

Учреждение образования
«БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Объект авторского права

УДК 663.43

БОНДАРЧУК
Оксана Владимировна

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЛОДА
ОБРАБОТКОЙ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ
В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве
(технические науки)

Минск, 2023

Научная работа выполнена в учреждении образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Научный руководитель – **ПАШИНСКИЙ Василий Антонович**, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергоэффективных технологий учреждения образования «Международный государственный экологический институт имени А.Д. Сахарова» Белорусского государственного университета

Официальные оппоненты: **ТРОЦКАЯ Таисия Павловна**, доктор технических наук, профессор

ЦЕД Елена Алексеевна, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологии пищевых производств учреждения образования «Белорусский государственный университет пищевых и химических технологий»

Оппонирующая организация: Республиканское унитарное предприятие «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию»

Защита состоится 10 ноября 2023 г. в 14.30 на заседании совета по защите диссертаций К 05.31.01 при учреждении образования «Белорусский государственный аграрный технический университет» (БГАТУ) по адресу: 220012, Минск, пр. Независимости, 99, корп. 1, ауд. 317.

Почтовый адрес: пр. Независимости, 99, корп. 1, Минск, 220012. Телефон ученого секретаря (+37517) 373-11-53; адрес электронной почты: ankrutau@yandex.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БГАТУ.
Автореферат разослан 4 октября 2023 г.

Ученый секретарь совета по защите диссертаций, кандидат технических наук, доцент



А.В. Крутов

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее динамично развивающихся продовольственных рынков Республики Беларусь является рынок солодовенной продукции.

Самое крупное предприятие по производству солода в Республике – ОАО “Белсолод”, его производственная мощность – 130 тысяч тонн в год. Потребность белорусских предприятий в солоде составляет 60 % от производимого объема, около 40 % экспортируется.

Главная проблема в солодопроизводстве, по мнению экспертов, – не всегда высокое качество отечественного пивоваренного ячменя (основного сырья для производства солода) ввиду погодно-климатических условий Беларуси. А именно – засуха во время налива ячменя приводит к формированию щуплого зерна, что является причиной повышенного содержания белка и низкой экстрактивности солода.

Из пивоваренного ячменя регламентированного качества с содержанием белка 12 % (мировой опыт – не более 11,5 %) можно получить солод только второго класса экстрактивностью 76–78 %. Варить пиво из такого солода без предварительной обработки затратно. Выход пива будет ниже, а качество его не достигнет премиум-класса.

Применение электрофизических способов способно интенсифицировать производство, то есть улучшить показатели качества солода, сократить время солодоращения и снизить энергоемкость продукции. Однако, на данный момент недостаточно изучены оптимальные режимы обработки и не разработаны математические модели влияния электрофизических факторов на биологическую систему ячменя, а также отсутствует необходимая техника.

Данная диссертация, посвященная исследованию и определению эффективных режимов обработки пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле, а также разработка высокопроизводительной технологической установки для активации биологической системы ячменя, ставила цель повысить качество солода.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами, темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156 (4.5. Агропромышленные и продовольственные технологии: производство,

хранение и переработка сельскохозяйственной продукции) и научному направлению кафедры электротехнологии БГАТУ. Исследования проводились согласно тематике научно-исследовательских работ БГАТУ, выполненных по госбюджетной теме на 2016–2020 годы по теме 4.5.2. Электротехнологическая регуляция биологической активности семян и растений, а также перспективному плану научно-исследовательских работ университета на 2021–2025 годы по теме 4.3. Электротехнологические процессы и оборудование в сельскохозяйственном производстве. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям государственных программ: “Программа развития пивоваренной отрасли Республики Беларусь на 2006–2010 годы” (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 02 февраля 2006 г. № 131); Госпрограмма освоения в производстве новых и высоких технологий на 2011–2015 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 03.11.2010 г. № 1618).

Защищаемая диссертация соответствует области исследований по паспорту научной специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, а именно:

Пункт 1. Электрофизические, электрохимические и механические свойства сельскохозяйственных биологических объектов, продуктов и материалов применительно к разработке электротехнологических процессов. Электрические, магнитные, химические, тепловые, механические и комплексные воздействия на свойства продуктов, материалов и биологических объектов в технологических процессах АПК. Идентификация электротехнологических процессов, информационных каналов контроля номинальных и допустимых параметров технологических процессов.

Пункт 2. Разработка электротехнологий и технических средств их реализации на основе электрофизических, электрохимических и электромеханических методов воздействий на сельскохозяйственные продукты, материалы, биологические и технологические объекты.

Пункт 4. Разработка электротехнологий в растениеводстве, животноводстве, птицеводстве, процессах переработки и хранения продукции сельхозорганизаций, фермерских и подсобных хозяйств, включая электрифицированные бытовые процессы, водоподготовку, воздухообмен, техническое обслуживание машин и оборудования.

Цель и задачи исследования. Цель работы – повысить качество солода путем обработки пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле.

Задачи исследования:

1) исследовать влияние электрического поля на изменение свойств ячменя и солода;

ВВЕДЕНИЕ

Одним из наиболее динамично развивающихся продовольственных рынков Республики Беларусь является рынок солодовенной продукции.

Самое крупное предприятие по производству солода в Республике – ОАО “Белсолод”, его производственная мощность – 130 тысяч тонн в год. Потребность белорусских предприятий в солоде составляет 60 % от производимого объема, около 40 % экспортируется.

Главная проблема в солодопроизводстве, по мнению экспертов, – не всегда высокое качество отечественного пивоваренного ячменя (основного сырья для производства солода) ввиду погодно-климатических условий Беларуси. А именно – засуха во время налива ячменя приводит к формированию щуплого зерна, что является причиной повышенного содержания белка и низкой экстрактивности солода.

Из пивоваренного ячменя регламентированного качества с содержанием белка 12 % (мировой опыт – не более 11,5 %) можно получить солод только второго класса экстрактивностью 76–78 %. Варить пиво из такого солода без предварительной обработки затратно. Выход пива будет ниже, а качество его не достигнет премиум-класса.

Применение электрофизических способов способно интенсифицировать производство, то есть улучшить показатели качества солода, сократить время солодоращения и снизить энергоемкость продукции. Однако, на данный момент недостаточно изучены оптимальные режимы обработки и не разработаны математические модели влияния электрофизических факторов на биологическую систему ячменя, а также отсутствует необходимая техника.

Данная диссертация, посвященная исследованию и определению эффективных режимов обработки пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле, а также разработка высокопроизводительной технологической установки для активации биологической системы ячменя, ставила цель повысить качество солода.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами, темами. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям научно-технической деятельности в Республике Беларусь на 2021–2025 годы, утвержденным Указом Президента Республики Беларусь от 07.05.2020 г. № 156 (4.5. Агропромышленные и продовольственные технологии: производство,

хранение и переработка сельскохозяйственной продукции) и научному направлению кафедры электротехнологии БГАТУ. Исследования проводились согласно тематике научно-исследовательских работ БГАТУ, выполненных по госбюджетной теме на 2016–2020 годы по теме 4.5.2. Электротехнологическая регуляция биологической активности семян и растений, а также перспективному плану научно-исследовательских работ университета на 2021–2025 годы по теме 4.3. Электротехнологические процессы и оборудование в сельскохозяйственном производстве. Тема диссертационной работы соответствует приоритетным направлениям государственных программ: “Программа развития пивоваренной отрасли Республики Беларусь на 2006–2010 годы” (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 02 февраля 2006 г. № 131); Госпрограмма освоения в производстве новых и высоких технологий на 2011–2015 годы (постановление Совета Министров Республики Беларусь от 03.11.2010 г. № 1618).

Защищаемая диссертация соответствует области исследований по паспорту научной специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве, а именно:

Пункт 1. Электрофизические, электрохимические и механические свойства сельскохозяйственных биологических объектов, продуктов и материалов применительно к разработке электротехнологических процессов. Электрические, магнитные, химические, тепловые, механические и комплексные воздействия на свойства продуктов, материалов и биологических объектов в технологических процессах АПК. Идентификация электротехнологических процессов, информационных каналов контроля номинальных и допустимых параметров технологических процессов.

Пункт 2. Разработка электротехнологий и технических средств их реализации на основе электрофизических, электрохимических и электромеханических методов воздействий на сельскохозяйственные продукты, материалы, биологические и технологические объекты.

Пункт 4. Разработка электротехнологий в растениеводстве, животноводстве, птицеводстве, процессах переработки и хранения продукции сельхозорганизаций, фермерских и подсобных хозяйств, включая электрифицированные бытовые процессы, водоподготовку, воздухообмен, техническое обслуживание машин и оборудования.

Цель и задачи исследования. Цель работы – повысить качество солода путем обработки пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле.

Задачи исследования:

1) исследовать влияние электрического поля на изменение свойств ячменя и солода;

2) описать механизм действия электрического поля на выделение свободной влаги в зерне и разработать модель влияния электрического поля на осоложивание ячменя;

3) определить оптимальные технологические параметры электрообработки;

4) разработать устройство и методику расчета электроактиватора биологической системы ячменя;

5) оценить технико-экономическую эффективность влияния переменного электрического поля на качество солода.

Объект исследования: пивоваренный ячмень, солод.

