

Автор ер.
Г 96

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

А.Г.ГУСЬКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ Co^{60}
НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА
НЕКОТОРЫХ ЗЛАКОВ В СВЯЗИ С ЕГО ПЕРЕРАБОТКОЙ

374 - Технология зерновых, бобовых и крупяных культур

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1970

МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ УССР

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
имени М.В.Ломоносова

А.Г.ГУСЬКОВ

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГАММА-ОБЛУЧЕНИЯ Co^{60}
НА СТРУКТУРНО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА
НЕКОТОРЫХ ЗЛАКОВ В СВЯЗИ С ЕГО ПЕРЕРАБОТКОЙ

374 - Технология зерновых, бобовых и крупяных культур

А в т о р е ф е р а т

Переучет 19/89 Г.

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

ОНАХТ
18.07.11
Исследование влияния



V001840

V001840

ОДЕССКИЙ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ
ИНСТИТУТ
ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА
БИБЛИОТЕКА

Одесса - 1970

Работа выполнена в химико-технологической лаборатории при кафедре „Технология переработки зерна“ Одесского технологического института имени М.В. Ломоносова

Научный руководитель к.т.н. доцент А.Д.Чмырь
Научный консультант к.т.н. доцент И.Т.Мерко

Официальные оппоненты:
доктор сельскохозяйственных наук, профессор М.И.Княгиничев,
кандидат технических наук, доцент Е.С.Перцовский

Оппонирующая организация: лаборатория биофизики
АН МССР

Автореферат разослан „24” марта 1970 г.

Защита диссертации состоится „24” апреля 1970 г.

на заседании Совета Одесского технологического института имени М.В.Ломоносова.

Просим Ваши отзывы в двух экземплярах присылать по адресу: г.Одесса-39, ул.Свердлова, 112, технологический институт имени М.В.Ломоносова.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ СОВЕТА

Л.А. Запорожец

Л.А.ЗАПОРОЖЕЦ

Коммунистическая партия, осуществляя широкую программу мер по увеличению производства продуктов сельского хозяйства, ставит задачу создать в нашей стране обилие продуктов питания, что явится одним из важнейших условий построения Коммунистического общества.

Увеличение продуктов питания связано не только с ростом производства сельского хозяйства, но и с совершенствованием технологии хранения и переработки сельскохозяйственного сырья. Одним из важнейших направлений увеличения сельскохозяйственной продукции является производство зерновых.

Директивами XXIII съезда КПСС по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1966-1970 годы предусмотрено поднять среднегодовой сбор зерна на 30% и довести до 167 млн. тонн.

Применение в зерноперерабатывающей промышленности новейших достижений науки и техники и, в частности, использование ионизирующих излучений ставит задачу глубокого исследования закономерности действия излучений на структурно-механические, технологические и биохимические свойства зерна.

Значительный вклад в исследование возможности использования ионизирующих излучений в технологии переработки зерна сделан сотрудниками ВНИИЗа Н.И. Соседовым, А.Б. Вакаром, Е.С. Перцовским и зарубежными учеными М. Мильнером, К. Финнеем, А. Дешрейдером и др. В опубликованных работах освещены в основном результаты изучения биохимических и технологических свойств зерна, подвергнутого ионизирующему облучению. Исследования отечественных и зарубежных авторов показали, что обработка зерна злаков ионизирующей радиацией может способствовать улучшению его сохранности и некоторых технологических свойств.

В кратком обзоре работ по облучению зерна и муки в Бельгии и Франции Маес Л., А. Дешрейдер и Е. Петерс сообщили, что во многих случаях наблюдается заметное улучшение хлебопекарных свойств пшеницы после облучения зерна или муки гамма-лучами Co^{60} . Изучалось действие доз от 25 тыс. до 2 млн. р. Пористость и объем хлеба увеличивались на 10-20% при дозах облучения до 1 млн. р., однако дозы облучения свы-

ше 1 млн.р. вызывали потемнение мякиша хлеба. Мягкие пшеницы реагировали на гамма-облучение в большей мере, чем твердые. Авторы развивают положение об увеличении длины полипептидных цепей белковых молекул клейковины, что приводит к созданию определенной упорядоченности структуры клейковины и соответствующему улучшению ее физических свойств, однако экспериментальных обоснований этих предположений не приводится.

Сравнивая результаты своих опытов с положительными результатами облучения в опытах Маеса и Дешрейдера, Милнер и его сотрудники считают, что улучшение качества хлеба в работах европейских исследователей обусловлено проведением выпечек без добавления сахара и солода при недостаточной обеспеченности исходного зерна сбраживаемыми сахарами.

Отечественные авторы Б.А.Николаев и Н.И.Шкадина исследовали влияние гамма-облучения пшеничной муки на ее качество, упруго-вязкие свойства белков клейковины, теста, а также качество хлеба. Авторы установили, что тесто, приготовленное из облученной муки, имело более высокую вязкость (по сравнению с контролем), возрастающую с увеличением дозы облучения. Во ВНИИЗе Н.И.Соседов с сотрудниками исследовали действие гамма-лучей на хлебопекарные свойства муки, полученной из облученного зерна. Облучению подвергали зерно с „крепкой“ и „слабой“ клейковиной, нормальное и дефектное с различным влагосодержанием.

Полученные результаты показали, что облучение муки дозами от 100 тыс. до 500 тыс.р. не влияло на выход сырой клейковины и лишь дозы облучения свыше 1 млн.р. снижают ее выход. Хлебные выпечки из облученной муки, начиная с дозы облучения 750 тыс.р. получали менее светлые с появлением в них постороннего запаха. Облучение влажного зерна (Вд. 19,8%) дозами до 500 тыс.р. превращает нормальную клейковину исходного зерна в „крепкую“, более высокие дозы облучения приводят к ее интенсивному разжижению. Облучение зерна с „крепкой“ клейковиной дозами свыше 1 млн.р. снизило ее упругость, а хлеб, выпеченный из этой муки, получил хорошую оценку. Облучение дозами до 500 тыс.р. способствовало также укреплению клейковины дефектного зерна и повысило качество хлебной выпечки.

Таким образом, имеющиеся в литературе данные не дают полной и глубокой характеристики действия ионизирующих излучений на зерно злаков, как объект мукомольно-крупяного производства. Это выражается в том, что ранее не исследовались структурные и физико-механические свойства облученного зерна, изменение которых предшествует изменению его технологических свойств при переработке.

Более глубокое исследование действия ионизирующих излучений на зерно злаков позволит ускорить их внедрение в зерноперерабатывающую промышленность.

Поэтому цель данного исследования состоит в обосновании некоторых изменений структурно-механических и технологических свойств зерна (пшеницы и кукурузы), подвергнутого гамма-облучению.

В связи с этим были поставлены следующие задачи:

1. Исследовать микро- и субмикроструктуру зерна и основных его компонентов (крахмал и клейковину) как объект облучения.

2. Исследовать влияние гамма-радиации на макро- и микроструктуру зерна и его основные компоненты (крахмал и клейковину).

3. Исследовать физико-механические свойства зерен злаков (пшеницы, кукурузы), подвергнутых облучению гамма-лучами Co^{60} .

4. Исследовать влияние различных доз гамма-лучей на технологические и некоторые биохимические свойства зерна.

5. Модифицировать некоторые методы исследования структурно-механических свойств зерна злаков и его компонентов с учетом анатомо-морфологических особенностей зерна.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ЧАСТЬ

1. Выбор объектов исследования и метод облучения. В качестве объектов исследования использовали зерно озимой пшеницы сорта „Одесская-16“, твердой пшеницы сорта „Мичуринка“ и кукурузы двух сортов – белая кремнистая „Одесская-16“ и желтая зубовидная „ВИР-42“. Указанные виды зерна выращены на опытном поле Одесского селекционно-генетического института имени Ордена Ленина и широко районированы на

Юге Украины. В исследовании также была использована пшеница сорта „Заволжская“, полученная с Куйбышевской селекционной станции.

Зерно кукурузы принято в исследовании по признакам высокой урожайности и хорошим технологическим свойствам, полученным на основании рекомендаций А.П.Скляренко.

