



ISSN 2078-7138

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 1
ФЕВРАЛЬ
2014

В номере:

*Оборудование для получения
добавок к комбикормам*

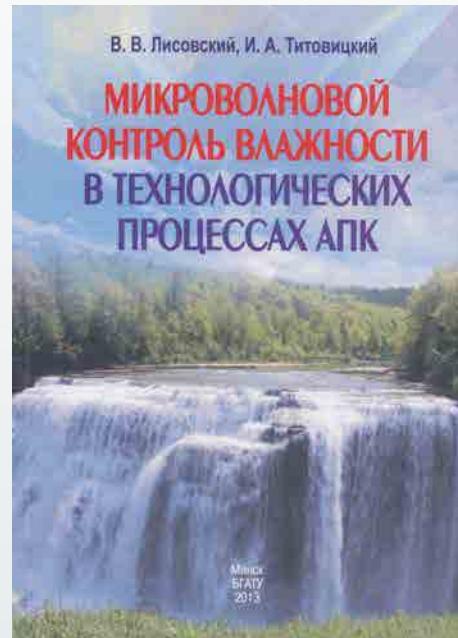
*Стимулирование всхожести семян
электроактивированными
водными растворами*

*Сравнительная оценка энергетической
эффективности модернизации
осветительных установок*

*Анализ и прогнозирование отказов
в распределительных сетях*



НАШИ ИЗДАНИЯ

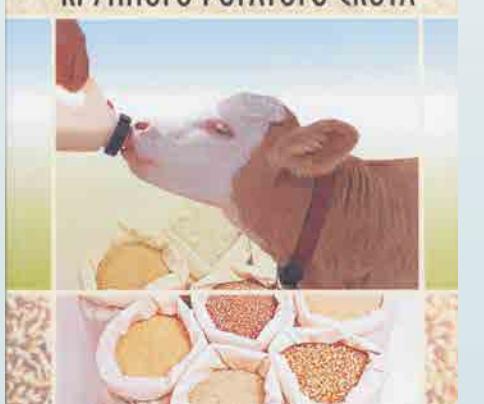


Лисовский, В. В. Микроволновой контроль влажности в технологических процессах АПК / В. В. Лисовский, И. А. Титовицкий. – Минск: БГАТУ, 2013. – 400 с.

В монографии освещены теоретические основы микроволновых методов контроля влажности твердых, жидких и сыпучих сельскохозяйственных материалов. Приводятся результаты экспериментальных исследований основных типов первичных измерительных преобразователей микроволновых влагомеров. Дается методика инженерного расчета основных узлов устройств контроля влажности. Приведены результаты разработки и внедрения в сельскохозяйственное производство свыше 40 типов отечественных влагомеров «Микрорадар» и «Аквар-систем», а также описание и технические характеристики микроволновых измерителей влажности ведущих зарубежных производителей.

Предназначается для инженерно-технических работников, специализирующихся в области сельскохозяйственного приборостроения, автоматизации и контроля производственных процессов в АПК, а также студентов старших курсов и аспирантов высших сельскохозяйственных учебных заведений.

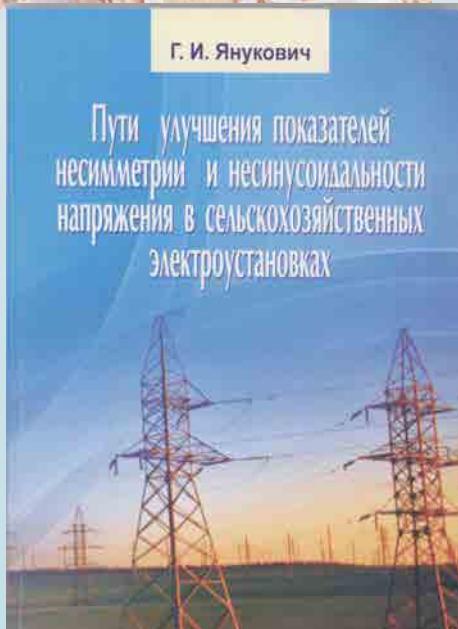
Люндышев, В. А. Минеральные добавки в кормлении молодняка крупного рогатого скота / В. А. Люндышев. – Минск: БГАТУ, 2013. – 208 с.



