культур

Глава 2. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

2.1. Определение теплофизических характеристик пшеницы

Исследование процесса микронизации зерновых культур невозможно без определения их теплофизических характеристик в продукте (коэффициента теплопроводности λ , коэффициента температуропроводности α , $\text{м}^2/\text{с}, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, удельной теплоемкости c , $\text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, [12, 13].

Изучение зависимостей теплофизических характеристик зерновых культур определялись на измерительном устройстве для получения теплофизических характеристик Coesfeld RT - 1394H (National Instruments) (см. Приложение А).

В результате были получены числовые значения теплофизических характеристик образцов зерна пшеницы в диапазоне температур 293...353 К, которые приведены в табл. 2.1.

Таблица 2.1

Результаты опытов по определению теплофизических характеристики пшеницы

Интервал температур	Образцы фуражного зерна пшеницы	
	исходный	после сушки
Коэффициент температуропроводности $\alpha \times 10^8, \text{м}^2/\text{с}$		
20 °С	17,80 ± 0,15	16,48 ± 0,15
40 °С	16,91 ± 0,15	15,57 ± 0,15
60 °С	15,87 ± 0,2	14,69 ± 0,15
80 °С	15,01 ± 0,15	13,97 ± 0,2
Коэффициент теплопроводности $\lambda, \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$		
20 °С	0,345 ± 0,004	0,267 ± 0,004
40 °С	0,373 ± 0,004	0,294 ± 0,004
60 °С	0,411 ± 0,004	0,341 ± 0,004
80 °С	0,430 ± 0,004	0,373 ± 0,004
Массовая удельная теплоемкость $c, \text{Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$		
20 °С	2217,56 ± 0,10	1802,62 ± 0,15
40 °С	2532,08 ± 0,15	2107,52 ± 0,15
60 °С	2976,75 ± 0,15	2595,78 ± 0,10
80 °С	3292,07 ± 0,10	2987,43 ± 0,15
Плотность (ρ) $\text{кг}/\text{м}^3$	871,3	895,7

Контроль и руководство в процессе проведения экспериментального опыта, и дальнейшая обработка результатов измерений была осуществлена с помощью виртуального устройства, разработанного в программе Lab View 7.0. В результате были получены экспериментальные данные, которые были обработаны на персональном компьютере в среде «Microsoft Excel 2010». Итогом эксперимента были получены уравнения зависимости значений теплофизических характеристик пшеницы для интервала температур 293...353 К):

Для образцов фуражного зерна:

при начальной влажности:

$$c = 18,341 \cdot T + 1837,6; R^2 = 0,995$$

$$\lambda = 0,0015 \cdot T + 0,3165; R^2 = 0,9857$$

0,99

$$a = -0,0471 \cdot T + 18,75; R^2 = 0,9987$$

0,9972

при конечной влажности:

$$c = 20,213 \cdot T + 1362,7; R^2 = 0,993$$

$$\lambda = 0,0018 \cdot T + 0,2275; R^2 =$$

$$a = -0,042 \cdot T + 17,28; R^2 =$$

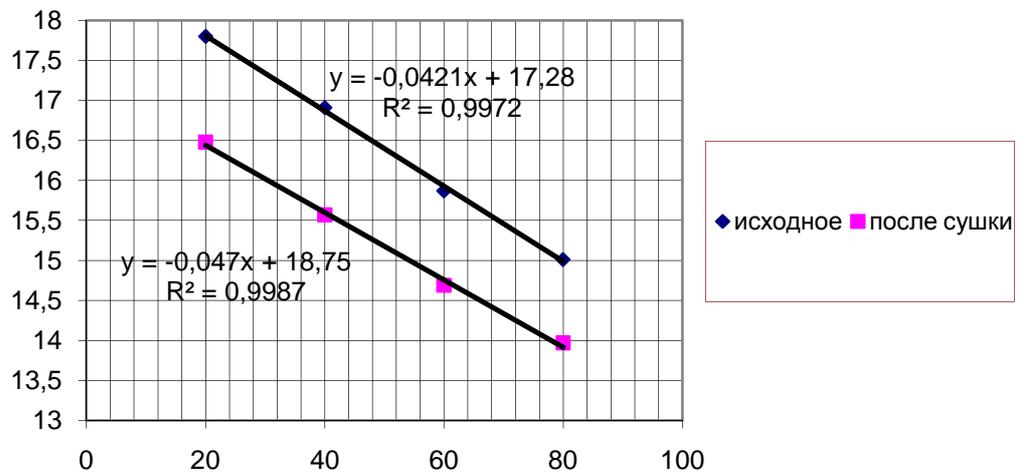


Рис. 2.1. Изменение коэффициента температуропроводности зерна пшеницы от температуры при влажности

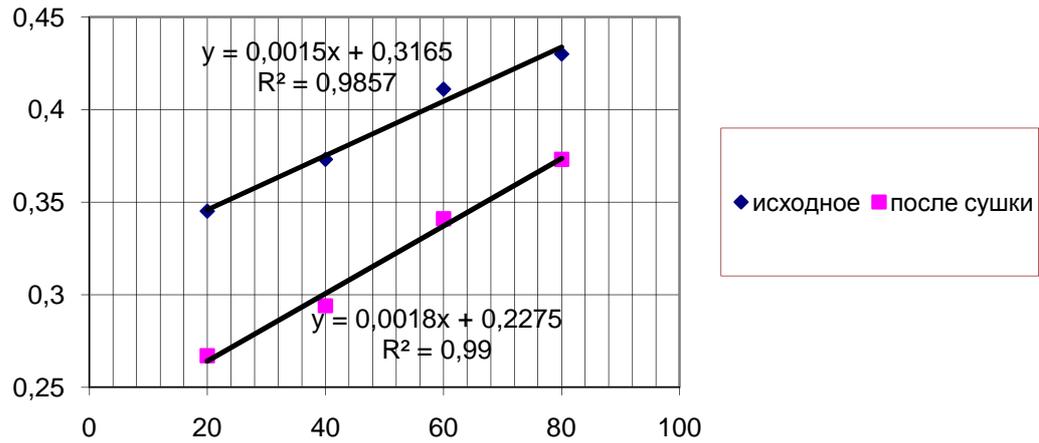


Рис. 2.2. Изменение коэффициента теплопроводности зерна пшеницы от температуры при влажности

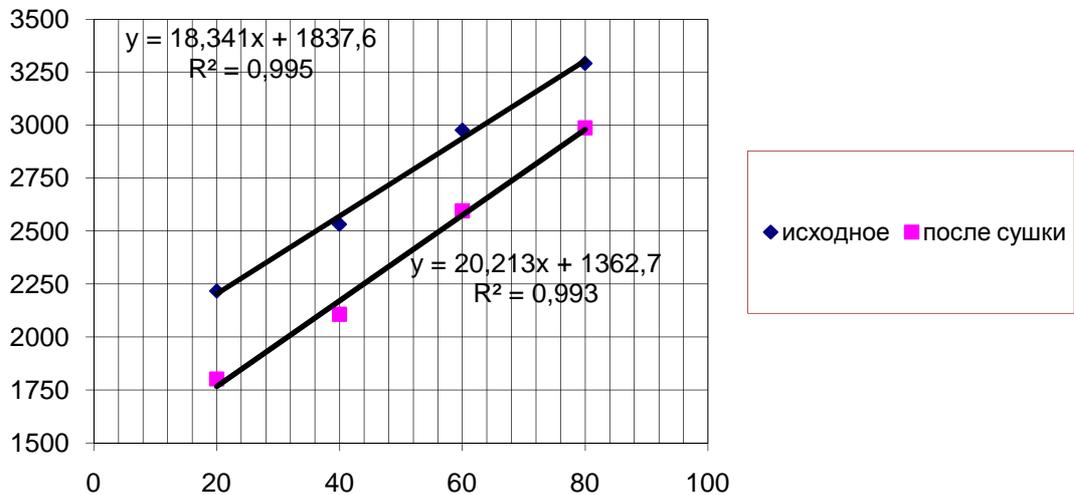


Рис. 2.3. Изменение удельной теплоемкости зерна пшеницы от температуры при влажности

В процессе проведения экспериментальных исследований теплофизических характеристик было определено, что зависимость носит линейный характер изменения характеристик от температуры (рис. 2.1-2.3). Получено абсолютная зависимость влияния температуры на изменение теплофизических характеристик (температуропроводность, теплопроводность и коэффициент удельной теплоемкости) пшеницы [13].

2.2. Исследование оптических характеристик зерновых культур

Для подбора источника инфракрасного излучения для процесса микро-

низации необходимо учитывать оптические свойства зерновых культур, интенсивности подвода теплоты, коэффициент полезного действия аппарата, а также экономические показатели процесса [12].

Трудность изучения оптических свойств (коэффициентов отражения, поглощения и пропускания) зерновых культур связана с значительно большей термолабильностью материалов, а также с зависимостью таких коэффициентов как, удельной теплоемкости, теплопроводности, а также коэффициента температуропроводности от температуры продукта, которая влияет в температурном интервале от 50 до 80 °С.

Зерновые культуры характеризуются большой избирательной способностью к взаимодействию с излучением различной длины волны. Поэтому при подборе источника излучения рекомендовано выбирать в зависимости от спектральных характеристик исследуемого продукта. При этом, стоит обратить свое внимание, что значение максимальной плотности теплового потока инфракрасных ламп довольно полностью совместились с высоким спектральным поглощением материала продукта.



Рис. 2.4. Спектрофотометр
ПромЭкоЛаб ПЭ-5400В

Все зерновые культуры имеют капиллярно-пористую структуру зерна, поэтому, значительно большая доля тепловых лучей довольно легко проникает в глубину слоя зерна. Экспериментальные исследования оптических характеристик пшеницы проводили на спектрофотометре ПромЭкоЛаб ПЭ-5400В (рис. 2.4).

Основным принципом работы данного спектрофотометра заключается в аналогии светового потока Φ_0 , при прохождении через контрольный раствор или растворитель, относительно которого проходит измерение, и, соответственно световой поток Φ , прошедший через исследуемый материал.

Данные потоки Φ_0 и Φ в дальнейшем будут преобразовываться фото-

приемником в электрические сигналы U_0 , U . Далее также определяется U_T – сигнал от неосвещенного приемника. По результатам данных сигналов автоматически микропроцессором спектрофотометра будут рассчитаны и отображены на мониторе результаты экспериментальных исследований в виде оптической плотности, коэффициента пропускания, или концентрации в зависимости от выбранного режима [96].

Рассчитать оптическую плотность D можно по формуле:

$$D = \lg I_0 / I, \quad (2.1)$$

где отношения, I/I_0 , I_0/I и I_n/I_0 описывают: $I_0/I = 1/\tau$ – его непрозрачность, или поглощение; $I/I_0 = \tau$ – прозрачность раствора; I_n/I_0 – поглощающая способность раствора; D – оптическая плотность раствора.

Коэффициент пропускания τ , %, представляет собой отношение соответствующих фототоков непосредственно по шкале микроамперметра, т. е.:

$$\tau = \frac{I}{I_0} \cdot 100 \%, \quad (2.2)$$

где I – фототок, который соответствует световому потоку Φ , прошедшему через измеряемую среду; I_0 – фототок, который соответствует полному световому потоку Φ_0 .

Результат экспериментальных исследований по проникновению инфракрасных лучей в зерно пшеницы представлен на рис. 2.5, который показывает, что при проникновении инфракрасных лучей коэффициент пропускания снижается с увеличением длины волны (при уменьшении температуры излучателя). Высокая степень проникновения инфракрасных лучей зависит от свойств пшеницы.

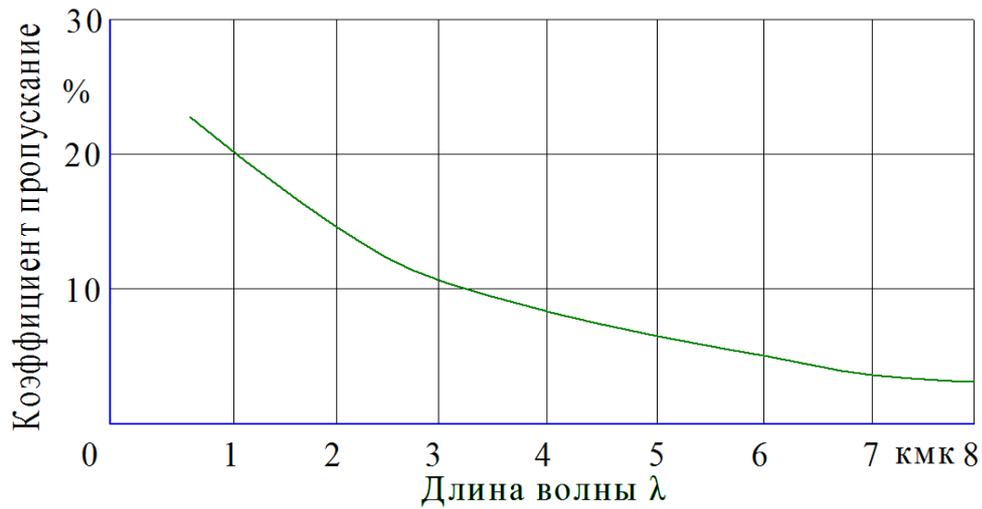


Рис. 2.5. Зависимость пропускания инфракрасных лучей от длины волны

Максимум излучения длина волны определялась по формуле Вина:

$$\lambda_{\text{макс}} = \frac{2886}{T}. \quad (2.3)$$

В процессе проведения определенного количества экспериментов исследования, было выяснено, что образцы не микронизированной пшеницы обладают маленькой проницаемостью, чем микронизированное зерно.

Коэффициент ослабления луча является основной оптической характеристикой (коэффициент *экстинции*), k_λ который определяется из формулы Ламберта - Бугера:

$$I = I_0 \exp(-k_\lambda x), \quad (2.4)$$

где I_0 – интенсивность лучистого потока, падающего на поверхность тела; I – интенсивность лучистого потока, прошедшего через слой тела толщиной x ;

Кроме коэффициента k_λ , также необходимо знать коэффициенты поглощения k_A , отражения k_R и степень черноты ε . Коэффициенты k_R и k_A показаны на рис. 2.6 и рис. 2.7 и в табл. 2.2.

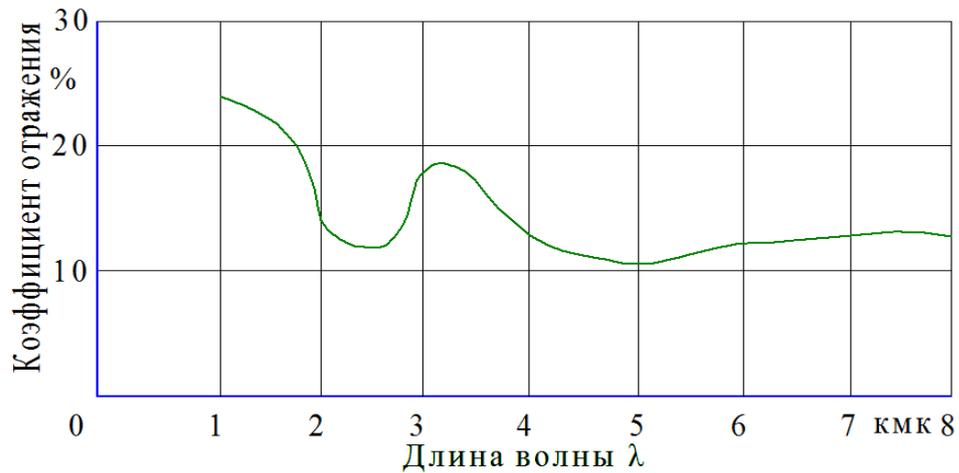


Рис. 2.6. Зависимость коэффициента отражения инфракрасных лучей от длины волны

Таблица 2.2

Оптические характеристики пшеницы для лампы ИКЗК 215-225-250

Коэффициент пропускания	0,13
Коэффициент отражения	0,12
Коэффициент поглощения	0,75

При экспериментальном расчете радиационного теплообмена нужно воспользоваться оптико-геометрическими характеристиками, следовательно коэффициент облученности Ψ_{ik} , или угловые коэффициенты излучения поверхности i по отношению к поверхности k .

Полностью поглощенный всей поверхностью тела лучистый поток q_a рассчитывается по формулам теплопередачи. Пренебрегаем конвективной составляющей, так как температура верхнего слоя пшеницы близка к температуре окружающей среды ($t_n = t_c$):

$$q_u = r \cdot j = r \cdot \alpha_p \cdot (p_n - p_c) = \frac{r \cdot D \cdot \text{Nu}_m}{l} \cdot (p_n - p_c), \quad (2.5)$$

где l – характерный размер; D – коэффициент диффузии молекул влаги в пограничном слое; α_p – коэффициент массообмена.

Давление пара на поверхности продукта p_n приравнивается давлению насыщенного пара p_n , которое является функцией температуры t_n . Тогда из

соотношения (2.5) можно определить температуру поверхности тела по формуле:

$$t_n = \frac{238 \cdot \lg A}{7,5 - \lg A}, \quad (2.6)$$

где p_o – давление насыщенного пара при 0 °C; $A = \left(\frac{p_c}{p_o} + \frac{1}{p_o} \cdot \frac{q_u}{r \cdot \alpha_p} \right),$.

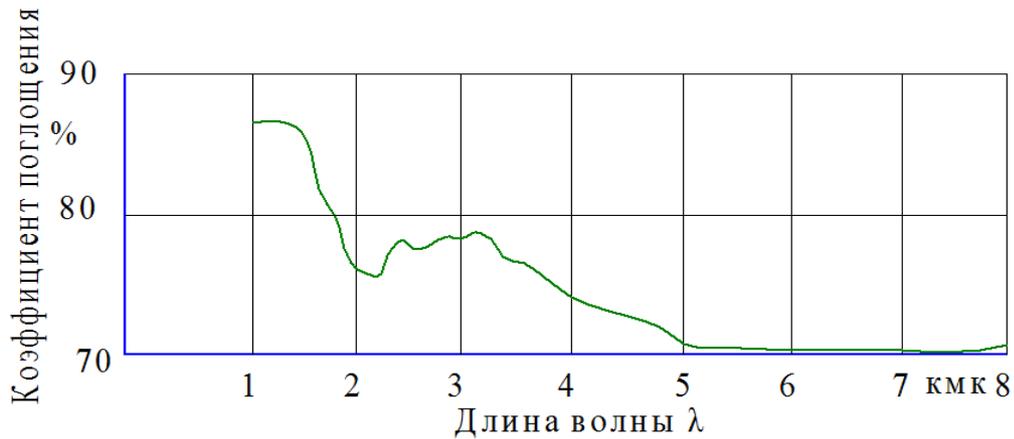


Рис. 2.7. Зависимость коэффициента поглощения инфракрасных лучей от длины волны

Поток лучистой энергии оказывает влияние на величину конвективного теплообмена α , который учитывается параметрическим критерием Лебедева ($Le = T_n / T_c$). Находящимися в пограничном слое, лучистый поток поглощается микроскопическими частицами влаги, что способствует их испарению.

2.3. Экспериментальная установка и методика проведения эксперимента

Исследования процесса микронизации зерновых культур проводились на экспериментальной установке (рис. 2.8).



Рис. 2.8. Экспериментальная установка:

- 1 – инфракрасная зеркальная лампа накаливания ИКЗК 215-225-250; 2 – камера рабочая;
 3 – рама; 4 – автоматический шкаф управления; 5 – нагнетательный вентилятор;
 6 – двигатель АИР 56 В4 УЗ IP54; 7 – рычаг регулировки накала ламп;
 8 – труба гофрированная, 9 – измерительные весы

Экспериментальная установка состоит из инфракрасных зеркальных ламп накаливания 1 ИКЗК 215-225-250; камеры рабочей 2; рамы 3; автоматического шкафа управления 4; нагнетательный вентилятор 5; электродвигатель 6; рычаг для регулирования накала ламп 7; гофрированная труба 8 для отвода отработанного теплоносителя.

Экспериментальная установка установлена на раме 3, для наибольшей жесткости конструкции. Рычаг регулировки расстояния между продуктом и

ИК-лампой 7 способствует настройке расстояния между продуктом и лампой накаливания, которая находится в рабочей камере, регулировка необходима в зависимости от выбора режима работы лампы (равномерного и щадящего). Для отвода отработанного теплоносителя, выше рабочей камеры 2 предусмотрена гофрированная труба 8.

В боковых стенках ИК-камеры 2 расположены инфракрасные лампы 1. Под ИК-камерой 2 закреплен нагнетательный вентилятор 5 за счет нагнетательного диффузора, расположенного между ними. Затем в рабочую камеру загружается слой зерна. Далее необходимо включить инфракрасные лампы 1, которые располагаются рабочей камере 2. Главной особенностью данного нагрева является глубина проникания ИК-лучей в продукт, который составляет 1-3 мм. Поэтому осуществляется нагрев слоя зерна. Одновременно включается нагнетательный вентилятор 5, который расположен под ИК-камерой 2 и соединен с ее нижней частью нагнетательного диффузора. Подача вентилятором 5 теплоносителя (воздух), удаляет испаряемые из зерна пары из ИК-камеры 2.

Автоматизированная система управления над процессом радиационно-конвективной сушки необходима для электронного измерения учета температуры в рабочей камере установки 2. Автоматизированная система также контролирует и регулирует нагревательный элемент в зависимости от заданной температуры подаваемого теплоносителя. Электронное управление за температурой теплоносителя состоит из программно-аппаратного модуля (измерителя), программы регистрирующей значения температуры и хромелькопелевые термопары (диаметр электродов составляет 0,1 мм).

В качестве объекта исследования было использовано зерновое сырье: ячмень, пшеница, кукуруза и т. д.

Микронизацию зернового сырья (ячмень, пшеница, кукуруза и т.д.) проводили с соблюдением следующих параметров: плотность теплового потока – 2,69-5,44 кВт; толщина слоя зерна – 3-5 мм; скорость теплоносителя – 0,3-1,8 м/с; его температура – 313-333 К; длина волн инфракрасных лучей – 1,16-1,65 мкм.

2.4. Исследование характера изменения температуры и влажности зерна в процессе микронизации

Основными критериями оценки процесса ИК-нагрева служили степень декстринизации крахмала и влажность обрабатываемого зерна. На рис. 2.9 и 2.10 показано изменение влагосодержания зерна исходной влажности от длительности обработки, производительности микронизатора и, соответственно, от температуры нагрева.

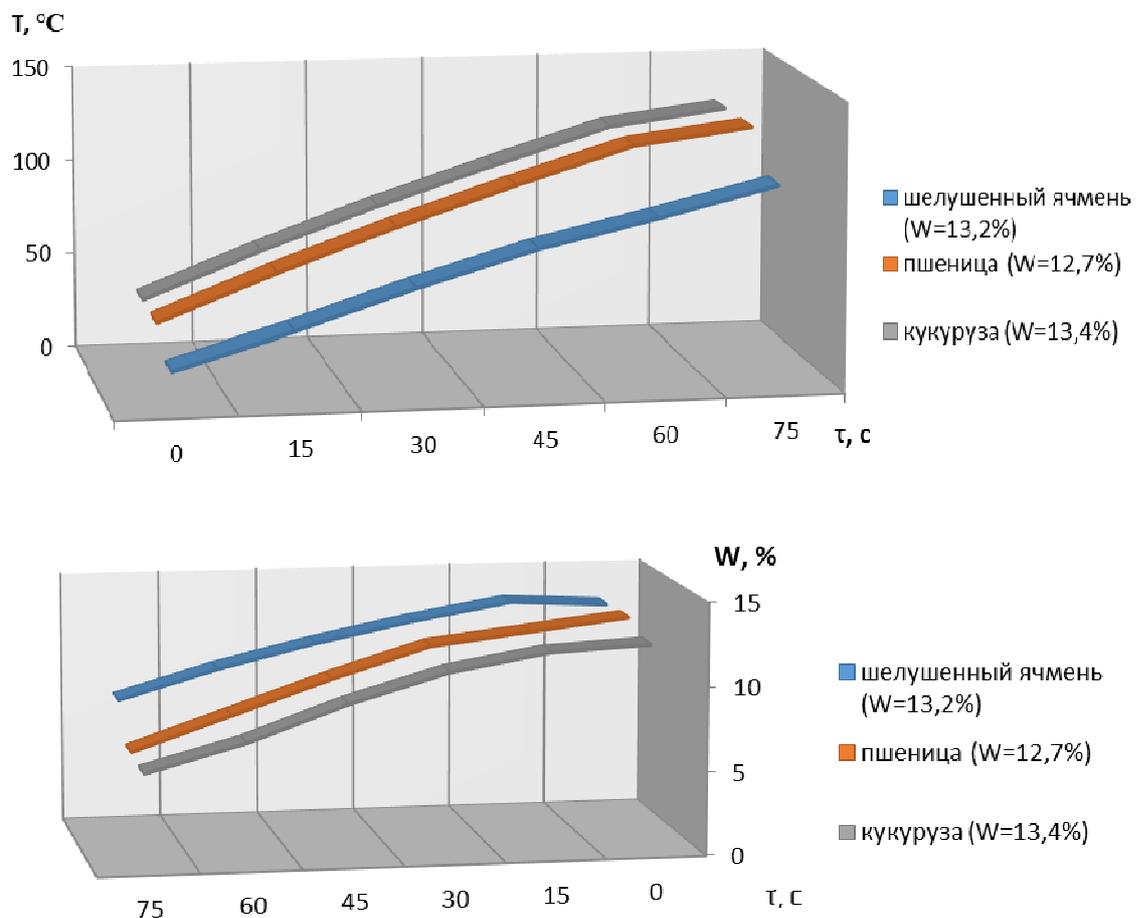


Рис. 2.9. Изменение температуры и влажности зерновых от продолжительности микронизации

В процессе термообработки зерна ИК-лучами было определено, что процесс проходит в два периода в полном соответствии с закономерностями обезвоживания коллоидных капиллярнопористых тел.