Облучению подвергли зерно гамма-лучами Co^{60} при мощности экспозиционной дозы $25,8 \cdot 10^{-4}$ а/кг (10 р/сек). В качестве поглощенной дозы гамма-лучей принят 1 дж/кг. Из средних данных химического состава зерна определен его эффективный атомный номер $A_{эф.з}=6,82$ и энергетический эквивалент рентгена $K=7,8 \cdot 10^{-3}$ дж/кг поглощенной энергии в 1 кг зерна.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И АППАРАТУРА

Макро и микроструктуру зерна исследовали оптическими методами путем микрофотографии шлифов и срезов зерна на микроскопе МБИ-10 при увеличениях от 200 до 1350 раз.

Субмикроструктуру крахмала и белкового комплекса „клейковины“ исследовали на электронном микроскопе ЭМ-5 при увеличениях до 40 тыс.раз.

Рентгено-структурному анализу подвергали препараты в виде цилиндров высотой 5 мм и диаметром 0,8 мм, выпиленные из эндосперма зерна, либо из клейковины или крахмала твердого состояния. Дебаеграммы получали на установке УРС-55 при помощи рентгеновской трубки с медным анодом и цилиндрической дебаевской камеры диаметром 57 мм. При этом режим получения дебаеграммы характеризуется следующими условиями: напряжение на трубке - 40 кв, ток - 12 ма и экспозиция съемки - 7200 сек.

Инфракрасные спектры поглощения получали на пленках крахмала и клейковины в области частот от 400 см^{-1} до 2000 см^{-1} на спектрографе ИКС-14.

Плотность упаковки клеток стекловидной части зерна определяли на оптико-механическом приборе ПТМ-3 по методу С.Д.Хусида, ВНИИЗ.

Физико-механические свойства зерна определяли методами статических испытаний образцов, полученных из зерна, и путем динамических испытаний массы зерна.

Образцы из зерна пшеницы готовили путем плоскопараллельной высечки, производимой в поперечном направлении к зерну с удалением зародышевой части.

Площадь меньшего сечения образца определяли под микроскопом с помощью измерительной сетки. Высоту образца принимали равной его ширине. Образец из зерна кукурузы готовили из стекловидной части зерна в виде параллелепипеда размером $(1,5 \cdot 1,5 \cdot 2,5) \cdot 10^{-9} \text{ м}^3$. Таким образом из зерна злаков получали образцы с изотропными свойствами в направлении приложения нагрузки.

Предел прочности структуры зерна определяли путем статических механических испытаний при сжатии образцов зерна на машине МР-0,05. К машине сконструировали реверсивное устройство сжатия с индикатором, показывающим величину деформации образца. Испытание образцов зерна проводили со скоростью нагружения $5 \cdot 10^5 \text{ м/сек}$, принятой для испытания растительных материалов.

Упруго-вязкие свойства зерна исследовали путем испытания образцов зерна на приборе-деформографе, сконструированном в лаборатории, который работает по принципу пластометров, описанных М.М.Резниковским, Б.А.Николаевым и др. Для регистрации деформации образца в деформографе использовали механическую систему метеорологического термографа, позволившую регистрировать деформации от 0 до 500 мкм с точностью до + 10 мкм.

Динамические испытания массы зерна проводили путем определения удельной работы разрушения на лабораторной молотковой дробилке по методу С.Д.Хусида, ВНИИЗ.

Подготовку зерна к помолу проводили методом холодного кондиционирования в лабораторных условиях, описанным Б.Н.Хорцевым и Г.А.Егоровым.

Технологические свойства зерна пшеницы определяли путем лабораторных помолов на мельничной установке типа "Nagema" и определением хлебопекарных свойств муки методами ГОСТа.

Реологические свойства клейковины зерна определяли на специально сконструированном стенде, который состоит из прессующей матрицы и электроизмерительной аппаратуры. Испытания реологических свойств клейковины заключается в том, что $3 \cdot 10^{-3}$ кг сырой клейковины помещали в матрицу и затем сжимали ее до напряжения 150 н, фиксируя при этом постоянный объем сжатия. Как известно, в постоянном объеме напряжение сжатого материала релаксирует по экспоненциальному закону. Таким образом, на шлейфовом осциллографе фиксировали релаксацию напряжения в клейковине с помощью тензодатчиков, связанных с дном прессующей матрицы. В зависимости от величины времени релаксации расчетным путем определяли величину эффективной вязкости.

Технологические свойства зерна кукурузы исследовали согласно лабораторной технологической схеме переработки зерна в пятиномерную крупу, разработанную А.П.Скляренко.

Из биохимических свойств зерна определяли диастатическую активность в муке по методу Рамзей - ВНИИЗ, протеолитическую активность в муке - по методу Зеренсена; количество каротиноидов в зерне определяли по методу Мурри.

Результаты исследований получены на основе математико-статистической обработки экспериментальных данных.

1. Результаты исследования структуры зерна и его компонентов, как объекта облучения

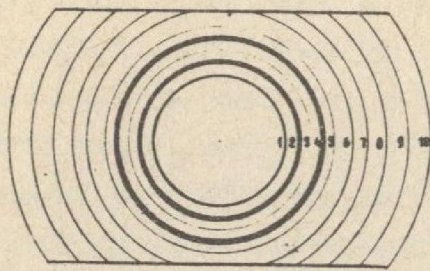
Электронно-микроскопическими исследованиями выявлено существенное различие в морфологическом строении пшеничного и кукурузного крахмала.

Пшеничный крахмал представляет собой гранулы с размерами $100 \div 200$ нм, упакованные в тела эллиптической формы, покрытые пленкой, размеры которых колеблются от 2 до 50 мкм.

Гранулы кукурузного крахмала значительно более крупные, без покровной пленки, их размеры колеблются в небольших пределах $40 \div 50$ мкм. Повидимому, крупнозернистая структура и отсутствие покровной пленки в кукурузном крахмале значительно снижают его свойство набухаемости.

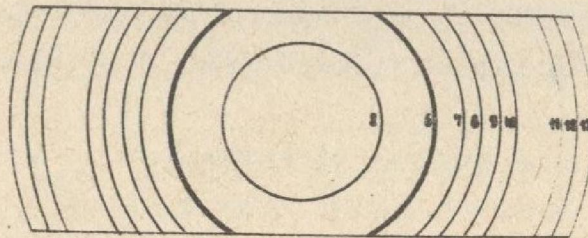
Идентичность молекулярного строения пшеничного и кукурузного крахмала установлена рентгено-структурным анализом, инфракрасной спектрометрией и электронной микроско-

КРАХМАЛ



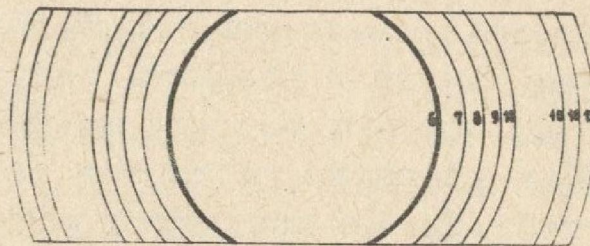
„АМИЛОПЕКТИН“

КРАХМАЛ



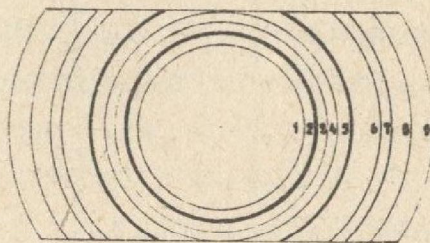
„АМИЛОЗА“

КРАХМАЛ



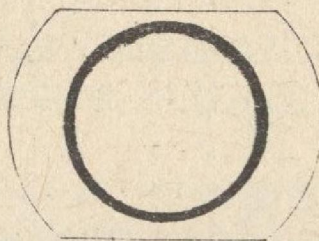
**„АМИЛОПЕКТИН“
ДИСПЕРГИРОВАННЫЙ**

**ОБОЛОЧКИ
ЗЕРНА**



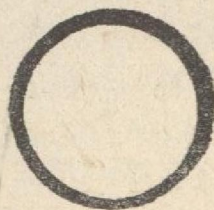
**НЕ СОДЕРЖАЩЕ
ВЛАГУ**

**ОБОЛОЧКИ
ЗЕРНА**



**СОДЕРЖАЩЕ
ВЛАГУ**

КЛЕЙКОВИНА



**ТВЕРДОГО
СОСТОЯНИЯ**

Рис.1. Дебаеграммы крахмала, клейковины и оболочек зерна

пией. Кроме того, в обоих видах крахмала рентгено-структурным анализом установлено наличие надмолекулярной структуры, дебаеграмма которой присуща крахмалу амилопектину. В этом случае на дебаеграмме ярко выражены лишь три широких диффракционных кольца, свидетельствующих о низкой кристалличности порядка 40% и слоистости структуры. У крахмала амилозы на дебаеграмме ярко выражены новые два рефлекса с более узкой шириной диффракционных колец. Эта дебаеграмма свидетельствует о более высокой степени кристалличности структуры крахмала амилозы, которая достигает порядка 70% (рис.1).