В монографии изложена обзорная информация и результаты исследований по повышению эффективности использования кормов для животных путем включения в рационы новых источников минерального питания. Приведены материалы по влиянию комплексных минеральных добавок, бромистых и йодистых препаратов в составе различных типов рационов на переваримость и использование питательных веществ животными, продуктивность молодняка и экономическую эффективность производства говядины.

Адресуется научным работникам, специалистам сельского хозяйства, преподавателям, аспирантам и студентам сельскохозяйственных научных и учебных организаций, слушателям ИПК и ПК АПК.

Янукович, Г. И. Пути улучшения показателей несимметрии и несинусоидальности напряжения в сельскохозяйственных электроустановках / Г. И. Янукович. – Минск: БГАТУ, 2013. – 216 с.



Изложены основные положения государственного стандарта на качество электрической энергии (ГОСТ 13109-97), приведены показатели качества электроэнергии и требования, предъявляемые к ним. Дан анализ способов повышения качества напряжения. Приведены теоретические и экспериментальные результаты исследования трансформаторов, рекомендованных кафедрой электроснабжения для повышения качества напряжения.

Издание предназначено для научных работников, руководителей и специалистов сельскохозяйственных предприятий, преподавателей и студентов учреждений образования.

АГРОПАНОРАМА 1 (101) февраль 2014

Издается с апреля 1997 г.

Научно-технический журнал
для работников
агропромышленного комплекса.
Зарегистрирован в Министерстве
информации Республики Беларусь
21 апреля 2010 года.
Регистрационный номер 1324

*Учредитель
Белорусский государственный
аграрный технический университет*

*Главный редактор
Иван Николаевич Шило*

*Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов*

Редакционная коллегия:

И.М. Богдевич Н.В. Казаровец
Г.И. Гануш А.Н. Карташевич
Л.С. Герасимович Л.Я. Степук
В.Н. Дацков В.Н. Тимошенко
Е.П. Забелло А.П. Шпак
П.П. Казакевич

В.Г. Леван – ответственный секретарь
Н.И. Цындриня – редактор

*Комьюнитерная верстка
В.Г. Леван*

Адрес редакции:

Минск, пр-т Независимости, д.99/1, к. 220
Тел. (017) 267-47-71 Факс (017) 267-41-16

Прием статей и работа с авторами:

Минск, пр-т Независимости, д.99/5, к. 602, 608
Тел. (017) 385-91-02, 267-22-14
Факс (017) 267-25-71
E-mail: AgroP@batu.edu.by

БГАТУ, 2014, Издание университетское.
Формат издания 60 x 84 1/8.
Подписано в печать с готового оригинала-
макета 21.02.2014 г. Зак. № 152 от 21.02.2014 г.
Дата выхода в свет 28.02.2014 г.
Печать офсетная. Тираж 100 экз.
Статьи рецензируются.
Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск,
пр-т. Независимости, 99, к.2
ЛП № 02330/0552743 от 2.02.2010 г.
Выходит один раз в два месяца.
Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.
Цена подписки журнала на 1-ое полугодие 2014 г.:
для индивидуальных подписчиков - 104850 руб.;
ведомственная - 146808 руб.;
Цена журнала в киоске БГАТУ - 31000 руб.

При перепечатке или использовании
публикаций согласование с редакцией
и ссылка на журнал обязательны.
Ответственность за достоверность
рекламных материалов несет рекламодатель.

ЧИТАЙТЕ В НОМЕРЕ

Сельскохозяйственное машиностроение.

Металлообработка

- Л.А. Сиваченко, М.А. Киркор**
Оборудование для получения добавок к комбикормам.....4

Технологии производства продукции растениеводства и животноводства.