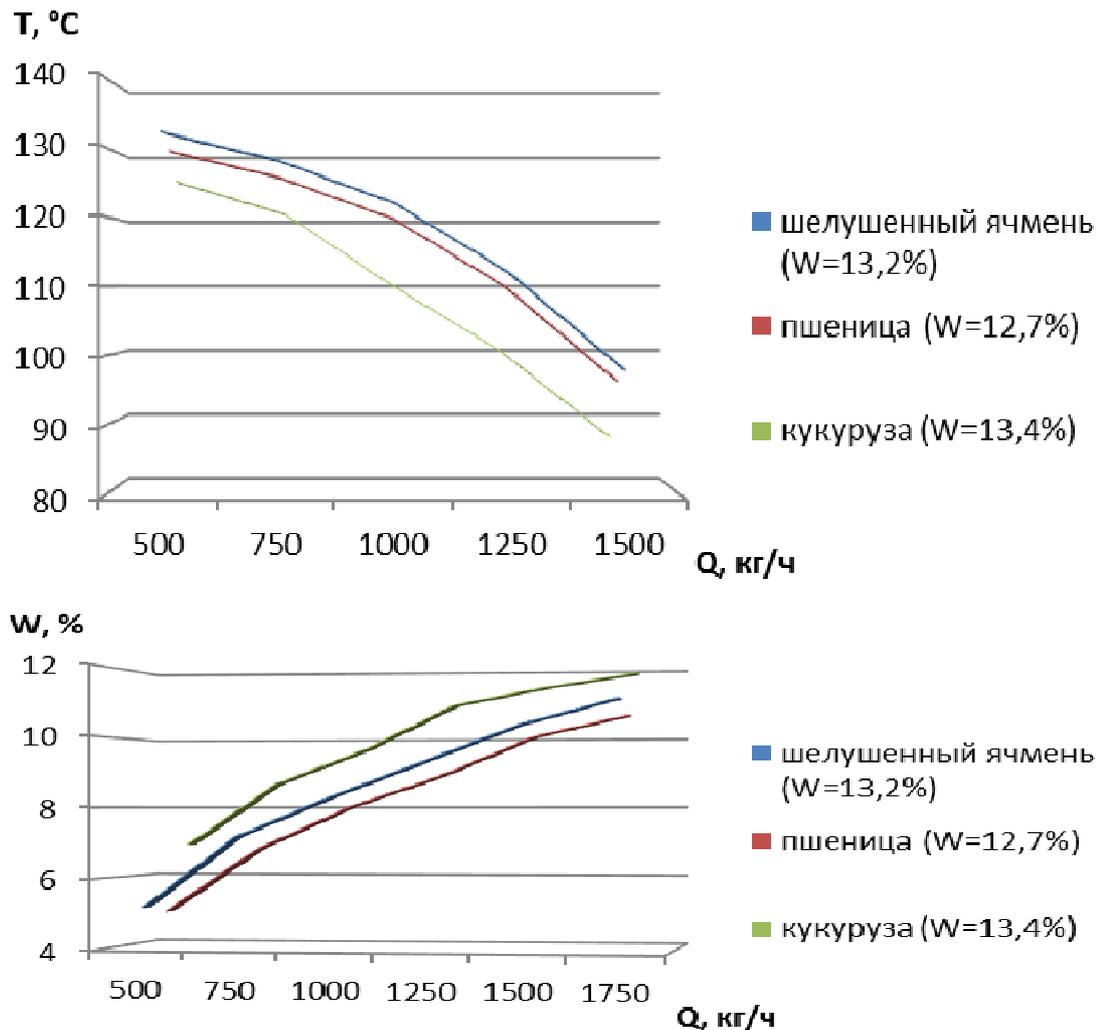


Рис. 2.10. Изменение температуры и влажности обработанного зерна от производительности микронизатора

В первом периоде происходило увеличение скорости влагоотдачи и небольшим уменьшением влажности. При небольшом излучении и маленькой толщине слоя зерна в рабочей камере экспериментальной установки, начальная стадия прогрева зерна непродолжительна во времени и протекает в течение 10-15 с.

Далее, когда температура продукта увеличивается до 60 °С и выше, происходит испарение влаги с поверхности продукта, в силу небольшой теплопроводности зерна, которая затем является главной причиной образования во внутренней части зерна большой влажности и температуры. В следствии чего происходит образование микротрещин, которые нарушают микроструктуру нагреваемого зерна, в следствии, крахмальных гранул.

В данном периоде мы видим линейную зависимость отношения влажности и длительности термообработки, то есть мы наблюдаем за периодом постоянной скорости испарения влаги. В процессе нагреве зерна более 100 °С зерновка вспучивается и становится более пластичной. В таком состоянии она лучше плющится.

В процессе длительного нагрева до 100 °С разные зерновые культуры ведут себя по-разному. Так для кукурузы время нагрева увеличивается до 80 с, а для ячменя и пшеницы время составляет 55-60 с. Это вызвано большими размерами зерна кукурузы. Однако, при этом влажность кукурузы практически одинакова влажности пшеницы и ячменя при таком же значении температуры.

Поэтому, при дальнейшем нагреве зерна происходит растрескивание и интенсивное испарение влаги. С понижением влажности ниже 9 %, и если температура зерна достигает 115-120 °С, продукт имеет более хрупкую структуру и в процессе плющения крошится, это отражается на товарном виде зерна. А также уменьшение влагосодержания в зерне ведет к убыли массы и, поэтому, к повышению цены данного способа обработки.

Следовательно, при дальнейших экспериментальных исследованиях влажность обрабатываемого зерна, было решено ограничить до 9 %. На графике видно (рис. 2.11), что с повышением влажности зерновой культуры, увлажненного водой, длительность процесса ИК-нагрева удлиняется. Поэтому, при нагревании ячменя с исходной влажностью 13,2 % до температуры 115 – 120 °С продолжительность ИК-нагрева составляла 75 с, а для увлажненного ячменя влажностью 18-19 % до такой температуры воздействия терморрадиации увеличилось до 100 с.

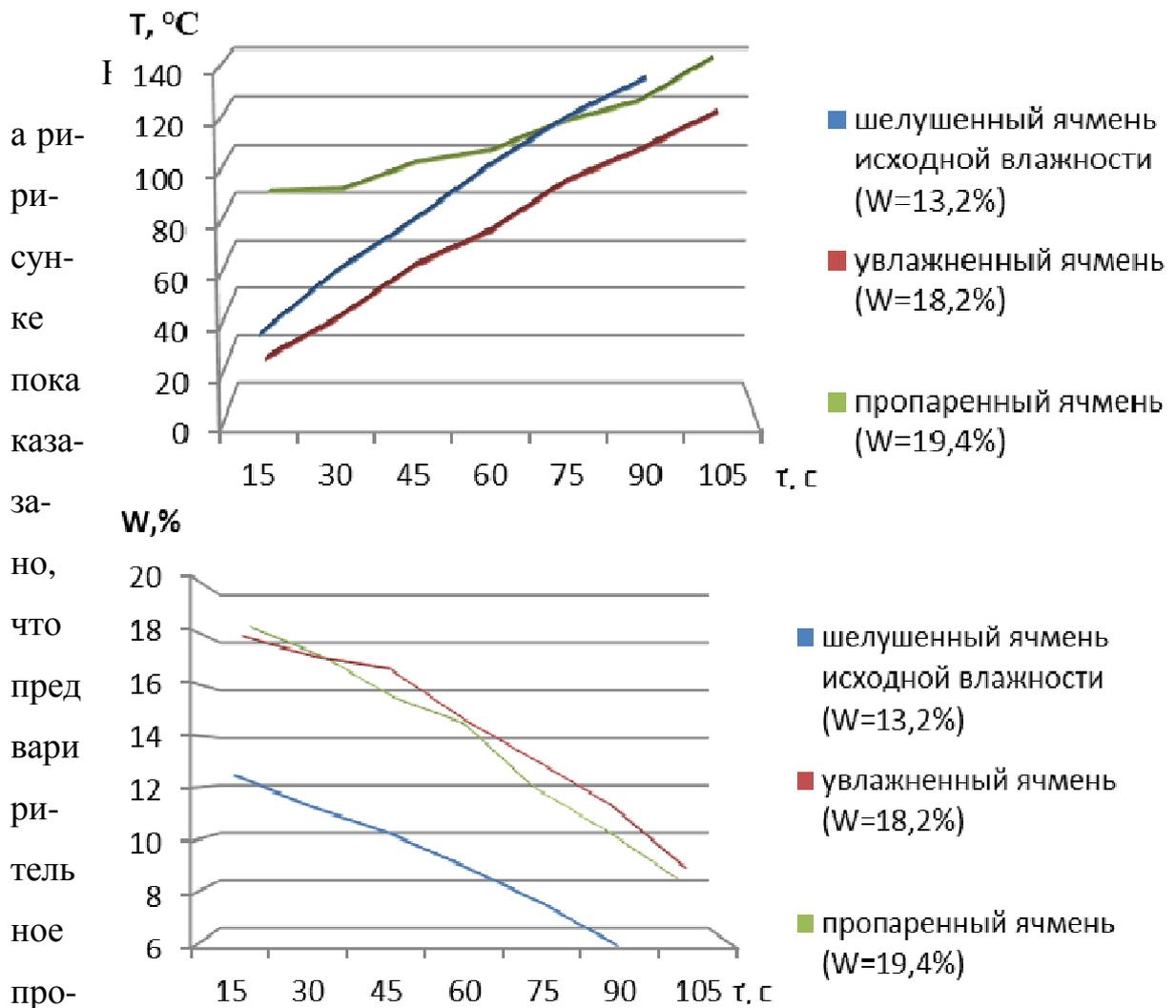


Рис. 2.11. Изменение температуры и влажности ячменя от продолжительности микроизации

вание зерна ведет к незначительному увеличению длительности термообработки по отношению к зерновому сырью с исходной влажностью. Это объясняется тем, что температура пропаренного зерна перед экспериментальной установкой составляет около 70-90 °С и, следовательно, количество тепловой энергии затрачивается значительно меньше на прогрев зерновых культур.

2.5. Влияние выбранных режимов микроизации зерна на изменение

показателей питательности

На процесс микронизации, при обработки зерна, в основном оказывают влияние несколько технологических приема, таких как: пропаривание; увлажнение зерна водой с последующим отволаживанием и совместное пропаривание и увлажнение зерна. Значение влажности в зерна в процессе опыта изменялась от 12 до 25 %.

Анализируя полученные данные (рис. 2.12) и сравнивая их с допустимыми значениями влажности, можно сделать вывод, что самая оптимальная производительность линии микронизации зерна с исходной влажностью составляет 0,9-1,0 т/ч. А, следовательно, степень декстринизации крахмала ячменя и пшеницы составила от 9 до 10 %, кукурузы – 12-13 %.

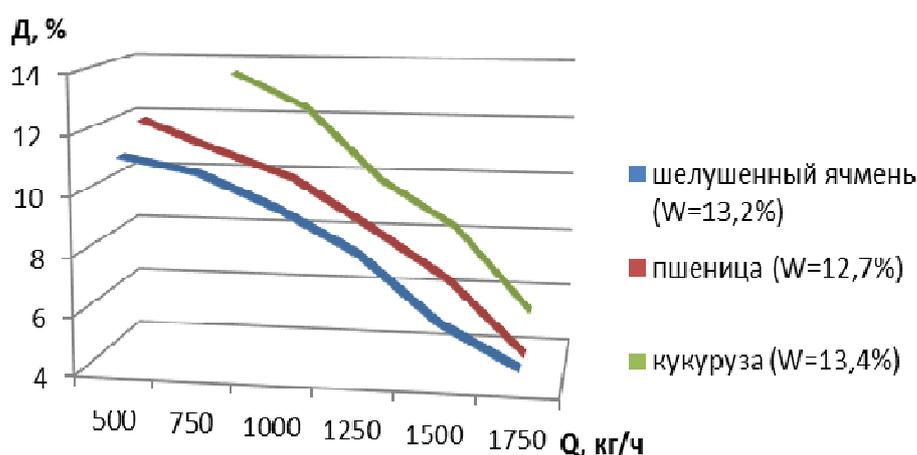
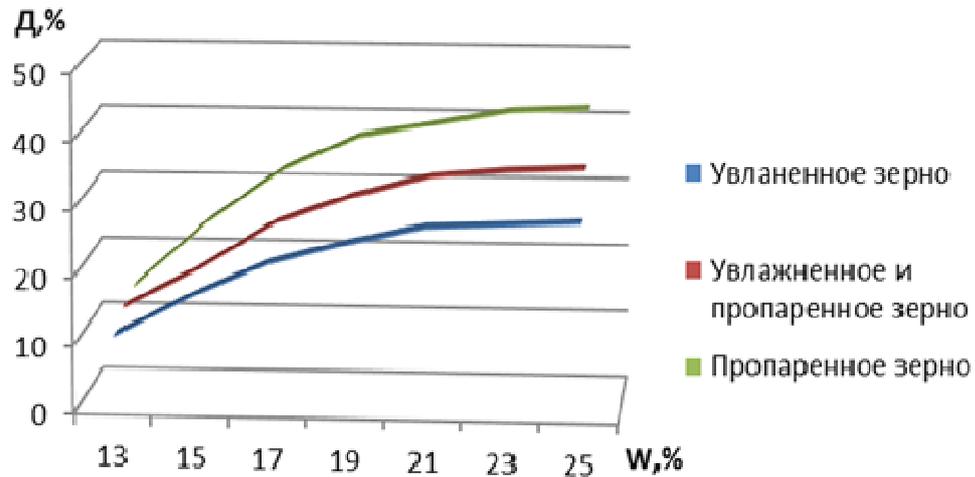
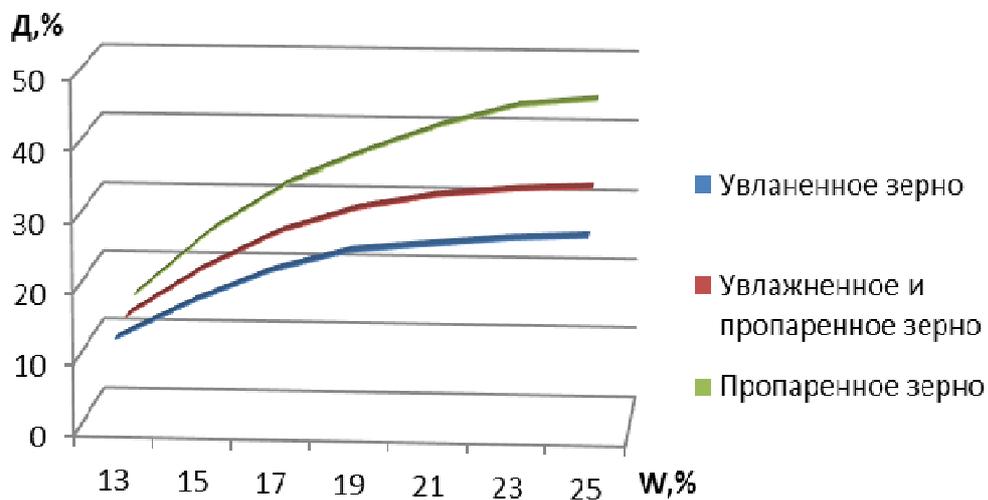


Рис. 2.12. Изменение степени декстринизации крахмала зерна от производительности микронизатора

Увеличение содержания общей влаги в зерне влияет на деструкцию крахмала зерна в процессе микронизации. Установлено, что степень декстринизации зерна с увеличением влажности до 19 % растет интенсивно и достигает для ячменя и пшеницы 24-27 % (рис. 2.13, 2.14). Поэтому производительность экспериментальной установки и температуру нагрева зерновых компонентов установили в пределах 0,8-0,9 т/ч и 115 - 120 °С соответственно. При этом увлажнение зерновых компонентов выше 19 % не влияет на деструкцию крахмала.



а



б

Рис. 2.13. Влияние влажности зерна ячменя (а) и пшеницы (б) на изменение степени декстринизации крахмала

Определено (рис. 2.15), что увлажнение кукурузы до 19 % является оптимальным режимом. Так как, степень декстринизации крахмала ИК-обработанной кукурузы с такой же влажностью достигает выше 30 %, это является на 8-10 % больше, чем в ячмене и пшенице. Единственное, что при термообработке кукурузы производительность экспериментальной установки на 0,15-0,2 т/ч меньше, чем в процессе ИК-нагрева пшеницы и ячменя.

Показано (рис. 2.13-2.14), что при пропаривание зерновые культуры значительно увеличивает процесс деструкции крахмала ИК-обработанного зерна. Так в ИК-обработанной пшенице и ячмене с начальной влажностью от 12 до

13 % степень декстринизации составила 8 - 10 %, то в зерновом сырье прошедшем предварительное пропаривание и ИК-обработку до влажности 19 - 20 %, данный показатель повышается до 35-40 %, т. е. в 2,5 раза. Поэтому, обработанная кукуруза, степень декстринизации которой повышается в 3,5 раза или до 50 %.

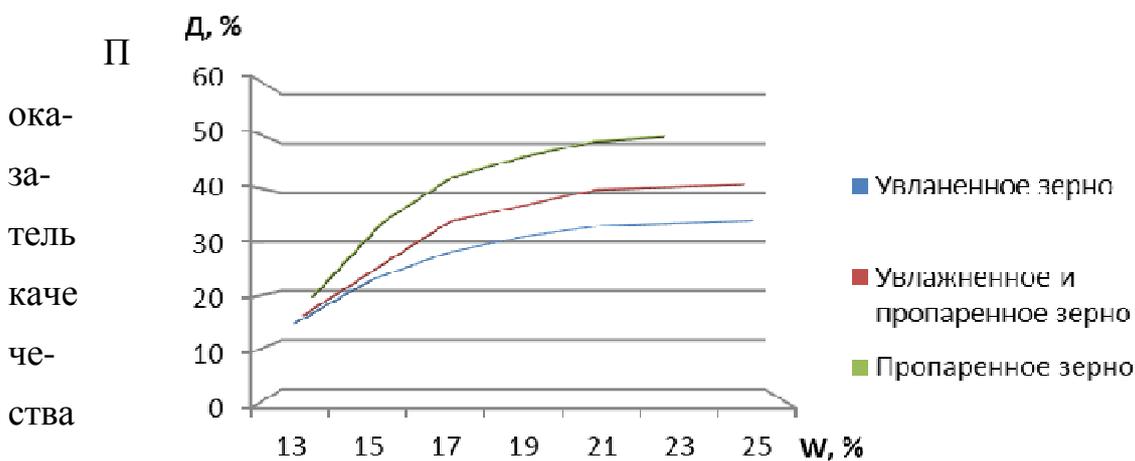


Рис. 2.14. Влияние влажности кукурузы на изменение степени декстринизации крахмала

ячменя достигается при продолжительной обработке в течение 85-90 с, с температурой нагрева зерна – 115-120 °С, при этом производительность микронизатора составит – 0,9-1,0 т/ч.

Соответственно, для кукурузы эти показатели должны быть равны: 115-120 °С; 100-105 с, 0,7-0,8 т/ч. Поэтому необходимо отметить, что пропаривается ячмень и пшеница до влажности 19 % в течение 10-12 мин, кукуруза – 15-16 мин.

В зерновом сырье, прошедшем пропаривание и предварительное увлажнение, степень декстринизации крахмала была значительно ниже, чем в предварительно пропаренном зерне и всего на 2-3 % была выше, чем в увлажненном.

Следовательно, на основании вышеизложенного, те есть изучения ИК-обработку и предварительное влаго- и влаготепловую обработку зернового сырья следует отметить, что самое значимое в процессе микронизации пропаренного зерна до влажности 19 % с последующей термообработкой в течение 90-95 с до температуры 115-120 °С. Исследуя влияние производительности

микронизатора на качество зерна, прошедшего предварительную влагообработку, следует отметить, что с уменьшением производительности степень декстринизации крахмала повышается (рис. 2.12).

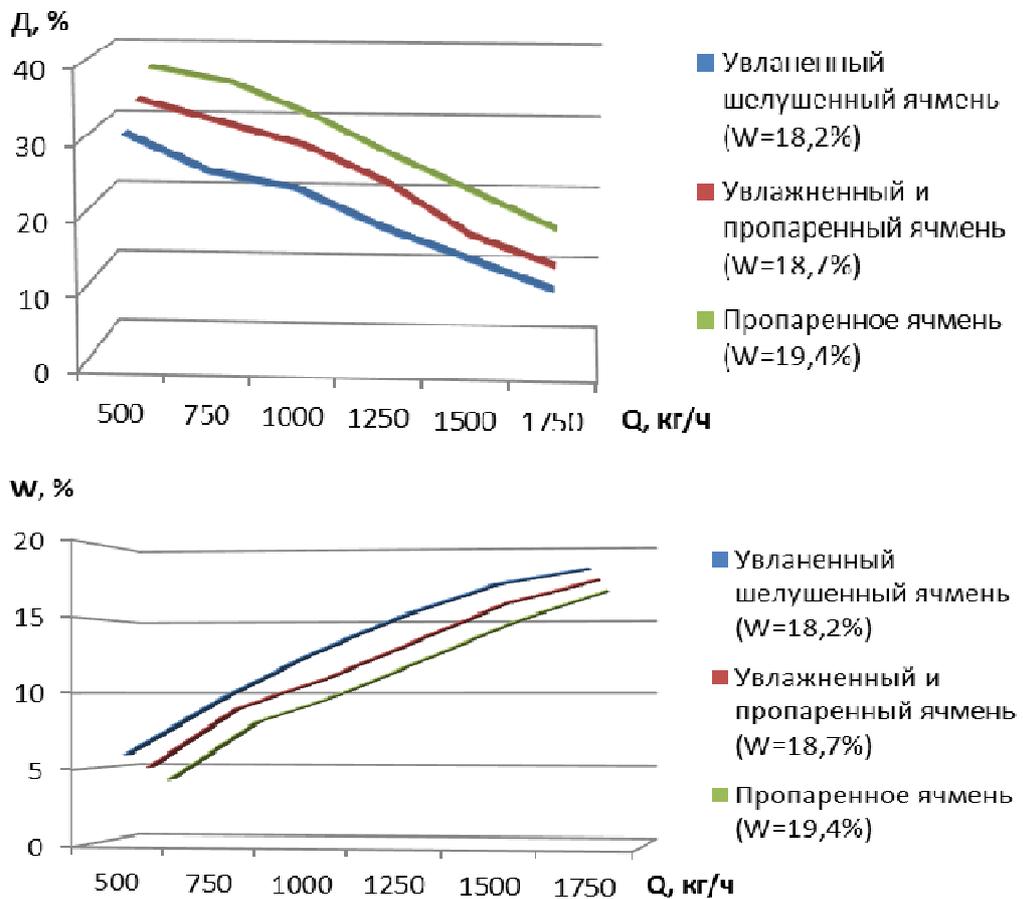


Рис. 2.15. Изменение температуры и влажности обработанного зерна от производительности микронизатора

Однако одновременно происходит интенсивное снижение влажности микронизированного зерна, а это приводит к убыли массы зерна. Наряду с этим, при влажности ниже 8 % микронизированное зерно теряет пластические свойства и в процессе плющения измельчается.

Поэтому, анализируя полученные результаты исследований, пришли к выводу, что оптимальная производительность микронизатора при обработке пропаренного зерна составляет 900-1000 кг/ч, увлажненного – 800-900 кг/ч.

2.6. Оценка изменения белкового комплекса зерна при микронизации

На белки растительного происхождения значительно влияет такой процесс как тепловая обработка. Изменение структуры белкового комплекса определяется такими факторами, как характер внешних воздействий, природными свойствами белковых веществ, концентрацией белков.

В процессе тепловой обработки зерна, на влияние белковых веществ, вызывает изменение структурно-механических свойств зерновых культур, питательной ценности и органолептических показателей

Анализ влияния фракционного состава белков ячменя на инфракрасный нагрев показывает, что любые способы обработки ячменя в целом не изменяют общего содержания азота в зерновом сырье (табл. 2.3). Уменьшение общего содержания азота случается только под воздействием одного из жестких режимов обработки – пропаривания ячменя с последующей ИК-обработкой. ИК-излучение существенно меняет соотношении белковых фракций, хотя при этом не слишком меняя сумму азотистых веществ.

Таблица 2.3

Влияние ИК-нагрева на фракционный состав белков ячменя

Образец ячменя	Содержание общего азота, %	Фракционный состав белка, % к общему азоту				Белки не растворимого остатка, %
		глобулины	альбумины	проламины	глютелины	
ИК-обработанный	2,25	4,54	3,80	12,63	48,88	30,15
Исходный	2,28	7,27	8,48	23,75	45,33	15,2
Микронизированный (хлопья)	2,26	5,62	5,15	19,34	45,87	23,99
Пропаренный	2,20	4,21	2,76	20,58	43,76	25,10
Пропаренный и ИК-обработанный	2,12	2,16	1,37	6,00	48,33	38,57
Пропаренный и микронизированный (хлопья)	2,24	4,23	2,42	17,12	46,76	28,47
Увлажненный	2,27	7,13	8,54	23,20	45,27	15,16
Увлажненный и ИК-обработанный	2,24	4,26	2,87	9,45	47,43	36,01
Увлажненный и микронизированный (хлопья)	2,26	5,48	5,37	18,80	44,3	25,14

Высоко восприимчивый к ИК-нагреву считаются содержание соли и

водорастворимые фракции белка. Поэтому, в ИК-обработанном ячмене содержание соле- и водорастворимых фракции белка уменьшились на 51,2 % и 40,2 %, соответственно, в сравнении с содержанием их в исходном зерне. То же самое происходит и при микронизации зерна, однако, общее содержание альбуминов и глобулинов в зерне незначительно уменьшается (на 37,8 % и 24,2 % соответственно).

Повышение режима обработки зерна ведет к потере растворимости белка, это говорит денатурационных изменениях белка, степень которых возрастает. При качественной оценки белка растительного происхождения показывает общее количество аминокислот, находящийся в составе, а, следовательно, биологическую ценность, обуславливающую содержание в белках незаменимых аминокислот. Микронизация исходного зернового сырья существенно не влияет на изменение содержания аминокислот в белке. (табл. 2.4).