Кроме того, расчетным путем установлено, что слои крахмала сухого состояния могут быть понтированы водородными связями, а при наличии влаги — молекулами воды.

Электронно-микроскопическими исследованиями клейковины установлены лишь форма и размеры глобул. Таким образом, клейковина состоит из тел шарообразной формы размером около 0,3 мкм. Как известно, в состав таких белковых тел обычно входят глобулярные протеины, которые создают пространственные структуры.

Инфракрасной спектрометрией не установлено каких-либо различий между молекулярным строением крахмала амилозы и крахмала амилопектина. Это указывает на то, что в обоих видах крахмала все атомные группы обладают одинаковыми валентными колебаниями (рис.2).

11. Результаты исследования влияния гамма-облучения на структуру зерна и его компоненты

Оптическими, электронно-микроскопическими исследованиями и рентгено-структурным анализом не установлено каких-либо изменений в структуре зерна, крахмала и клейковины, облученных гамма-лучами до 156 кдж/кг. Однако на инфракрасных спектрах пленок крахмала и клейковины, облученных гамма-лучами свыше 39 кдж/кг, появляются валентные колебания в области частот $1700-1750 \text{ см}^{-1}$, указывающие на появление карбонильных групп типа $-C=O$ в их структуре (рис.2). Это свидетельствует о наличии радиационной деструк-

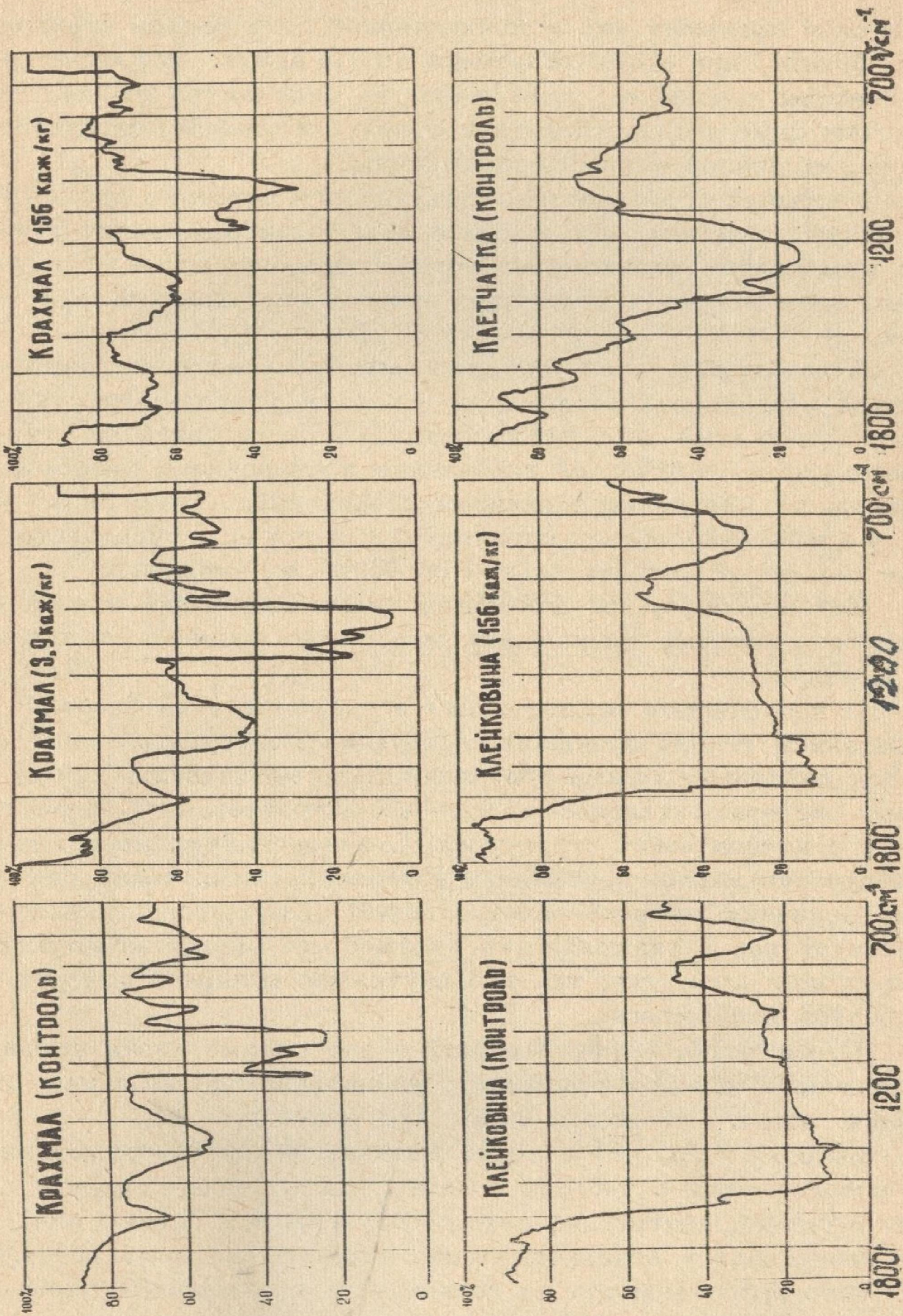


Рис.2. Инфракрасные спектры крахмала и ⁶⁰клейковины, облученных γ - лучами Со

ции в слое крахмала или в молекулярной цепи белков клейковины. Однако, при дозах облучения до 7,8 кДж/кг инфракрасные спектры крахмала и клейковины не отличаются от контроля, тем самым свидетельствуя о незначительной деструкции химических связей в компонентах зерна.

Учитывая особенности молекулярного строения крахмала, следует полагать, что в нем в первую очередь деструктируют межслоевые физико-химические связи, при этом молекулярные слои получают некоторую свободу взаимного перемещения.