Предмет исследования: процессы изменения физико-химических свойств пивоваренного ячменя и солода при электрообработке в технологии соложения.

Научная новизна

Диссертационное исследование содержит элементы научной новизны в рамках пунктов 1, 2 и 4 паспорта специальности 05.20.02 ВАК РФ:

– впервые предложен способ электротехнологической обработки в переменном электрическом поле промышленной частоты зерна пивоваренного ячменя в сухом виде для увеличения массовой доли экстракта, включающий трехкратную его повторность обработки в технологическом потоке зерна;

– результаты экспериментальных исследований и эмпирическая математическая модель зависимости массовой доли экстракта в сухом веществе солода обработанного зерна пивоваренного ячменя предложенным способом от напряженности переменного электрического поля, времени и повторности воздействий;

– разработанные методика расчета конструктивных параметров электродной секции электроактиватора, выполненной в виде параллельных изолированных проводников, уложенных на диэлектрическое основание, каждый из которых с одной стороны через один соединены вместе и подключены к разным полюсам однофазного источника высокого напряжения промышленной частоты, с другой, противоположной стороны они разомкнуты, а также методика расчета сопротивления движению ленты транспортера, обусловленного пондеромоторной силой, создаваемой электродной секцией;

– научно обоснованные технологические параметры электротехнологической обработки сухого зерна пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле промышленной частоты, обеспечивающем повышение качества солода.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследования влияния технологических режимов электрического поля, обеспечивающих выделение свободной влаги в зерне ячменя после обработки, образование в нем амилолитических ферментов, увеличение энергии прорастания и массовой доли экстракта в сухом веществе солода, а также снижение продолжительности процесса осахаривания.

2. Новый разработанный электротехнологический способ обработки зерна пивоваренного ячменя в сухом виде в переменном электрическом поле низкой частоты высокой напряженности, обеспечивающий увеличение количества свободной влаги в зерне при его обработке и оказывающий комплексное влияние на повышение качества солода.

3. Эмпирическая математическая модель изменения величины массовой доли экстракта в сухом веществе солода при многократном воздействии электрического поля промышленной частоты высокой напряженности, обеспечивающая определение оптимальных технологических параметров процесса обработки: напряженность в зерне $E=2,62 \cdot 10^5$ В/м, длительность одной обработки $t=3$ с, повторность обработок $n=3$.

4. Методика расчета конструктивных параметров электродной секции электроактиватора, выполненной в виде параллельных изолированных проводов, уложенных на диэлектрическое основание, каждый из которых с одной стороны через один подключены к разным полюсам однофазного источника высокого напряжения промышленной частоты, с другой, противоположной стороны они разомкнуты, а также методика расчета сопротивления движению ленты транспортера, обусловленного пондеромоторной силой, создаваемой электродной секцией.

Личный вклад соискателя ученой степени в результаты диссертации. Диссертационная работа отражает личный вклад автора в проведенные исследования. Основные результаты получены автором под руководством кандидата технических наук В.А. Пашинского. Совместно с научным руководителем были определены направления исследований, проводились обсуждение, анализ и обоснование полученных результатов. Непосредственно соискателем выполнен многофакторный эксперимент и составлена эмпирическая модель повышения экстрактивности солода в зависимости от параметров электрического поля и режимов электрообработки; проведена оптимизация; разработана методика расчета электродной секции и основных узлов электроактиватора биологической системы ячменя.

Консультативную помощь на отдельных этапах проведения исследований по теме диссертации оказывали академик Национальной академии наук Беларуси Герасимович Л.С. и доктор технических наук, профессор Заяц Е.М.

В публикациях, выполненных в соавторстве с Н.Ф. Бондарь (научный руководитель научно-исследовательской аналитической лаборатории НИИМЭСХ) [2; 4; 16; 18; 37] соискателю принадлежит подбор методик исследования, составление плана эксперимента, подготовка образцов, статистическая обработка и анализ результатов. В публикациях [5; 6] совместно с И.И. Гургенидзе выполнено технико-экономическое обоснование применения технологии электроактивации биологической системы ячменя при производстве солода. Сотрудник БГАТУ К.Л. Сергеев оказывал помощь в проведении исследований [8] с применением компьютерного микроскопа. Публикации [9; 11; 19; 28; 30; 32; 33; 35; 36] подготовлены соискателем самостоятельно. Остальные соавторы принимали участие в решении отдельных вопросов и задач, не вошедших в диссертационную работу.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов. Результаты исследований доложены на ОАО “Криница” (Минск, 2008 г.); на ОАО “Белсолод” (Иваново, 2023 г.); международных научно-технических конференциях (МНТК), а именно: МНТК “Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК” (Минск: БГАТУ, 2009 г., 2013 г., 2017 г., 2019 г., 2021 г.; 2022 г.); 11-й, 19-й, 20-й и 21-й международной научной конференции (МНК) “Сахаровские чтения 2011 г, 2019 г., 2020 г. и 2021 г. : экологические проблемы XXI века” (Минск: МГЭУ им. А.Д. Сахарова, 2011 г., 2019 г., 2020 г. и 2021 г.); МНТК “Россия – Беларусь – Сколково: единое инновационное пространство” (Минск: НАН РБ 2012 г.); международной научно-практической конференции (МНПК) “Перспективные технологии и средства в сельскохозяйственном производстве” (Минск: БГАТУ, 2013 г.); МНПК “Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции” (Минск: БГАТУ, 2015 г.); МНПК “Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве” (Минск: БГАТУ, 2018 г.); IV и V-й Всеукраинских научно-практических конференциях “Перспективы и тенденции развития конструкций и технического сервиса сельскохозяйственных машин и орудий” (Житомир: ЖАТФК, 2018 г., 2019 г.); I Всероссийской конференции с международным участием (Тамбов: ТГТУ 2019 г.); МНПК “Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве” (Минск: БГАТУ, 2019 г.), МНПК “Белагро-2019” (Минск: БГАТУ, 2019 г.), МНПК “Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК” (Минск: БГАТУ, 2021 г.), IV МНТК “Минские научные чтения – 2021” (Минск: БГАТУ, 2021 г.); III МНПК “Техническое обеспечение инновационных технологий в агропромышленном комплексе” (Мелитополь: ТГАТУ, 2021 г.), II-й МНПК “Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі” (Мелитополь: ТГАТУ, 2022 г.);

VIII МНПК “Производство и переработка сельскохозяйственной продукции” (Воронеж: ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022 г.).

Опубликованность результатов диссертации. По результатам исследований опубликовано 37 работ, что соответствует 9,7 а.л. В том числе 11 статей в журналах перечня научных изданий ВАК Республики Беларусь для опубликования результатов диссертации – 7,8 а.л., 25 – в материалах и тезисах научных конференций, 1 патент Республики Беларусь на изобретение. Две статьи в научных журналах опубликованы без соавторов. Кроме того, по результатам диссертации разработаны и утверждены: 1 техническое задание, 2 акта внедрения.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав, заключения, библиографического списка, включающего список использованных источников из 106 наименований (в том числе 5 иностранных) и список публикаций соискателя из 37 наименований, 13 приложений. Полный объем диссертации составляет 242 страницы. Основная часть изложена на 100 стр. печатного текста, список использованных источников – на 13 стр., приложения – на 98 стр. Цифровой и графический материал (50 иллюстраций и 16 таблиц) занимает 31 стр.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Первая глава посвящена аналитическому обзору отечественных и зарубежных научных публикаций по способам и техническим средствам обработки пивоваренного ячменя при получении солода. В результате установлено, что способы обработки ячменя, повышающие качество солода, разделяют на химические, биологические и физические, из которых отдельно выделяют электрофизические.

Применение указанных способов в солодопроизводстве позволяет получить сравнительные изменения в показателях качества которые представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Сравнительные изменения показателей качества солода после обработки

Способы обработки	Изменение показателей качества			
	экстрактив-ность, %	осахари-вание, %	энергия прорастания, %	амилолитическая активность, %
Химические	1,5...2,0	15...20	4...6	10...15
Биологические	1,0...1,5	10...15	3...5	8...12
Физические	1,0...2,0	10...15	7...9	10...15
Электрофизические	1,0...2,0	15...20	2,5...7	12...19
Прогнозируемые значения	1,5...3,0	15...20	7...9	20...40

Показатели качества пивоваренного ячменя после обработки любыми способами изменяются в небольшом диапазоне. Эти показатели могут быть улучшены обработкой пивоваренного ячменя в электрическом поле промышленной частоты высокой напряженности. Результаты предварительных исследований (таблица 1) показывают возможность и превосходство по отдельным показателям электрообработки зерна ячменя на промышленной частоте.

Биологические эффекты электрофизических воздействий описаны многократно в работах Н. Д. Девяткова, И. А. Рогова, М. К. Бологи, С. Г. Ильясова, М. Г. Николаевой, Н. В. Обучевой, А. М. Гордеева, В. Б. Шершнева, В. Н. Бинги, М. Б. Беркинблита, Е. Г. Глаголевой, Г. Н. Зацепиной, М. Г. Барышева, Ю. Ф. Заяса, И. Е. Эльпинера, Л. Ф. Глущенко, Ch. Polk, E. Postow, R. Koch, S. Blackman, R. Hamm и других ученых. Тем не менее, многие из них не изучены с точки зрения производства солода, где важнейшим критерием является не всхожесть, а образование необходимых для расщепления крахмала ферментов.