Таблица 2.4

**Изменение аминокислотного состава белков микронизированного ячменя
(в % на сухое вещество)**

Аминокислоты	Образец ячменя		
	исходный	микронизированный	пропаренный и микронизированный
	Содержание	Содержание	Содержание
Аланин	7,42	7,23	6,50
Аргинин	4,37	3,76	3,64
Аспарагиновая кислота	12,15	9,76	8,49
Валин	6,92	6,86	6,72
Гистидин	1,99	1,27	1,70
Глицин	7,88	7,87	7,04
Глутаминовая кислота	39,65	39,69	34,74
Изолейцин	4,83	4,72	3,86
Лейцин	12,49	10,13	10,59
Лизин	3,85	3,24	3,02
Метионин	2,62	2,36	2,21
Пролин	23,43	20,24	23,34
Серин	6,51	6,07	5,49
Тирозин	3,29	3,09	3,16
Треонин	6,09	5,91	4,44
Триптофан	1,41	1,28	0,99
Фенилаланин	6,12	5,98	5,35
Цистин	7,02	7,19	5,81

В процессе пропаривания ячменя и последующим процессом микронизации, изменение содержания аминокислот значительно, чем при микронизации исходного зернового сырья. При таком способе ИК-обработки, общее содержание аминокислот уменьшается от 1,3 % до 16,9 %. Значительное изменение аминокислот наблюдается в содержании гистидина, лизина, триптофана, треонина и аспарагиновой кислоты. Их содержание становится ниже на 22,1 %; 45,2 %; 26,9 %; 29,1 % и 26,8 % соответственно.

Полученные данные (табл. 2.5) показывают, что изменение аминокислотного состава при инфракрасной обработке ячменя больше, чем при микронизации зернового сырья исходной влажности или, например, предварительно пропаренного зерна. В процессе поджаривания ячменя влияние оказывает в первую очередь на незаменимые аминокислоты, таких как треонин, триптофан, лизин, содержание их уменьшается на 32,2 %; 28,9 %; и 22,1 %, соответственно, чем в исходном зерновом сырье.

Другие аминокислоты наиболее лабильные в этом способе обработки являются гистидин, серин, аспарагиновая кислота и аргинин, количество которых изменяется на 43,7 %; 27,7 %; 32,8 %; и 18,3 %, соответственно в сравнении с исходным образцом зернового сырья. В ИК-обработанном ячмене и пропаренном содержание аминокислот уменьшается еще значительно, чем в поджаренном. В данном способе обработки большинство аминокислот снизилось на 17,5 % - 47,8 %, однако количество валина, пролина, и фенилаланина снизилось незначительно - на 1,0 %; 8,1 %; и 9,2 % соответственно. Следовательно, процесс микронизации ячменя не существенно влияет на содержания свободных аминокислот.

Инфракрасный нагрев оказывает явное изменения белкового комплекса ячменя. При изучении изменений растворимости белков и содержания в них составе аминокислот, можно сделать вывод про сильное изменение питательной ценности обрабатываемого зернового сырья. При использовании пищеварительного фермента-пепсина, можно определить атакуемость белков. Для оценки мы взяли коэффициент переваримости белка, данный коэф-

фициент представляет отношение исходного количества белка в ячмене к переваримости белка. Получено, что при пропаривании, увлажнении и ИК-обработке зернового сырья коэффициент переваримости белков не уменьшается (табл. 2.6).

Изменение аминокислотного состава белков ИК-обработанного ячменя (в процентах на сухое вещество)

Аминокислоты	Образец ячменя			
	исходный	пропаренный	ИК-обработанный	пропаренный и ИК-обработанный
Аланин	7,32	7,39	6,24	4,96
Аргинин	4,24	4,23	3,49	3,55
Аспарагиновая кислота	12,05	10,03	8,10	10,95
Валин	6,92	6,58	7,06	6,86
Гистидин	1,90	1,79	1,12	1,77
Глицин	7,88	7,48	6,81	6,61
Глютаминовая кислота	39,55	37,51	36,07	31,97
Изолейцин	4,83	4,78	4,20	2,94
Лейцин	12,49	12,24	11,51	8,95
Лизин	3,85	3,18	2,99	3,15
Метионин	2,62	2,63	2,24	2,42
Пролин	24,44	22,81	20,33	19,67
Серин	6,51	6,04	4,71	4,93
Тирозин	3,29	3,32	2,81	2,62
Треонин	6,09	5,06	4,07	5,82
Триптофан	1,30	1,01	0,92	0,90
Фенилаланин	6,00	5,47	6,00	5,45
Цистин	7,02	6,15	7,03	6,42

Таблица 2.6

Изменение коэффициента переваримости белка при микронизации ячменя

Образец ячменя	Влажность, %	Длительность облучения, мин	Содержание белка, %		Коэффициент переваримости белка, %
			Общее (N ₀₆ x 5,7)	Переваримого	
Исходный	12,7	-	12,85	10,19	79,92
Микронизированный (хлопья)	7,4	50	12,92	10,21	79,02
Пропаренный	24,8	-	12,76	10,08	78,90
Пропаренный и микронизированный (хлопья)	8,5	60	12,82	10,02	78,10
Увлажненный	30,8	-	12,88	10,23	79,42
Увлажненный и микронизированный (хлопья)	8,9	60	12,81	10,07	78,61

В процессе исследования ферментативной атакуемости белков образца микронизированного ячменя показал, что коэффициент переваримости белка не уменьшается как в микронизированном и пропаренном зерне, так и в предварительно увлажненном и микронизированном зерне исходной влажности.

2.7. Влияние микронизации на санитарное состояние зерна

Используемое зерновое сырье при производстве комбикормов, обычно, бывает обсеменено разными видами микроскопических грибов. Обсеменение зернового сырья грибами вызвано в большинстве случаев при уборке, а соответственно, развитие грибов уже при длительном хранении зерна.

Основные виды грибов, таких как *Fasarium*, *Aspergillus*, *Penicillium* и др. уменьшают питательную ценность зернового сырья, используя как правило, зерно как субстрат для развития и роста. Грибы, так же, способны к накоплению продуктов метаболизма, которые затем, очень токсичные для живых организмов. Самыми токсичными веществами остаются, вещества выделяемые грибами *Aspergillus flavus*, или так называемый афлатоксин. Он (афлатоксин

В₁) абсолютно устойчив к повышению температуры.

В процессе микронизации зерновых компонентов, обеззараживание зерна составляет до 90,5 % от глубинной микрофлоры, а поверхностная микрофлора зерна практически полностью погибает. (таблица 2.7).

Таблица 2.7

Влияние ИК-нагрева на микрофлору зерна в процессе микронизации

Образец ячменя	Микрофлора			
	поверхностная		глубинная	
	Количество грибов в 1 г, шт.	Обеззаражено, %	Количество грибов в 1 г, шт.	Обеззаражено, %
Исходный	10200	-	42	-
Микронизированный (хлопья)	Отсутствуют	100	4	90,5

Резюмируя, можно отметить, что инфракрасный нагрев губительно действует на микрофлору зерна ячменя. В процессе поджаривания зернового сырья поверхностная микрофлора после облучения уничтожается через 6 сек, а глубинная погибает через 120 сек.

Поверхность ИК-обработанных хлопьев в течение 50 сек облучений стерилизуется практически полностью, а, следовательно, на 90,5 % обеззараживается от глубинной микрофлоры.

Длительный нагрев при микронизации ячменя довольно эффективно уменьшает токсичность зерновых культур, образовавшуюся в результате жизнедеятельности грибов.

Например, токсичность исходного зернового сырья соответствует IV степени, то при ИК-обработке в течении 30 сек снижало токсичность до III степени, а за 120 сек – до I степени (табл. 2.8).

Таблица 2.8

Изменение токсичности ячменя при ИК-обработке

Продолжительность обработки ячменя, с	Токсичность, степень	Содержание афлатоксина В ₁ , мкг/кг	Токсичность ячменя по афлатоксину В ₁
Без обработки	Резко токсичная, IV	>1000	Очень высокая
30	Токсичная, III	50-250	Средняя
60	Слабо токсичная	<50	Слабая
90	Слабо токсичная, II	Нет	Нет
120	Очень слабо токсичная, I	Нет	Нет

Далее при изучении изменений содержания афлатоксина В₁, показали, что при искусственно зараженном зерне ячменя содержание афлатоксина В₁ превышало 1000 мкг/кг, то воздействие ИК-обработки в течение 30 сек уменьшило содержание афлатоксина В₁ до 50-250 мкг/кг, а более длительное облучение свыше 90 сек привела к полной инактивации афлатоксина В₁. Поэтому, ИК-обработка зерновых культур является одним из эффективных способов обеззараживания зерна.

2.8. Влияние засоренности зерна на процесс микронизации

В лабораторных и производственных условиях проведены исследования по изучению влияния содержания примеси в обрабатываемом зерне, отличающейся размерами, плотностью и металломагнитными свойствами на процесс микронизации.

По результатам исследований установлено, что эффективность работы технологического оборудования цеха микронизации в значительной степени зависит от содержания в зерне сорной примеси и, особенно, от наличия в зерне крупной минеральной и металломагнитной примеси. Содержание частиц гальки, руды, шлака и металла с размерами частиц более 1,2 мм приводит к нарушению стабильности процесса плющения. Так работа цеха микронизации в

течение всего 40 часов на неочищенном зерне привела к значительному разрушению рифленой поверхности валков плющилки. Было насчитано около 400 вмятин и засечек, видимых невооруженным глазом, что при более продолжительной работе привело бы к разрушению рифленой поверхности валков. Наряду с этим, за счет больших радиальных нагрузок, образуемых при проходе крупных примесей через межвальцевый зазор, вышел из строя опорный подшипник плющилки, что привело к заклиниванию валков и выходу из строя механизма межвалковой передачи. Все это резко снижало работу механизмов плющилки и ухудшало качество вырабатываемых хлопьев.

Содержание сорной примеси в фуражном зерне ячменя, пшеницы и кукурузы согласно действующим стандартам на зерно должно соответствовать базисным кондициям и не превышать 5 %, в том числе минеральной примеси 1,0 %. Нет ограничений на металломагнитную и органическую примеси. Анализ опытов по изучению засоренности партий зернового сырья, поступающего на Новобелицкий комбикормовый завод, показали (табл. 2.9), что содержание сорной примеси, как правило, не превышало базисных кондиций. Это же относится и к наличию минеральной примеси, за исключением одной партии ячменя, в которой содержание минеральной примеси достигало 1,27 %. Очистка исследуемых партий зерна на воздушно-ситовом сепараторе с ситами, установленными согласно «Правил организации и ведения технологического процесса производства продукции комбикормовой промышленности» снижает минеральную примесь до 80 % и более. При этом не было установлено превышение данной примесью базисных кондиций. Однако, в партиях зерна, прошедших очистку на зерновых сепараторах, оставалось до 0,63 % минеральной примеси, которая являлась проходом сортировочного (полотна решетные с круглыми отверстиями № 160) и сходом подсевного сита (полотна решетные с круглыми отверстиями № 12).

Эта фракция минеральной примеси по крупности частиц соответствовала размерам ограничительных отверстий сит сепаратора и отделить ее от

массы зернового сырья при помощи воздушно-ситового сепаратора практически невозможно.

В тоже время, результатами исследований было установлено, что такое содержание минеральной примеси, (а это в основном частицы гальки, камней руды и т. д.) существенно влияет на рабочую поверхность рифленых валков. Так в процессе плющения очищенного на сепараторе зерна в течение суток наблюдалось появление на поверхности валков до 40 вмятин и насечек, что за два месяца работы плющилки привело к полному износу рабочей поверхности валков и их замене.

В то же время, по рекомендациям фирмы «Микронайзинг», гарантируемый срок эксплуатации валков без повторной нарезки рифлей не менее года.

Таблица 2.9

Содержание сорной, минеральной и металломагнитной примеси в зерновом сырье

Вид зерна	Содержание, %				Содержание, мг/кг	
	Сорной примеси до очистки	Минеральной примеси до очистки	Минеральной примеси после сито-воздушного сепаратора	Минеральной примеси после камнеотборника	Металломагнитной примеси до очистки	Металломагнитной примеси в очищенном зерне
Пшеница	3,12	0,18	0,08	0,005	22,5	следы
	1,37	0,45	0,13	0,020	33,2	следы
	2,59	0,64	0,28	0,004	0,7	следы
	2,32	0,72	0,34	0,090	24,5	следы
	0,63	0,14	0,01	0,002	14,7	следы
	4,80	0,77	0,57	0,003	41,8	следы
	2,45	0,41	0,23	0,001	28,6	следы
X±Δ	2,47±0,89	0,47±0,20	0,23±0,14	0,018±0,021	23,7±9,5	следы
Ячмень	0,73	0,18	0,10	0,004	13,4	следы
	3,70	0,55	0,27	0,030	60,3	следы
	4,69	0,42	0,20	0,050	10,4	следы
	1,78	0,23	0,16	0,002	35,5	следы
	3,15	1,27	0,63	0,120	32,3	следы
	1,60	0,65	0,36	0,080	26,5	следы
	0,95	0,22	0,03	0,002	18,0	следы
	3,85	0,84	0,55	0,040	46,0	следы
X±Δ	2,56±1,29	0,55±0,28	0,29±0,17	0,041±0,032	30,3±13,2	следы
Кукуруза	0,51	0,12	0,07	0,002	21,7	следы
	3,48	0,34	0,17	0,030	44,4	следы
X±Δ	2,0±1,49	0,23±0,11	0,12±0,05	0,016±0,014	33,1±11,4	следы

Для эффективного выделения этой примеси, как показывает практика очистки зерна в мукомольном и крупяном производстве, применяют вибропневматические камнеотборники серии БКМ-6.

Анализ опытов по очистке зерна на камнеотборнике БКМ-6, работающем в паспортном режиме позволили установить (таблица 2.9), что эффективность отделения этой минеральной примеси составляла более 80 %. Во всех анализируемых образцах зерна она не превышала 0,12 %. При этом следует отметить, что чем крупнее частица минеральной примеси и выше ее плотность, тем эффективнее она отделяется от массы очищенного зерна.

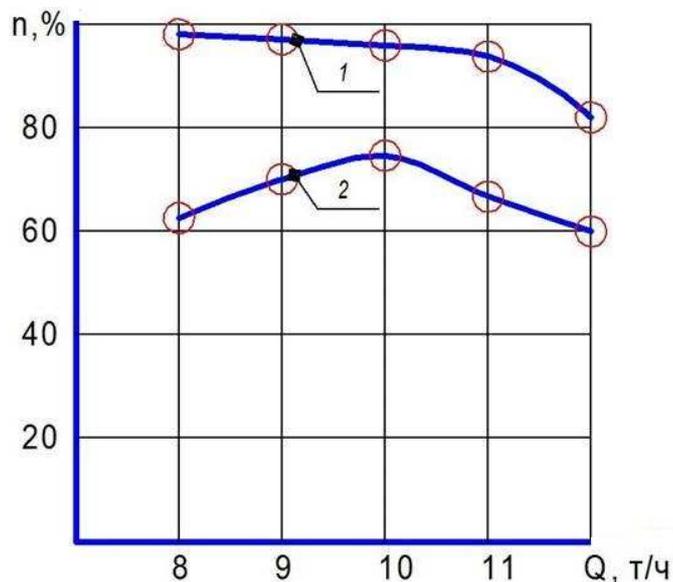


Рис. 2.16. Зависимость коэффициента очистки от минеральной примеси при различной производительности камнеотборника
1 – галька; 2 – частицы земли

Наиболее эффективно, 95-98 %, из зерна (в частности из ячменя на котором проводились эти исследования) выделяется галька, т. е. минеральная примесь, плотность которой почти в два раза больше плотности ячменя. Комочки земли, плотность которых практически не отличается от плотности ячменя, выделяются максимально на 70 % (рис. 2.16).

Поэтому в анализируемых образцах зерна после камнеотборника оставшаяся минеральная примесь в основном состояла из частиц земли (частицы земли, смешанной с частицами органической примеси мучки и т. д.), которые из-за своих невысоких прочностных свойств практически не оказывают влияние на рабочую поверхность валков плющилки. Кроме этого, камнеотборник эффективно отделяет от массы зерна и металломагнитную примесь с размерами частиц более 1,2 мм, а установка в линию очистки зерна магнитного сепаратора УЗ-ДКМ-01 практически свела на нет присутствие данной смеси.

В анализируемых образцах зерна были отмечены только следы металломагнитной примеси. Наличие в обрабатываемом зерне органической примеси также может отражаться на процессе микронизации зерна. При интенсивном ИК-нагреве зерна и невысокой влажности частиц листьев, стеблей, стержней, пленок возможно их возгорание и обугливание, что снижает товарный вид и качество готовой продукции. Наряду с этим повышается пожарная опасность в цеху. Однако результаты определения наличия органической примеси в анализируемых партиях зерна позволили отметить, что ее содержание очень незначительное. Последующая очистка на воздушно-ситовом сепараторе и вибропневматическом камнеотборнике почти полностью отделяют органическую примесь. В образцах зерна установлены только отдельные ее следы. Поэтому данная примесь при нагреве очищенного зерна практически не оказывала влияния на процесс микронизации.

Таким образом, установка в цехе микронизации зернового сепаратора, камнеотборника и магнитного сепаратора привела к повышению надежности работы технологического оборудования и продолжительности эксплуатации рабочей поверхности валков плющилки до гарантируемого фирмой срока (не менее 1 года).

Глава 3. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

3.1. Постановка задачи

В процессе микронизации зерна влага испаряется, в основном, в периоде убывающей скорости сушки [1, 6].

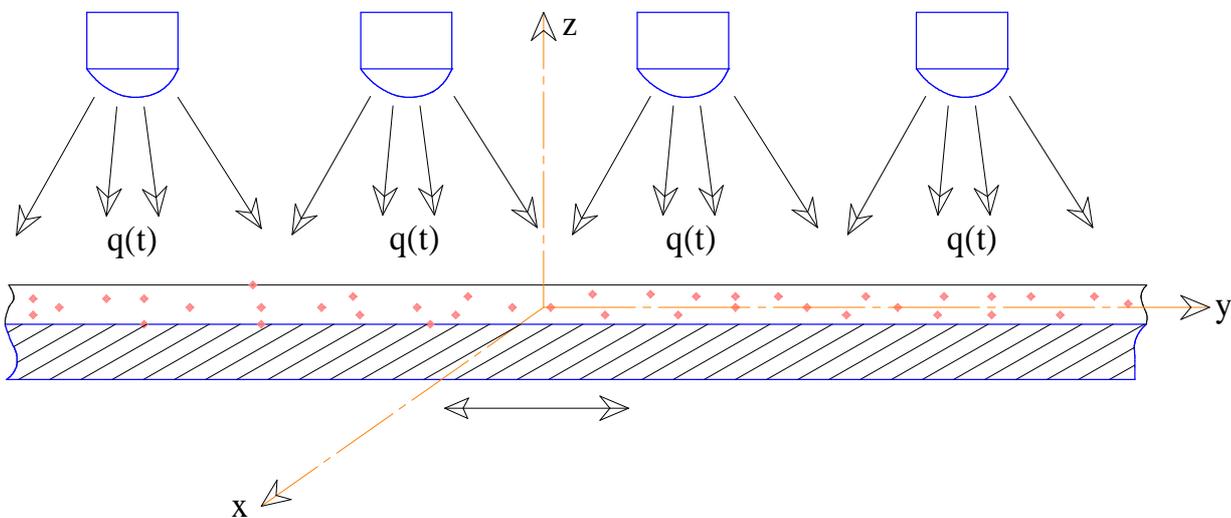


Рис. 3.1. Расчетная схема процесса микронизации зерна

Слой зерна, находящийся на поверхности транспортера микронизатора, будем рассматривать как горизонтальную пластину толщиной $2R$. Вследствие того, что в процессе микронизации с поверхности зерен испаряется незначительное количество влаги (в пределах 2-7 %) будем считать пластину постоянной толщины.

Начало системы пространственных координат поместим в произвольную точку. Слой зерна, который рассматриваем как горизонтальную пластину толщиной $2R$, движется горизонтально, а падающий на него лучистый поток примем за перпендикулярный (рис. 3.1). Координатную плоскость (y, x) необходимо расположить перпендикулярно к оси z и параллельно к поверхности зерна, а ось координаты z направим параллельно потоку инфракрасных

лучей, а (далее мы рассмотрим ниже, координаты y и x которые будут участвовать в уравнениях, описывающих процесс сушки).

Изменение влагосодержания U и температуры T в процессе микронизации зерна описывается системой дифференциальных уравнений массо- и теплопереноса [43]:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau} = b\nabla U + b\delta\nabla T + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = a\nabla T + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau}. \end{cases} \quad (3.1)$$

где $\nabla = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$ – оператор Лапласа, a – коэффициент температуропроводности продукта, $\text{м}^2/\text{с}$, ε – коэффициент фазового превращения, δ – термоградиентный коэффициент, c – удельная массовая теплоемкость вещества, $\text{кДж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$; b – коэффициент массопереноса (диффузии), $\text{м}^2/\text{с}$, r – удельная теплота испарения воды, $\text{кДж}/\text{кг}$.

Однако, в процессе микронизации структура зерна претерпевает изменения, то для получения точного решения данных уравнений нужно не забывать изменения теплофизических, оптических и др. (плотности, температуропроводности, теплоемкости) параметров. Значения коэффициента температуропроводности a , коэффициента теплопроводности λ и массовой удельной теплоемкости c при различных значениях температуры и влажности зерна приведены в главе 2. Коэффициенты отражения, поглощения и пропускания лучистого потока необходимо будет считать постоянным.

3.2. Аналитическое решение математической модели

Так как в нашем случае абсолютное значение перемещения влаги вдоль оси z , незначительными внутренним влагопереносом по координатам y , x , высоким градиентом влагосодержания и последующим испарением, влагосодер-

жание и температура не являются зависимостью от координат y, x : поэтому, уравнения (3.1) принимают вид:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau} = b \frac{\partial^2 U}{\partial z^2} + b\delta \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \varepsilon \frac{\partial U}{\partial \tau}, \\ \frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau}. \end{cases} \quad (3.2)$$

В уравнение теплопереноса необходимо добавить слагаемое, которое должно отвечать за ИК-нагрев. Поскольку мощность падающего на вещество лучистого потока равна $q(\tau)$. Поэтому мощность поглощенного потока в точке вещества с координатой x равна

$$\tilde{q}(\tau) = Aq(\tau)\exp(k(R-z)),$$

где A – коэффициент поглощения; k – коэффициент инстинкции (коэффициент ослабления луча).

Так как толщина зерна очень мала, поэтому там происходит понижение луча в толще продукта, поэтому необходимо считать уравнение линейным по координате z .

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = a \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\varepsilon r}{c} \frac{\partial U}{\partial \tau} + \frac{1}{c\rho} Aq. \quad (3.3)$$

При правильном решении данных уравнений следует учитывать зависимость коэффициентов от времени. С учетом такой зависимостью системы уравнений может быть записана так:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) &= b(\tau) \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}(z, \tau) + b(\tau)\delta(\tau) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}(z, \tau) + \varepsilon(z, \tau) \frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) \end{aligned} \right. \quad (3.4)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial T}{\partial \tau}(z, \tau) &= a(\tau) \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}(z, \tau) + \frac{\varepsilon(z, \tau)r}{c(\tau)} \frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) + \frac{\rho_w + \rho_s U(z, \tau)}{c(\tau)\rho_s\rho_w(U(z, \tau) + 1)} Aq(\tau) \end{aligned} \right. \quad (3.5)$$

Уравнение (3.5) следует переписать в виде (учитывая, что $\varepsilon(z, \tau) \neq 1$: равенство которое означало, что влага испаряется с поверхности пластины):

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) = \frac{b(\tau)}{1 - \varepsilon(z, \tau)} \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}(z, \tau) + \frac{b(\tau)\delta(\tau)}{1 - \varepsilon(z, \tau)} \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}(z, \tau). \quad (3.6)$$

В начальный момент процесса микронизации ($\tau = 0$) температура и вла-
госодержание постоянны:

$$T(z, 0) \equiv T_0, \quad U(z, 0) \equiv U_0. \quad (3.7)$$

Ввиду малой толщины зерна, пренебрегаем процессами, которые проис-
ходят на краю зернового сырья, следовательно граничные условия можно за-
писывать лишь для $z = \pm R$, поэтому можно сказать, что мы рассматриваем эту
задачу для бесконечной пластины.

Пренебрегая бародиффузией и термовлагопроводностью (потому что их
влияние проявляется лишь при температурах около 100 °С [43], запишем гра-
ничное условие для уравнения массопереноса в виде условия третьего рода на
поток влаги, испаряющейся через поверхность пластины:

$$-\lambda_m(R, \tau) \frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = \beta(R, \tau) \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{\text{ср}}), \quad (3.8)$$

где λ_m – коэффициент теплопроводности, β – коэффициент массоотдачи, $U_{\text{ср}}$
– влагосодержание окружающей среды.

В периоде убывающей скорости сушки коэффициент температуропро-
водности a меняется незначительно, поэтому в этом периоде значение коэф-
фициента температуропроводности постоянно, т. е. $a \approx a = 15,57 \cdot 10^{-8} \text{ м}^2 / \text{с}$
(см. таблица 2.1 в главе 2). Аналогично, теплоемкость примем равной
 $c \approx c_1 = 2107,52 \text{ Дж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$.