Зоотехния

- В.С. Корко, П.В. Кардашов, И.Б. Дубодел, С.А. Козар**
Стимулирование всхожести семян электроактивированными
водными растворами.....7

Д. Н. Лысенко

- Теоретические основы фракционирования листостебельчатой массы
изменением параметров слоя на штифтовых барабанах.....11

П.В. Заяц

- Экономическая и энергетическая эффективность использования
комбинированного агрегата для сбора колорадского жука при
возделывании экологически чистого картофеля.....14

Технологии переработки продукции АПК

А.М. Мазур

- Научно-практические основы замачивания ржи при производстве
ржаного солода.....17

Л.В. Сафоненко, Н.К. Жабанос, Н.Н. Фурик

- Подбор пробиотических микроорганизмов по основным
производственно-ценным свойствам, предназначенных
для производства продуктов детского питания.....21

Энергетика. Транспорт

В.П. Степанцов

- Сравнительная оценка энергетической эффективности
модернизации осветительных установок.....26

А.И. Шакирин

- Использование метода электротепловой аналогии для
моделирования процессов теплопередачи электрическими
цепями с нелинейными резистивными элементами.....29

**И.В. Протосвицкий, А.И. Зеленъкевич,
Д.А. Кулаковский, А.И. Науменко**

- Анализ и прогнозирование отказов в распределительных сетях.....33

Ресурсосбережение. Экология

Р.Г. Дубас

- Организация реабилитации отдельных категорий земель лесного
фонда, загрязненных радионуклидами.....38

Технический сервис в АПК.

Экономика

Л.М. Акулович, Д.Б. Ермашкевич

- Методические основы интеграции систем автоматического
проектирования технологических процессов резки заготовок
из листа и их механической обработки.....43

Н.В. Исаеня

- Определение параметров настройки прибора для измерения
концентрации моющих растворов программным способом.....46

**Доктору технических наук, профессору, академику
НАН Беларуси Леониду Степановичу Герасимовичу – 75 лет**



7 января исполнилось 75 лет со дня рождения доктора технических наук, профессора, академика Национальной академии наук Беларуси Леонида Степановича Герасимовича – известного ученого в аграрной энергетике, заслуженного работника образования Республики Беларусь.

Л.С. Герасимович родился в 1939 г. в г. Минске. После завершения учебы в десятилетней школе №15 г. Минска, в 1955 году поступил в Минский энергетический техникум. Окончив его в 1958 году, работал сначала монтажником КИП на Смолевичской ГРЭС, затем старшим мастером в институте энергетики АН БССР. В 1959 году Л.С. Герасимович поступил на заочный факультет Белорусского института механизации сельского хозяйства и перешел работать старшим лаборантом на кафедру электротехники института. С сентября 1959 года по август 1962 года Л.С. Герасимович проходил срочную службу в рядах Советской Армии. После

службы в армии продолжал учебу на заочном факультете БИМСХ и одновременно работал конструктором, а затем старшим инженером исследовательской лаборатории в СКБ-3 Минавтопрома. В 1967 г., после окончания Белорусского института механизации сельского хозяйства поступил в очную аспирантуру БИМСХ по специальности «Электрификация сельскохозяйственного производства». В 1970 г. под руководством доктора технических наук, профессора И.Ф. Кудрявцева успешно защитил кандидатскую диссертацию.

С 1970 г. по 1978 г. Леонид Степанович – ассистент, старший преподаватель, доцент кафедры применения электроэнергии в сельском хозяйстве, декан факультета электрификации сельского хозяйства. В последующие годы (1978–1987) – старший научный сотрудник, докторант БИМСХ, заведующий кафедрой теплотехники и гидравлики, которая по его инициативе была преобразована в кафедру энергетики.

В 1982 г. Л.С. Герасимович защитил докторскую диссертацию на тему: «Научно-технические основы низкотемпературного поверхностно-распределенного электронагрева в сельском хозяйстве», а через три года ему было присвоено ученое звание профессора.