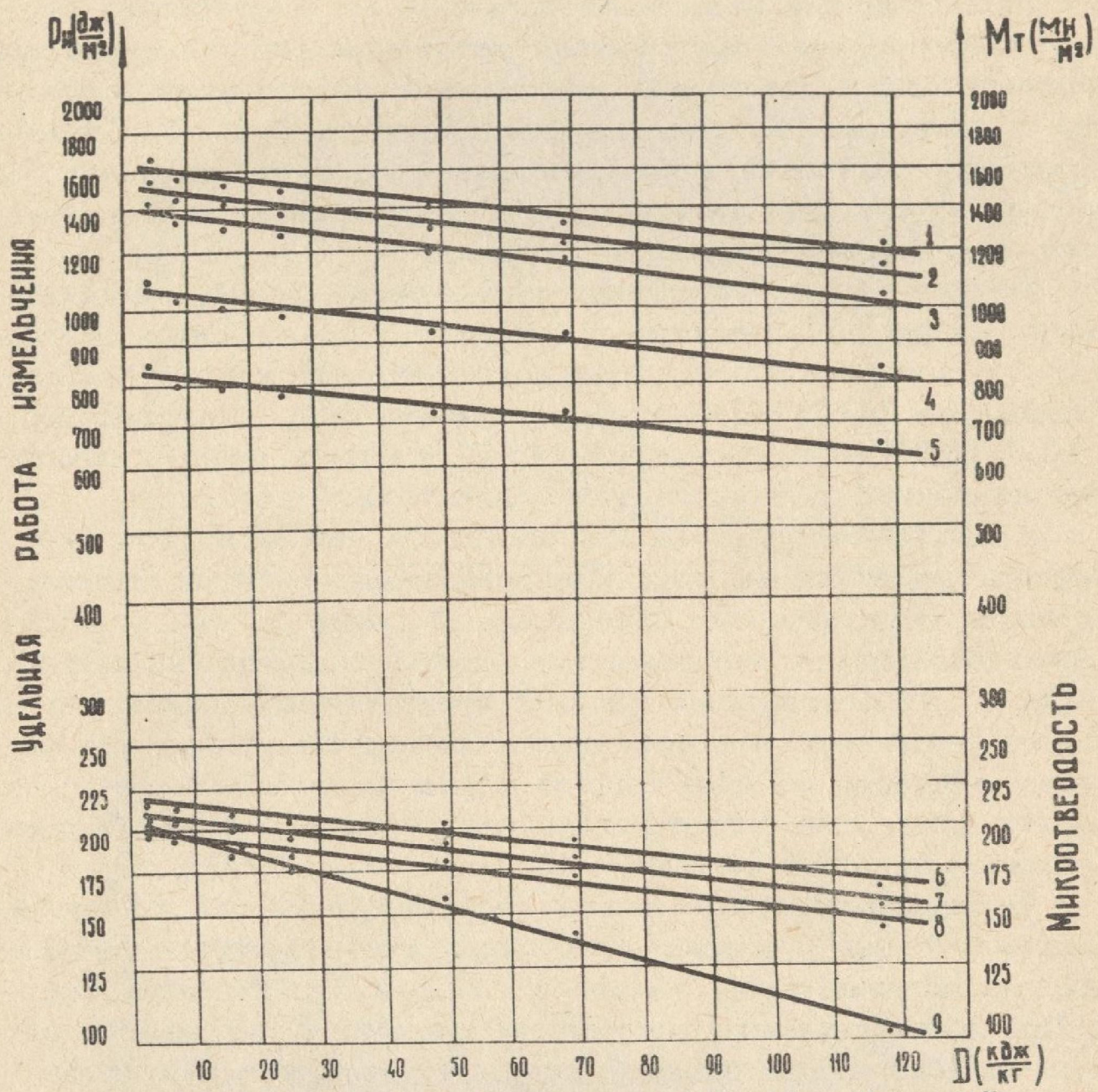
В клейковине в результате гамма-облучения по теоретической вероятности поглощения в первую очередь деструктируют сульфидные химические связи. Об этом свидетельствует появление в облученной клейковине постороннего запаха, характерного для сульфгидрильных соединений. Таким образом, в клейковине образуются пептидные группы, обладающие также некоторой дополнительной свободой перемещений.

Как известно, под действием гамма-облучений в некоторых органических соединениях происходят процессы сшивания молекул.

В проведенном исследовании в крахмале и клейковине наблюдались только процессы деструкции молекулярных связей под действием гамма-облучений. Подтверждением этому служат экспериментальные данные по микротвердости, определяемой в исследуемых структурах. С возрастанием дозы гамма-облучения зерна, крахмала и клейковины происходит снижение величины микротвердости (рис.3). Этот процесс свидетельствует как о снижении сил взаимосвязи между молекулярными слоями крахмала, так и о внутримолекулярной деструкции белков клейковины.

Кроме того, микротвердость в эндосперме зерна пшеницы снижается более интенсивно с увеличением дозы гамма-облучения, чем в эндосперме зерна кукурузы.

Это связано с тем, что в зерне пшеницы водорастворимых веществ содержится в 4-5 раз больше, чем в зерне кукурузы. Следовательно, деструкция гамма-облучением в первую очередь происходит у водорастворимых веществ, которые преимущественно располагаются на поверхности крахмальных зерен и глобул клейковины, ослабляя при этом взаимосвязь между ними.



1. Пш. „Заволжская“ 2. Кук. „Одесская-16“ 3. Пш. „Мичуринка“
 4. Пш. „Одесская-16“ 5. Кук. „Внд-42“ МТ-6. Клейковина
 7. Зерно кукурузы 8. Крахмал 9. Зерно пшеницы

Рис.3. Структурно-механические свойства зерна, облученного γ - лучами Co^{60}

111. Результаты исследования влияния гамма-облучения на структурно-механические свойства зерна.

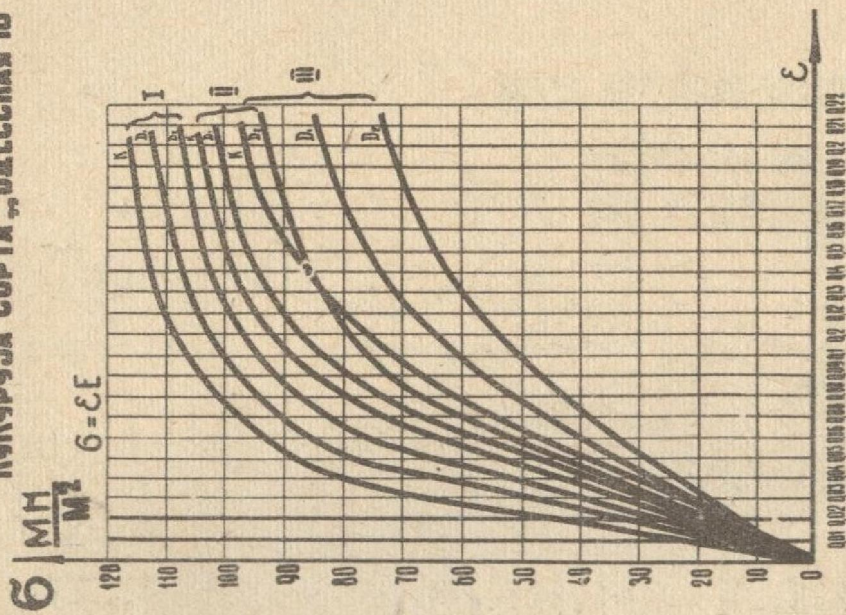
Механические испытания образцов из облученного зерна на сжатие в условиях статики устанавливают снижение предела прочности и увеличение деформации пластического течения с увеличением дозы гамма-облучения (рис.4). Снижение предела прочности в облученном зерне также связано с ослаблением сил межмолекулярного взаимодействия и в результате внутримолекулярной деструкции.

Упруго-вязкие испытания образцов из зерна, представленные на рис.5, позволили установить три основных состояния зерна в зависимости от влагосодержания, а именно: влагосодержание до 10% – упруго-эластичное тело, влагосодержание 10,0÷13,5% – упруго-эластично-пластичное тело, влагосодержание свыше 17% – эластично-пластичное тело.

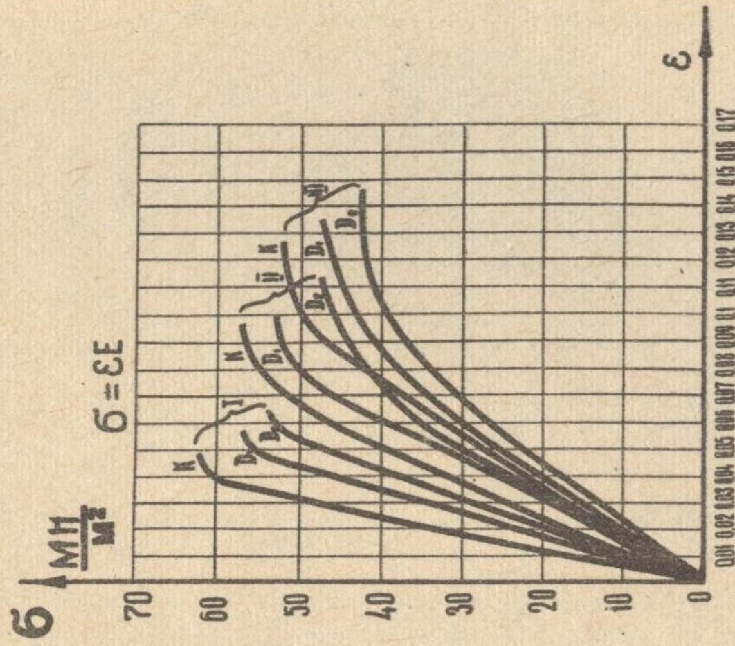
Указанные упруго-вязкие свойства зерна, подобно полимерным материалам, представлены механическими моделями с их математическим описанием. В связи с тем, что облучению подвергали зерновые материалы с влагосодержанием 12–13%, то на реограммах (рис.6) представлены изменения в основном упругости и пластичности зерна. Упруго-вязкие испытания образцов из облученного зерна свидетельствуют о снижении эффективной вязкости и упругости с увеличением дозы гамма-облучения (рис.6).