Уравнение теплопереноса (3.8) содержит слагаемое

$\frac{\rho_w + \rho_s U(z, \tau)}{c(\tau) \rho_s \rho_w (U(z, \tau) + 1)} Aq(\tau)$, которое необходимо разложить по степеням z :

$$\begin{aligned} \frac{\rho_w + \rho_s U(z, \tau)}{c(\tau) \rho_s \rho_w (U(z, \tau) + 1)} Aq(\tau) &= \frac{Aq(\rho_w + \rho_s (u_0(\tau) + u_2(\tau) z^2))}{\rho_s \rho_w c(\tau) (u_0(\tau) + u_2(\tau) z^2 + 1)} = \\ &= \frac{Aq}{\rho_s \rho_w c(\tau)} \left(\frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau) z^2 \right) \end{aligned}$$

(мы учли, что $q(\tau) \equiv q = \text{const}$).

В процессе замещения правой части уравнения и опускания слагаемых порядка выше 2 по z , то наше уравнение приобретает вид:

$$\begin{aligned} \dot{t}_0(\tau) + \dot{t}_2(\tau) z^2 &= 2a_1 t_2(\tau) + \frac{Aq(\rho_w + \rho_s u_0(\tau))}{\rho_s \rho_w c_1 (1 + u_0(\tau))} + \\ &+ 2 \frac{Aa_1 q}{\rho_s \rho_w c_1} \left(6 \frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} t_4(\tau) + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau) t_2(\tau) \right) z^2 \end{aligned} \quad (3.9)$$

приравняем коэффициенты при одинаковых степенях z :

$$\begin{cases} \dot{t}_0(\tau) = 2a_1 t_2(\tau) + \frac{Aq(\rho_w + \rho_s u_0(\tau))}{\rho_s \rho_w c_1 (1 + u_0(\tau))} \\ \dot{t}_2(\tau) = 2 \frac{Aa_1 q}{\rho_s \rho_w c_1} \left(6 \frac{\rho_w + \rho_s u_0(\tau)}{1 + u_0(\tau)} t_4(\tau) + \frac{\rho_s - \rho_w}{(1 + u_0(\tau))^2} u_2(\tau) t_2(\tau) \right). \end{cases} \quad (3.10)$$

Изменения коэффициента теплопроводности λ примем равным приблизительно $\lambda \approx \lambda_1 = 0,294 \text{ Вт / (м} \cdot \text{К)}$.

Так как задачи симметричны по z (воздействие постоянно по z , то есть симметрично, пластина симметрична и однородна) функции $U(z, \tau)$ и $T(z, \tau)$ четны по z : это значит, что все ряды обязательно будут содержать только слагаемые с чётными степенями z . Поместив данные выражения в нашу систему уравнений и начально-краевых условий, далее необходимо отбросить все слагаемые степени выше 2 порядка как пренебрежимо мизерные, то есть функции U и R будем приближенно искать в виде.

Значит, уравнение массопереноса с учетом допущения $\varepsilon(z, \tau) = 0$ принимает вид

$$\dot{u}_o(\tau) + \dot{u}_2(\tau)z^2 = 2b(\tau)(u_2(\tau) + 6u_4(\tau)z^2) + 2b(\tau)\delta(\tau)(t_2(\tau) + 6t_4(\tau)z^2).$$

Приравнивание коэффициентов при одинаковых степенях z дает систему

$$\begin{cases} \dot{u}_o(\tau) = 2b(\tau)u_2(\tau) + 2b(\tau)\delta(\tau)t_2(\tau), \\ \dot{u}_2(\tau) = 12b(\tau)u_4(\tau) + 12b(\tau)\delta(\tau)t_4(\tau). \end{cases} \quad (3.11)$$

Предположим значения коэффициента массопереноса (диффузии) b и термоградиентного коэффициента δ постоянно.

Необходимо выписать значения всех констант, принимающих участие в системе уравнений массо- и теплопереноса. Мощность теплового потока необходимо принять равной $q = 35 \text{ кВт} / \text{м}^2$. В связи с экспериментальными данными коэффициент поглощения для зерна пшеницы возьмем равным $A \approx 0,75$ (см. главу 2). Тогда, значение плотности влаги нужно взять равным плотности воды: $\rho_w = 10^3 \text{ кг} / \text{м}^3$. Так как плотность зернового компонента при начальной влажности равно 17 % и при влажности 8,9 %, вычислим плотность абсолютно сухого вещества $\rho_s = 905 \text{ кг} / \text{м}^3$. Коэффициент диффузии b возьмем равным $b = 2,71 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2 / \text{с}$. В соответствии с экспериментом [52], термоградиентный коэффициент δ в периоде убывающей скорости сушки весьма незначительный при названных значениях влагосодержания, поэтому им можем пренебречь.

Значения температуры $T_{\text{ср}}$ и влагосодержания $U_{\text{ср}}$ постоянны. Значение $T_{\text{ср}} = 95 \text{ }^\circ\text{C}$ для процесса микронизации пшеницы.

Подставим в уравнение (3.1) и уравнение (3.2) в граничные условия известного значения констант, далее постановливаемая задача относиться к построению функции влагосодержания. Так как температура, в процессе нагрева, становится абсолютно равной по всей толще зерна, слагаемое, содержа-

щее $\frac{\partial^2 T}{\partial z^2}$, из уравнения массопереноса уходит, и это уравнение приобретает

вид

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) = b(\tau) \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}(z, \tau) + \varepsilon(z, \tau) \frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) \quad (3.12)$$

или

$$\frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) = \frac{b(\tau)}{1 - \varepsilon(z, \tau)} \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}(z, \tau). \quad (3.13)$$

Коэффициент $b(\tau)$ необходимо считать постоянным и равным $b = 2,71 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$; величину $\varepsilon(z, \tau)$ положим равной 0,3. Коэффициент $\frac{b(\tau)}{1 - \varepsilon(z, \tau)} = 3,87 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{с}$ обозначим B .

Начальное условие приобретает вид

$$U(z, \tau_0) = C_0 + C_2 x^2, \quad (3.14)$$

где константы C_0, C_2 которые необходимо найти из среднего значения $\bar{U}(\tau_0)$, из граничного условия и определенного экспериментально. Принимая $\bar{U}(\tau_0) = 0,5$ (примерное значение влагосодержания в момент, когда температура продукта постоянна), получаем соотношение $C_0 R + \frac{1}{3} C_2 R^3 = 0,5$.

Граничное условие в данном случае имеет вид

$$\lambda_m(R, \tau) \frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = \beta(R, \tau) \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{\text{cp}}) \quad (3.15)$$

или

$$\frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = \frac{\beta(R, \tau)}{\lambda_m(R, \tau)} \frac{\rho_s \rho_w (U(R, \tau) + 1)}{\rho_w + \rho_s U(R, \tau)} (U(R, \tau) - U_{\text{cp}}). \quad (3.16)$$

Для коэффициентов массоотдачи $\beta(R, \tau)$ и массопроводности $\lambda_m(R, \tau)$ необходимо взять постоянные значения: $\lambda_m(R, \tau) = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ кг}/(\text{м} \cdot \text{с})$, $\beta(R, \tau) = 2 \cdot 10^{-5} \text{ м}/\text{с}$.

При сделанных допущениях граничное условие приобретает вид

$$\frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = KU(R, \tau), \quad (3.17)$$

где $K = \frac{\beta \rho_w}{\lambda_m} \approx 0,12 \text{ м}^{-1}$.

Запишем задачу массопереноса при сделанных допущениях:

$$\begin{cases} \frac{\partial U}{\partial \tau}(z, \tau) = B \frac{\partial^2 U}{\partial z^2}(z, \tau), \\ U(z, \tau_0) = C_0 + C_2 z^2, \\ \frac{\partial U}{\partial z}(R, \tau) = KU(R, \tau). \end{cases} \quad (3.18)$$

Система уравнений (3.18) является начально-краевой задачей третьего рода для уравнения теплопроводности, решение задачи очень хорошо известно [38]. Необходимо воспользоваться частным случаем этого решения при $Bi \sim 1$ или $Bi \gg 1$.

$$U(z, \tau) = D_1 \exp(-B\mu^2 \tau) \cos \mu x + D_0,$$

где D_1, μ, D_0 – константы, они могут быть определены из начального и граничного условия.

3.3. Проверка математической модели процесса микронизации зерна на адекватность

Проверяем адекватность математической модели процесса микронизации зерна пшеницы и сопоставим теперь функции влагосодержания от времени, к результату получены решения систем уравнений, с измеренными экспериментальными данными опыта.

Численное решение системы уравнений для периода убывающей скорости сушки осуществим с помощью математического пакета Maple 14, подставляя значения констант в систему (3.18).

Сравнение результатов расчета с экспериментальными значениями приведено на рис. 3.2.

Расчет средней относительной ошибки не превышает 7–10 % и показывает хорошее соответствие расчетных данных с экспериментальными значениями.

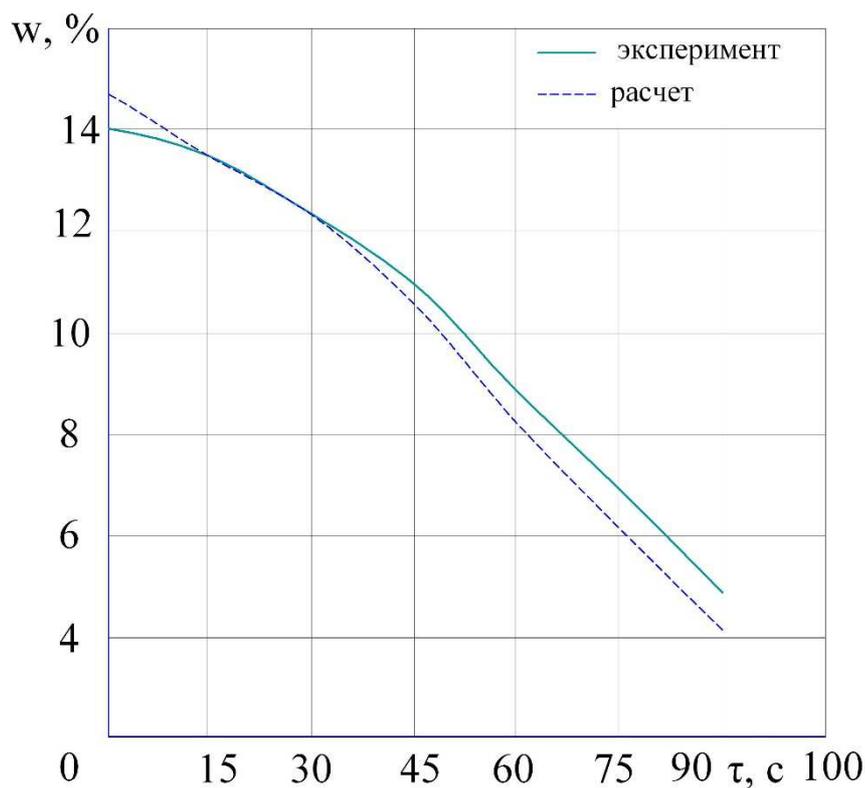


Рис. 3.2. Сравнение расчетных и экспериментальных данных изменения влагосодержания пшеницы от времени

Отразим данные в таблице 3.1.

Таблица 3.1

Расчетные и экспериментальные значения влагосодержания пшеницы

Время, с	U^c (расчет), %	U^c (эксперим.), %	Абсолютная разница, %	Относит. погрешность, %
0	14,9	14,0	+ 0,9	6,42
15	13,5	13,5	0	0
30	12,2	12,2	0	0
45	10,8	11,3	- 0,5	4,42
60	8,1	9,0	- 0,9	10,0
75	6,0	7,0	-1,0	14,28
90	4,3	4,9	- 0,6	12,24

Глава 4. ИССЛЕДОВАНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА И ПИТАТЕЛЬНОСТИ МИКРОНИЗИРОВАННОГО ЗЕРНОВОГО СЫРЬЯ

В процессе микронизации зернового сырья (ячменя, кукурузы, пшеницы) на разработанном микронизаторе брались пробы для исследования химического состава и питательности микронизированного сырья.

4.1. Используемые методы и методики

Теоретическая производительность определялась путем взвешивания выработанной продукции на весах ДК-50.

Техническая производительность определялась с учетом потерь времени на простои по техническим причинам, по формуле

$$P = \frac{A}{T_m + T_{\pi}}, \quad (4.1)$$

где A – количество выработанного продукта за время испытания, т; T_m – время работы линии микронизации зерна за время испытаний, ч; T_{π} – время собственного простоя линии, т.е. время, затраченное на техническое обслуживание и устранение отказов, ч.

Фактическую мощность излучения определяли при помощи прибора «Измеритель средней мощности и энергии излучения ИМО – 2Н».

Дозу облучения зернового сырья излучением определяли расчетным путем по методике, описанной в литературном источнике [32, 37].

Толщину слоя обрабатываемого продукта задавали регулированием заслонки и изменением скорости вращения валика питателя, а затем толщину полученного слоя продукта на транспортирующем органе микронизатора определяли визуально.

Амплитуду колебания и частоту колебания вибрлотка определяли с помощью вибрографа ВР-1А.

Измерение величины напряжения, тока и мощности проводили с по-

мощью амперметра, вольтметра и токоизмерительных клещей Ц 91.

Потребляемую установками электроэнергию определяли посредством счетчика активной энергии типа САЗУ-ИТ.

Габаритные и другие размеры измеряли с помощью металлической рулетки с ценой деления 1 мм ГОСТ 7502-98.

Время микронизации определяли с помощью секундомера СОП пр2а-3 ГОСТ 5072-79.

Зазор между валками и скребками плющилки определяли с помощью щупа №2 ТУ 2-034-225-87.

Угол наклона вибротранспортера определяли с помощью угломера.

Толщину хлопьев измеряли с помощью микрометра МК-25-1 ГОСТ 6507-90.

Отбор проб для биохимических анализов проводили по ГОСТ 13586.3-83.

Органолептический анализ зернового сырья проводили в соответствии с ГОСТ 10967-90.

Влажность определяли по ГОСТ 13586.5-93.

Температуру зерна определяем при помощи ртутного термометра с ценой деления 1 °С (ТЛ-2).

Объемную массу и угол естественного откоса определяли по ГОСТ 28245-89 «Комбикорма, сырье. Методы определения объемной массы и угла естественного откоса».

Содержание восстанавливающих сахаров определяли по Бертрану [46].

Степень декстринизации и степень клейстеризации крахмала определяли по ГОСТ 29177-91 «Зерно. Метод определения состояния степени деструкции крахмала».

Выделение отдельных белковых фракций осуществляли по классическому методу Осборна [65].

Определение количественного содержания белка и белковых фракций

определяли по методу Лоури [44].

Переваримость *in vitro* по ГОСТ 24230-80 «Корма растительные. Метод определения переваримости *in vitro*».

Микробиологический анализ проводили согласно [67].

Токсичность определяли по ГОСТ Р 52337-2005 «Корма, комбикорма, комбикормовое сырье. Методы определения общей токсичности».

Наличие микроскопических грибов определяли по ГОСТ 13496.6-71 «Комбикорм. Метод выделения микроскопических грибов».

Количество проведенных анализов до и после микронизации по определению и содержанию восстанавливающих сахаров составляет 248; общих сахаров - 564; декстринов - 924; крахмала - 142; белка - 668; белковых фракций - 644; переваримости *in vitro* – 44; микрофлоры и грибов - 124; токсичности – 64.

Всего при производственной проверке экспериментальной линии микронизации зернового сырья выработано 12000 кг микронизированного зернового сырья (ячменя, пшеницы, кукурузы и т.д.).

Научно-хозяйственные опыты по оценке эффективности скармливания микронизированного ячменя в составе комбикормов-стартеров группам телят и поросят проводили совместно с ВИЖем на ферме «Овечкино» агрофирмы «Иваново» и в экспериментальном хозяйстве ВИЖа «Кленово-Чегодаево». Для проведения опытов создали по три примерно равные группы телят и поросят общей численностью соответственно 69 и 110 голов.

Схема опыта приведена в табл. 4.1.

Кормление телят в течение производственного эксперимента было групповым. Учет необходимого корма производить ежедневно, а учет остатков корма проводили в течение двух смежных суток. Содержание телят было групповым, по пять голов в станке. Для контроля за развития и роста телят проводили их ежемесячное взвешивание. Опыт продолжался по достижению телятами 120-дневного возраста (учетный период составил 86 дней). Наблюдение за подопытными телятами были продолжены до 6-месячного возраста.

Схема опыта

Группы	Количество голов	Условия кормления
телят:		
I контрольная	23	Основной рацион (ЗЦМ, обрат, сено, зеленая масса) + комбикорм-стартер СКР-I с необработанным шелушеным ячменем
II опытная	23	ОР + комбикорм СКР-I с микронизированным шелушеным ячменем
III опытная	23	ОР + комбикорм СКР-I с микронизированным шелушеным ячменем без включения сухого обезжиренного молока и сахара, но с увеличенной массой соевого шрота с 17 % до 23,7 %
поросят:		
I контрольная	104	Комбикорм-стартер КС с необработанным шелушеным ячменем
II опытная	102	КС с микронизированным шелушеным ячменем
III опытная	104	КС с микронизированным шелушеным ячменем и со сниженной с 7 % до 3% массой ввода сухого обезжиренного молока

В процессе опыта брали значения по принципу аналогов (с учетом живой массы, породы, количество поросят в гнезде и их выравненности, сроков опороса) были подобраны 3 группы маток по 9 голов в каждой с количеством поросят по 104 головы в I и III группах и 102 во II-й.

Содержание маток было индивидуальное, кормление двухразовое увлажненным комбикормом, одинаковое для всех групп.

С десятидневного возраста подопытных поросят приучали к поеданию соответствующих стартерных комбикормов. В 35-дневном возрасте поросят отняли от маток, оставив их в тех же станках. Кормление поросят было групповым, учет заданных кормов и их остатков ежедневный. О росте и развитии поросят судили по результатам их индивидуального взвешивания

Во время проведения опытов для кормления животных зерно микронизировали на экспериментальной линии, после чего вырабатывали опытные партии рассыпных комбикормов в станковом корпусе ОАО «ВНИИКП». Составы рецептов комбикормов в опытных партиях приведены в табл. 4.2.

Составы рецептов опытных партий для откорма молодняка животных

Компоненты	Процент ввода в рецепт	
	СКР-1 для телят	СКР-1 для поросят
Кукуруза	15,0	-
Ячмень шелушенный	53,55	66,5
Шрот соевый	17,0	13,0
Шрот подсолнечный	-	2,0
Дрожжи кормовые	5,0	3,0
Мука рыбная	-	5,0
ЗЦМ	5,0	7,0
Сахар	1,7	-
Жир	-	1,5
Мел	0,5	1,0
Обесфторенный фосфат	1,0	-
Бикарбонат натрия	0,25	-
Премикс П-52	-	1,0
Премикс П62-1	1,0	-
Итого:	100	100

4.2. Исследование углеводного комплекса зернового сырья подвергнутого микронизации

Результаты исследований углеводного комплекса ячменя (табл. 4.3) показывают, что с увеличением температуры экспозиции обработки происходит постепенное уменьшение содержания крахмала. Так, например, при температуре 115 °С и экспозиции 30 с удержание крахмала уменьшилось с 45,57 % до 37,54 %.

Так как оптимальным режимом обработки ячменя является температура 140 °С и экспозиция 40 с, то при данном режиме уменьшение крахмала составляет 22,46 %.

Установлено, что содержание восстанавливающих сахаров под действием ИК-излучения в основном не меняется (табл. 4.3).

Изменение содержание общих сахаров (водорастворимых) первоначально находится в зависимости от температуры и времени обработки например, при температуре 115 °С и продолжительности 30 с содержание общих сахаров увеличилось в 1,3 раза, а при температуре 140 °С и продолжительности 40 с в 2,6 раза. Дальнейшее увеличение температуры и продолжительности обработки в основном не изменяют содержание общих сахаров.

Такая же картина наблюдается в изменении содержания декстринов, а именно при температуре 115 °С и продолжительности обработки 30 с содержание декстринов увеличивается в 1,5 раза. При температуре 140 °С и продолжительности 40 с содержание декстринов увеличивается в 3,0 раза. При дальнейшем увеличении температуры и продолжительности в основном изменение содержания декстринов не наблюдается.

Результаты исследований углеводного комплекса кукурузы даны таблице 4.4, а пшеницы – в таблице 4.5. Их анализ показывает, что увеличение содержания декстринов в микронизированной кукурузе и пшенице несколько меньше чем в микронизированном ячмене.

Известно, что критерием питательной ценности, углеводного комплекса зерна является степень клейстеризации и декстринизации крахмала. Из анализа результатов исследований степени клейстиризации и декстринизации крахмала в ячмене (табл. 4.6) видно, что изменение степени клейстеризации и декстринизации крахмала находится в зависимости от температуры и экспозиции обработки. Так, например, при температуре 115 °С и экспозиции обработки 30 с степень клейстеризации достигает 35 %, степень декстринизации – 27,7 %, а при температуре 140 °С и времени обработки 40 с соответственно 40 % и 60,7 %.

В таблице 4.7 даны результаты исследований степени клейстиризации и декстринизации крахмала в кукурузе и пшенице.

Таблица 4.3

Результаты исследований углеводного комплекса ячменя

Культуры	Время воздействия, с	Температура, °С	Крахмал, %	Восстанавливающие сахара, %	Общие сахара, %	Прирост общих сахаров	Декстрины, %	Прирост декстринов
Ячмень								
Исходный	-	-	45,57±0,4	0,45	7,66±0,3	-	2,81±0,2	-
Микронизированный	30	115	37,54±0,3	0,42	10,22±0,2	1,3	4,24±0,4	1,5
	35	120	28,72±0,4	0,43	10,79±0,1	1,4	5,70±0,3	2,0
	40	140	23,11±0,1	0,42	20,21±0,4	2,6	8,22±0,1	3,0
	50	150	22,21±0,3	0,43	18,99±0,3	2,5	8,1±0,3	2,8
	60	165	21,27±0,3	0,42	17,69±0,3	2,3	8,04±0,3	2,9
	70	170	21,27±0,4	0,42	18,07	2,3	7,82±0,3	2,8

Таблица 4.4

Результаты исследований углеводного комплекса кукурузы

Культуры	Время воздействия, с	Температура, °С	Крахмал, %	Восстанавливающие сахара, %	Общие сахара, %	Прирост общих сахаров	Декстрины, %	Прирост декстринов
Кукуруза								
Исходный	-	-	53,65±0,3	0,29	8,08±0,3	-	3,81	-
Микронизированный	35	120	37,59±0,2	0,29	10,48±0,2	1,3	5,72±0,3	1,3
	45	145	27,79±0,4	0,29	16,05±0,2	2,0	8,25±0,2	1,8
	60	160	22,25±0,4	0,29	15,42±0,3	1,9	8,13	1,8

Таблица 4.5

Результаты исследований углеводного комплекса пшеницы

Культуры	Время воздействия, с	Температура, °С	Крахмал, %	Восстанавливающие сахара, %	Общие сахара, %	Прирост общих сахаров	Декстрины, %	Прирост декстринов
Пшеница								
Исходный	-	-	56,43±0,3	0,26	9,41±0,2	-	4,9±0,2	1,3
Микронизированный	30	115	36,86±0,3	0,25	13,48±0,4	1,4	6,53±0,3	1,3
	45	150	29,6±0,4	0,25	22,8±0,6	2,4	10,05±0,4	2,1

	60	175	24,41±0,3	0,25	22,1±0,4	2,3	9,42±0,3	2,0
--	----	-----	-----------	------	----------	-----	----------	-----

Таблица 4.6

Результаты исследований степени клейстеризации и декстринизации крахмала в ячмене

Наименование культуры	Температура, °С	Время обработки, с	Степень клейстеризации, %	Степень декстринизации, %
Ячмень				
Исходный	-	-	30,0	-
Микронизированный	115	30	35,0	27,7
	120	35	37,0	36,8
	140	40	40,0	60,7
	150	50	45,0	59,4
	165	60	57,0	59,2
	170	70	65,0	59,2

Таблица 4.7

Результаты исследований степени клейстеризации и декстринизации крахмала кукуруза и пшеницы

Наименование культуры	Температура, °С	Время обработки, с	Степень клейстеризации, %	Степень декстринизации, %
Кукуруза				
Исходный	-	-	40,0	-
Микронизированный	120	35	45,0	19,8
	145	45	57,0	41,9
	160	60	58,0	41,1
Пшеница				
Исходный	-	-	40	-
Микронизированный	115	30	55	28,5
	150	45	68	56,4
	175	60	68	54,6

4.3. Исследование белкового комплекса зернового сырья, подвергнутого микронизации

Результаты исследований белкового комплекса ячменя (табл. 4.8) показали, что общее содержание белков с увеличением температуры и экспозиции обработки не изменяется и равно 12,06-12,43 %. Однако ИК-излучение приводит к существенным изменениям белковых фракций. Из таблицы 4.8 видно, что водорастворимые фракции белка уменьшаются в 1,2-1,6 раза, со- лерастворимые фракции в 1,1-1,3, спирто- растворимые фракции в 1,3 раза. При этом одновременно увеличиваются щелочерастворимые фракции (в 1,0-

1,2 раза) и белки нерастворимого остатка (в 1,4-1,6 раза).

Результаты исследований белкового комплекса кукурузы и пшеницы (табл. 4.9) показывают, что общее содержание белков пшеницы и кукурузы не изменяется и равно соответственно 13,51-13,29 % и 14,86-14,47 %. Так как оптимальным режимом ИК-обработки для кукурузы является температура 145 °С и экспозиция 45 с, то при данном режиме уменьшение водо-соле-спирторастворимых фракций снижается: альбумины в 1,2 раза; глобулины в 1,2 раза; проламины в 1,3 раза.

Увеличение щелочерастворимой фракций белка составляет 1,2 раза и белков нерастворимого остатка - в 1,2 раза. У пшеницы оптимальным режимом обработки является температура 150 °С и экспозиция 45 с. При данном режиме альбумины снижаются в 1,5 раза, глобулины в 1,3 раза, проламины в 1,3 раза. Одновременно увеличиваются белки щелочерастворимых фракций в 1,2 раза и белки нерастворимых остатков в 1,5 раза.