В 1988 г. Л.С. Герасимович назначен на должность проректора по научной работе, и в этом же году избран на должность ректора БИМСХ, в которой проработал до 2003 г. В этот период под руководством Леонида Степановича и при непосредственном его участии в БГАТУ организована подготовка кадров по новым специальностям и специализациям не только инженерного, но и экономического профиля, расширяется внебюджетная деятельность. При университете создана ассоциация ПТУ-ССУЗ-БГАТУ, включающая 20 ПТУ, 8 ССУ и 2 колледжа. Осуществляется непрерывная интегрированная система аграрного технического образования, организовано обучение учащихся в агротехнических классах средних школ и в агротехнических лицеях на базе ПТУ. Как результат, в 1992 г. одним из первых в независимой Беларуси БИМСХ приобрел статус Белорусского государственного аграрного технического университета.

Практическая подготовка студентов организована более чем на 100 базовых сельскохозяйственных предприятиях. Совместно с МТЗ, БЕЛНИИМСХ и другими аграрными НИИ создана сеть филиалов кафедр.

В 1992 г. за существенный вклад в развитие сельскохозяйственной науки Л.С. Герасимович был избран членом-корреспондентом, а в 1996 г. – академиком Академии аграрных наук Республики Беларусь. С 2003 г. – академик Национальной академии наук Беларуси.

Основные результаты научных исследований Л.С. Герасимовича связаны с разработкой новой элементной базы низкотемпературного электронагрева – пленочных электронагревателей для энергосберегающих систем микроклимата, установок для сушки и тепловой обработки пищевых продуктов и сред, энергосберегающих систем микроклимата для животных и птицы, электротехнологических методов обработки влажных кормов, новых принципов автоматизации электротепловых технологических процессов на базе саморегулируемых электронагревателей, системных исследований в аграрной энергетике, в том числе с использованием современных компьютерных информационных технологий.

Л.С. Герасимович развел теорию и практику системного анализа электроэнергетики. Разработал научные основы автоматизированных систем питания растений на искусственных субстратах, в том числе из отечественного сырья. Создал при БГАТУ научно-практический центр тепличного овощеводства, в результате научной деятельности которого большинство зимних теплиц республики переведено на современные энергоресурсоэффективные автоматизированные малообъемные технологии выращивания овощей на искусственных субстратах.

Леонид Степанович был инициатором, организатором и создателем КУП «Минский областной инновационный центр» Минского областного исполнительного комитета, факультета управления в Институте современных знаний имени А.М. Широкова.

Л.С. Герасимович – автор более 400 научных и учебно-методических работ, в том числе более 20 книг и учебных пособий. Под его научным руководством и консультированием защищено 11 кандидатских и 4 докторских диссертаций.

За успехи в научной и педагогической деятельности Л.С. Герасимович награжден медалью «За трудовые заслуги», четырьмя медалями ВДНХ СССР, нагрудными знаками «Отличник образования», «Изобретатель СССР», а также Почетными грамотами Министерства образования, Министерства сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь, Национальной академии наук Беларуси, Госкомитета по науке и технологиям и других учреждений и организаций Беларуси, университетов Нитра (Словакия) и Щетина (Польша). Ему присвоено почетное звание «Заслуженный работник образования Республики Беларусь».

В течение многих лет Л.С. Герасимович работал в экспертных советах ВАК СССР и Республики Беларусь, был членом специализированных докторских и кандидатских советов, различных республиканских и международных комитетов, научных, экспертных и редакционных советов, возглавлял общественную организацию «Знание» столичной области.

Встречая свой 75-летний юбилей, Л.С. Герасимович продолжает и далее плодотворно трудиться в университете и Национальной академии наук Беларуси.

Ректорат, редакция журнала «Агропанorama», агрогенеретический факультет, со-трудники и студенты университета сердечно поздравляют Леонида Степановича с юбилеем!

Уважаемый, Леонид Степанович! Желаем Вам крепкого здоровья, счастья, благополучия и дальнейших творческих успехов на благо родной Беларуси!