Экспериментальные данные по упруго-вязким испытаниям зерна в связи с гамма-облучением согласуются с результатами испытания зерна на прочность при статическом сжатии. При этом снижение прочности, упругости и вязкости зерна гамма-облучением следует рассматривать как результат ослабления сил взаимодействия надмолекулярных структур, в которых происходит разуплотнение материала. Динамические испытания массы зерна измельчением также подтверждают гипотезу об ослаблении сил межмолекулярного взаимодействия в зерне, облученном гамма-лучами Co^{60} . Для динамических испытаний особенностью является то, что при измельчении облученного зерна не изменяется дисперсная характеристика продукта измельчения, а лишь снижается расход энер-

КУКУРУЗА СОРТА „ОДЕССКАЯ-16”



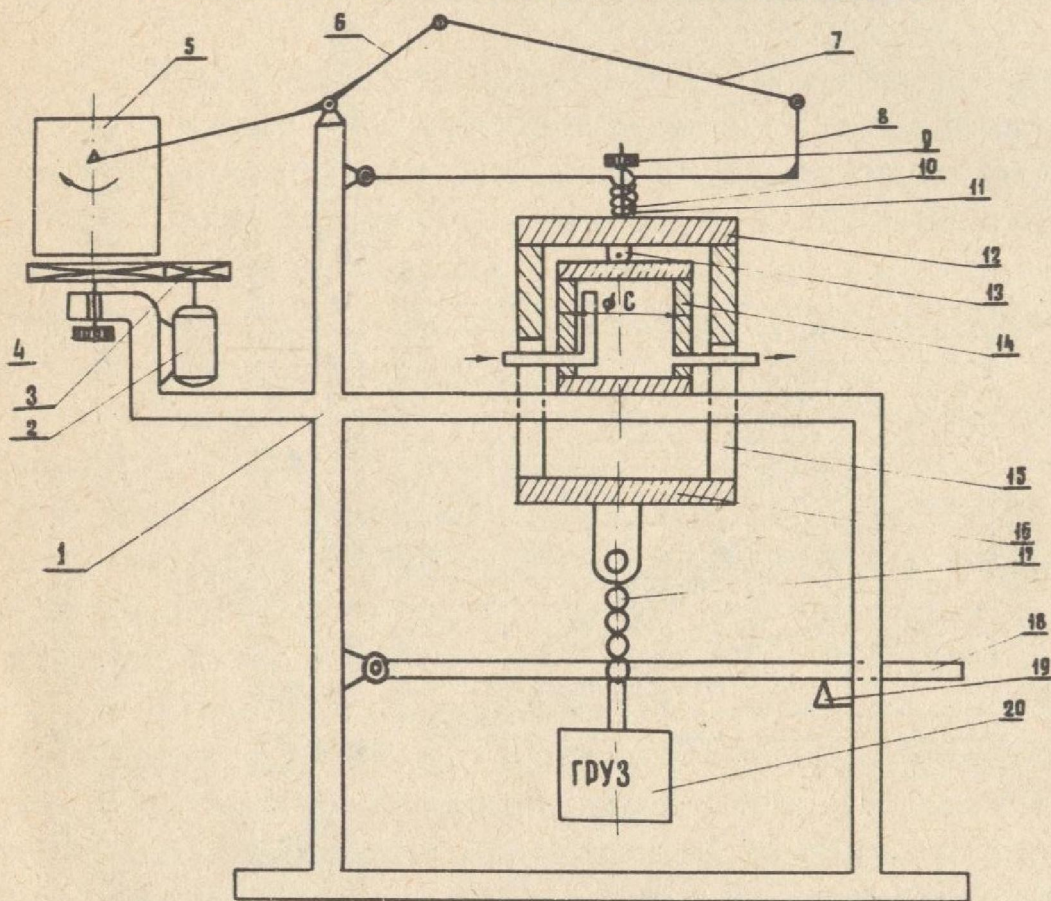
ПШЕНИЦА СОРТА „МИЦУРИНКА”



ДАГОСОВЕРЖАНИЕ: I - СУХОЕ, II - СРЕДНЕЙ СУХОСТИ, III - ВЛАЖНОЕ
ДОЗЫ ОБЛУЧЕНИЯ: D₁ - 15,6 крх/кг, D₂ - 39 крх/кг

Рис.4. Разрушение образцов зерна пшеницы и кукурузы статическим сжатием

КИНЕМАТИЧЕСКАЯ СХЕМА ДЕФОРМОГРАФА



УПРУГО-ВЯЗКИЕ СВОЙСТВА ЗЕРНА ПШЕНИЦЫ ПРИ РАЗЛИЧНОМ ВЛАГОСОДЕРЖАНИИ

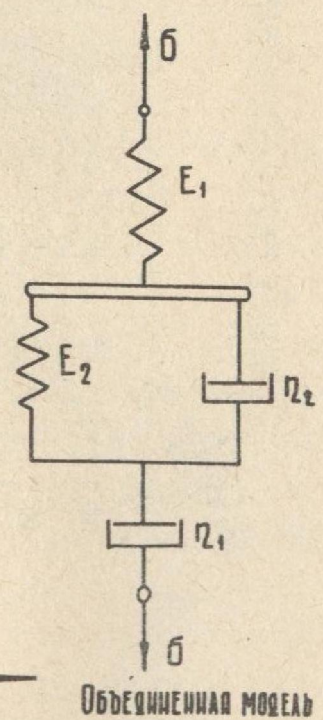
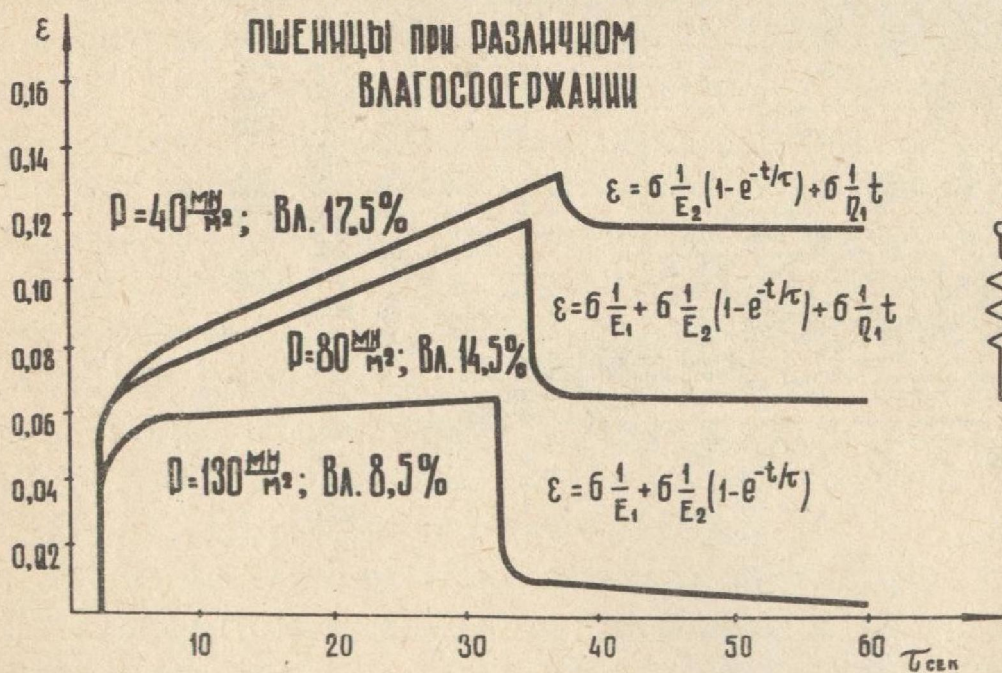