Результаты исследований показали, что ИК-обработка приводит к существенным изменениям в соотношении белковых фракций. Потеря растворимости белков говорит о его денатурационных изменениях. При ИК-обработке увеличивается скорость гидролиза протеолитическими ферментами, следовательно, переваримость белка и атакуемость его ферментами увеличиваются.

Для исследования питательности микронизированного зерна были приготовлены опытные партии комбикормов по следующему рецепту: кукуруза – 20 %; пшеница – 52 %; шрот хлопковый – 3,0 %; шрот подсолнечный – 11,0 %; отруби – 4,0 %; лизин – 0,5 %; травяная мука – 1,0 %; рыбная мука – 4,5 %; сухое обезжиренное молоко – 1,0 %; трикалийфосфат – 1,5 %; премикс – 1,0 %.

Для предварительных исследований питательности микронизированного зерна были отобраны 40 голов утят в Казахской зональной опытной станции птицеводства.

Таблица 4.8

Результаты исследований белкового комплекса ячменя

Культура	Экспозиция, с	Температура, °С	Содержание белка	Фракционный состав белка, % от общего азота				Белки нерастворимого водного остатка
				Альбумины	Глобулины	Проламины	Глютелины	
Ячмень								
Исходный	-	-	12,38	11,37	8,74	25,03	47,27	7,59
Микронизированный	30	115	12,06	9,64	8,22	19,95	50,43	10,3
	35	120	12,47	9,45	7,37	20,01	48,76	11,4
	40	140	12,15	7,72	7,35	20,49	51,26	12,2
	50	150	12,25	7,5	6,8	20,0	53,4	12,3
	60	165	12,1	7,4	6,9	19,9	53,0	12,8
	70	170	12,43	7,3	6,8	19,0	54,7	12,7

Таблица 4.9

Результаты исследований белкового комплекса кукурузы и пшеницы

Культура	Экспозиция, с	Температура, °С	Содержание белка	Фракционный состав белка, % от общего азота				Белки нерастворимого водного остатка
				Альбумины	Глобулины	Проламины	Глютелины	
Кукуруза								
Исходный	-	-	14,86	6,86	10,36	35,51	25,76	21,5
Микронизированный	45	145	14,47	5,92	8,34	28,18	31,48	26,0
Пшеница								
Исходный	-	-	13,51	5,73	11,45	33,94	25,14	23,6
Микронизированный	45	150	13,29	3,92	8,56	25,3	29,13	34,4

Результаты предварительных исследований показали, что питательность микронизированного зерна повышается по сравнению с исходным. Так например, в результате ИК-обработки зерна кукурузы, пшеницы, ячменя повышается по сравнению с необработанным зерном уровень обменной энергии соответственно с 14,3 до 15,8; с 12,9 до 14,4; 11,5 до 13,7 МДж/кг.

Комплексные исследования по определению питательности микронизированного зерна проводятся Казахской опытной зональной станцией птицеводства согласно договоренности между филиалом и данной станцией. Дополнительно исследовалось санитарное состояние зернового сырья до и после микронизации. Результаты исследований даны в таблице 4.10.

Результаты исследований показывают, что под действием ИК-излучения общая грибная и бактериальная обсемененность во всех зерновых видах сырья снижается на 99,5-100 %, а патогенная микрофлора инактивируется. Токсичность, обусловленная присутствием патогенной микрофлоры, отсутствует.

4.4. Оценка эффективности использования животными комбикормов с микронизированным зерном

Результаты по откорму телят. Все составляющие ежедневного кормового рациона, в том числе и стартерные комбикорма, животные поедали по потребности. Потребление сена колебалось в пределах 1,0-1,1 кг/гол. в сутки, зеленой массы 1,48-1,51 кг и комбикормов-стартеров 1,12-1,16 кг.

Энергетическая питательность рационов, рассчитанная по органическому потреблению корма находилась в пределах 3,0-3,1 корм. ед. или 27,1-28,0 МДж обменной энергии.

В таблице 4.11 представлены данные по динамике прироста живой массы телят с рождения до 6-месячного возраста.

Санитарное состояние зерна до и после микронизации

Наименование продукта	Общая грибная об-сем., т/г	% обез.	Общая бакт. об-сем., т/г	% обез.	Наличие E. coli, титр	% обез	Сальмонелла	% обез	протей	% обез	ана-эробн	% обез
Пшеница												
Не обраб.	94,0	-	244,0	-	10 ⁴	-	+	-	+	-	18	-
Обраб.	1,1	99,8	-	100	-	100	-	100	-	100	-	100
Кукуруза												
Не обраб.	62,0	-	298,3	-	10 ²	-	-	-	-	-	3	-
Обраб.	0,93	99,5	-	100	-	100	-	-	-	-	-	100
Ячмень												
Не обраб.	73,5	-	193,0	-	10 ³	-	-	-	-	-	8	-
Обраб.	-	100	-	100	-	100	-	-	-	-	-	100

Прирост подопытных телят

Наименование показателей	Группы		
	1	2	3
Среднесуточный прирост, г:			
- с рождения до начала опыта	466,0±21,90	470±24,18	474±20,47
- за период опыта	859±26,98	947±35,23	885±24,22
- с рождения до 6-месячного возраста	759±15,84	809±17,61	778±17,09
Затраты кормов на 1 кг прироста, к.ед.	4,87	4,42	4,43

Среднесуточный прирост телят с рождения до начала опыта между группами различался несущественно и находился в пределе от 466 до 474 г. За период опыта среднесуточный прирост телят на 26 - 88 г или на 3 – 10 % контрольной группы был меньше, чем у их сверстников. При статистической обработке данных по среднесуточному приросту было установлено, что все различия проходившие в опыте оказались статистически: достоверными только между 1 и 2 группами животные при $P = 0,05$.

Для телят опытных групп за период с рождения и до шестимесячного возраста среднесуточный прирост превысил контроль на 19 - 50 г или на 2,5 - 6,8 %. Такие различия были статистически достоверны между телятами 1 и 2 групп, что говорит о благоприятном влиянии обработки ячменя на прирост живой массы телят. Таким образом, резюмируя вышеизложенное по приросту, можно сделать вывод, что использование в составе стартерных комбикормов микронизированного ячменя позволяет повысить среднесуточный прирост живой массы телят по сравнению со скормливанием комбикорма с нативным ячменем.

Результаты по откорму поросят. Скармливание комбикормов с ячменем, обработанным способом микронизации, положительно сказалось на поедаемости их поросятами. В процессе кормления уже на 3 день, поросята 2 группы полностью съедали заданный корм. А уже на 5 день есть начали корма поросята и 3 группы, получавшие корма со сниженным содержанием сухого

обезжиренного молока. Животные контрольной группы начали есть корма на 7 день.

Тенденция к увеличению среднесуточного потребления корма сохранилась, как в послеотъемный период, так и в целом за опыт (табл. 4.12).

Таблица 4.12

Итоговые результаты научно-производственного опыта на поросятах

Наименование показателей	Группы		
	1	2	3
Съедено корма за опыт, кг	20,85	21,75	22,55
Среднесуточный прирост, г	291	337	304
Среднесуточный прирост, %	100,0	115,8	104,4
Среднесуточное потребление корма, г	417	435	451
Затраты кормов на 1 кг прироста, к.ед.	1,432	1,290	1,480
Затраты кормов на 1 кг прироста, % к контролю	100,0	90,0	103,3
Сохранность, %	82,9	95,1	92,3

В целом за опыт поросята, получавшие комбикорм с обработанным зерном, съели комбикорма больше по сравнению с контролем на 4,31 % и 8,15 % соответственно. Таким образом, можно констатировать, что обработка ячменя, входящего в состав стартерного комбикорма повышает его поедаемость, и, как следствие, повышается прирост живой массы поросят, потребляющих такой корм.

4.5. Исследование эффективности использования животными комбикормов с микронизированным зерном

Были проведены исследования по изучению эффективности использования стартерных комбикормов с микронизированным ячменем при выращивании телят и поросят. Установлено, что выращивание телят на рационах, включающих в свой состав стартерные комбикорма по рецепту СКР-I с микронизированным ячменем способствовали увеличению среднесуточного при-

роста живой массы на 11,1 %. Комбикорм-стартер с микронизированным ячменем и с полным исключением из его состава сухого обезжиренного молока и сахара способствовал увеличению среднесуточного прироста телят на 7,3 %. Это в сравнении со скормливанием комбикорма-стартера стандартного состава (с 5 % СОМ и 1-7 % сахара) с необработанным ячменем.

Обработка ячменя, входящего в состав стандартного комбикорма, способом микронизации обеспечивала снижение себестоимости 1 ц прироста живой массы телят на 10,34 руб или на 6,3 %, увеличивала прибыль в расчете на 1 голову на 12,65 руб и рентабельность выращивания с 36,1 до 44,6 % по сравнению с комбикормом того же состава, но с необработанным ячменем.

Исключение из состава стартерного комбикорма СОМ и сахара и микронизация входящего в его состав ячменя, способствовало снижению себестоимости 1 ц прироста живой массы телят на 12,98 руб, или на 8 %, обеспечивало в расчете на одну голову прибыль дополнительную в размере 12,67 руб и что увеличило рентабельность выращивания телят с 36,1 до 46,9 % по сравнению со стартерным комбикормом стандартного состава с необработанным ячменем.

В исследованиях на поросятах было установлено, что скормливание поросятам комбикорма стандартного состава (СКС-I) с микронизированным ячменем сопровождалось увеличением среднесуточного прироста живой массы на 17,7 % снижением себестоимости 1 ц прироста на 1,55 руб. получением дополнительной прибыли в расчете на 1 голову 3,92 руб, рентабельность выращивания поросят при этом возросла с 79,8 до 81,4 % в сравнении со скормливанием такого же комбикорма, без предварительной обработки ячменя.

Стартерный комбикорм со сниженной долей ввода СОМ (с 7 % до 3 %) и с микронизированным ячменем обеспечивал зоотехнические и экономические показатели на уровне контрольного комбикорма.

Таким образом, в научно-хозяйственных опытах было показано, что использование в составе стартерных комбикормов микронизированного ячме-

ня способствовало улучшению зоотехнических и экономических показателей выращивания телят и поросят в раннем возрасте. Вместе с тем была установлена экономическая целесообразность снижения уровня СОМ в комбикормах для поросят с 7% до 3% (по массе) и полного исключения СОМ и сахара из комбикорма для телят при условии включения в их состав микронизированного ячменя.

Скармливание (БелНИИЖ) поросятам-сосунам и поросятам-отъемышам комбикормов с микронизированным и экструдированным ячменем не оказывает существенного влияния на их рост и сохранность. Наблюдается тенденция к несколько большей поедаемости комбикормов поросятами-сосунами с микронизированным зерном.

Не установлено существенных различий в коэффициентах переваримости основных питательных веществ комбикормов. Выявлено достоверное снижение отложения азота поросятами, получавшими комбикорма с микронизированным ячменем. Наблюдается достоверное снижение усвояемости кальция, фосфора животными, потреблявшими комбикорма, зерновая часть которых подвергнута влаготепловой обработке.

4.6. Эффективность использования телятами комбикормов с микронизированным ячменем

Анализ учета заданных кормов, а так же их остатков показал, что состав комбикормов практически не оказал влияния на потребление подопытными телятами как самих комбикормов, так и других кормов рациона таблица 4.13.

При кормлении подопытных телят нормировали только выпойку молочных кормов, потребление которых (ЗЦМ и обрат) было абсолютно одинаковым во всех группах. Остальные корма, в том числе и стартерные комбикорма, скармливались по поедаемости. И, несмотря на это, существенных раз-

личий в потреблении этих кормов между группами не было отмечено.

Потребление сена колебалось в пределах 1,0-1,1 кг/гол./сутки, зеленой массы - 1,48-1,51 кг и комбикормов-стартеров 1,12-1,16 кг.

Таблица 4.13

Рацион телят в среднем за период опыта по фактически потребленным кормам

Показатели	Группа		
	I	II	III
Состав рациона, кг			
Зеленая масса	1,51	1,48	1,51
ЗЦМ	0,151	0,151	0,151
Комбикорм-стартер	1,15	1,13	1,12
Обрат	2,47	2,47	2,47
Сено злаково-бобовое	1,1	1,1	1,0
В рационе содержится:			
Кальций, г	22,8	22,4	20,5
Кормовых единиц	3,0	3,1	3,0
Обменной энергии, МДж	27,1	28,0	27,1
Перевариваемого протеина, г	378	391	386
Сухого вещества, кг	2,65	2,64	2,55
Сырого жира, г	93	94	91
Сырого протеина, г	496	492	498
Сырой клетчатки, г	457	456	434
Фосфора, г	16,0	15,9	14,3

Энергетическая ценность рационов, рассчитана на основе данных о фактическом потреблении кормов, которая находилась в пределах от 3,0 до 3,1 корм. ед. или 27,1-28,0 МДж обменной энергии.

Содержание в рационах животных клетчатки, сырого и перевариваемого протеина, кальция и фосфора присутствовало в соответствии с нормами кормления телят. Однако необходимо отметить низкое содержание жира в рационах телят. Это, очевидно, связано с тем, что существующие нормы рассчитаны на высокий расход цельного молока при кормлении телят. По степени удовлетворения энергии, биологически активных и питательных веществах, качественной и количественной оценке потребности телят, можно говорить, по динамике живой массы и величине ее прироста.

В таблице 4.14 представлены данные по динамике живой массы и приросте подопытных телят с рождения до шестимесячного возраста, показали,

что живая масса телят в период формирования групп была практически одинаковой. В конце опыта живая масса телят на 2 - 6,7 кг или на 2-6 % была выше, чем в контрольной группе, т. е. можно утверждать о положительном влиянии термовой обработке ячменя, входящего в состав стартерных комбикормов.

Таблица 4.14

Динамика живой массы и прирост подопытных телят

Показатели	Группа		
	I	II	III
Живая масса, кг			
в 6-месячном возрасте	165,8±3,03	173,8±3,32	168,3±3,11
при постановке на опыт	43,3±1,52	42,4±1,78	43,1±1,5
при снятии с опыта	117,2±2,87	123,9±3,90	119,2±2,97
Валовый прирост, кг			
за период опыта	73,9±2,32	81,5±3,03	76,1±2,08
с рождения до 4-х месяцев	90,3±2,77	98,2±3,78	92,8±3,10
с рождения до 6-месячного возраста	138,9±2,90	148,1±3,22	142,4±3,12
Среднесуточный прирост, г			
с рождения до начала опыта	466,0±21,90	470±24,18	474±20,47
за период опыта	859±26,98	947±35,23	885±24,22
с рождения до 6-месячного возраста	759±15,84	809±17,61	778±17,09
Затраты кормов на 1 кг прироста, к.ед.	4,87	4,42	4,73

Установленная тенденция сохранилась и в шестимесячном возрасте, живая масса телят была увеличена на 3 - 8 кг или на 2 - 5 %. Все данные говорят о том, что за опытный период отставание телят I группы в живой массе не было компенсировано в последующие два месяца выращивания, когда кормление телят всех групп было одинаковым.

Валовый прирост телят с рождения и до начала опыта был различен несущественно и составил 16,4-16,7 кг. Наибольший валовый прирост живой массы за опытный период был отмечен у животных II группы, которые в составе рациона получали стартерный комбикорм на основе СКР-I с микронизированным ячменем. Аналогичная закономерность была отмечена по показателю валового прироста и за период с рождения до шестимесячного возраста, т. е. валовый прирост за этот период в опытных группах был выше, чем в кон-

троле, а среди двух опытных групп преимуществе было у телят II группы.

Среднесуточный прирост телят с рождения до начала опыта между группами различался несущественно и менялся в пределах от 466 до 474 г. За опытный период среднесуточный прирост телят контрольной группы уменьшился, чем у их сверстников на и составил от 26 до 88 г или на 3 - 10 %. При статистической обработке данных по среднесуточному приросту было установлено, что эти различия оказались статистически достоверными только между I и II группами животных при $P = 0,05$.

За период с рождения до шестимесячного возраста прирост телят увеличился на 19 - 50 г или на 2,5 - 6,8 % на сравнение с контрольной группой. Эти различия были статистически достоверны между телятами I и II группами, что говорит о благоприятном влиянии обработки ячменя на прирост живой массы телят.

Таким образом, можно сделать вывод, что использование в составе стартерных комбикормов микронизированного ячменя позволяет повысить среднесуточный прирост живой массы телят по сравнению со скармливанием комбикорма с нативным ячменем. Кроме того, микронизация ячменя позволяет исключить из состава комбикорма-стартера такие дорогостоящие и дефицитные компоненты, как сухое обезжиренное молоко и сахар, без ущерба для роста и развития телят.

4.7. Эффективность использования поросятами комбикормов с микронизированным ячменем

Скармливание комбикормов с ячменем, обработанным способом микронизации, положительно сказалось на поедаемости их поросятами. Так уже на 3 день с начала скармливания, поросята II группы полностью съедали заданный корм. На 5 день начали съедать корма поросята III группы, получавшие корма со сниженным содержанием сухого обезжиренного молока. Жи-

вотные контрольной группы начали есть корма на 7 день.

В результате чего, в предопытный период среднесуточное потребление корма было чуть более высоким у поросят II и III опытных групп.

Тенденция к увеличению среднесуточного потребления корма сохранилась, как в послеотъемный период, так и в целом за опыт (таблица 4.15).

В целом за опыт поросята, получавшие комбикорм с обработанным зерном, съели комбикорма больше по сравнению с контролем на 4,31 % и 8,15 % соответственно.

Таблица 4.15

Итоговые результаты научно-производственного опыта на поросятах

Показатели	Группы		
	I	II	III
До 35-дневного возраста			
Живая масса, кг:			
в начале	3,87	3,89	3,92
в конце периода	9,0	10,4	10,1
Среднесуточный прирост, г	208	262	245
В % к контролю	100,0	112,6	104,0
Среднесуточное потребление корма, г	139	141	145
В % к контролю	100,0	101,43	104,3
С 35 до 60-дневного возраста			
Живал масса в конце опыта, кг	18,4	20,7	19,2
В % к контролю	100	112,6	104,0
Среднесуточный прирост, г	373	411	363
В % к контролю	100,0	110,1	97,3
Среднесуточное потребление корма, г	718	741	764
В % к контролю	100,0	103,2	106,4
За опыт			
Съедено корма за опыт, кг	20,85	21,75	22,55
Среднесуточный прирост, г	291	337	304
В % к контролю	100,0	115,8	104,4
Среднесуточное потребление корма, г	417	435	451
Затраты корма на 1 кг прироста	1,432	1,290	1,48
В % к контролю	100,0	90,0	103,3
Сохранность, %	82,9	95,1	92,3

Вместе с тем живая масса поросят в начале опыта была практически одинаковой во всех группах. В 35-дневном возрасте в опытной группе масса была увеличена и составила на 1,3 и 1,0 кг или на 14,3-11,0 % соответственно.

Снижение процента ввода сухого обезжиренного молока в комбикорм

для поросят, скармливания до шестидесятидневного возраста с 7 до 3 % не оказало отрицательного влияния на среднесуточный прирост и отъёмную массу поросят III группы по сравнению с первой, а даже превышала таковые на 4,4 % и 4,3 % соответственно.

Таким образом, можно констатировать, что обработка ячменя, входящего в состав стартерного комбикорма повышает его поедаемость и как следствие, повышается прирост живой массы поросят, потребляющих такой корм. Лучший зоотехнический эффект (поедаемость корма, прирост живой массы) был достигнут при скармливании стандартного комбикорма с микронизированным ячменем.

Глава 5. РАЗРАБОТКА ОБОРУДОВАНИЯ, ЛИНИИ И СПОСОБА МИКРОНИЗАЦИИ ЗЕРНА

5.1. Разработка опытного образца микронизатора

В комплект оборудования для микронизации зерна входят (рис. 5.1): магнитный сепаратор 1, бункер-дозатор 2, микронизатор в составе вибротранспортера 3, блока газовых беспламенных ИК-горелок 4, комплекта газораспределительной аппаратуры 5, вытяжной зонт 9; а также приемный бункер 6, плющильная машина 7, охладитель 8.

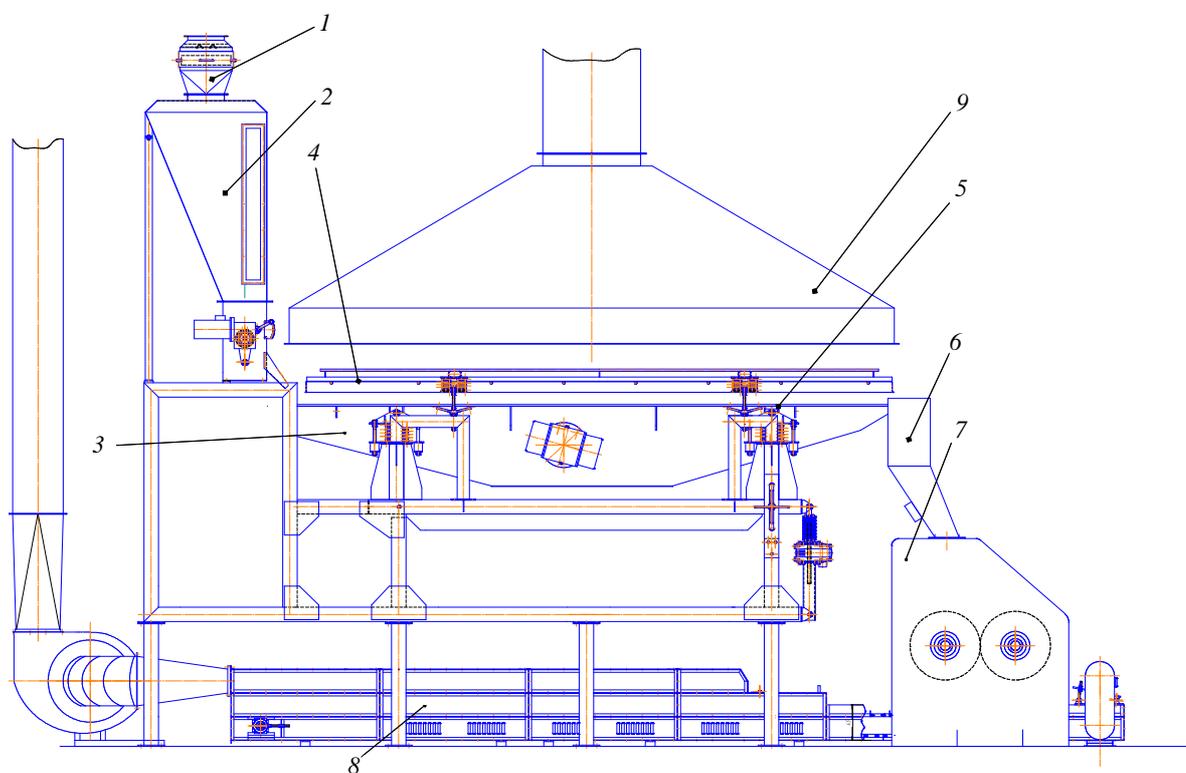


Рис. 5.1. Схема комплекта оборудования микронизации зерна
 1 – магнитный сепаратор; 2 – бункер-дозатор; 3 – вибротранспортер; 4 – блок газовых беспламенных ИК-горелок; 5 – комплект газораспределительной аппаратуры; 6 – приемный бункер; 7 – плющильная машина; 8 – охладитель; 9 – вытяжной зонт

Технологический процесс производства микронизированного зерна включает следующие основные операции: увлажнение зерна водой, отволаживание увлажненного зерна с целью перераспределения влаги по объему зерновки, микронизацию зерна, плющение микронизированного зерна, охлажде-

ние хлопьев.

Гидротермически обработанное зерно с процентом увлажнения до 22% поступает в бункер для отволаживания для равномерного распределения влаги по объему зерновки (температура отволаживания 313-333 К). Равномерность распределения влаги по объему зерновки определяется длительностью отволаживания. Время нахождения зерна в бункере для отволаживания должно быть следующее: шелушенный ячмень 2...3 часа; пшеница – 2...3 часа; кукуруза – 4...6 часов, отлежка зерна осуществляется в течение 4-6 часов.

На входе в линию микронизации (рис. 5.2) зерна устанавливается магнитный сепаратор 1. На магнитный сепаратор 1 подается гидротермически обработанное зерно влажностью до 22 % с пониженной сыпучестью.



Рис. 5.2. Общий вид микронизатора

Металлические магнитные примеси из-за высокой теплоемкости и температуропроводности за 30-60 с ИК-обработки набирают температуру выше температуры обрабатываемого зерна и представляют повышенную пожароопасность. Поэтому магнитного сепаратора должен обеспечивать 100 % эф-

фективность извлечения магнитных примесей размером от 1 мм и более и 80 % извлечения слабомагнитных примесей размером 0,5-1,0 мм.

Магнитная система сепаратора 1 имеет повышенную магнитную силу и обеспечивает быструю и удобную очистку рабочего органа от магнитных примесей. Зерно под действием силы тяжести попадает на вход сепаратора, где разделяется на несколько потоков с помощью рассекателей и откосов. Стекая с рассекателей, поток зерна обтекает трубчатые колосники магнитной системы и движется на выход из сепаратора. При движении зерна по магнитной системе магнитные примеси, содержащиеся в зерне, намагничиваются полем магнитной системы и притягиваются к ее поверхности. Таким образом, на выход из сепаратора движется поток зерна, очищенный от магнитных примесей. Для очистки от извлеченных магнитных примесей верхняя и нижняя магнитные системы поочередно выводятся из рабочей зоны и освобождаются от примесей.

Бункер-дозатор 2 состоит из бункера, питающего валика, шибера, вариатора, электромотора, регулятора, а также три емкостных датчика для управления процессом работы. Основными элементами устройства для дозирования являются питающий валик и вариатор.

Валики имели гладкую поверхность с параллельными рифлями и рифлями, нарезанными под углом к продольной оси валика.

Наиболее приемлемым, обеспечивающим стабильный дозированный режим подачи зернового сырья является питающий валик с шагом расположения рифлей 10 мм, шириной рифлей 8 мм, глубиной рифлей 2 мм. Сдвиг рифлей относительно продольной оси валика составлял 10 мм.