Научная идея работы основана на влиянии низкочастотного электрического поля высокой напряженности на дипольные молекулы воды, связанные с веществом зерна, разрыв этих связей, переход молекул воды в свободное состояние, последующее взаимодействие с микроструктурами, пробуждение и активизацию процессов роста зерна.

Переход молекул воды из связанного в свободное состояние зависит от величины энергии, вводимой электрическим полем в зерно в результате поляризации дипольных молекул воды. Переизбыток энергии испарит влагу и перегреет зерно, недостаток – не даст должного результата.

Во второй главе изложены результаты теоретических исследований воздействия электрического поля на физические и химические изменения в структуре ячменя. В работе представлены аналитические закономерности преобразования влаги в ячмене под действием электрического поля.

Удельная объемная мощность, выделившаяся в зерне в результате взаимодействия электрического поля с молекулами воды и ионами (рисунок 1):

$$\bar{\Phi} = \rho_s C_{Ps} \frac{d\bar{t}}{d\tau} + \frac{4\pi R_p^2}{V_p} \left[h_p (\bar{t} - t_\infty) + h_M \frac{M_{H_2O}}{Rt|_{r=R_p}} (P_v|_{r=R_p} - P_{v\infty}) \Delta h \right], \quad (1)$$

где ρ_s – плотность сухого вещества зерна, кг/м³; C_{Ps} – удельная теплоемкость влажного вещества зерна при постоянном давлении, Дж/(кг·К); t – температура, К; $\bar{t} = t|_{r=R_p}$; t_∞ – температура окружающего воздуха, К; τ – время, с; R_p – радиус частицы (зерновки ячменя), м; V_p – объем частицы, м³;

h_p – коэффициент теплоотдачи от поверхности зерна, Вт/(м²·К);
 h_M – коэффициент массоотдачи, м/с; $M_{H_2O} = 18$ – молярная масса воды, г/моль;
 R – универсальная газовая постоянная, Дж/(К·моль); P_v – давление водяных паров в зерновке, Па; $P_{v\infty}^{sat}$ – давление водяных паров в окружающем воздухе, Па; Δh – локальная теплота парообразования, Дж/кг.

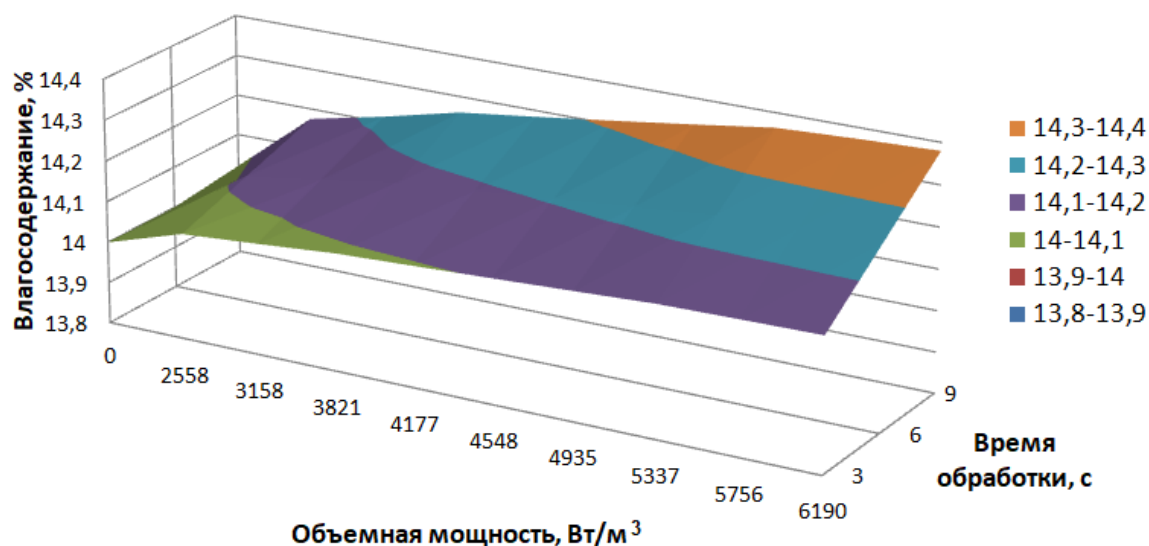


Рисунок 1 – Зависимость влагосодержания в зерне ячменя от объемной мощности электрического поля и времени обработки

Математическое описание и его графическое отображение (рисунок 1) показывают, что энергия электрического поля влияет на изменение содержания свободной влаги в зерне. Основными параметрами поля, оказывающими воздействие на влагу, являются напряженность и частота. Данные характеристики позволяют моделировать параметры электрообработки.

В третьей главе установлено влияние параметров электрического поля (напряженность, частота, продолжительность обработки) на изменение влажности зерна и процессы, побуждаемые выделением влаги – энергия прорастания ячменя, амилолитическая активность, экстрактивность и скорость осахаривания солода.

Решение поставленных в диссертационной работе задач выполнено определением методики исследования и достоверностью лабораторных данных. Имитация процесса солодоращения проводилась в НИАЛ НИИМЭСХ, в производственных лабораториях ОАО “Белсолод” и ОАО “Креница”, в ГУ “Государственная инспекция по испытанию и охране сортов растений” Центральная республиканская лаборатория по определению качества новых сельскохозяйственных культур в минисолодовне.

Достоверность различия результатов исследования оценивали, применив разностный метод обработки результатов. Расчеты представлены в приложении И. Доверительная вероятность во всех исследованиях составила не менее 0,95 ($P > 0,95$).

Для проведения опытов создана экспериментальная установка, позволяющая моделировать параметры электрического поля и варьировать их в заданных диапазонах. С ее помощью исследовали влияние электрического поля на: изменение влажности зерна; физиологические и биохимические показатели пивоваренного ячменя; физико-химические показатели солода.

Экспериментальное исследование подтверждает увеличение содержания свободной влаги в зерне с 13,3 % до 13,6 % при изменении напряженности электрического поля в ячмене с $1,5 \cdot 10^5$ до $3 \cdot 10^5$ В/м.

Экспериментальные данные хорошо совпадают с расчетными по формуле (1) (рисунок 2).

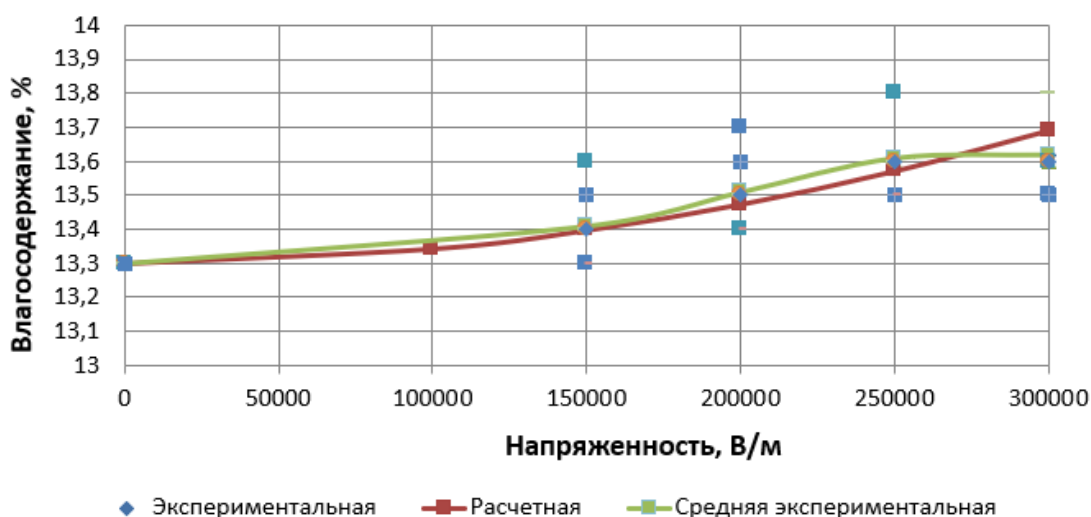


Рисунок 2 – Зависимость влагосодержания от напряженности электрического поля в ячмене: расчетная и экспериментальная

Наличие диссоциированной влаги способствует ее меньшему поглощению в период замачивания. Следовательно, поглощение влаги у электроактивированных образцов происходит медленнее, чем у контрольного, что указывает на равномерное увлажнение мучнистого тела и лучшее растворение эндосперма. В дальнейшем это способствует снижению стекловидности и более высокому содержанию массовой доли экстракта в сухом веществе солода.

Для установления данной закономерности исследовали размеры пор на поверхности ячменя. После электрообработки размеры пор уменьшаются с

8,328 до 7,66 мкм на 15–18 %, что наблюдается на первые, четвертые и шестые сутки.

Также электроактивация способствует изменению физиологических показателей ячменя: энергия прорастания увеличивается на 38%, длина корешков на 19 % и их количество на 52 % через 36 часов после начала проращивания.

Электроактивационные свойства у ячменя сохраняются до 8 суток. Но обработку наиболее эффективно осуществлять за 1–4 суток до соложения ячменя.