Рис.5. Реологические свойства зерна

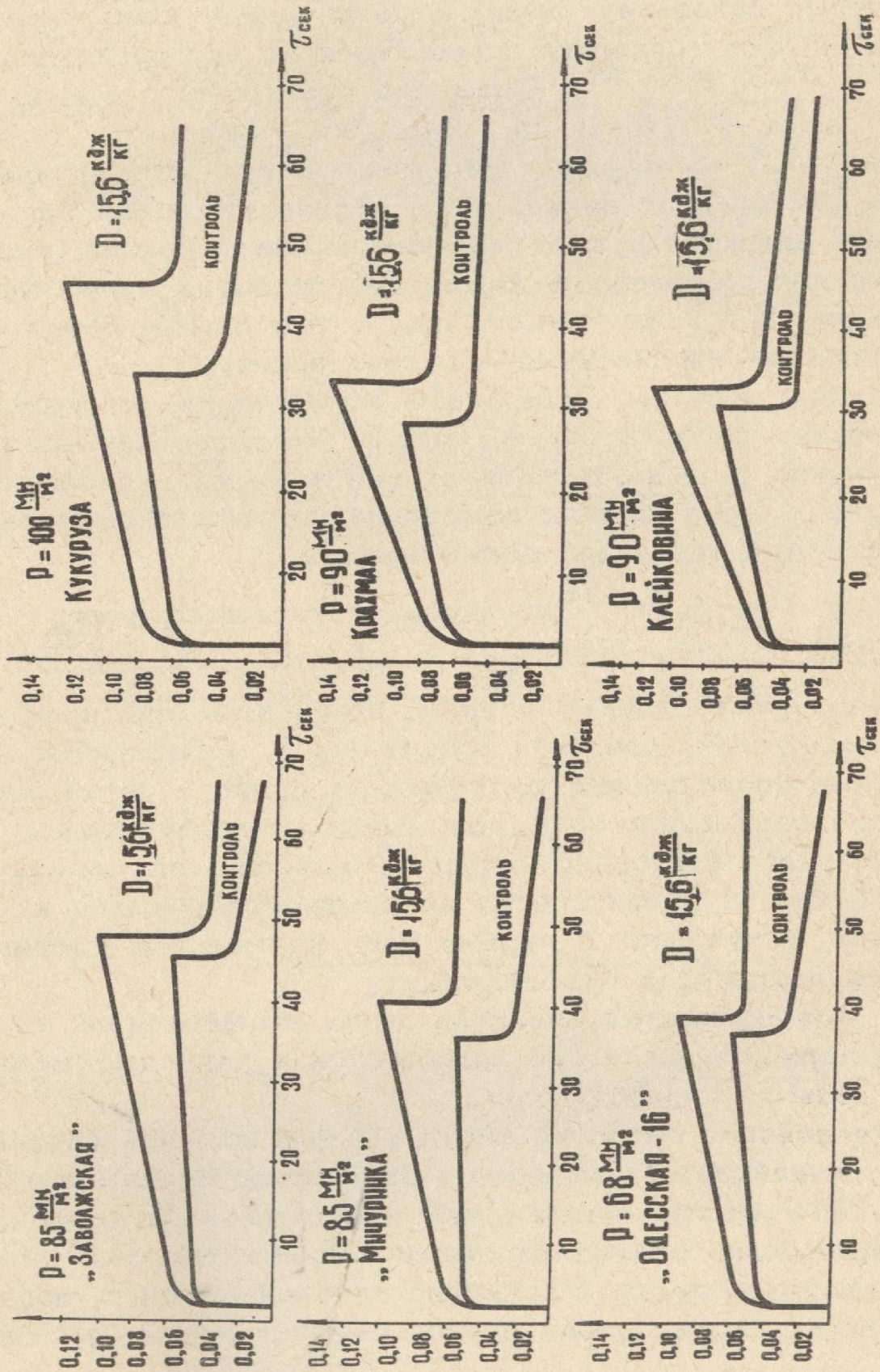


Рис.6. Упряго-вязкие свойства зерна злаков, облученного γ -лучами Co^{60}

V001840

гии на единицу вновь образованной поверхности.

Экспериментальные данные по микротвердости зерна и динамической прочности массы зерна, представленные в полулогарифмическом масштабе на рис.3, указывают на то, что прочностные показатели зерна с увеличением дозы гамма-облучения имеют тенденцию изменяться по экспоненциальному закону ($\rho = \rho_0 e^{-\mu D}$). Снижение прочностных показателей дозами гамма-облучения до 7,8 кдж/кг, повидимому, в основном связано с ослаблением сил межмолекулярного взаимодействия в компонентах зерна. Дозы облучения свыше 7,8 кдж/кг вызывают значительную деструкцию молекул белков, углеводов и других компонентов зерна, как показано в работах А.Б.Вакара, К.А.Коротченко и др., и тем самым более интенсивно снижают прочностные свойства зерна.

Таким образом, результаты исследования структурно-механических свойств облученного зерна показали, что гамма-облучение вызывает значительное изменение биофизических свойств зерна злаков, изменение которых предшествует изменению его технологических свойств.

1У. Результаты исследования технологических свойств зерна, облученного γ -лучами Co^{60}

Экспериментальные данные, полученные при исследовании динамической прочности массы зерна, согласуются с результатами исследования мукомольных свойств зерна пшеницы. Эти исследования показали, что выход крупно-дунстовых продуктов первого и второго качества из зерна, облученного дозами 156 кдж/кг, практически не изменяется; выход и качество муки, полученной с первых трех размольных систем, изменяются в пределах ошибки опыта.

Однако хлебопекарные свойства муки, выработанной из облученного зерна, значительно изменяются в зависимости от величины дозы гамма-облучения.

Физические свойства теста и хлебопекарная оценка муки, полученной из облученного зерна, представлены в табл. 1. Приведенные данные показывают, что гамма-облучение дозами до 3,9 кдж/кг оказывает положительное действие на физические свойства теста и качество хлебной выпечки, полученной из зерна, пораженного клопом-черепашкой. Дозы облуче-

ния свыше 7,8 кдж/кг в равной мере снижают хлебопекарные свойства муки, полученной из нормального и пораженного зерна. Эти изменения в основном связаны с изменениями, вызванными гамма-облучением в клейковине зерна.

Результаты исследования реологических свойств клейковины представлены на рис.7 в виде изменения ее эффективной вязкости от дозы гамма-облучения. Эти данные показывают снижение эффективной вязкости клейковины при экспозиционных дозах гамма-облучения 5,0 и 10,0 кдж/кг по отноше-