Скорость вращения питающего валика устанавливается с помощью регулятора вариатора, а величина зазора щели – с помощью регулятора с указателем положения шибера.

Бункер-дозатор 2 работает следующим образом. Заданный размер щели между шибером и питающим валиком устанавливается при помощи регулято-

ра, а заданную скорость вращения питающего валика устанавливают при помощи шкалы вариатора. Зерно подается в бункер через магнитный сепаратор до тех пор, пока не срабатывает датчик верхнего уровня. При вращении валика зерно равномерно через промежуточный лоток подается на вход вибротранспортера микронизатора.

Скорость вращения питающего валика изменялась при помощи цепного вариатора от 0 до 30 об/мин. Ввиду того, что объемная масса ячменя колеблется в пределах $0,56...0,75 \text{ т/м}^3$, кукурузы – $0,70...0,83 \text{ т/м}^3$, пшеницы – $0,65...0,76 \text{ т/м}^3$, то скорость вращения валика и размер щели шибера необходимо постоянно регулировать: щель шибера была равна при микронизации: ячменя 10 мм; кукурузы 13 мм; пшеницы 8 мм.

Микронизатор включает в себя вибротранспортер 3, блок газовых беспламенных ИК-горелок 4, комплект газораспределительной аппаратуры 5, вытяжной зонт 9, установленные на раме, рабочую площадку и шкаф управления.

Вибротранспортер 3 состоит из станины и укрепленным на ней вибролотке. Станина с вибролотком на приемном конце укреплены на горизонтальной оси с возможностью изменения угла наклона. Угол наклона вибролотка вместе со станиной меняется при помощи механизма регулировки угла наклона. В механизме регулировки угла наклона включает два связанных осью винтовых домкрата, приведенных во вращение вертикальные винты, на которые опирается сходовый конец станины и вибролотка. Угол наклона подвижной рамы относительно горизонтальной плоскости определяли посредством шкалы, закрепленной на неподвижной раме, и которая была отградуирована при помощи угломера. Вибротранспортер 3 снабжен виброопорами и установлен на раме микронизатора.

Для достижения качественной обработки зерна на боковых стенках станины установлены дисбалансные электровибраторы. Они заставляют зерно многократно переворачиваться и со всех сторон обрабатываться инфракрас-

ным излучением. Оси вращения электровибраторов наклонены к горизонту на угол в диапазоне 15-45°. Электровибраторы в процессе работы создают вынуждающую силу до 54 кН.

Блок газовых беспламенных ИК-горелок 4 включает (рис. 5.3, 5.4): газовые горелки, систему зажигания, устройство удаления отработанных газов из рабочей зоны. Он установлен на своей раме над вибротранспортером 3 на пружинных амортизаторах. Для регулировки рабочего зазора предусмотрена возможность изменения расстояния между излучающей поверхностью газовых горелок и дном лотка вибротранспортера 3.

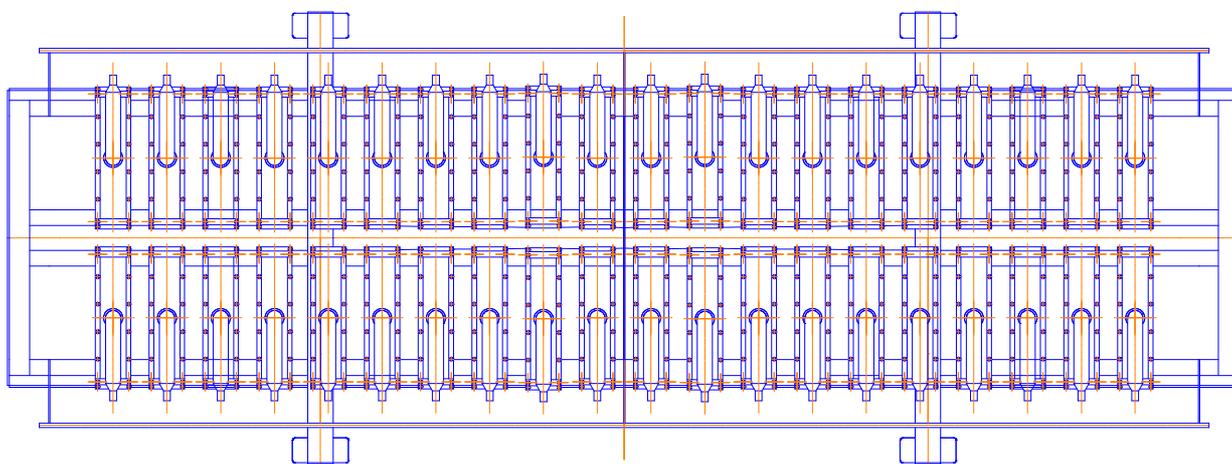


Рис. 5.3. Система газового ИК-нагрева



Рис. 5.4. Система газового ИК-нагрева

Оптимальный режим горения в зоне сгорания обеспечивается специальной системой, включающей инжектор, диффузор и смесительную камеру. Система зажигания управляется двумя регуляторами, по одному на каждый ряд регуляторов. Горелки зажигаются двумя основными электрическими свечами зажигания и четырьмя контрольными. Ввод газа регулируется соленоидным клапаном, который включается через заданный интервал времени с помощью реле времени, установленном в шкафу управления.

Устройство удаления отработанных газов включает вытяжной зонт 9 из нержавеющей стали и раздвоенный вентилятор.

Для опытного образца микронизатора ОАО «Газпром промгаз» разработал горелку газовую инфракрасную марки ГИК-8 (рис. 5.5) номинальной тепловой мощностью 7,3-8,0 кВт. Для достижения суммарной тепловой мощности в системе нагрева устанавливается 40 горелок ГИК-8.

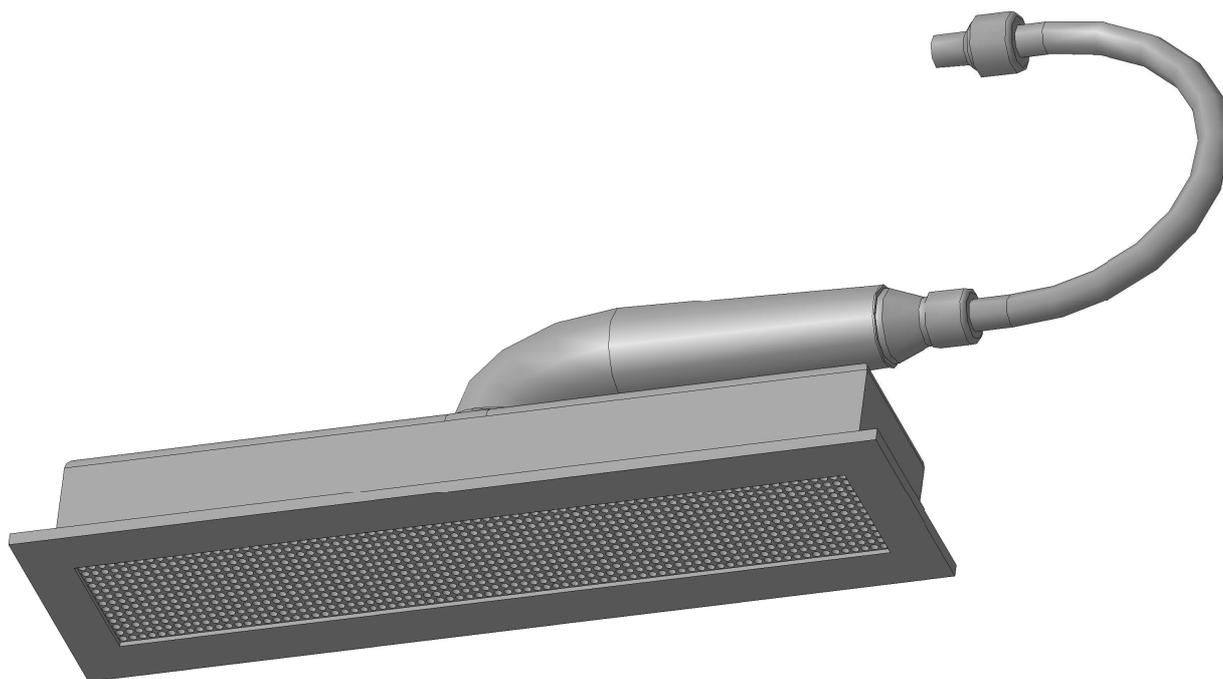


Рис. 5.5. Горелка ГИК-8

Питание газовых горелок производится газовойсмесью, поступающей из замкнутого газовойсмесительного коллектора, установленного на раме горелок. Смесь образуется в смесителе и подается в коллектор через сифонную вставку, состоящую из 8 сифонов, выполненных из нержавеющей стали. Для предотвращения потери формы при сжатии сифонная вставка соединена с направляющей. Уникальная конструкция предотвращает появление открытого горения, делая излучатели максимально пожаробезопасными (рис. 5.6). Предусмотрена система безопасности, перекрывающая в нештатной ситуации подачу газа. Система зажигания устойчива к внешним помехам. Длительность цикла зажигания – до 45 с.



Рис. 5.6. Общий вид микронизатора

Воздух к смесителю подается вентилятором. Забор воздуха в вентилятор производится через фильтр волокнистый ячеистый. Регулировка подачи воздуха в смеситель производится заслонкой. Газ природный или сжиженный подается из сети через шкафной газорегуляторный тракт, в котором давление понижается до 0,1 МПа. Подача газа регулируется кранами и вентилями с электромагнитным приводом на основной магистрали и на запасной.

Контроль давления в воздушной магистрали осуществляется датчиком реле-напора. Контроль давления в газовой и газовоздушной магистрали осуществляется электроконтактным манометром.

Блок управления системой нагрева встроен в общий шкаф управления микронизатора (рис. 5.7). Система управления представляет собой автоматизированную систему, в которой функции пуска-остановки, режимов подачи, времени обработки задаются и управляются оператором, а режимы зажигания,

контроля горения, безопасности работы газового оборудования поддерживаются автоматически. Световые индикаторы, переключатели режимов работ, экран преобразователя частоты выведены на лицевую панель электрического шкафа.



Рис. 5.7. Шкаф управления микронизатора

Подача различных видов зерна на лоток вибротранспортера 3 должна регулироваться электродвигателем с вариатором скоростей и шибером на выходе бункера.

При перемещении в непрерывном режиме зерна по транспортеру, над которым установлен блок газовых ИК-горелок 4, зерно непрерывно перемещается и переворачивается, что обеспечивает равномерный обогрев всей его поверхности.

В процессе микронизации поток ИК-лучей с частотой $(1-15) 10^8$ МГц, взаимодействуя с обрабатываемым продуктом, преобразуется в теплоту. В ре-

зультате происходит быстрый разогрев продукта. При этом влага, содержащаяся в зерне, как бы закипает, зерно размягчается, вспучивается. В таком состоянии оно плющится. При этом изменяются физические и биохимические свойства зерна. Происходит клейстеризация и деструкция крахмала, что повышает питательную ценность зерна. Обеспечивается высокое санитарное состояние обработанного продукта и подавление патогенной микрофлоры.

После интенсивного нагрева в течение 40-180 с до температуры 368 К микронизированное зерно поступает в загрузочную воронку плющильной машины 7 с приемным бункером 6 и магнитной защиты, где обеспечивается плющение горячего зерна в хлопья между вращающимися рифлеными вальцами из отбеленного чугуна, вращающимися с разной скоростью. Систему регулирования числа оборотов валков и давление прижима валков, что обеспечивает получение хлопьев различной толщины. Толщина зерновых хлопьев, предназначенных для кормовых целей, должна быть в пределах 0,5-1,5 мм. При работе плющильной машины 7 температура валков может возрастать до 373 К, поэтому предусмотрено водяное охлаждение валков.

Плющильная машина 7 (рис. 5.8) включает корпус, внутри которого по высоте установлены на станине приемно-питающее устройство с рифленным горизонтальным валком и пары рабочих вальцов.

Количество подаваемого продукта регулируют заслонкой, положение которой устанавливают винтовой гайкой.

Станина выполнена в виде сварной конструкции из стали. На боковинах крепятся неподвижный и подвижный подшипниковые узлы. Ведомый рабочий валец снабжен пружинными амортизаторами так, что при попадании инородного предмета между вальцами отжимается, обеспечивая без поломки проход инородного предмета. Во избежание перегрева валков (пустотелых) существует система водяного охлаждения валков, внутрь их подают воду, сначала в один, а затем, после небольшого охлаждения воды, в другой.



Рис. 5.8. Общий вид плющильной машины

Привал в рабочее положение и отвал валка обеспечивается двумя пневмоприводами.

Работает плющильная машина 7 следующим образом.

Продукт равномерно поступает через щель, образовавшуюся между питающим валцом и заслонкой, и падает между валцами, которые осуществляют плющение продукта. Для установки валцов в корпусе используется двухрядные роликовые сферические подшипники с конической стяжной втулкой.

Вращение валцам передается от шкива электродвигателя через клиноременную передачу. Валцы должны вращаться навстречу друг другу. Валцы получают вращение через шкивы и поликлиновой зубчатый ремень. Промежуточный шкив служит механизмом натяжения.

Система управления машиной включает электрический шкаф (рис. 5.9) установленный на раме микронизатора, на щите которого размещены кнопки пуска-остановки, привал-отвала вальцов, тока нагрузки электродвигателя привода.



Рис. 5.9. Электрический шкаф управления плющильной машины

Система управления машины запитывается от трехфазной сети. Выключатель расположен на крышке нижнего отсека. Там же находится кнопка аварийного отключения.

Полученные хлопья подаются на охладитель 8, который понижает температуру горячих зерен или хлопьев до температуры близкой к температуре окружающей среды за счет принудительной циркуляции воздуха сквозь слой продукта.

Охладитель 8 состоит из цепного скребкового транспортера, заключенного в коробчатый корпус (рис. 5.10) из стального листа толщиной 3 мм и угол-

ка. Боковины корпуса и листы обшивки скрепляются с помощью болтов. Желоба транспортера выполнены из нержавеющей стали, верхний желоб имеет перфорированную поверхность для обеспечения прохождения охлаждающего воздуха.



Рис. 5.10. Общий вид охладителя

Цепной скребковый транспортер состоит из цепи для транспортера. Скребки выполнены из полосок и уголков из стали толщиной 4 мм. Приводной вал цепного скребкового транспортера соединен через передачу с приводом в качестве которого используется мотор-редуктор, мощностью 0,75 кВт.

В качестве натяжного устройства применено винтовое нажимное устройство, состоящее из нажимного винта, направляющих.

Вентилятор охладителя соединен с корпусом охладителя с помощью труб коробчатого сечения из стальных листов толщиной 2 мм. Внутри трубы размещена заслонка, регулирующая количество охлаждающего воздуха. Привод заслонок осуществляется вручную. Для охлаждения хлопьев применен вентилятор ВР-140-40.

При работе охладителя 8 движущиеся скребки цепного транспортера на приемном конце корпуса захватывают горячие хлопья и перемещают их по перфорированной поверхности сначала по верхнему, а затем по нижнему яру-

сам транспортера. Через перфорированные отверстия продувается воздух, который охлаждает хлопья до температуры окружающей среды. Выгрузка охлажденных хлопьев производится по приему в конце корпуса нижнего яруса транспортера.

В качестве объекта исследования микронизации зернового сырья использовалась пшеница. Отбор проб проводился после завершения опыта.

Исследуемый продукт, предварительно гидротермически обработанный с процентом увлажнения до 22 % (рис. 5.11), под действием силы тяжести падает в сепаратор магнитный, где проходит обработку от металломагнитных примесей, содержащиеся в зерне.



Рис. 5.11. Гидротермически обработанная пшеница с влажностью 22 %

Затем зерно попадает в бункер-дозатор, с помощью которого происходит распределение и подача зерна на вибротранспортер микронизатора. На вибротранспортер зерно подается слоем толщиной в 1-3 зерна по всей ширине

стола. Перемещаясь по вибротранспортеру зерно попадает в зону действия ИК-излучения, с температурой излучающей поверхности 1173 К, в течение нескольких десятков секунд температура зерна возрастает от температуры окружающей среды до 363-368 К, снижается влажность зерна примерно в два раза происходит разогрев и вскипание влаги внутри зерна и достигается разрушение структуры крахмала (рис. 5.12). При этом крахмал в зерне деструктурируется до декстринов.



Рис. 5.12. Микронизированная пшеница

Увеличенное в объеме зерно через загрузочный лоток, очищаясь дополнительно от металлических включений при помощи встроенной магнитной системы, поступает на вальцы плющилок, где происходит механическое раздавливание зерен, толщина хлопьев 1,5 мм (механическое разрушение структуры крахмала). Из-под вальцов хлопья попадают на верхний ярус двухярусного охладителя, где, соприкасаясь с проходящим воздухом, хлопья охлаждаются. Величина влажности хлопьев составляет около 10 %. Через прямоугольный патрубок в нижнем ярусе охладителя готовый продукт поступает на

цепной транспортер для дальнейшего использования в технологическом процессе (рис. 5.13).



Рис. 5.13. Микронизированные плющенные хлопья пшеницы

Отбор проб микронизированных хлопьев пшеницы проводился после завершения опыта. Взвешивание проб хлопьев проводилось на аналитических весах WA-31 с точностью $\pm 0,1$ мг. Определение влажности хлопьев производилось с помощью термогравиметрического инфракрасного влагомера FD-610 компании «Kett» (Япония) путем нагревания его инфракрасным излучением с

5.2. Разработка технологической линии для четырех технологий микронизации увлажненного зерна

Разработана технологическая схема микронизации зерна с предварительной влагообработкой (рис. 5.14).

Спецификация оборудования линии микронизации зерна с предварительной влаготепловой обработкой представлена в таблице 5.1.

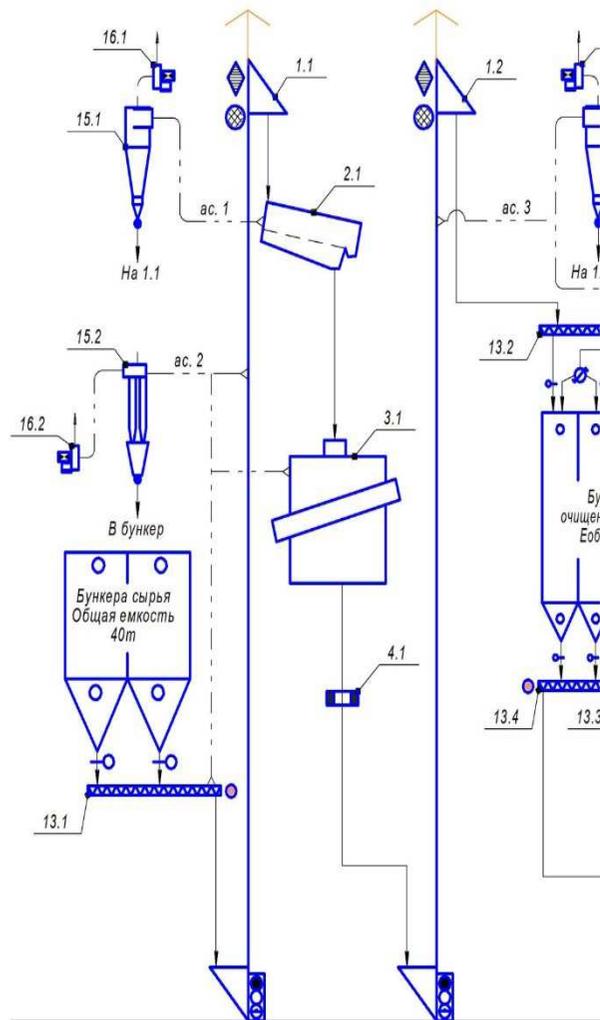


Рис. 5.14. Технологическая схема микронизации зерна с предварительной влагообработкой

Спецификация оборудования линии микронизации зерна с предварительной влаготепловой обработкой

№ п/п	Наименование оборудования	Количество	Характеристика оборудования
1.	Нория	6	НМ-10/20; 10 т/ч; 8,0 кВт
2.	Воздушно-ситовой зерновой сепаратор	1	А1-БЛС-12; 12 т/ч; 1,8 кВт
3.	Камнеотборник	1	БКМ-6; 6,5 т/ч; 0,37 кВт
4.	Сепаратор магнитный	1	УЗ-ДКМ-01; 12 т/ч;
5.	Шелушительно-шлифовальная машина	2	А1-АКЗ; 1,1 т/ч; 11 кВт
6.	Аспиратор	1	БДЗ-6; 6 т/ч; 1,1 кВт
7.	Пропариватель	1	УЗ-ДКН-03; 3 т/ч; 4,0 кВт
8.	Микронизатор	1	УЗ-АМЗ-2; 2 т/ч; 5,5 кВт
9.	Плющильная машина	1	МП-100-60; 2 т/ч; 37,0 кВт
10.	Охладитель цепной	1	ОЦ-800; 2 т/ч; 5,7 кВт
11.	Виброднище	4	Р6-МБВ-1000; 20 т/ч; 0,5 кВт
12.	Питатель шнековый	4	УЗ-ДПШ-100; 6 т/ч; 3,0 кВт
13.	Конвейер винтовой	7	УЗ-ДКВ-100; 8 т/ч; 5,5 кВт
14.	Конвейер скребковый	2	Р1-КСП-160; 30т/ч; 5,5 кВт
15.	Установка батарейных циклонов	4	УЗ-ББЦ-250; 0,75 кВт
16.	Вентилятор	4	ВР-140-40; 11 кВт

Технологический процесс микронизации зерна с предварительной влаготепловой обработкой начинается с линии приема и очистки зернового сырья. Зерновое сырье с элеватора поступает в бункера общей емкостью 40 тонн.

Винтовым конвейером (позиция 13.1) и норией (позиция 1.1) зерновое сырье подается на линию очистки.

Очистку зернового сырья производят от сорных, посторонних, минеральных и металломагнитных примесей. Для очистки зернового сырья от сорных и минеральных примесей применяют воздушно-ситовой зерновой сепаратор (позиция 2.1). Режим работы сепаратора обеспечивает максимальное отделение сорных и минеральных примесей и исключает попадание зерна в отходы свыше 2 %.

В сепараторе устанавливают:

а) в приемных рамах - полотна решетчатые с круглыми отверстиями № 200 (диаметр отверстий 20 мм) или сетки проволочные № 18 (ячейки 18×18 мм);

б) в сортировочных рамах - полотна решетчатые с круглыми отверстиями № 100-160 (диаметр отверстий 10-16 мм) или сетки проволочные № 8-14 (ячейки 8×8 мм - 14×14 мм);

в) в подсевных рамах - полотна решетчатые с круглыми отверстиями № 10-14, продолговатыми № 2а-10×10 или №2а-12×12 (размером 1,0×10 мм или 1,2×12 мм) или проволочные сетки № 085-1 (ячейки размером 0,85×0,85 мм или 1,0×1,0мм).

Обязательной операцией является очистка зерна от камней на камнеотборнике (позиция 3.1).

Выделение металломагнитных примесей осуществляют на магнитном сепараторе (позиция 4.1).

Очищенное зерно норией (позиция 1.2) и винтовым конвейером (позиция 13.2) может быть подано в бункера очищенного зерна общей емкостью 39 тонн, или в бункер емкостью 9 тонн на линию шелушения пленчатых культур.

При производстве комбикормов для молодняка животных и др. используют шелушённый ячмень и овес. Для шелушения рекомендуется использовать зерно объемной массой не ниже 490 г/л для овса и не ниже 605 г/л для ячменя. Предварительно очищенное зерно направляют на специальные шелушильно-шлифовальные машины (позиции 5.1; 5.2). Для отвеивания пленок шелушенное зерно подают на aspirатор (позиция 6.1).

Шелушенное зерно норией (позиция 1.3) и винтовым конвейером (позиция 13.5) транспортируют в бункера для очищенного зерна.

В основном продукте шелушения допускается содержание сырой клетчатки не более: в овсе – 5,3 %, в ячмене – 3,5 %. В зависимости от качества овса и ячменя выход основного продукта должен достигать по овсу не менее 55 %, по ячменю – 80 %.

На линии влаготепловой обработки, очищенное зерно винтовыми конвейерами и норией (позиция 1.4) подается в пропариватель (позиция 7.1), в котором происходит подогрев и увлажнение зерна. Продолжительность про-

паривания ячменя и пшеницы до влажности 19-22 % - 10-12 минут, кукурузы - 15-16 минут. Давление пара подводимого к пропаривателю - 0,3-0,4 мПа. Температура пропаренного зерна не ниже 70 °С.

Очищенное и пропаренное зерно винтовым конвейером (позиция 13.6) направляется в промежуточные емкости, из которых шнековыми питателями (позиция (12.1; 12.2; 12.3; 12.4) подается на норию (позиция 1.5), затем пропаренное зерновое проходит линию микронизации. Микронизация зернового сырья осуществляется на специальной установке-микронизаторе (позиция 8.1) за счет нагрева его концентрированным и легко управляемым потоком ИК-лучей испускаемым блоком беспламенных горелок с керамическими горелками. Температура нагрева керамических насадок – 800-900 °С. Оптимальная температура нагрева зерна 115-120 °С. Продолжительность нагрева зерна пропаренного до имеющего влажность 18-19 % составляет: для ячменя и пшеницы - 85 - 90 с; для кукурузы - 105 с.

Дополнительное разрушение крахмальных зерен обеспечивается плющением нагретого микронизированного зерна на плющильной машине (позиция 9.1). Зазор между валками устанавливается 0,3-0,4 мм.

Охлаждение микронизированного продукта-хлопьев проводится в горизонтальном охладителе (позиция 10.1) (скребковый транспортер) потоком воздуха. Температура охлажденных хлопьев не должна превышать температуру окружающего воздуха более чем на 10 °С, что достигается за счет регулирования скорости движения транспортера и расхода воздуха, забираемого из помещения цеха. Технологические свойства микронизированных зерновых компонентов-хлопьев: объемная масса – 300-350 г/л, влажность – до 10 %, сыпучесть – удовлетворительная.