После электрообработки происходит увеличение амилолитической (ферментативной) активности солода на 20–40 % и сокращение сроков солодоращения в среднем на 40%. Применение данного способа увеличивает экстрактивность солода на четвертые сутки (81,63%) до необходимого содержания массовой доли экстракта в сухом веществе солода (79...82 %) при стандартной технологии проращивания – 6 суток.

Определение ферментативной активности – трудоемкий и продолжительный по времени анализ. Параллельным признаком амилолитической активности считают продолжительность осахаривания.

С целью выявления влияющих факторов и определения оптимальных величин характеристик электрического поля были выполнены однофакторные эксперименты, в которых параметром отклика были продолжительность осахаривания и экстрактивность солода.

Исследования проводили в минисолодовне и определили, что наименьшая продолжительность осахаривания и экстрактивность солода наблюдается у партий ячменя с напряженностью переменного электрического поля в зерне $(2,0...2,5) \cdot 10^5$ В/м; временем воздействия 7–11 с; количеством воздействий на одну партию ячменя 2–3 раза; временем паузы между электрообработками 3–5 с.

Статистическая оценка полученных данных выполнена с применением параметрических (критерий Стьюдента и Фишера) методов с помощью компьютерной программы MS Excel 2010, и системы алгебраических вычислений MathCAD 15, оптимизация параметров проведена в Pascal ABC.

На основе проведенного многофакторного эксперимента построена эмпирическая модель. Для ее разработки использовали ортогональный центральный композиционный план второго порядка. Модель характеризует зависимость Y (критерий оптимизации – экстрактивность) от исследуемых параметров переменного электрического поля: напряженность, время воздействия, количество воздействий на одну партию ячменя. Целевая функция – максимум экстрактивности:

$$Y_{\max} = 78,7 + 0,3 \cdot X_{1\text{опт}} - 0,1389 \cdot X_{2\text{опт}} + 0,1865 \cdot X_{3\text{опт}} - 0,375 \cdot X_{1\text{опт}} \cdot X_{3\text{опт}} - 0,45 \cdot X_{2\text{опт}} \cdot X_{3\text{опт}} - (3) \\ - 0,6062 \cdot (X_{1\text{опт}}^2 - 2/3) - 0,4369 \cdot (X_{2\text{опт}}^2 - 2/3) - 0,4708 \cdot (X_{3\text{опт}}^2 - 2/3) = 79,74\%$$

Максимальная экстрактивность солода $Y_{\max} = 79,74 \pm 0,1\%$ может быть достигнута при напряженности электрического поля в зерне $x_{1\text{опт}} \approx 2,62 \cdot 10^5$ В/м, экспозиции $x_{2\text{опт}} \approx 3$ с и количество обработок одной партии ячменя $x_{3\text{опт}} \approx 3$ раза. Ошибка составляет $\pm 0,1\%$.

Зависимость экстрактивности от параметров воздействия представлена на рисунке 3.

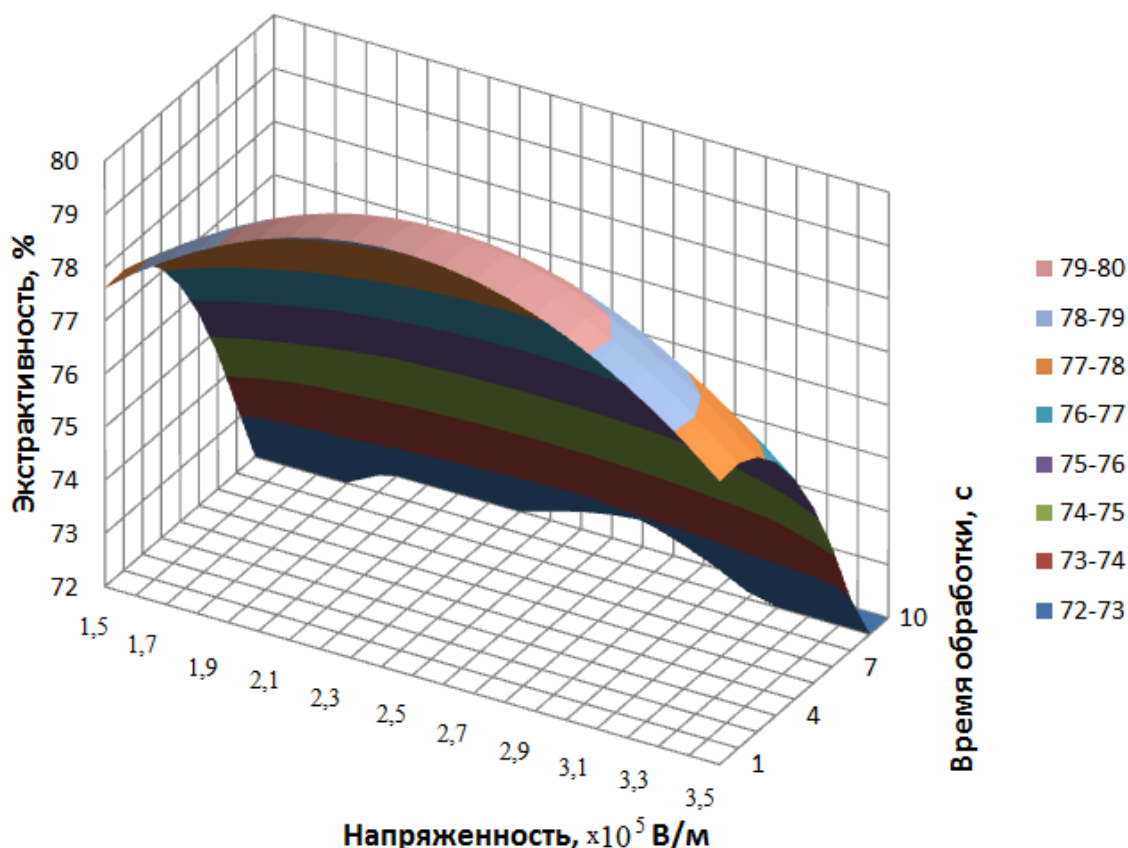
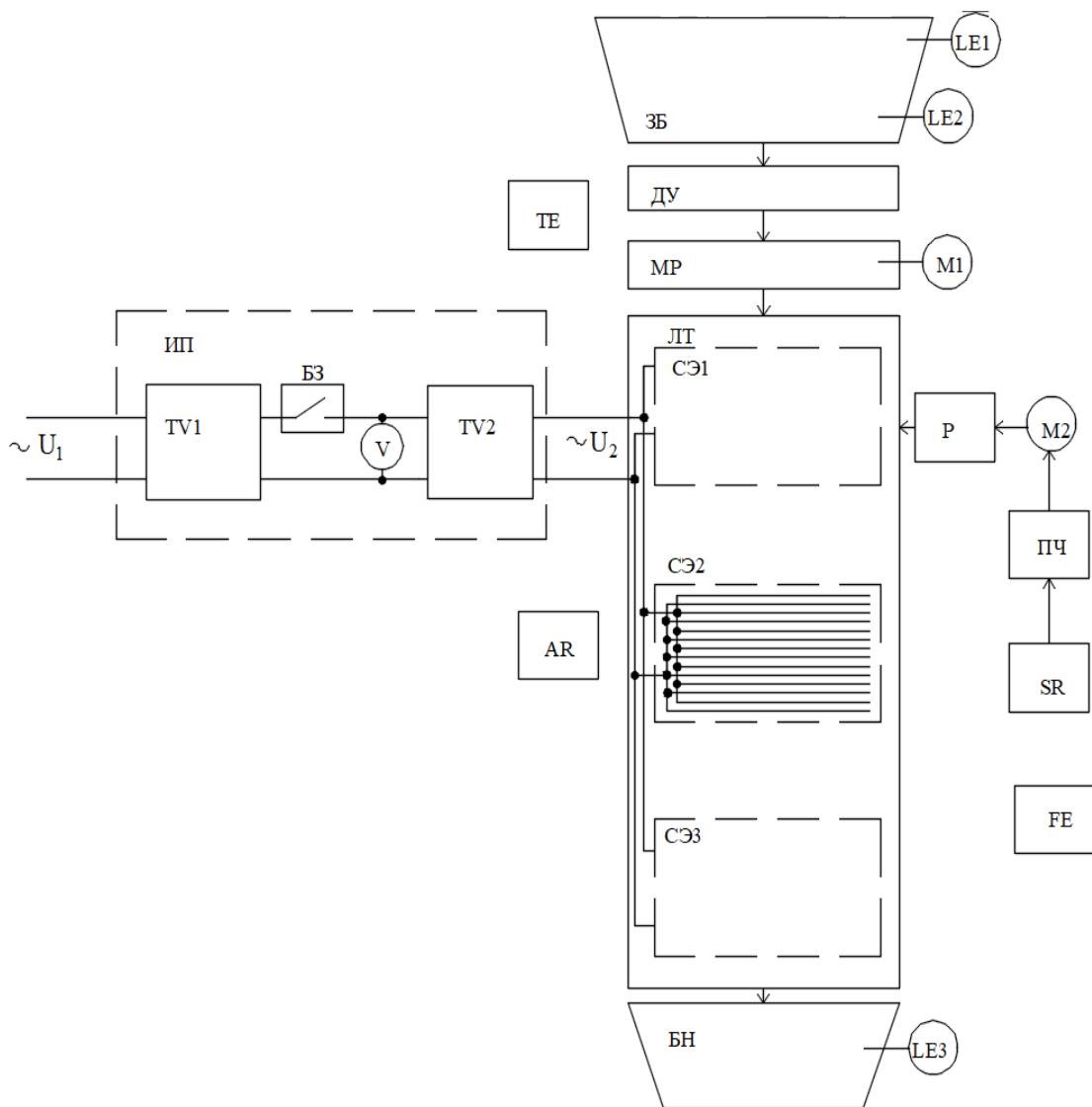


Рисунок 3 – Зависимость экстрактивности от напряженности электрического поля и времени обработки при воздействии на партию ячменя три раза

В четвертой главе разработана принципиальная технологическая схема электроактиватора биологической системы ячменя. Определены основные параметры установки, такие как: производительность Π_M , т/ч; скорость движения ленты $v_{л}$, м/с; профиль сечения ветви; угол наклона ленты к трассе; габаритные размеры электроактиватора; геометрические размеры секции электродов; расстояние между секциями; конструкция электродов.