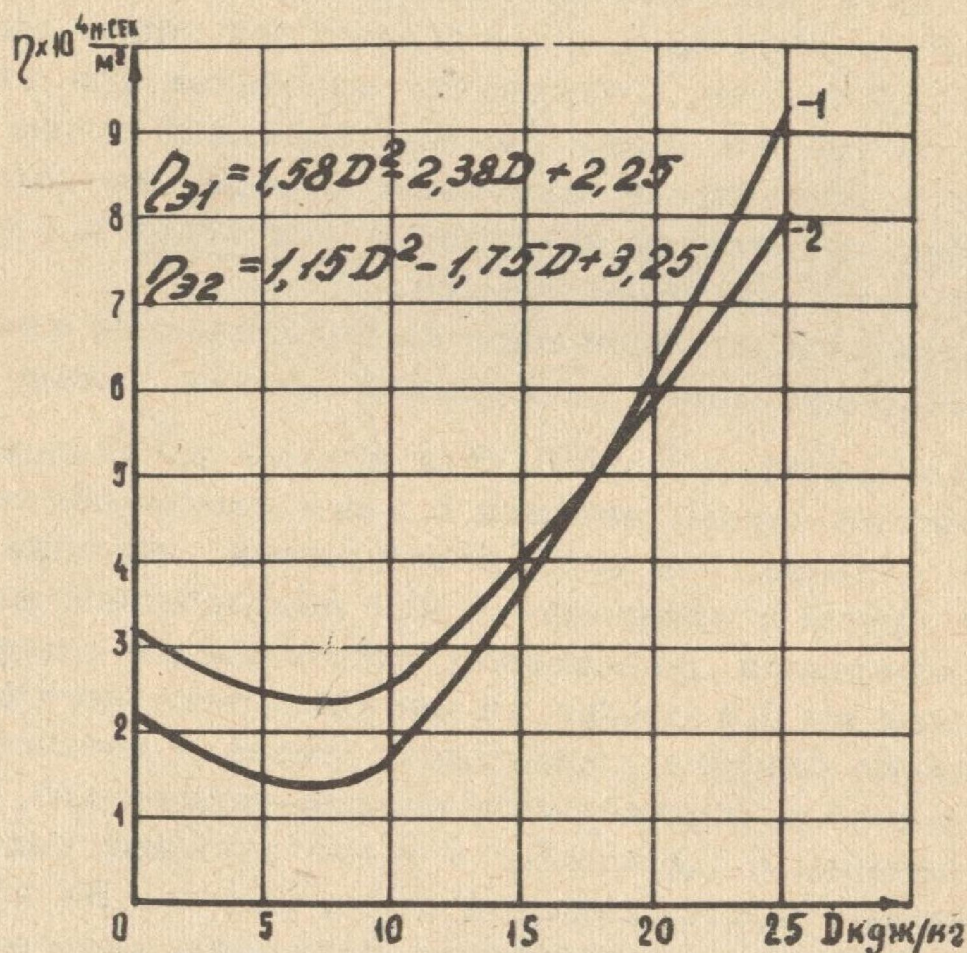


Рис.7. Вязкость клейковины зерна пшеницы 1 - „Од-16“, 2 - „Мичуринка“

нию к контролю, выход сырой клейковины практически остается прежним. Однако, дозы гамма-облучения свыше 10,0 кдж/кг приводят к повышению эффективной вязкости клейковины, превращая ее в упругую короткорвущуюся губкообразную массу, при этом выход сырой клейковины начинает снижаться.

Поэтому, если экспозиционные дозы гамма-облучения 5,0 и 10,0 кдж/кг приводят лишь к ослаблению физико-химических связей в клейковине, то последующее увеличение дозы гамма-облучения вызывает деструкцию этих связей, которая сопровождается снижением выхода сырой клейковины и качества хлебной выпечки, связанного с изменением структуры мякиша и появлением постороннего запаха.

Биохимические исследования зерна, облученного гамма-лучами, представлены в табл.2. Эти данные указывают на более интенсивное снижение протеолитической и повышение диастатической активности в муке дефектного зерна дозами облучения до 3,9 кдж/кг. Содержание каротинов при этой дозе снижается на 10-15%. Дозы гамма-облучения свыше 7,8 кдж/кг приводят к значительному снижению содержания каротинов, повышению ферментативной активности углеводов и снижению протеолитической активности муки.

Результаты исследования технологических свойств зерна кукурузы, облученного различными дозами гамма-лучей Co^{60} , представлены в табл.3. Эти данные устанавливают снижение качества крупы, начиная с дозы гамма-облучения 3,9 кдж/кг и выше, при этом наблюдается снижение объемного выхода крупы и появление в ней постороннего запаха.

На основании проведенных исследований следует, что дозы облучения до 3,9 кдж/кг не снижают технологических и биохимических свойств нормального зерна и повышают эти свойства у зерна, пораженного клопом-черепашкой. Дозы облучения, начиная с 7,8 кдж/кг и выше снижают технологические и биохимические свойства зерна злаков. Во всех случаях гамма-облучение способствует снижению энергоемкости процесса измельчения зерна.

Таким образом, опубликованные данные о дезинсекции, частичной стерилизации и полученные нами некоторые улучшения технологических свойств зерна гамма-облучением в интервале доз от 0,4 до 4,0 кдж/кг определяют перспективное использование энергии гамма-излучений в зернообработывающей промышленности.

Хлебопекарные свойства муки 70%-ного выхода, выработанные
гамма-лучами Со⁶⁰

№№ п.п.	Наименование объектов исследования	Доза облучения		Физико-механические свойства клейковины и									
		в кдж/кг	в млн.р.	Клейковина муки			Показания альвеографа			Показания ф			
				сырой	сухой	Гидратация в %	Упругость теста в мм	Растяжимость теста в мм	Коэффициент конформации альвеограмм	Удельная работа деформации теста 1·10 ⁻⁴ дж	Водопоглощительная способность в %	Время образования теста в 1-60 сек	
1.	Мука из нормального зерна пшеницы сорта „ОД-16“	контроль		42,1	13,7	308	95	67	1,42	190,0	58,2	1,83	5
		3,9	0,5	41,8	13,5	310	80	48	1,66	108,0	58,5	1,80	4
		7,8	1	41,2	13,1	316	69	59	1,17	109,0	59,8	1,75	0
		15,6	2	40,8	12,8	320	84	33	2,54	95,2	60,1	1,72	0
		23,4	3	35,0	9,4	374	63	40	1,58	78,0	60,8	1,66	0
		39	5	30,4	8,8	346	69	23	3,00	64,0	62,5	1,50	0
		78	10	27,5	8,3	332	57	28	2,03	60,4	68,0	1,16	0
2.	Мука из зерна пшеницы сорта „ОД-16“ поражен. клопом-черепашкой	контроль		40,1	13,5	298	48	80	0,60	79,1	75,5	1,10	0
		3,9	0,5	41,0	13,7	299	58	47	1,23	80,2	68,6	1,51	1
		7,8	1,0	40,5	13,9	291	64	61	1,25	89,1	72,3	1,45	0
		15,6	2,0	39,4	12,5	315	71	27	2,64	79,0	79,2	1,40	0
		23,4	3,0	33,8	10,5	322	61	30	2,12	78,2	80,6	1,40	0
		39	5	35,7	12,6	283					74,0	3,25	3
		78	10	36,4	12,2	298					83,2	2,00	2
3.	Мука из зерна пшеницы сорта „Ми-чуринка“	контроль		35,7	12,6	283					78,4	1,83	1
		3,9	0,5	36,4	12,2	298					79,0	1,75	1
		7,8	1,0	36,0	11,6	310					81,2	1,50	
		15,6	2,0	35,5	11,5	308					69,4	2,5	2
		23,4	3,0	34,4	11,2	309					71,8	2,0	2
4.	Мука из зерна сорта „Заволжская“	контроль		35,8	10,1	350					74,2	1,7	0
		3,9	0,5	34,8	9,8	358					74,2	1,6	
		7,8	1,0	31,8	9,5	325					75,0	1,5	
		11,7	1,5	31,5	9,3	33,2					78,6	1,5	
		15,6	2,0	31,0	9,2	33,8							
		23,4	3,0	30,5	9,1	33,5							

Биохимические свойства зерна злаков,
облученных гамма-лучами Co^{60}

№№ п.п.	Наименование объектов ис- следования	Доза облучения		ДА ₆	ПА ₆	Кароти-
		млн.р.	кДж/кг	$1 \cdot 10^{-6}$ кг мальто- зы на $1 \cdot 10^{-2}$ кг сух.вещ. муки	$1 \cdot 10^{-6}$ кг амино- кислот на $1 \cdot 10^{-2}$ кг сух.вещ. муки	ны $1 \cdot 10^{-6}$ кг на $1 \cdot 10^{-1}$ кг сух.вещ. молото- го зер- на
1.	Мука из нор- мального зер- на пшеницы сорта «Одес- ская 16»	контроль				
		0,5	3,9	270	2,85	275
		1,0	7,8	320	2,66	262
		2,0	15,6	341	2,48	230
		3,0	23,4	388	2,98	185
		5,0	39,0	475	1,83	145
		10,0	78,0	510	1,80	116
		15,0	117,0	555	1,76	78
		20,0	156,0	576	1,72	58
				620	1,64	41
2.	Мука из зер- на пшеницы сорта «Одес- ская 16», по- раженного клопом-чере- пашкой	контроль		301	4,67	-
		0,5	3,9	335	4,01	-
		1,0	7,8	415	2,25	-
		2,0	15,6	452	2,12	-
		3,0	23,4	504	1,76	-
3.	Мука из зерна кукурузы сор- та «ВИР-42»	контроль				
		0,5	3,9	161,2	-	142
		1,0	7,8	160,6	-	139
		2,0	15,6	163,5	-	121
		3,0	23,4	166,9	-	105
		4,0	31,2	167,2	-	88
		5,0	39,0	186,1	-	76
				196,9	-	68