Микронизированное плющенное зерно цепным конвейером (позиция 14.1) и норией (позиция 1.6) направляется в бункера готовой продукции общей ёмкостью 25 тонн.

Из определенного множества технологий микронизации зернового сы-

рья для практического воплощения отобрана группа из четырех технологий микронизации увлажненного зерна.

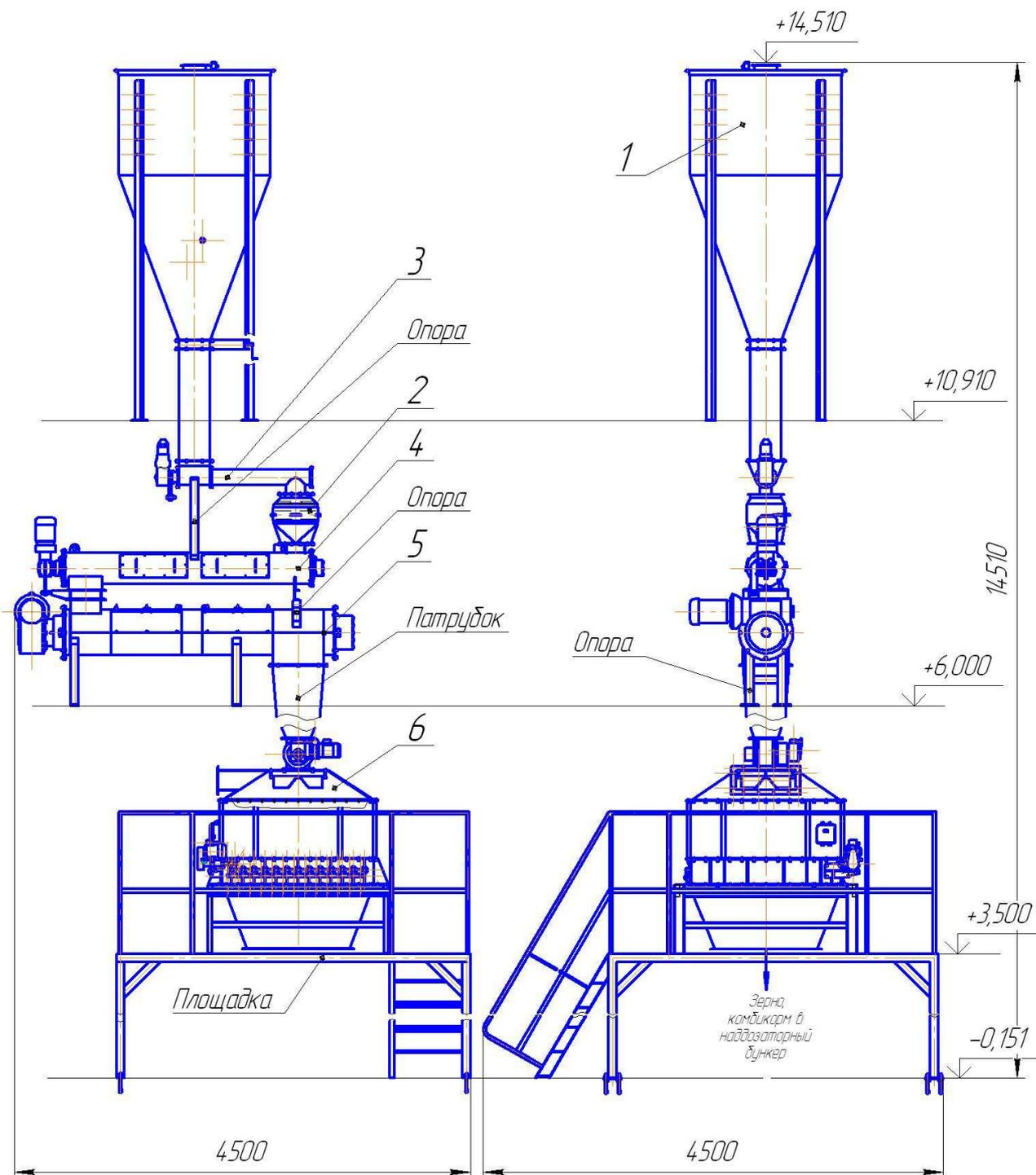


Рис. 5.17. Схема технологической линии для четырех технологий микронизации увлажненного зерна

Критерий отбора – показатели качества обработки зерна: степень декстринизации крахмала и переваримость (in vitro). Отобранная группа техноло-

гий при практической реализации обеспечивает значения критерия качества обработки зерна близкого к максимальному (табл. 5.2).

Таблица 5.2

Значения критерия качества группы четырех технологий микронизации увлажненного зерна

№ техно- логии	Наименование зерна	Показатели качества технологии	
		Степень декстринизации	Переваримость in vitro
1	Ячмень	4,9	13,3
2	Хлопья из ячменя	20,6	31,1
5; 6	Кукуруза, пшеница	6,1; 5,2	8,7; 15,5
7; 8	Хлопья из кукурузы и пшеницы	27,2; 21,2	44,8; 33,6

При заданном качестве обработки зерна на стоимость набора оборудования линии и объем годовых эксплуатационных издержек накладываются ограничения сверху. Согласно ограничениям, из технологии исключаются (см. рис. 5.14) дорогостоящее оборудование для кондиционирования, пропаривания и термостатирования, а также эксплуатационные издержки, достигающие 15–20 % общего объема издержек производства. Состав оборудования и структура технологической схемы линии микронизации увлажненного зерна (рис. 5.1) охватывает четыре технологии:

- 1 – производство ячменя увлажненного микронизированного;
- 2 – производство хлопьев из увлажненного микронизированного ячменя;
- 3 – производство кукурузы, пшеницы увлажненных микронизированных;
- 4 – производство хлопьев из кукурузы, пшеницы увлажненных микронизированных.

Технологический процесс производства микронизированного зерна и хлопьев из микронизированного зерна включает следующие основные операции: увлажнение зерна водой, отволаживание увлажненного зерна с целью перераспределения влаги по объему зерновки, микронизацию зерна, плющение микронизированного зерна, охлаждение хлопьев. Очищенное или шелушен-

ное зерно для обработки на линии микронизации накапливается в оперативном бункере 7. Технология шелушения включает снятие пленок с очищенного зерна ячменя и отделение лузги. Снятие пленок с ячменя осуществляется за один проход на шлифовальной машине для шелушения ячменя 3.

Продукт, полученный после прохода через шелушительную машины, провеивают в аспираторе 12 для отделения лузги и отбора ядра. В зависимости от качества ячменя выход ядра должен достигать не менее 80 %. Из накопительного бункера линии микронизации 7 зерно подается на увлажняющую машину, где подвергается увлажнению водой температурой 40 – 60 °С в течение 1-2 мин.

Процесс увлажнения ведут таким образом, чтобы влажность зерна увеличилась на 4-5 %. После увлажнения зерно должно иметь следующую влажность:

- шелушенный ячмень	15 – 17 %;
- пшеница	16 – 17 %;
- кукуруза	18 – 20 %.

Количество воды рассчитывают, исходя из влажности зерна, подаваемого на увлажнение, по формуле:

$$M = \frac{Q(W_2 - W_1)}{100 - W_2}, \quad (5.1)$$

где Q – производительность линии кг/ч; W_1 – начальная влажность зерна, поступающего на увлажнение, %; W_2 – влажность, до которой необходимо довести зерно в результате увлажнения, %; 100 – максимальное содержание воды в продукте, %.

Увлажненное до необходимой влажности зерно поступает в бункер для отволаживания 5 для равномерного распределения влаги по объему зерновки. Равномерность распределения влаги по объему зерновки определяется длительностью отволаживания. Время нахождения зерна в бункере для отволаживания должно быть следующее:

- шелушенный ячмень 2-3 часа;
- пшеница 2-3 часа;
- кукуруза 4-6 часов.

Емкость бункеров должна обеспечивать отлежку зерна в течение 4-6 часов.

Увлажненное зерно при подаче в бункер-дозатор микронизатора проходит контрольную очистку на магнитном сепараторе 1 для извлечения и удаления металломагнитных примесей, представляющих повышенную опасность после нагрева в рабочей зоне микронизатора. Питатель бункера-дозатора должен обеспечивать заданную производительность при подаче зерна на вибростол и равномерное распределение зерна по ширине стола вибротранспортером и по высоте слоя зерна. Инфракрасная обработка зерна производится в процессе его вибротранспортирования направленным электромагнитным излучением с частотой в диапазоне $(1-150) \cdot 10^6$ МГц с плотностью установленной мощности 30-40 кВт/м². Зерно, обработанное инфракрасными лучами в зависимости от принятой технологии подается на охладитель 10 или на плющильную машину 11 для дополнительного разрушения крахмального комплекса зерна.

При производстве микронизированного зерна применяются технологии 1, 3, поэтому зерно, прошедшее инфракрасную обработку, подается сразу на охлаждение (охладитель 11). В случаях производства хлопьев по технологиям 2, 4 зерно обрабатывается на микронизаторе 9, плющильной машине 10 и охлаждается на охладителе 11.

Микронизированное зерно подвергают плющению на плющильной машине 8, имеющей систему регулирования числа оборотов валков и давление прижима валков, что обеспечивает получение хлопьев различной толщины. Толщина зерновых хлопьев, предназначенных для кормовых целей, должна быть в пределах 0,5-1,5 мм. При работе плющилки температура валков может возрастать до 100 °С, поэтому предусмотрено водяное охлаждение валков.

Горячее зерно после микронизации или хлопья после плющильной машины подаются на горизонтальный ленточный охладитель, где охлаждаются

до температуры не более чем на 10 °С, превышающий температуру окружающего воздуха. Регулирование температуры продукта на выходе охладителя обеспечивается изменением объема подачи охлаждающего агента (воздуха из помещения) и изменением скорости движения продукта по ленте охладителя.

Технологические характеристики микронизированных зерновых компонентов:

- объемная масса 300-350 г/л;
- влажность не более 10 %;
- сыпучесть удовлетворительная.

Хранение микронизированного зерна или хлопьев допускается в силосах или насыпью в складах напольного хранения.

Комплект технологического оборудования, необходимый для линии микронизации увлажненного зернового сырья, включает в себя шелушильную машину А1-ЗШН, аспиратор Р1-БДЗ-5, увлажнительную машину А1-БШУ-2, микронизатор, магнитный сепаратор, плющильную машину и охладитель.

Последовательно связанная цепочка оборудования образуют в совокупности экспериментальную линию микронизации зерна. Для такой линии гидротермическая подготовка зерна проводится отдельно, и при работе линии ГТО зерно подается на вход магнитного сепаратора и далее обрабатывается по цепочке оборудования.

Зерно подается на вход сверху по направляющим, стекает сначала на верхнюю, затем нижнюю магнитные системы. В процессе движения зерна магнитные примеси извлекаются и фиксируются на полюсах. Для очистки от извлеченных магнитных примесей верхняя и нижняя магнитные системы поочередно выводятся из рабочей зоны и освобождаются от примесей.

5.3. Техничко-технологические параметры экспериментальной линии микронизации зерна

Экспериментальная установка линии микронизации зерна смонтирована

в отдельно стоящем здании, в котором установлен газовый терминал. Внешняя газораспределительная сеть подсоединена к внутренней сети экспериментального образца микронизатора в соответствии с техническими требованиями ГОСТ 12.2.003-91, ГОСТ 12.2.042-91 и требованиями пожаровзрывобезопасности ГОСТ 12.1.004-91, ГОСТ 12.1.041-83, ГОСТ Р 12.3.047-98.

Гидротермическая обработка (ГТО) зерна проводилась на отдельной линии в стендовом корпусе ВНИИКП. Объем партии ГТО зерна изменялся в диапазоне 3 – 5 т.

Партия ГТО зерна из стендового корпуса выгружалась в кузов автомобиля. Расстояние между производственными корпусами не превышало 100 м, поэтому существенного изменения температуры и влажности зерна не происходило. Партия ГТО зерна в течение 5 - 10 мин из выходного бункера стендового корпуса автомобилем перемещалась на прием экспериментальной линии микронизации зерна.

Приемный узел экспериментальной линии включает: приемный бункер, ленточный транспортер, норию и два одинаковых бункера из пищевой нержавеющей стали вместимостью по 6 т влажного зерна каждый.

Приемный бункер вместимостью 2 т снабжен подвижной крышкой, предохраняющей зерно от засорения при загрузке. Все три бункера снабжены реечными задвижками.

Входные бункера экспериментальной линии через перекидной клапан, магнитный сепаратор соединены с бункером-дозатором, установленном на экспериментальном образце микронизатора.

С учетом оборудования линии ГТО зерна в экспериментах отработаны технологии (см. табл. 5.2) № 1, 2, 5, 6, 9, 10. При этом в технологиях № 5, 6 и 9, 10 задействованы одинаковые наборы машин и оборудования, что позволяет объединить их попарно в две группы. Однако, технологические режимы ГТО и ИК-обработки разные в связи с существенными различиями в размерах зерен пшеницы и кукурузы.

Таким образом, по назначению и составу машин и оборудования исследованы четыре базовые технологии, которые отличаются высокими значениями критериев качества обработки и широтой применения в современных схемах кормления животных.

Технические и технологические параметры экспериментальной линии получены при обработке зерна ячменя, пшеницы, кукурузы в объемах, и сведены в таблице 5.3.

Технические и качественные показатели, полученные при испытаниях экспериментального микронизатора

Наименование показателей	Шелушенный ячмень		Пшеница	
	исходной влажности	увлажненный	исходной влажности	увлажненная
Производительность, кг/ч	1580±54	1460±43	1520±29	1443±30
Расход газа, м ³ /ч	26,4	26,4	26,4	26,4
Расход воздуха на горелке, м ³ /ч	220	220	220	220
Температура излучающей поверхности керамических насадок газовых горелок, °С	920±15	920±15	920±115	920±115
Средняя температура в зоне ИК-нагрева, °С	313±3	305±2	312±1	309±2
Температура воздуха в помещении, °С	25	28	26	26
Температура отходящих газов, °С	75±2	78±2	75±1	77±1
Длительность ИК-нагрева, с	86±2	90±2	84±3	91±1
Температура зерна, °С	24	20	24	21
Температура зерна после ИК-нагрева, °С	91±1	96,1	94±2	93,2
Температура зерна после плющения, °С	78±2	79,2	80±3	74,3
Температура зерна после охладителя, °С	30±1	32±1	30±1	28±2
Влажность зерна, %	13,0±0,3	17,1±0,8	12,5±0,5	17,7±0,7
Влажность хлопьев после микронизации, %	9,1±0,5	9,6±0,3	8,8±0,6	9,3±0,4
Степень декстринизации крахмала хлопьев из зерна, %	7,5±2,4	12,3	5,6±3,8	14,9±3,0

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Проведенные исследования технологического процесса микронизации зернового сырья, эффективности приготовления и использования молодняком животных комбикормов с микронизированным зерном позволили сделать следующие выводы:

1. Изучены зерновые культуры (пшеница, ячмень, кукуруза) как объекты исследования. Методом нестационарного теплового режима определены теплофизические характеристики микронизированного зерна для интервала температур 293...353 К. Установлено, что с повышением температуры удельная теплоемкость, коэффициенты теплопроводности и температуропроводности микронизированного зерна увеличиваются. Определены оптические характеристики микронизированного зерна: установлено, что коэффициенты проникновения, отражения уменьшаются, а коэффициент поглощения увеличивается с увеличением длины волны ИК-излучения.

2. Выявлены основные кинетические закономерности процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы). Совместный анализ спектральных характеристик зерна, волновых характеристик ИК-излучателей и энергетических параметров процесса микронизации при одностороннем энергоподводе определил рациональные технологические параметры процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы): обработка монослоя зерна, движущегося со скоростью (0,083-0,125 м/с) с поворачиванием зерен, при плотности потока излучения 25-35 кВт/м².

3. Разработана математическая модель процесса микронизации зерновых культур (пшеницы, ячменя, кукурузы); описывающая период убывающей скорости сушки, когда фронт испарения влаги проникает внутрь продукта.

4. Комплексная оценка качества комбикормов из микронизированного зерна со сбалансированными по питательной ценности компонентами показала полное уничтожение бактериальной обсемененности и грибной микрофлоры.

5. Установлено, что с увеличением влажности зерна деструкция крахмала зерна повышается. Наиболее эффективно проходит процесс микронизации пропаренного зерна с влажностью 19 %, когда степень декстринизации и переваримость крахмала (*in vitro*) ячменя и пшеницы увеличились до 30 % и 40-45 мг/г, т. е. в 2,5-3 раза выше чем в зерне с исходной влажностью. В обработанной кукурузе эти показатели повышаются до 40 % и 55 мг/г соответственно или 3,5 раза.

6. Оценка эффективности использования комбикормов при скармливании показала, что среднесуточный прирост телят опытных групп был выше контроля на 19-50 г или на 2,5-6,8 %. Поросята, получавшие комбикорм с обработанным зерном, съели комбикорма больше по сравнению с контролем на 4,31 % и 8,15 % соответственно, что свидетельствует о повышении его поедаемости, а среднесуточный прирост составлял 291-337 г.

7. Разработана конструкция микронизатора с плоскими газовыми излучателями и вибрационным транспортирующим органом и четыре технологии производства комбикормов из микронизированного зерна для кормления сельскохозяйственных животных, обеспечивающие производство ячменя увлажненного микронизированного; производство хлопьев из ячменя увлажненного микронизированного; производство кукурузы, пшеницы увлажненных микронизированных; производство хлопьев из кукурузы, пшеницы увлажненных микронизированных.

8. Разработана рабочая документация, изготовлен и испытан комплект оборудования производительностью 2 т/ч в составе: магнитный сепаратор, бункер-дозатор, микронизатор, плющильная машина, горизонтальный охладитель. Проведенные производственно-технологические испытания на ООО «КЗГО» показали соответствие параметров комплекта оборудования микронизации зерна техническим условиям и высокую эксплуатационную надежность в условиях производства.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. **Авраменко, В.Н., Есельсон, М.П., Заика, А.А.** Инфракрасные спектры пищевых продуктов. - М.: Пищевая промышленность, 1999. - 174 с.
2. **Адамов, З.Т.** Исследование температурного поля инфракрасных нагревательных систем для сушки пищевых продуктов: дис. . канд. техн. наук / З.Т. Адамов.- ДГТУ: Махачкала, 2003. - 137 с.
3. **Афанасьев В.А.** Научно-практические основы тепловой обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук. – М.: 2003.
4. **Афанасьев В.А.** Системный анализ технологических процессов комбикормового производства [текст]. – Воронеж: Издательство ВГУ, 1999.
5. **Афанасьев В.А.,** Теория и практика специальной обработки зерновых компонентов в технологии комбикормов. – 2002. – с. 295.
6. **Беляев, М.И., Пахомов, П.Л.** Теоретические основы комбинированных способов тепловой обработки пищевых продуктов. Харьков: Ин-т общественного питания, 1991. - 158 с.
7. **Борхерт Р., Юбиц В.** Техника инфракрасного нагрева [текст]. – Н. – Л.: Гос. Энерг. Издательство, 1963.
8. **Брагинец Н., Рабштына В.** Микронизация зерна // Комбикормовая промышленность. – 1984. – № 4.
9. **Ганиев М.М., Недорезков В.Л., Шарипов Х.Г.** Вредители зерна и болезни зерна и зернопродуктов при хранении. - М.: КолосС. -2009.-С.208.
10. **Гвоздева Н.П., Кульянова В.И., Леушина Т.М.** Физическая оптика. - М.: Машиностроение, 1991.
11. **Гинзбург А.С.** Сушка пищевых продуктов / А.С. Гинзбург. – М.: Пищепромиздат, 1960. – 683 с.

12. **Гинзбург А.С.** Исследование оптических свойств некоторых пищевых продуктов в инфракрасной области спектра / А.С. Гинзбург, В.В. Красников, Н.Г. Селюков // Тез.докл. на науч. конф. М.:МТИПП, 1965. С. 36-37.

13. **Гинзбург А. С.** Теплофизические характеристики пищевых продуктов: Справочник [Текст] / А. С. Гинзбург, М. А. Громов, Г. И. Красовская. – М.: Агропромиздат, 1990. – 287 с.

14. **Гинзбург А.С.** Инфракрасная техника в пищевой промышленности [текст]. – М.: Пищевая промышленность, 1973.

15. **Григорьев, И.В.** Импульсная инфракрасная сушка семян овощных культур, нетрадиционных и редких растений: дис.. канд. техн. наук / И.В. Григорьева.- МГАУ им. Горячкина: Москва, 2010. - 222 с.

16. **Елькин Н., Кирдяшкин В.** Инфракрасные технологии для обработки зерна // Комбикорма. – 2006. – № 6.

17. **Елькин Н., Стребков В., Кирдяшкин В.** Инфракрасная техника обработки зерна // Комбикорма. – 2006. – № 4.

18. **Емцев В. Т., Мишустин Е. П.** Микробиология. М., 2005.

19. **Жильцов В.** Грибная флора зерна//Докл. ТСХА,1973.-Вып.191.- С.76-79.

20. **Жислин Я.М.** Оборудование для производства комбикормов, обогатительных смесей и премиксов. – М.: Колос, 1981.

21. **Зверев С., Лигидов В.** Повышение эффективности микронизации зерна // Комбикорма. – 2005. – № 5.

22. **Зверев С., Филин В., Филин Д.** Линия обработки зерна на базе шелушителя и микронизатора // Комбикорма. -2002.- № 1.

23. **Зверев С.В.** Высокотемпературная микронизация в производстве зернопродуктов – 2009. – с. 222.

24. **Зверев С.В.** Повышение эффективности измельчения ИК термообработанного зерна: Дис. док. техн. наук. – М.: МГАПП, 1995.

25. **Зверев С.В.** Техника и технология инфракрасного нагрева в пищевой промышленности. Состояние вопроса // Сборник трудов МГУПП. – М.: МГУПП – 2010 г.

26. **Зверев С.В., Козин Е.В.** Инактивация антипитательных веществ в сое при ВТМ обработке. Хранение и переработка сельхозсырья, №4, 2008. – с.30-31.

27. **Зверев С.В., Козин Е.В.** Инактивация уреазы в процессах ВТМ сои. Хранение и переработка зерна, №2, 2008. – с.56-58.

28. **Зверев С.В., Козин Е.В.** Моделирование процесса дегидратации зернопродуктов. Часть 2. Термообработка при инфракрасном энергоподводе. Хранение и переработка зерна, № 6, 2010. – С.66-67.

29. **Зверев С.В., Козин Е.В.** Потемнение крупы в процессе высокотемпературной микронизации (ВТМ). Хранение и переработка зерна, №1, январь, 2009. – С.38-41.

30. **Зверев С.В., Козин Е.В., Гусаров К.С.** Моделирование процесса термоинактивации антипитательных веществ в сое. Сборник научных трудов МПА: Вып. V111/1, . Под ред. В.А. Бутковского. – М.: ГИОРД, 2010. – С.179-184.

31. **Зигель Р., Хауэлл Дж.** Теплообмен излучением. – М.: Мир, 1975.

32. **Ильясов С.Г., Красников В.В.** Методы определения оптических и терморadiационных характеристик пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1972.

33. **Ильясов С.Г., Красников В.В.** Физические основы инфракрасного облучения пищевых продуктов. – М.: Пищевая промышленность, 1973.

34. **Иоффин С.Л., Кудрявцев Ю.И.** Типоразмерный ряд вибровозбудителей серии ВУНД // Горный журнал. – 1988. – № 1. – С. 45.

35. **Коваленко С.** Термоэкструдерная обработка для улучшения питательности зерна // Комбикорма. – 1998. – № 3.

36. **Козин Е.В.** Влияние начальной влажности и уровня ИК облучения при высокотемпературной микронизации на время варки до готовности пшеничной и перловой круп. Сборник докладов международной научно-практической интернет-конференции «Инновационные процессы и технологии». Кутаиси, 2011. – С.50-54.

37. **Козырев, Б. П.** Определение спектральных коэффициентов диффузного отражения инфракрасной радиации от зачерненных поверхностей / Б. П. Козырев, О. Е. Вершинин // Оптика и спектроскопия. 1997. - Т. 6. -№ 4. - 542 с.

38. **Кондратов А. П.** Основы физического эксперимента и математическая обработка результатов измерений [Текст] / А. П. Кондратов. – М.: Атомиздат, 1977. – 196 с.

39. **Кормановский Л., Пахомов В.** Создание внутрихозяйственных комплексов и опыт их применения // Комбикорма.-1999.-№ 4.

40. **Космынин Е., Лунков С.** Способ обработки зерна для повышения его кормовой ценности // Комбикорма. – 2004. – № 4.

41. **Кузнецова Т.Т., Сафонова Л.Г.** Условия получения высококачественных концентрированных кормов. -В кн. Микробиологические исследования в Западной Сибири. -Новосибирск. -1976.-С.96-100.

42. **Левитин И.Б.** Применение инфракрасной техники в народном хозяйстве [текст]. – Л.: Энергоиздат, 1981 – с. 41.

43. **Лыков, А. В.** Теория сушки [Текст] / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 470 с.

44. **Малин Н.И.** Технология хранения зерна. - М.: Колос, 2005. — 280 с.

45. **Малин Н.И.** Энергосберегающая сушка зерна – 2004. – с. 240.

46. Методы биохимических исследований растений; 3-е изд./ Под ред. Ермакова А.И., перераб. и доп. – Л.: Агропромиздат Ленинградское отделение, 1976. – 430 с.

47. **Мичихина Л.И., Львова Л.С.** Микробиологические аспекты сохранности и безопасности зерна и зернопродуктов // Хлебопродукты

48. Научная библиотека диссертаций и авторефератов disserCat <http://www.dissercat.com/>

49. **Орлов В.Н.** Вредители зерновых колосовых культур. - М.: Печатный город. - 2006.-С.104.