Технологическая схема электроактиватора разработана на основании технологических требований и представлена на рисунке 4.



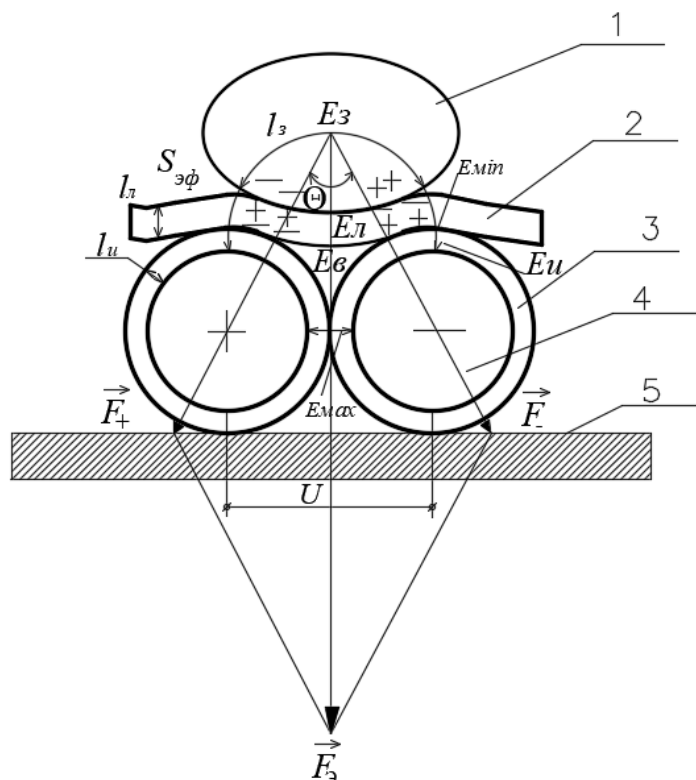
ТВ1 – автотрансформатор; ТВ2 – повышающий трансформатор;
БЗ – блок защиты; ЗБ – загрузочный бункер; ДУ– дозирующее устройство;
МР – механизм распределения зерна в один слой; ЛТ – лента транспортера;
СЭ1...СЭ3 – секция электродов; Р – редуктор; ПЧ – преобразователь частоты;
SR – тахометр; FE – датчик потока; ТЕ – датчик температуры; АР – датчик влажности;
БН – бункер накопительный; LE1...LE3 – датчики уровня;
М1 – электропривод дозатора; М2 – электропривод транспортера
Рисунок 4 – Технологическая схема электроактиватора

Расчету подлежит определение величины напряжения, подаваемого на электроды (рисунок 5), В:

$$U = \frac{E_3 \cdot l}{\epsilon_u \cdot \epsilon_l} \cdot \frac{(2 \cdot \epsilon_l \cdot \epsilon_3 \cdot l_u + 2 \cdot \epsilon_u \cdot \epsilon_3 \cdot l_l + \epsilon_u \cdot \epsilon_l \cdot l_3)}{(2 \cdot l_u + l_3 + 2 \cdot l_l)}, \quad (4)$$

где E_3 – напряженность электрического поля в зерне, В/м; l – длина средней линии, проходящей от электродов через середину зерновки, м;

l_u, l_l – толщина изоляции, ПВХ ленты транспортера; l_z – длина средней силовой линии в зерновке, м; $\epsilon_u, \epsilon_l, \epsilon_z$ – диэлектрическая проницаемость изоляции электродов, ленты и зерна.



1 – зерновка; 2 – лента; 3 – изоляция электродов; 4 – токопроводящие электроды;

5 – диэлектрическое основание, E – напряженность электрического поля:

E_z – в зерне; E_l – в ленте; E_v – в воздухе; E_u – в изоляции;

на электродах E_{min} – минимальная и E_{max} – максимальная

U – напряжение на электродах; Θ – угол между направлениями действия сил F_+ и F_- на зерно со стороны электродов; F_+ и F_- – силы взаимодействия поляризационных зарядов зерновки с соответствующими зарядами на электродах

Рисунок 5 – Расчетная схема с транспортирующей лентой в режиме загрузки

Методика расчета предложенного электроактиватора аналогична методике инженерного расчета горизонтального транспортера, но с учетом влияния электрической силы на тяговое усилие (рисунок 5).

Пондеромоторная сила:

$$F_z = 2 \cdot \frac{U^2 \cdot C_n^2 \cdot (\epsilon_z - 1)}{\epsilon_z \cdot \epsilon_0 \cdot S_{эф}} \cos \frac{\Theta}{2}, \quad (5)$$

где U – напряжение, подаваемое на электроды, В; C_n – емкость системы в рабочем режиме, Ф; ϵ_z – диэлектрическая проницаемость зерна; ϵ_0 – электрическая постоянная $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ Ф/м; $S_{эф}$ – эффективная площадь электродов, м²; $\cos \frac{\Theta}{2}$ – функция диаметра электродов и размеров зерновки.

Пондеромоторную силу и силы сопротивления невозможно складывать скалярно. Поэтому определили силу сопротивления, обусловленную пондеромоторной силой:

$$F_{CЭ} = F_{Э} \cdot (f_p \cos \alpha + \sin \alpha) \cdot N, \quad (6)$$

где f_p – коэффициент сопротивления движению ленты; α – угол наклона транспортера, град; N – количество секций электродов.

В пятой главе произведен расчет стоимости установки с учетом монтажа в ценах первого квартала 2023 года. Стоимость составила 16775 руб. Экономический расчет выполнен для среднего по объему предприятия с годовым выпуском пива 500 тыс. дал пива в год.

Экономический эффект от внедрения электроактиватора состоит в увеличении выхода товарного пива на 1,5...3 %. А, следовательно, и повышения такого важного показателя для предприятия, как выручка от реализации продукции на 262,5 тыс. руб. Это сопровождается незначительным повышением водопотребления на 150,87 м³/год и электропотребления на 1463,7 кВт·ч/год, стоимость которых значительно ниже, чем стоимость дополнительной продукции. В свою очередь, наблюдается экономия тепловой энергии при сушке солода в размере 1,712 Гкал/год.

В связи с тем, что вложенные инвестиции могут быть подвержены рискам различного рода, выполнено исследование вопросов влияния производственных факторов на показатели эффективности капиталовложений. В частности, ЧДД и срок окупаемости в зависимости от процентной ставки рефинансирования (рисунок 7).

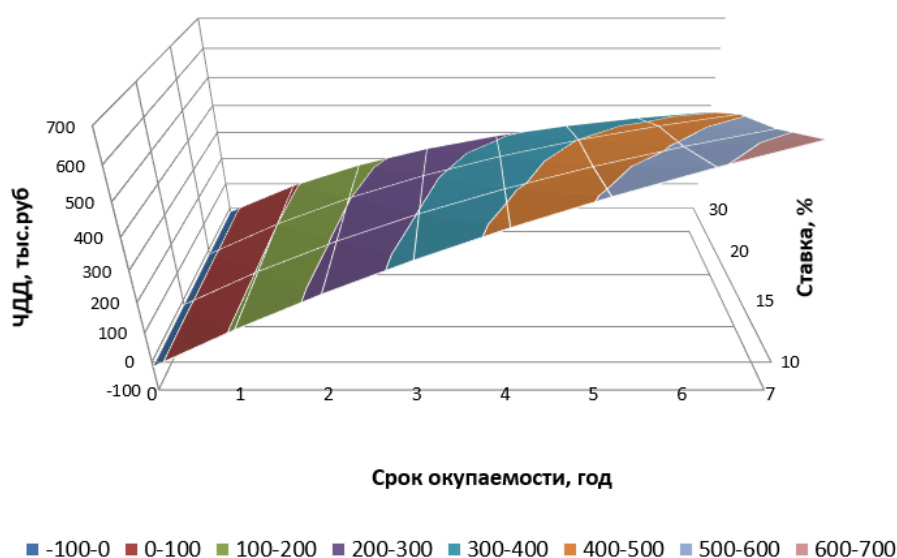


Рисунок 7 – Зависимость ЧДД и срока окупаемости от процентной ставки рефинансирования за расчетный период

Срок окупаемости при данном объеме производства составляет менее полугода при процентной ставке рефинансирования от 10 до 30 %.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты и выводы, которые сформулированы в диссертационном исследовании, основываются на теоретических положениях и научных принципах, разработанных ведущими учеными по фундаментальным и прикладным наукам. Основные результаты настоящего исследования обоснованы теоретическими положениями и полученными экспериментальными данными.