**И.Н. Шило,
ректор БГАТУ,
главный редактор
журнала «Агропанorama»**

Сельскохозяйственное машиностроение

Металлообработка

УДК 621.926; 621.928

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 26.08.2013

ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ДОБАВОК К КОМБИКОРМАМ

Л.А. Сиваченко, докт. техн. наук, профессор (ГУВПО «Белорусско-российский университет»);
М.А. Киркор, канд. техн. наук, доцент (МГУП)

Аннотация

Приведены схемы технологических линий для получения добавок к комбикормам, на которых проведены экспериментальные исследования процессов измельчения и разделения полидисперсных материалов. В результате экспериментальных исследований выявлено влияние технологических и кинематических параметров проведения процессов на характерные размеры частиц полученных порошков.

Schemes of technological lines for reception of additives to mixed fodders on which experimental researches of processes of crushing and division of polydisperse materials spent are given. As a result of experimental researches the influence of technological and kinematic parameters of carrying out of processes on the characteristic sizes of particles of the received powders is revealed.

Введение

Современное производство комбикормов базируется на новейших достижениях науки о кормлении сельскохозяйственных животных. Применение в животноводстве кормов, сбалансированных по питательным веществам с учетом детализированных норм кормления сельскохозяйственных животных и птицы, вовлечение в кормовую базу дополнительных объемов незернового и белкового сырья позволяет снизить удельный вес зерна в концентрированных комбикормах, улучшить полноценность кормления животных, существенно повысить их продуктивность и эффективность использования кормов, в том числе и зерна, выделяемого на кормовые цели. Полноценный комбикорм должен обладать всеми качествами полноценного рациона, обеспечивающего высокую продуктивность и качество продукции, хорошее состояние здоровья животных и низкие затраты питательных веществ на единицу продукции. В Республике Беларусь создана промышленность по выработке обогатительных смесей-премиксов. Их применение позволяет существенно повысить биологическую ценность комбикормов и рационов и на основе этого улучшить продуктивность и воспроизводительные способности сельскохозяйственных животных.

Одними из важных компонентов, входящих в составы рецептур комбикормов, являются: известняк, свекловичный жом и рапсовый жмых. Они используются, например, в рецептурах полнорационных комбикормов и премиксов для кур яичных пород, кроликов, нутрий и т.д., а также для молодняка крупного рогатого скота на откорме [1]. В последнее время все большее применение в качестве добавки к комбикормам находит тонкодисперсный порошок какаовеллы, который также используют как мульчу для обогащения почвы.

Основная часть

Для исследования процесса измельчения известняка и материалов растительного происхождения,

которые могут быть использованы в качестве добавок к комбикормам, были спроектированы и разработаны технологические линии, схемы которых представлены на рис. 1 и 2.

Линия (рис. 1) [2] работает следующим образом. Исходный материал загружается посредством кюбелей в приемный бункер 1, из которого шнековым питателем 2 равномерно подается в дробилку ударного действия с вертикальным ротором 3.

В дробилке материал измельчается ударными рабочими элементами до требуемой крупности и выгружается в бункер-накопитель 4. Далее материал посредством кюбеля 5 поднимается мостовым краном и перегружается в бункер 8, из которого шнековым питателем 9 поступает в полочную сушилку 7, в которой подсушивается топочными газами с температурой 220 °C, подаваемыми от газовой горелки 6, и проходя по наклонным полкам, сушится от начальной влажности – 5-12 % до конечной влажности – 1-3 %. Тонкая фракция вместе с топочными газами отсасывается дымососом 15. Пылеунос, происходящий в сушилке 7, компенсируется циклоном 12, где мелкие частицы, а их 7-8 % в пересчете на сухое вещество,

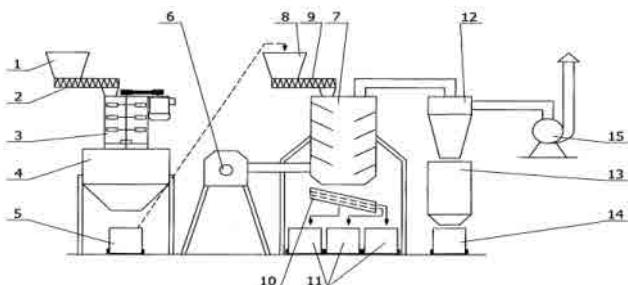


Рисунок 1. Схема технологической линии для получения известняковой муки:

1 – приемный бункер; 2 – шнековый питатель; 3 – дробилка; 4 – бункер-накопитель; 5 – кюбель; 6 – калорифер; 7 – полочная сушилка; 8 – приемный бункер; 9 – шнековый питатель; 10 – грохот; 11, 13, 14 – приемные бункера; 12 – циклон; 15 – дымосос

осаждаются и собираются в бункер 13, из которого отбираются кюбелями 14 и вместе с фракцией, отобранной в грохоте 10, образуют целевой продукт – известняковую муку.