Таблица 111
Технологические свойства зерна кукурузы, облученного гамма-лучами Co^{60}

№ п.п.	№ п.п.	Наименование объекта	Доза облучения		Влажность зерна в %	Выход крупы в %				Время варки среднее в 1-60 сек			
			млн.р.	кдж/кг		Общий	1	2	3		4		
1.	"ВИР-42"	стекловидно - стью 29,6%	контроль	14,6	32,0	2,2	3,8	9,8	16,2	8,8			
											2,5	19,5	31,9
2.	"Одесская-16"	стекло - видностью 61,8%	контроль	16,4	44,9	4,8	16,8	14,7	9,6	11,8			
											2,5	19,5	46,6
			5,0	39,0	43,0	4,0	12,2	15,4	11,4	11,5			
Определение развариваемости крупы № 4 на приборе Рукосуева													
№ п.п.	№ п.п.	Наименование объекта исследования	Доза облучения		Объем сухой крупы $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	Объем крупы после варки $1 \cdot 10^{-6} \text{ м}^3$	Коэф. раз - вариваемости	Время варки в показан. прибора в мм				Время варки среднее в 1-60 сек	
			млн.р.	кдж/кг				3	6	9	12		15
1.	"ВИР-42"	полученная из кукурузы сорта "ВИР-42"	контроль	15	65	4,3	9	12	14	16	18	20	18
2.	"Одесская-16"	полученная из кукурузы сорта "Одесская-16"	контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			1,0	7,8	60	4,0	5	7	10	12	15	15	15
			2,0	15,6	45	3,0	4	5	7	8	10	10	15
			3,0	23,4	45	3,0	2	4	6	8	10	10	15
			4,0	31,2	40	2,8	2	5	6	7	7	7	12
			5,0	39,0	35	2,3	1	33	5	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18
			0,5	3,9	60	4,0	6	9	12	14	16	16	15
			1,0	7,8	55	3,6	6	8	10	12	14	14	15
			2,0	15,6	50	3,3	5	7	9	11	12	12	15
			3,0	23,4	40	2,8	4	7	9	10	10	10	12
			4,0	31,2	35	2,3	3	5	7	8	8	8	12
			5,0	39,0	35	2,3	3	5	7	7	7	7	12
			контроль	15	65	4,3	8	11	14	17	19	21	18

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Микроскопическими исследованиями, рентгено-структурным анализом и инфракрасной спектрометрией не установлено каких-либо изменений в молекулярном строении крахмала и клейковины, облученных дозами гамма-лучей до 7,8 кдж/кг.

Более высокие дозы гамма-облучения вызывают появление на ИК-спектрах крахмала и клейковины дипольных моментов, характеризующих образование карбонильных групп.

2. Облучение дозами гамма-лучей до 3,9 кдж/кг вызывает ослабление сил межмолекулярного взаимодействия в компонентах зерна, при этой дозе гамма-облучения предел прочности и модуль упругости зерна снижается на 10-15%.

Более высокие дозы гамма-облучения также снижают предел прочности и модуль упругости зерна по экспоненциальному закону. При этом в интервале доз гамма-облучения до 156 кдж-кг дисперсная характеристика продуктов измельчения практически не изменяется.

3. Гамма-облучение дозами до 3,9 кдж/кг практически не изменяет технологические свойства нормального зерна, но улучшает хлебопекарные свойства муки, полученной из зерна, пораженного клопом-черепашкой. При дозе облучения 3,9 кдж/кг наблюдается улучшение физических свойств теста из муки пораженного зерна, характеризуемых увеличением почти вдвое коэффициента конфигурации альвеограммы, улучшением пористости мякиша хлеба и повышением выхода хлебной выпечки на 10-15%.

4. Улучшение хлебопекарных свойств муки, полученной из зерна, пораженного клопом-черепашкой, связано с более интенсивным снижением протеолитической активности в муке. При дозе облучения 3,9 кдж/кг протеолитическая активность в муке пораженного зерна снижается почти вдвое по отношению к муке, полученной из нормального зерна. В связи с этим считаем, что улучшение хлебопекарных свойств муки, выработанной из зерна, пораженного клопом-черепашкой, связано с инактивирующим действием радиации не только на протеазы зерна, но и часть ферментов, внесенных клопом-черепашкой.

5. Изменение выхода и качества хлебной выпечки в связи с гамма-облучением связано в основном с изменением физических свойств клейковины зерна. Облучение зерна дозами до 6,24 кдж/кг вызывает лишь снижение эффективной вязкости клейковины на 30%, но при этом практически не изменяется качество хлебной выпечки. Облучение зерна дозами свыше 6,24 кдж/кг приводит к возрастанию эффективной вязкости клейковины и снижению ее выхода. При этом клейковина приобретает посторонний запах, становится упругой короткорвущейся губкообразной массой. Хлеб, выпеченный из теста с такой клейковиной, получается темнее, меньшего объемного выхода, с неравномерной пористостью и с посторонним запахом.

6. Облучение зерна кукурузы дозами до 3,9 кдж/кг не влияет на его технологические свойства. Более высокие дозы гамма-облучения приводят к снижению объемного выхода крупы при варке и вызывают в ней появление постороннего запаха.

7. На основании проведенных исследований по обработке зерна злаков гамма-лучами Co^{60} могут быть допущены дозы гамма-облучения, не превышающие 3,9 кдж/кг. Эти дозы гамма-облучения улучшают технологические свойства зерна, пораженного клопом-черепашкой, практически незначительно изменяют структурно-механические и технологические свойства нормального зерна, при этом не вызывают снижения его пищевой ценности и могут применяться для дезинсекции, частичной стерилизации и для снижения энергоемкости процесса измельчения зерна.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать рекомендации и выявить некоторые теоретические положения, связанные с изменением свойств зерна гамма-облучением.

В зависимости от характера поражения зерна гамма-облучение в различных дозах может быть неоднократно использовано для его обеззараживания и повышения технологических свойств при условии, что максимальная интегральная доза облучения не должна превышать 3,9 кдж/кг.

Теоретические результаты исследований заключаются в том, что они позволили:

1. Выявить изменение структурных и физико-механических свойств зерна в зависимости от величины дозы гамма-облучения.

Представить деформационные свойства зерна механическими моделями с соответствующей их математической интерпретацией. Использование моделей деформационного поведения зерна будет способствовать совершенствованию технологии его переработки.

2. Получить некоторые данные, объясняющие причину изменения хлебопекарных свойств муки, выработанной из нормального и дефектного зерна, облученного гамма-лучами.

3. Установить закономерность изменения эффективной вязкости клейковины в зависимости от дозы гамма-облучения и выявить влияние ее на качество хлебной выпечки.

4. Модифицировать методы исследования прочностных и реологических свойств зерна злаков, учитывающие его анатомо-морфологические особенности.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих статьях автора и в соавторстве.

1. Исследование структурно-механических и технологических свойств зерна пшеницы, облученного гамма-лучами Co^{60} . „Мукомольно-элеваторная промышленность“, № 12, М., 1964.

2. Технологические свойства зерна пшеницы, облученного гамма-лучами Co^{60} . „Сообщения по новым физическим методам обработки пищевых продуктов“. Киев, 1964.

3. Исследование структуры крахмала некоторых злаков методами кристаллографии. Записки Всесоюзного минералогического общества. 4.XC1Y. 1965. Вып.6.

4. Исследование наиболее плотной части эндосперма в зерне пшеницы и кукурузы. Труды ВНИИЗ, вып.61-62, М., 1967.

5. Метод исследования деформационных свойств зерновых материалов при статическом нагружении. Тезисы докладов межвузовской конференции „Новые физические методы обработки пищевых продуктов“, М., 1967.

Работа докладывалась и обсуждалась

1. На отчетных научно-технических конференциях ОТИ имени М.В.Ломоносова в 1964- и 1967 годах.
2. На научной конференции по вопросам повышения качества зерна, муки и крупы. ВНИИЗ, М., 1965 г.
3. На межвузовской конференции по новым физическим методам обработки пищевых продуктов, М., 1967 г.

БР 04646 Подписано к печати 18/III-1970 г. Объем 1,4 печ.л.
Уч.-изд.л. 1,5+1 вкладка Заказ № 95 Тираж 180 экз. 1970 г.

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