В диссертации выполнены научно-технические исследования, направленные на разработку энергоэффективного способа электроактивации биологической системы пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле промышленной частоты и высокой напряженности, обеспечивающего повышение качества солода, увеличение объемов производства пива и, как следствие, рост прибыли и рентабельности.

1 Основные научные результаты диссертации

1. Проведенный анализ опубликованных исследований показал, что электрическое поле оказывает комплексное (электротепловое, электрохимическое, электрокинетическое и др.) воздействие на зерно на различных этапах получения солода. Из-за отсутствия единого показателя качества оценить действие электрического поля можно по изменению отдельных характеристик ячменя и солода: энергии прорастания, амилолитической активности, экстрактивности, продолжительности осахаривания и др. В результате наблюдается снижение зараженности фитопатогенами на 85...100 %, повышение способности прорастания на 2...9 %, увеличение экстрактивности на 1...2 %, подъем энергии прорастания на 2,5...7 %, рост амилолитической активности на 12...19 %, уменьшение продолжительности осахаривания на 15...20 % [1–А...4–А; 12–А; 16–А; 22–А].

2. Проведенные теоретические исследования воздействия электрического поля на зерно показывают, что первопричиной биоэффектов является переход полярных молекул содержащейся в нем воды в свободное состояние с последующей катализацией соложения ячменя [9–А]. Указанный процесс оказывается результатом изменения величины и скорости смещений дипольных молекул воды и разрыва их связей в структуре зерна вследствие

действия электрического поля. В результате обработки переменным электрическим полем НЧ с напряженностью в зерновке $(2...3) \cdot 10^5$ В/м установлено увеличение содержания свободной влаги на 0,3...0,4 % [9–А]. При этом влагопоглощение электроактивированного ячменя в процессе солодоращения снизилось на 3...5 % [18–А] за счет уменьшения площади пор на поверхности зерна в среднем на 15...18 % [6–А].

3. В результате проведенных теоретических исследований определено, что суть электроактивации биологической системы ячменя заключается во введении в зерно объемной электрической энергии при воздействии на ячмень переменным электрическим полем промышленной частоты и высокой напряженности $(2...3) \cdot 10^5$ В/м. Величина напряженности электрического поля в ячмене (E , В/м) находится в диапазоне силы взаимодействия дипольных молекул воды (E , Н/Кл) в веществе зерна. В результате происходит разрушение связи адсорбционных молекул воды и образуется свободная влага [9–А], которая, оставаясь в объеме зерновки, влияет на образование в ней ферментов, что вызывает рост ячменя и расщепление крахмала на моносахариды для последующего сбраживания [9–А].

4. На основании теоретических исследований полученные математические уравнения тепло- и влагопереноса показывают и устанавливают взаимосвязь параметров электрического поля (напряженность и частота) и характеристик зерна (влагосодержание и температура), определяющих эффективность его осоложивания [9–А]. При варьировании частоты или напряженности электрического поля изменяется объемная мощность, поглощаемая зерном. Следовательно, это оказывает влияние на интенсивность выделения влаги. Баланс энергий включает в себя: энергию, затрачиваемую на нагрев, объемную энергию электрического поля, энергию фазовых переходов и потери в окружающую среду. На влагосодержание влияет интенсивность выделения влаги, которая зависит от величины поглощенной энергии [9–А].

5. Экспериментальные исследования, выполненные в аккредитованных лабораториях, указывают на повышение качества электроактивированного ячменного солода после электроактивации и подтверждают, что переменное электрическое поле напряженностью в зерновке $(2...3) \cdot 10^5$ В/м влияет на физиологические показатели ячменя (энергия прорастания, длина и количество корешков и т.д.), а также физико-химические показатели солода (амилолитическая активность, экстрактивность, продолжительность осахаривания и т.д.). Применение электротехнологического инновационного способа обработки пивоваренного ячменя увеличивает экстрактивность

солода на 1,5...3 %, энергию прорастания – на 7...9 %, амилолитическую активность – на 20...40 %, уменьшает продолжительность осахаривания на 15...20 % [1–А...4–А; 12–А–17–А; 19–А–23–А; 27–А; 32–А; 39–А].

6. Проведенные экспериментальные и теоретические исследования позволили определить оптимальные технологические параметры электроактивации биологической системы ячменя [7–А]. Кинетику изменения экстрактивности солода под действием переменного электрического поля описывает эмпирическая модель. Составленный ОЦКП и построенное уравнение регрессии второго порядка, реализованное в MathCAD, ABC Pascal и MS Excel, позволили вычислить оптимальные параметры электрообработки: напряженность электрического поля в зерновке $E=2,62 \cdot 10^5$ В/м, время обработки одной партии ячменя $t=3$ с, количество обработок одной партии ячменя $n=3$ раза для получения максимальной экстрактивности солода с отклонением $\pm 0,1$ % [7–А].

7. Разработанная методика расчета электродной секции электроактиватора [10–А] позволяет определить геометрические и энергетические параметры системы электродов. Предложенная конструкция электродной секции для обработки пивоваренного ячменя выполнена из изолированных проводников-электродов параллельно уложенных вплотную друг к другу на диэлектрическое основание, что позволяет снизить расход проводникового материала и повысить эффективность использования полезной площади электродов по сравнению с бифилярной обмоткой [10–А].

8. Предложенная конструкция электроактиватора реализовывает запатентованные технологические режимы электрообработки [37–А] в поточном технологическом процессе производства солода [11–А]. Разработанная методика расчета основных элементов установки позволяет определить ее конструктивные и энергетические параметры [10–А, 11–А; 35–А]. Осуществление оптимального режима обработки обеспечивает разработанная принципиальная электрическая схема электроактиватора, которая позволяет управлять установкой в ручном и автоматическом режиме, обеспечивая защиту обслуживающего персонала.

9. Методика расчета основных узлов электроактиватора, включающего секции электродов и горизонтальный транспортер с системой управления режимом работы установки, основанная на совместном решении уравнений, связывающих кинетику процесса обработки, параметры электрического поля, геометрические размеры установки и отдельных ее узлов, позволяет использовать ее при расчете электротехнологического оборудования для переработки продуктов растениеводства [11–А]. В качестве основных

элементов приняты: рабочий орган, обеспечивающий ввод в зерно необходимой дозы энергии – секция электродов; механизм подачи и распределения зерна в один слой на транспортирующую ленту – валик-дозатор; механизм транспортирования зерна в многозонном поточном технологическом процессе – ленточный транспортер.

10. Экономическая эффективность электрообработки от реализации разработанного энергоэффективного способа электроактивации биологической системы ячменя состоит в снижении энергоемкости производства при сушке солода на 6 % и увеличении выхода товарного пива на 1...3 % за счет повышения качества солода, в частности, увеличения его экстрактивности [5–А; 6–А, 8–А; 28–А; 31–А].

2 Рекомендации по практическому использованию результатов

Результаты диссертационных исследований внедрены в образовательный процесс в УО “БГАТУ” на кафедре энергетики (акты о внедрении № У2022002 КД от 24 февраля 2022 г., № У2022006 КД от 23 марта 2022 г.) при проведении лекционных и практических занятий по дисциплинам “Электротехнология” и “Электротехнологическое оборудование” для изучения инновационных электротехнологий в переработке продуктов растениеводства, проектирования, расчета и выбора конструктивных элементов электроактиватора биологической системы ячменя.

Итоги исследований представлены в ОАО “Криница” и ОАО “Белсолод”.

Разработанные технические требования и конструкция установки позволяют использовать данную электротехнологию в солодовенном производстве для интенсификации процесса производства ячменного солода.

Полученные результаты могут быть рекомендованы для использования в научно-исследовательских институтах и учебных заведениях сельскохозяйственного профиля, проектных и конструкторских организациях пивоваренных предприятий, а также на пивоваренных предприятиях с собственным солодовенным цехом, солодовенных заводах.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в изданиях из перечня научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований

1–А. Пашинский, В. А. Стимулирование прорастания пивоваренного ячменя / В.А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Агропанорама. – 2008. – № 6. – С. 25–28.

2–А. Пашинский, В. А. Увеличение амилолитической активности солода / В. А. Пашинский, Н. Ф. Бондарь, О. В. Бондарчук // Агропанорама. – 2009. – № 2 – С. 17–21.

3–А. Пашинский, В. А. Интенсификация процесса производства солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Экологический Вестник. – 2010. – № 2. – С. 83–89.

4–А. Пашинский, В. А. Влияние обработки пивоваренного ячменя переменным электрическим полем на экстрактивность солода / В. А. Пашинский, Н. Ф. Бондарь, О. В. Бондарчук // Агропанорама. – 2013. – № 4. – С. 28–30.

5–А. Бондарчук, О. В. Применение установки для интенсификации процесса производства солода на пивоваренном предприятии / О. В. Бондарчук, И. И. Гургенидзе, В. А. Пашинский // Агропанорама. – 2018. – № 3. – С. 14–16.