50. **Остапчук, Н. В.** Основы математического моделирования процессов пищевых производств [Текст] / Н. В. Остапчук. – Киев: Выща школа, 1991. – 368 с.

51. **Остриков А. Н.** Процессы и аппараты пищевых производств [Текст] / А. Н. Остриков, Ю. В. Красовицкий, А. А. Шевцов [и др.]: под ред. А.Н. Острикова. – С-Пб.: ГИОРД, 2007. – 704 с.

52. Машины и аппараты пищевых производств. В 3 кн. [Текст] / С. Т. Антипов, И. Т. Кретов, А. Н. Остриков и др.; Под ред. акад. РАСХН В. А. Панфилова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: КолосС, 2009. – 610 с.

53. **Остриков, А. Н.** Радиационно-конвективная сушка грушевых чипсов при импульсном энергоподводе [Текст] / А. Н. Остриков, Е. Ю. Желтоухова // Известия вузов. Пищевая технология. – 2012. – № 1. – С. 83-86.

54. **Остриков, А. Н.** Энергосберегающие технологии и оборудование для сушки пищевого сырья [Текст] / А. Н. Остриков, И. Т. Кретов, А. А. Шевцов, В. Е. Добромиров. – Воронеж. гос. технол. акад. Воронеж, 1998. – 344 с.

55. **Патент № 2087107 (Ru).** Микронизатор. Трусов Н.А., Нюшкин Н.В., Кровцов С.И., Власов Н.В.

56. **Патент № 2264128 (Ru).** Установка для термообработки зернового зерна / Филатов В.В., Кирдяшкин В.В., Елькин Н.В.

57. **Патент № 2372795 (Ru).** Установка для термообработки пищевого материала/ Андреева А.А., Доронин А.Ф., Елькин И.Н, Елькин Н.В., Кирдяшкин В.В.

58. **Пахомов В., Каун В., Бермитская Г.** СВЧ - энергия для сушки зерна // Комбикорма. – 2004. – № 5.

59. **Пахомов В., Смоленский А., Красюков К.** Электротехнологии обработки компонентов комбикормов // Комбикорма. – 2002. – № 2.

60. **Пахомов В., Чекрыгина И.** Повышение кормовой ценности зерна // Комбикорма. – 1997. – № 7.

61. **Плаксин, Ю.М.** Научно-практические основы пищевой технологии при инфракрасном энергопроводе: дис. .докт. техн. наук / Ю.М. Плаксин. - М.: МГУПП, 1993.-704 с.

62. **Плаксин, Ю.М.** Научно-практические основы пищевой технологии при инфракрасном энергопроводе: дис. .докт. техн. наук / Ю.М. Плаксин. -М.: МГУПП, 1993.-704 с.

63. **Плаксин, Ю.М., Филатов, В.В.** Основы теории инфракрасного нагрева // Научный труд.- М.: Издательский комплекс МГУПП, 2007.V182 с.

64. **Плаксин, Ю.М., Филатов, В.В.** Основы теории инфракрасного нагрева // Научный труд.- М.: Издательский комплекс МГУПП, 2007.V182 с.

65. **Плешков Б.П.** Практикум по биохимии растений. – М.: Колос, 1985.

66. **Поляков А.А.** Ветеринарная санитария. -М.: Колос. -1979.-С. 10-15.

67. Правила бактериологического исследования кормов», М., Колос, 1976.

68. **Проничев, С.А.** Импульсная инфракрасная сушка семенного зерна: автореф. дис. . канд. техн. наук/ С.А.Проничев. - М.: МГАУ, 2007. - 22 с.

69. **Пятков, И. Ф.** Исследование физического воздействия инфракрасного излучения на зерно / И. Ф. Пятков: автореф. дисс. . канд. техн. наук. М.: МТИПП, 1967.-С. 36.

70. **Радчиков В.** Повышение эффективности использования зерна // Комбикорма. – 2003. – № 7.

71. **Рамазанов Р.** Перспективные методы обработки поврежденного зерна // Комбикорма. – 2003. – № 1.

72. **Рамазанов Р., Войно Л.** Влияние СВЧ - обработки на микроорганизмы зерна // Комбикорма.-2006.- № 3.

73. **Рогов И.А., Адаменко В.Я., Некрутман С.В., Ильясов С.Г.** Электрофизические, оптические и акустические характеристики пищевых продуктов. – М.: Легкая и пищевая промышленность, 1981.

74. **Ромалийский В.** Микронизация и плющение зерна // Комбикорма.-2005. – № 4.

75. **Ромалийский В.** Плющилки для влажного зерна // Комбикорма. – 2004. – № 2.

76. **Рудобашта, С. П.** Кинетика импульсной инфракрасной сушки зерна в монослое / С. П. Рудобашта, С. А. Проничев // Вестник ФГОУ ВПО МГАУ «Агроинженерия». Вып. 3. - М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2006. - С. 53-55.

77. **Рудобашта, С. П.** Массоперенос в системах с дисперсной фазой. М: Химия, 1980, 248с.

78. Сайт Micronizing Company UK Limited [Электронный ресурс], - Великобритания, 2011 - Режим доступа: [http://www. Micronizing.com/?page_id=110](http://www.Micronizing.com/?page_id=110), свободный. – Загл. с экрана.

79. Сайт Интернет-справочник по оборудованию [Электронный ресурс]. – oborud. info, 2011 - Режим доступа: <http://www. oborud.info/product/jump.php?10561&c=362>, свободный. – Загл. с экрана.

80. Сайт производственной компании Старт [Электронный ресурс], - Моск. Обл. 2011 - Режим доступа: [http // www.pstart.ru](http://www.pstart.ru), свободный. – Загл. с экрана.

81. Сайт фирмы SBM [Электронный ресурс], - Франция, 2011 - Режим доступа: <http://www.sbm.fe/>, свободный. – Загл. с экрана.

82. **Саммерсов В.Ф., Буга С.Ф.** Вредители и болезни зерновых культур и меры борьбы с ними. - Мн.: Урожай. -1978.

83. **Синицын, В.А.** Радиационно-конвективный теплообмен в пограничных слоях на проницаемой поверхности: дис. . канд. техн. наук / В.А. Синицын: Новосибирск, 1984. - 144 с.

84. **Танаева, С.А.** Экспериментальное исследование нагревательного блока с инфракрасными излучателями / С.А. Танаева, И.П. Василенко // Инженерно-физический журнал, Т. 68, 2007. - №4 — С. 594-597.

85. **Тарабрин П.А.** Поражение кормов грибами в некоторых районах Забайкалья и Дальнего Востока. -Тез Всес. симпоз. по проблемам ветеринарной микологии и санитарии кормов. -М.1970.-С.63-64.

86. **Тарапон, В.А.** Исследование процессов тепломассопереноса методами физического и математического моделирования при терморadiационном нагреве некоторых пищевых продуктов: Автореф. дис. на соиск уч. степ, канд. техн. наук. Киев, 1978. - 26 с.

87. **Темираев В.** Использование ферментов с зерном бобовых культур // Комбикорма. – 2003. – № 7.

88. **Тихонов Н.И., Беляков А.М.** Хранение зерна. Учебное пособие. - Волгоград: ВолГУ, 2006. – 108 с.

89. **Тюрев Е.П.** Эффективность теплотехнологических процессов обработки пищевых продуктов ИК - излучением: Дис. док. техн. наук. - М.: МГАПП, 1990.

90. **Филатов, В.В.** Совершенствование процесса термообработки зерна при инфракрасном энергоподводе / В. В. Филатов : дисс. . канд. техн. наук. - М. :МГУПП, 2005.-С. 312.

91. **Фомина О.Н.** Контроль качества и безопасности по международным стандартам. – 2001. – с. 368.

92. **Хосни Р.К.** Зерно и зернопродукты. Перевод с англ. под общ. ред. к.т.н., проф. Н.П. Черняева. - СПб.: Профессия, 2006. - 330 с.

93. **Шулаев Г., Бетин А., Добрынин В.** Микронизированная соя в кормах для молодняка свиней // Комбикорма. – 2010. – № 2.

94. **Юкиш А.Е., Ильина О.И.** Техника и технология хранения зерна. М.: Дели принт, 2009 - 717 с.
95. **Andrejko D., Rudsar L. and ade.** Influence of preliminary thermal processing infra-red radiation on pea seeds cooking process / Intern. Agrophysics, 2008. – V. 22. - № 1. – p. 17-20.
96. **Boyadjiev, Chr.** Non-linear Mass Transfer and Hydrodynamic Stability / Chr. Boyadjiev, V.N. Babak// Amsterdam-New -York-Tokyo. Elsevier, 2000, 500 p.
97. **Glouannec, P., Lecharpentier, D., Noel, N.** Experimental survey on the combination of radiating infrared and microwave sources for the drying of porous Material / P. Glouannec, D. Lecharpentier, Noel N. // Appl Therm.Eng.2002;Vol. 22, p. 689-703.
98. **Kumar, D. G. P., Hebbar, H. U., Sukumar, D., Ramesh, M. N.** Infra-red and hot-air drying of onions / D. G. P. Kumar, H. U. Hebbar, D. Sukumar, M. N. Ramesh // Journal of Food Processing and Preservation. 2005, Vol. 29, p. 132-150.
99. **Levinson W.L.** Microbiology and Immunology, Examination and Board Review. -New-York-McCraww-Hill, 2006.
100. **Piro M., Dory J-P., Evin F.** Chauffage par rayonnement infrarouge // Technique de l'Ingenieur, 1999. — V.2 — p. 30–33.
101. **Tirawanichakul, S., WalangkanaPhatthalung, N. A., Tirawanichakul, Y.** Drying Strategy of Shrimp using Hot Air Convection and Hybrid Infrared Radiation / S. Tirawanichakul, Walangkana NA Phatthalung, Y. Tirawanichakul // Walailak J Sci& Tech. 2008; Vol. 5(1), p. 77-100.
102. **Zhu, Y., Pan, Z.** Processing and quality characteristics of apple slices under simultaneous infrared dry-blanching and dehydration with continuous heating / Y. Zhu, Z. Pan// Journal of Food Engineering. 2009, Vol. 90, p. 441-452.

Определение теплофизических характеристик и плотности пшеницы



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ozcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2014 г.

АКТ № 19985-Л

о проведении лабораторных испытаний
пшеницы

Цель испытаний: определение теплофизических характеристик и плотности образцов пшеницы.

Опыты проведены на установке для определения теплофизических и реологических характеристик вязкоупругих жидкостей *Cossfield* RT-1394H (National Instruments).

Методики проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заказчик: ОАО "Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности", Кочанов Д. С.

Результаты испытаний: результаты опытов по определению теплофизических характеристик и плотности образцов представлены в Приложении 2.

Заключение: определены основные теплофизические параметры и плотность представленных образцов. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопаев Р.Н.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ

На первом этапе выполняются следующие операции:

- навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
- установка внутреннего цилиндра;
- включение термостата;
- приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в слое исследуемой жидкости скорости сдвига $\gamma = 2,5$ м/с;
- включение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация установившейся среднеинтегральной температуры в слое нагревателя измерительного устройства;

Второй этап включает в себя следующие операции:

- отключение нагревателя измерительного устройства;
- регистрация через заданный интервал времени $\Delta t = 10$ °С среднеинтегральной температуры нагревателя измерительного устройства;
- отключение привода внешнего цилиндра при достижении стационарной температуры;
- определение теплофизических характеристик исследуемого материала по экспериментальной информации с использованием расчетных соотношений, полученным в ходе решения обратной задачи теплопроводности с применением пакета программ Lab View 7.0.

МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ ПЛОТНОСТИ ОБРАЗЦОВ

1. Навеска заданной массы (10 г) исследуемого объекта помещается в полусферическое углубление внешнего цилиндра установки *Cossfield* RT-1394H (National Instruments);
2. Установка внутреннего цилиндра;
3. Включение термостата;
4. Приведение во вращение внешнего цилиндра измерительного устройства с заданной угловой скоростью $\omega = 0,1$ м/с, обеспечивающей создание в образце скорости сдвига $\gamma = 1,0$ м/с;
5. Регистрация частоты выходного сигнала датчика силы и определение по расчетным соотношениям установившегося значения величины касательного напряжения σ при фиксированной скорости сдвига γ и температуре 10 °С;
6. Увеличение скорости сдвига в слое исследуемого образца на $\Delta\gamma = 0,05$ м/с;
7. Выполнение заданного числа k раз пунктов 4 - 6 настоящей методики;
8. Определение плотности исследуемого образца удовлетворяющей условию;

$$\sum_{i=1}^{i=k} (\sigma - \rho \cdot \gamma_i^n)^2 \rightarrow \min$$

№ п./п.	Интервал температур	Ед. изм.	Образцы фуражного зерна пшеницы			
			исходный		после сушки	
			Коэффициент температуропроводности (a), $\times 10^8$ м ² /с			
1	20	°С	17,80	± 0,15	16,48	± 0,15
2	40	°С	16,91	± 0,15	15,57	± 0,15
3	60	°С	15,87	± 0,2	14,69	± 0,15
4	80	°С	15,01	± 0,15	13,97	± 0,2
			Коэффициент теплопроводности (λ), Вт/(м·К)			
5	20	°С	0,345	± 0,004	0,267	± 0,004
6	40	°С	0,373	± 0,004	0,294	± 0,004
7	60	°С	0,411	± 0,004	0,341	± 0,004
8	80	°С	0,430	± 0,004	0,373	± 0,004
			Массовая удельная теплоемкость (c), Дж/(кг·К)			
9	20	°С	2217,56	± 0,10	1802,62	± 0,15
10	40	°С	2532,08	± 0,15	2107,52	± 0,15
11	60	°С	2976,75	± 0,15	2595,78	± 0,10
12	80	°С	3292,07	± 0,10	2987,43	± 0,15
13	Плотность (ρ)	кг/м ³	871,3		895,7	

Определение оптических характеристик образца пшеницы



Федеральное агентство
по техническому регулированию и метрологии

Федеральное государственное учреждение
«МЕНДЕЛЕЕВСКИЙ ЦЕНТР СТАНДАРТИЗАЦИИ,
МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ»

**ОРЕХОВО-ЗУЕВСКИЙ ФИЛИАЛ
ФГУ «Менделеевский ЦСМ»**

ул. Коминтерна, д. 1, г. Орехово-Зуево, Московская обл., 142608
тел.: (495) 412-14-09; факс: (495) 412-07-94
e-mail: ozcsm@ozcsm.ru www.ozcsm.ru

Банк получателя: Отделение №1 Московского ГТУ Банка России
г. Москва 705, БИК 044583001,
расчетный счет 40503810900001009012,
получатель: ИНН 5044000470 КПП 504401001
УФК по Московской области (Отделение по Солнечногорскому
муниципальному району УФК по МО (ФГУ «Менделеевский ЦСМ»
л/с 03481455600)

УТВЕРЖДАЮ

Директор
испытательного центра
пищевой продукции



Фролова И.В.

» _____ 2014 г.

А К Т № 19993 - Л

о проведении лабораторных испытаний
пшеницы

Цель испытаний: определение оптических характеристик образца пшеницы для лампы ИКЗК 215-225-250.

Опыты проведены с использованием спектрофотометра ПЭ-5400В. Лампа ИКЗК 215-225-250.

Исследования проведены согласно МУК 519.004-09.

Заказчик: ОАО "Всероссийский научно-исследовательский институт комбикормовой промышленности", Кочанов Д. С.

Результаты испытаний: результаты проведения опытов представлены в Приложении 1.

Заключение: определены оптические характеристики образца пшеницы для лампы ИКЗК 215-225-250. Экспериментальные данные позволяют рекомендовать проведение опытно-промышленных испытаний.

Начальник испытательной
лаборатории, д.х.н.

Инженер-исследователь



Волкова Н.Ф.

Подкопав Р.Н.

№ п.п.	Оптические характеристики для лампы ИКЗК 215-225-250	Ед. изм.	Пишеница
1	Коэффициент отражения		0,12
2	Коэффициент поглощения		0,75
3	Коэффициент пропускания		0,13

Акт производственно-технологических испытаний опытного образца линии микронизации зерна


СОГЛАСОВАНО
 Генеральный директор
 ОАО «ВНИИКП», проф.
 В.А. Афанасьев
 «23» января 2014


УТВЕРЖДАЮ
 Директор
 ООО «КЗГО»
 А.А. Кравцов
 «22» января 2014

АКТ

производственно-технологических испытаний опытного образца
 линии микронизации зерна производительностью 2 т/ч

Мы, нижеподписавшиеся, составили настоящий акт в том, что нами в условиях ООО «КЗГО» были проведены испытания линии микронизации зерна производительностью 2 т/ч (по зерну) разработанного сотрудниками ОАО «ВНИИКП» генеральным директором Афанасьевым В.А., зам. директора по производству ОАО «ВНИИКП» Ефремовым К.И. и инженером по маркетингу ОАО «ВНИИКП» Кочановым Д.С.

Для испытания использовали линию микронизации зерна со следующими параметрами: производительность – 2 т/час; частота потока ИК-лучей (1-15) 10^8 МГц, номинальная тепловая мощность газовой инфракрасной горелки 7,3-8,0 кВт, температура интенсивного нагрева зерна – 368 К в течение 40-180 секунд, температура излучающей поверхности горелок 1173 К, частота колебаний вибростола 1440 мин⁻¹, суммарная мощность ИК-горелок 300 кВт, установленная мощность всех электродвигателей 52,6 кВт.

Целью является проверка соответствия параметров линии микронизации зерна с техническим условиям и полученных в результате испытания в условиях производства.

Проведенные испытания позволяют сделать следующие выводы:

1. Линия микронизации зерна соответствует параметрам, указанным в техническом задании.

2. Линия микронизации зерна позволяет получить продукт, имеющий хорошие потребительские свойства.

Представители ООО «КЗГО»

Главный инженер

Раковский О.В.

Представители ОАО «ВНИИКП»

Зам. директора по производству

Инженер по маркетингу

Ефремов К.И.

Кочанов Д.С.

« 22 » января 2014

Приложение Г

Акт заводских испытаний опытного образца линии микронизации зерна

СОГЛАСОВАНО
 Генеральный директор
 ОАО «ВНИИКП», проф.
 В.А. Афанасьев
 « 23 » января 2014



УТВЕРЖДАЮ
 Директор
 ООО «КЗГО»
 А.А. Кравцов
 « 22 » января 2014



АКТ

Заводские испытания опытного образца линии микронизации зерна
 производительностью 2 т/ч

Комиссия в составе:

Ефремов К.И. – зам. директора по производству ОАО «ВНИИКП» –
 председатель комиссии;

Кочанов Д.С. – инженер по маркетингу ОАО «ВНИИКП»;

Раковский О.В. – главный инженер ООО «КЗГО»

провела заводские испытания линии микронизации зерна
 производительностью 2 т/ч, разработанного сотрудниками ОАО «ВНИИКП»
 генеральным директором Афанасьевым В.А. и инженером по маркетингу
 Кочановым Д.С. Линия микронизации зерна предназначена для
 приготовления микронизированного зерна или микронизированных хлопьев.

Испытания проведены в соответствии с программой и методикой
 испытаний. Комиссия установила, что предъявленный опытный образец
 линии микронизации зерна соответствует требованиям ЕСКД и
 техническому заданию.

Технические характеристики линии микронизации зерна приведены в таблице 1.

Таблица 1

Технические характеристики линии микронизации зерна

Наименование параметра	Значение
Производительность техническая, т/ч:	
– при обработке ячменя и пшеницы с влажностью 14-15%;	2,0
– при обработке пропаренного или увлажненного зерна ячменя и пшеницы до влажности 17-18%;	2,5
– при обработке кукурузы, сои, гороха с влажностью 14-15%;	1,5
– при обработке пропаренного или увлажненного зерна кукурузы до влажности 25%	2,0
Степень декстринизации крахмала зерна, % не менее	
- кукурузы	50
- ячменя	40
- пшеницы,	30
Толщина хлопьев, мм, не более	1,5
Величина влажности хлопьев, %, не более	10
Объемная масса хлопьев, кг/м ³	300-350
Температура охлажденных хлопьев относительно температуры окружающей среды, С ⁰ , не более	10-15
Частота колебаний вибростола, мин ⁻¹	1440
Амплитуда колебаний, мм	2
Суммарная мощность ИК-горелок, кВт	300
Установленная мощность всех электродвигателей, кВт	52,6
Габаритные размеры, мм	
– длина	10500
– ширина	3640
– высота	5500
Масса комплекта оборудования, кг, не более	7200
Вид применяемого топлива	Газ природный

Исследуемый продукт, предварительно гидротермически обработанный с процентом увлажнения до 22%, под действием силы тяжести попадает в сепаратор магнитный, где проходит обработку от металломагнитных примесей, содержащиеся в зерне.

Затем зерно попадает в бункер-дозатор, с помощью которого происходит распределение и подача зерна на вибротранспортер микронизатора. На вибротранспортер зерно подается слоем толщиной в 1-3 зерна по всей ширине стола. Перемещаясь по вибротранспортеру зерно попадает в зону действия ИК-излучения, с температурой излучающей поверхности 1173 К, в течение нескольких десятков секунд температура зерна возрастает от температуры окружающей среды до 363-368 К, снижается влажность зерна примерно в два раза происходит разогрев и вскипание влаги внутри зерна и достигается разрушение структуры крахмала. При этом крахмал в зерне деструктурируется до декстринов.

Зерно увеличивается в размерах. Увеличенное в объеме зерно через загрузочный лоток, очищаясь дополнительно от металлических включений при помощи встроенной магнитной системы, поступает на вальцы плющилок, где происходит механическое раздавливание зерен, толщина хлопьев 1,5 мм (механическое разрушение структуры крахмала). Из-под вальцев хлопья попадают на верхний ярус двухярусного охладителя, где, соприкасаясь с проходящим воздухом, хлопья охлаждаются. Величина влажности хлопьев составляет около 10%. Через прямоугольный патрубок в нижнем ярусе охладителя готовый продукт поступает на цепной транспортер для дальнейшего использования в технологическом процессе.

После настройки всех параметров линия микронизации зерна выходила на рабочий режим с установленными рабочими параметрами. Производили отбор проб полученного микронизированного зерна, измеряя объем его выхода для определения производительности; измеряли влажность входного и готового продукта; определяли толщину готового продукта; определяли объемную массу готового продукта; определяли температуру готового продукта после выхода его из охладителя.

По результатам заводских испытаний комиссия рекомендует опытный образец линии микронизации зерна 2 т/ч к проведению эксплуатационных испытаний.

Представители ООО «КЗГО»

Главный инженер



Раковский О.В.

Представители ОАО «ВНИИКП»

Зам. директора по производству

Инженер по маркетингу



Ефремов К.И.

Кочанов Д.С.

«22» января 2014

Акт об изготовлении установочной серии микронизатора

СОГЛАСОВАНО
 Генеральный директор
 ОАО «ВНИИКП», проф.
 В.А. Афанасьев
 «23» января 2014



УТВЕРЖДАЮ
 Директор
 ООО «КЗГО»
 А.А. Кравцов
 «22» января 2014


АКТ

Об изготовлении установочной серии микронизатора
 производительностью 2 т/ч.

Комиссия в составе:

Ефремов К.И. – зам. директора по производству ОАО «ВНИИКП» –
 председатель комиссии;

Кочанов Д.С. – инженер по маркетингу ОАО «ВНИИКП»;

Раковский О.В. – главный инженер ООО «КЗГО»

провела экспертизу установочной серии микронизатора
 производительностью 2 т/ч изготовленного в ОАО «ВНИИКП» по
 техническому заданию.

Комиссия установила, что изготовленный микронизатор соответствует
 требованиям ЕСКД и техническому заданию. Продукция может быть
 отгружена заказчику.

Представители ООО «КЗГО»

Главный инженер



Раковский О.В.

Представители ОАО «ВНИИКП»

Зам. директора по производству

Инженер по маркетингу



Ефремов К.И.

Кочанов Д.С.

«22» января 2014

Дипломы и награды





ФГОУ ВПО ВОРОНЕЖСКИЙ ГАУ
ЭКСПОЦЕНТР ВГАУ

ДИПЛОМ

ЗОЛОТОЙ

награждается участник выставки

ВоронежАГРО-2012

Афанасьев В.А., Кочанов Д.С.

за исследования процесса
микронизации зеновых культур

Директор экспоцентра ВГАУ
Овсянников В.В.



г. Воронеж, 19 ноября 2012 года

Министерство сельского хозяйства РФ
 Главное управление по аграрной политике администрации Воронежской области
 ФГОУ ВПО ВГАУ им. К.Д. Глинки
 Управление по развитию университетского округа аграрного образования
 Экспоцентр "Агробизнес Черноземья" ВГАУ



ДИПЛОМ

7-я агропромышленная выставка
АГРОСЕЗОН - 2013
 Современная техника и технологии

НАГРАЖДАЕТСЯ

Всероссийский научно исследовательский
 институт комбикормовой промышленности

Афанасьев В.А., Кочанов Д.С.

за разработку комплекта оборудования
 микронизации зерна с последующим плющением,
 производительностью 2 тонны/час

Нач. УпРУО
 аграрного образования

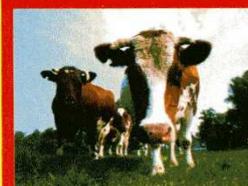
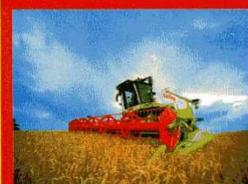
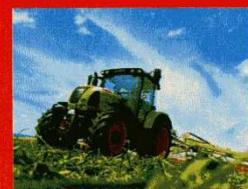
Директор экспоцентра

Белоусов А.В.

Дубяников В.В.



14 марта 2013 года



Технические условия на микронизатор типа УЗ-АМЗ-2

ОКП 51 4490

Группа Г 73



МИКРОНИЗАТОР
типа УЗ-АМЗ-2

Технические условия
ТУ 5144-088-00932117-2012
(Введены впервые)

Дата введения 20.05.2013 г.