6–А. Гургенидзе, И. И. Техничко-экономическое обоснование проекта внедрения установки для интенсификации процесса производства солода на пивоваренном предприятии / И. И. Гургенидзе, О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский // Агропанорама. – 2018. – № 6. – С. 20–24.

7–А. Пашинский, В. А. Моделирование и оптимизация процесса электрофизической стимуляции пивоваренного ячменя для повышения его экстрактивности / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Вестник МГУП. – 2019. – № 2(27). – С. 38–49.

8–А. Пашинский, В. А. Снижение энергоемкости процесса производства пивоваренного солода при обработке ячменя электрическим током / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук, К. Л. Сергеев // Вестник МГУП. – 2019. – № 2 (27). – С. 28–37.

9–А. Бондарчук, О. В. Моделирование процесса изменения влагосодержания зерна ячменя под действием электрического поля / О. В. Бондарчук // Агропанорама. – 2020. – № 2. – С. 40–44.

10–А. Бондарчук, О. В. Методика расчета электродной секции электроактиватора биологической системы ячменя / О. В. Бондарчук, И. В. Протосовицкий // Агропанорама. – 2022. – № 2. – С. 31–35.

11–А. Бондарчук, О. В. Методика расчета основных узлов электроактиватора биологической системы ячменя / О. В. Бондарчук // Агропанорама. – 2022. – № 3. – С. 25–28.

Материалы конференций и тезисы докладов

12–А. Пашинский, В. А. Интенсификация производства солода, путем воздействия электрического поля / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 23–24 октября 2009 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М. А. Прищепова. – Минск : БГАТУ, 2009. – С. 186–187.

13–А. Пашинский, В. А. Энергосберегающая технология производства солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Сахаровские чтения 2011 года: экологические проблемы XXI века: матер. 11 Междунар. научн. конф., Минск, 19–20 мая 2011 г. / Междунар. гос. эколог. ун-т им. А. Д. Сахарова ; под ред.: С. П. Кудаса, С. С. Починка. – Минск : МГЭУ им. А. Д. Сахарова, 2011. – С. 292–293.

14–А. Пашинский, В. А. Интенсификация процесса производства солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Россия – Беларусь – Сколково: единое инновационное пространство: матер. Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 19–20 сентября 2012 г. / НАН Беларуси ; НКО Фонд развития центра разработки и коменциализации новых технологий (Фонд «Сколково») ; редкол.: С. Я. Килин [и др.]. – Минск : Беларус. навука, 2012. – С. 538–539.

15–А. Пашинский, В. А. Интенсификация процесса производства солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Перспективные технологии и средства в сельскохозяйственном производстве : материалы Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 11–12 апреля 2013 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под общ. ред В. Б. Ловкиса, В. Н. Дашкова, Т. А. Непарко. – Минск : БГАТУ, 2013. – С. 277–281.

16–А. Пашинский, В. А. Влияние электрического поля на экстрактивность солода / В. А. Пашинский, Н. Ф. Бондарь, О. В. Бондарчук // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 21–22 ноября 2013 г. /

Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М.А. Прищепова. – Минск : БГАТУ, 2013. – С. 268–270.

17–А. Пашинский, В. А. Влияние электрообработки и времени отлежки на способность прорастания ячменя / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук, М. А. Сай // Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции: материалы Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 2–3 июня 2015 г. / Беларус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. В. Б. Ловкиса. – Минск : БГАТУ, 2015. – С. 424–427.

18–А. Бондарчук, О. В. Влияние напряженности электрического поля на степень замочки пивоваренного ячменя / О. В. Бондарчук, Н. Ф. Бондарь, Е. Н. Ковширко // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф., Минск, 23–24 ноября 2017 г. / Беларус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. М. А. Прищепова. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 170–172.

19–А. Бондарчук, О. В. Стимулирование прорастания пивоваренного ячменя электрическим полем высокой напряженности / О. В. Бондарчук // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь : Збірник тез IV Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Житомир, 28–29 березня 2018 р. / Житомирськ. агротехнічн. кол-ж ; редкол.: М. М. Тимошенко [та ін.]. – Житомир : Житомирський агротехнічний коледж, 2018. – С. 201–203.

20–А. Бондарчук, О. В. Интенсификация процесса производства солода на пивоваренном предприятии / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве : сб. науч. ст. Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 21–23 ноября 2018 г. / Беларус. гос. аграрн. техн. ун-т ; редкол.: В. П. Чеботарев [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2018. – С. 367–371.

21–А. Бондарчук, О. В. Влияние электрообработки и времени отлежки на биологические процессы жизнедеятельности ячменя / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский // Перспективи і тенденції розвитку конструкцій та технічного сервісу сільськогосподарських машин і знарядь: Збірник тез V Всеукраїнської науково-практичної конференції, м. Житомир, 28–29 березня 2019 р. / Житомирськ. агротехнічн. кол-ж ; редкол.: М. М. Тимошенко [та ін.]. – Житомир : Житомирський агротехнічний коледж, 2019 г. – С. 222–224.

22–А. Пашинский, В. А. Воздействие неоднородного электрического поля на экстрактивность пивоваренного ячменя / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Сахаровские чтения 2019 года : экологические проблемы

XXI века : материалы 19-й Междунар. науч. конф., Минск, 23–24 мая 2019 г. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та ; редкол.: А. Н. Батян [и др.] ; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С.А. Маскевича, д-ра с.-х. н., проф. С. С. Позняка. – Минск : ИВЦ Минфина – С. 148–151.

23–А. Пашинский, В. А. Интенсификация процесса производства солода электрическим полем высокой напряженности / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Импортзамещающие технологии и оборудование для глубокой комплексной переработки сельскохозяйственного сырья : материалы I Всерос. конф. с междунар. участием, Тамбов, 24–25 мая 2019 г. / под общ. ред. Ю. В. Родионова ; ФГБОУ ВО “ТГТУ”. – Тамбов : Издательский центр ФГБОУ ВО “ТГТУ”, 2019. – С. 382–388.

24–А. Пашинский, В. А. Электрофизическая обработка пивоваренного ячменя при получении солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Современные проблемы освоения новой техники, технологий, организации технического сервиса в АПК : материалы Междунар. науч.-практ. конф. “Белагро–2019”, Минск, 6–7 июня 2019 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 399–403.

25–А. Бондарчук, О. В. Взаимосвязь влаги и электрических параметров сыпучих материалов (на примере пивоваренного ячменя) / О. В. Бондарчук, Е. А. Кононюк, Д. М. Литвинюк / Техническое и кадровое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: материалы Междунар. научн.-практ. конф., Минск, 24–25 октября 2019 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; редкол.: И. Н. Шило [и др.]. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 326–328.

26–А. Бондарчук, О. В. Повышение качества солода обработкой пивоваренного ячменя переменным электрическим полем / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский, А. В. Метельский // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф, Минск, 19–20 декабря 2019 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2019. – С. 129–131.

27–А. Пашинский, В. А. Повышение энергоэффективности производства солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Сахаровские чтения 2020 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2020 : environmental problems of the XXI century : материалы 20-й международной научной конференции, 21–22 мая 2020 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2020. – Ч. 2. – С. 416–420.

28–А. Бондарчук, О. В. Электроактивация ячменя в переменном электрическом поле при производстве солода / О. В. Бондарчук // Актуальные проблемы устойчивого развития сельских территорий и кадрового обеспечения АПК : материалы Международной научно-практической конференции, Минск, 3–4 июня 2021 г. / редкол.: Н. Н. Романюк [и др.]. – Минск, БГАТУ, 2021. – С. 360–363.

29–А. Пашинский, В. А. Снижение энергоемкости процесса производства пивоваренного солода / В. А. Пашинский, О. В. Бондарчук // Сахаровские чтения 2021 года: экологические проблемы XXI века = Sakharov readings 2021 : environmental problems of the XXI century : материалы 20-й международной научной конференции, 21–22 мая 2021 г., г. Минск, Республика Беларусь : в 2 ч. / Междунар. гос. экол. ин-т им. А. Д. Сахарова Бел. гос. ун-та; редкол.: А. Н. Батян [и др.]; под ред. д-ра ф.-м. н., проф. С. А. Маскевича, к. т. н., доцента М. Г. Герменчук. – Минск : ИВЦ Минфина, 2021. – Ч. 2. – С. 305–308.

30–А. Бондарчук, О. В. Электроактивация пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле / О. В. Бондарчук // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф, Минск, 21–22 декабря 2021 г. / Белорус. гос. аграрн. техн. ун-т ; под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2021. – С. 161–163.

31–А. Бондарчук О. В. Технология электроактивации пивоваренного ячменя при производстве солода / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский // Передовые технологии и материалы будущего : материалы IV Международной научно-технической конференции “Минские научные чтения – 2021”, Минск, 9 декабря 2021 г. / Белорус. гос. технолог. ун-т ; редкол.: И. А. Войтов [и др.]. – Минск : БГТУ, 2021. – Т. 1. – С. 49–52.

32–А. Бондарчук, О. В. Интенсификация солодопроизводства электроактивацией пивоваренного ячменя / О. В. Бондарчук // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали III Міжнар. наук.-практ. Інтернет-конференції, Мелітополь, 01–26 листопада 2021 р. / ТДАТУ: редкол.: В. М. Кюрчев, В. Т. Надикто, О. Г. Скляр [та ін.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2021. – С. 312–315.

33–А. Бондарчук, О. В. Технология электроактивации ячменя при производстве солода / О. В. Бондарчук // Технічне забезпечення інноваційних технологій в агропромисловому комплексі: матеріали II Міжнар. наук.-практ. конференції молодих учених, Мелітополь, 01–25 лютого 2022 р. / ТДАТУ : редкол.: В. М. Кюрчев, О.А. Еременко, Н.І. Болтянська [та ін.]. – Мелітополь: ТДАТУ, 2022. – С. 215.

34–А. Бондарчук, О. В. Электрообработка пивоваренного ячменя как способ интенсификации производства солода / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский // Производство и переработка сельскохозяйственной продукции : материалы VIII Междунар. научн.-практ. конф., Воронеж, 23–25 ноября 2022 г. / редкол.: В.А. Агибалов (гл. ред.). – Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2022. – С. 121–127.

35–А. Бондарчук, О. В. Установка электрообработки пивоваренного ячменя перед солодопроизводством / О. В. Бондарчук // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф., посв. 65-летию агроэнергетич. факульт. и 100-летию И. Ф. Кудрявцева, Минск, 21–22 декабря 2022 г. / под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2023. – С. 166–169.

36–А. Бондарчук, О. В. Схема замещения загруженной электродной системы электроактиватора / О. В. Бондарчук // Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК : материалы Междунар. научн.-техн. конф., посв. 65-летию агроэнергетич. факульт. и 100-летию И. Ф. Кудрявцева, Минск, 21–22 декабря 2022 г. / под ред. И. В. Протосовицкого. – Минск : БГАТУ, 2023. – С. 169–171.

Патенты на изобретения

37–А. Способ обработки пивоваренного ячменя в сухом виде : пат. ВУ 22032 / О. В. Бондарчук, В. А. Пашинский, Н. Ф. Бондарь. – Оpubл. 30.10.20.

РЭЗІЮМЭ

Бандарчук Аксана Уладзіміраўна

ПАВЫШЭННЕ ЯКАСЦІ СОЛАДУ АПРАЦОЎКАЙ ПІВАВАРНАГА ЯЧМЕНЮ Ў ПЕРАМЕННЫМ ЭЛЕКТРЫЧНЫМ ПОЛІ

Ключавыя словы: піваварны ячмень, солад, якасць соладу, энергія росту, амілалітычная актыўнасць, экстрактыўнасць соладу, ацукраваемасць сусла, пераменнае электрычнае поле

Мэта даследавання: павысіць якасць соладу шляхам апрацоўкі піваварнага ячменю ў пераменным электрычным полі.

Метады даследавання: тэарэтычныя даследаванні праводзіліся на аснове законаў электратэхнікі і навуковых прынцыпаў, распрацаваных вядучымі навукоўцамі па фундаментальных і прыкладных навуках. Эксперыментальныя – на аснове агульнапрынятых стандартных метадаў даследаванняў, а таксама статыстычнай апрацоўцы дадзеных з прымяненнем пакетаў прыкладных камп’ютарных праграм і вымяральной апаратуры. Апрацоўка піваварнага ячменю ажыццяўлялася на макеце распрацаванай устаноўкі. Даследаванні фізічных і хімічных паказчыкаў піваварнага ячменю і соладу ажыццяўляліся ў адпаведных акрэдытаваных лабараторыях.

Атрыманыя вынікі і іх навізна. Упершыню ўстаноўлена, што пераменнае электрычнае поле вызначаных параметраў аказвае ўплыў на энергію прарастання піваварнага ячменю, амілалітычную актыўнасць соладу, экстрактыўнасць соладу, ацукраваемасць сусла, а таксама спрыяе скарачэнню часу соладавырошчвання.

Атрымана матэматычная мадэль уплыву параметраў пераменнага электрычнага поля на экстрактыўнасць соладу.

Навізна тэхнічных рашэнняў пацверджана патэнтам ВУ № 22023 С1 ад 2018.06.30.

Рэкамендацыі па выкарыстанню. Распрацаваныя на аснове атрыманых вынікаў тэхналагічныя і тэхнічныя патрабаванні, а таксама канструкцыя ўстаноўкі дазваляюць выкарыстоўваць дадзены спосаб апрацоўкі піваварнага ячменю ў пераменным электрычным полем у піваварнай і соладавай вытворчасці для інтэнсіфікацыі працэсу соладавырошчвання.

Вобласць ужывання: НДІ сельскагаспадарчага профілю, праектныя і канструктарскія арганізацыі піваварных прадпрыемстваў, піваварныя прадпрыемствы з уласным соладавым цэхам, соладавыя прадпрыемствы, навучальны працэс тэхнічных ВНУ.

РЕЗЮМЕ

Бондарчук Оксана Владимировна

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЛОДА ОБРАБОТКОЙ ПИВОВАРЕННОГО ЯЧМЕНЯ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Ключевые слова: пивоваренный ячмень, солод, качество солода, энергия роста, амилолитическая активность, экстрактивность солода, осахаривание суслу, переменное электрическое поле

Цель исследования: повысить качество солода путем обработки пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле.

Методы исследования: теоретические исследования проводились на основе законов электротехники и научных принципах, разработанных ведущими учеными по фундаментальным и прикладным наукам. Экспериментальные – на основе общепринятых стандартных методов исследований, а также статистической обработки данных с применением пакетов прикладных компьютерных программ и измерительной аппаратуры. Обработка пивоваренного ячменя осуществлялась на макете разработанной установки. Исследования физических и химических показателей пивоваренного ячменя и солода осуществлялись в соответствующих аккредитованных лабораториях.

Полученные результаты и их новизна. Впервые установлено, что переменное электрическое поле определенных параметров оказывает влияние на энергию прорастания пивоваренного ячменя, амилолитическую активность солода, экстрактивность солода, осахариваемость суслу, а также способствует сокращению времени солодоращения.

Получена математическая модель влияния параметров переменного электрического поля на экстрактивность солода.

Новизна технических решений подтверждена патентом ВУ 22023 С1 от 2018.06.30.

Рекомендации по использованию. Разработанные на основе полученных результатов технологические и технические требования, а также конструкция установки позволяют использовать данный способ обработки пивоваренного ячменя в переменном электрическом поле в пивоваренном и солодовенном производстве для интенсификации процесса производства ячменного солода.

Область применения: НИИ сельскохозяйственного профиля, проектные и конструкторские организации пивоваренных предприятий, пивоваренные предприятия с собственным солодовенным цехом, солодовенные предприятия, учебный процесс технических вузов.

SUMMARY

Bondarchuk Oksana Vladimirovna

IMPROVING MALT QUALITY BY TREATING MALTING BARLEY IN AN ALTERNATING ELECTRIC FIELD

Keywords: brewing barley, malt, malt quality, growth energy, amylolytic activity, malt extractivity, mash saccharitability, alternating electric field

The purpose of the work: to improve the quality of malt by treating malting barley in an alternating electric field.

Methods of research: theoretical researches were conducted on the basis of laws of electrical engineering and scientific principles developed by leading scientists on fundamental and applied sciences. Experimental researches were conducted on the basis of standard methods of researches as well as statistical data processing using packets of applied computer programs and measuring equipment. Processing of brewing barley was carried out on the model of the designed installation. Researches of physical and chemical indicators of brewing barley and malt were conducted in the relevant accredited laboratories.

The results obtained and their novelty. It was defined for the first time that alternating electric field of certain parameters has an impact on energy of germination of brewing barley, amylolytic activity of malt, malt extractivity, mash saccharitability and also helps to reduce of time of malt cultivation.

The mathematical model of influence of parameters of alternating electric field on a malt extractivity is obtained.

The novelty of technical solutions is confirmed with the BY № 22023 C1 patent dated 2018.06.30.

Application recommendations. The production and technical requirements developed on the basis of the obtained results as well as installation designed allow to use this method of processing of brewing barley in an alternating electric field in brewing and malting production in order to intensify the process of malt production.

Field of application: agricultural scientific research institutes, design and construction department of breweries, brewing enterprises with their own malting workshops, malting enterprises, educational process in technical colleges.



Научное издание

БОНДАРЧУК Оксана Владимировна

**ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СОЛОДА ОБРАБОТКОЙ ПИВОВАРЕННОГО
ЯЧМЕНЯ В ПЕРЕМЕННОМ ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.20.02 – электротехнологии и электрооборудование
в сельском хозяйстве (технические науки)

Ответственный за выпуск О.В. Бондарчук
Компьютерная верстка О.В. Бондарчук

Подписано в печать 29.09.2023. Формат 60×84 ¹/₁₆.
Бумага офсетная. Ризография+XEROX 700DCP.
Усл. печ. л. 1,63. Уч.-изд. л. 1,27. Тираж 60 экз. Заказ 548.

Издатель и полиграфическое исполнение:
учреждение образования

«Белорусский государственный аграрный технический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя,
распространителя печатных изданий

№ 1/359 от 09.06.2014.

№ 2/151 от 11.06.2014.

Пр-т Независимости, 99–1, 220012, Минск.