Материал, прошедший через сушилку, выгружается в грохот 10, где делится на три фракции (от 0 до 1 мм; 1 – 3 мм; более 3 мм). Первые две фракции отвозятся кюбелями 11 как готовый продукт, а материал крупнее 3 мм, которого в общем количестве около 20 %, повторно загружается в бункер 1 и идет на доизмельчение.

Линия, представленная на рис. 2, работает следующим образом. Посредством ременной передачи 2 от электродвигателя 1 приводится во вращение ротор измельчителя 4. Исходный продукт шнековым питателем 5 подается в верхнюю часть измельчителя 4. Измельченный продукт поступает на разделение в классификатор 6, из которого грубая фракция, имеющая размеры больше требуемого, отводится на доизмельчение, а тонкая фракция поступает в циклон 7, где собирается в бункере готового продукта, и циклон 8, который рабо-

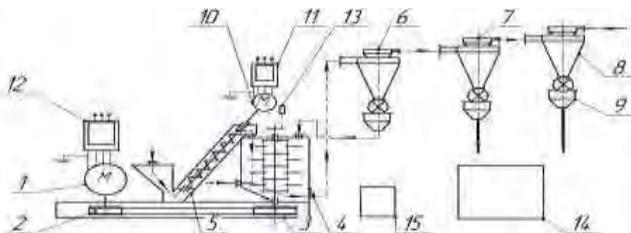


Рисунок 2. Схема технологической линии для получения тонкодисперсных порошков из материалов растительного происхождения:

1 – электродвигатель; 2 – ременная передача; 3 – рама; 4 – измельчитель; 5 – шнековый питатель; 6 – классификатор; 7,8 – циклон; 9 – бункер; 10 – электродвигатель; 11, 12 – частотный преобразователь; 13 – лазерный фототахометр; 14 – седиментограф; 15 – весы

тает в качестве фильтра для очистки воздуха.

Контроль и регулирование кинематических параметров работы линии осуществляется при помощи частотных преобразователей 11 и 12, а также лазерного фототахометра 13. Фракционный состав полученных порошков определяется при помощи седиментографа 14, а производительность по готовому продукту – весов 15.

Объектами исследований процесса измельчения являлись природный известняк, свекловичный жом, рапсовый жмых и какаовелла.

В результате исследований были получены порошки с максимальными размерами (5 мм – известняковая мука, 1 мм – свекловичный жом и 0,75 мм – рапсовый жмых), фракционные составы которых описаны при помощи закона распределения Розина-Раммлера, имеющего вид [3]

$$R(d) = \exp(-B \cdot d^N), \quad (1)$$

где B и N – эмпирические константы.

Эти константы определяются соотношениями

$$N = \frac{\ln(\ln(1/R_1)/\ln(1/R_2))}{\ln(d_1/d_2)}, \quad (2)$$

$$B = \frac{1}{d_1^N} \ln \frac{1}{R_1}, \quad (3)$$

где R_1, R_2 – значения ординат интегральной функции в двух точках кривой;
 d_1, d_2 – значения абсцисс в тех же точках.

Зависимость (1) адекватно описывает опытные точки $R_i(d)$ или сглаживающие их кривые $R(d)$ в широком диапазоне размеров частиц при рациональном выборе значений пар $R_1 - d_1, R_2 - d_2$. Они должны быть сосредоточены в той области распределения, которую необходимо наиболее точно описать. Для описания всей кривой гранулометрического состава $R(d)$ рекомендуется использовать значения на отрезке, близком к прямой линии $R_1 = 0,65 - 0,8$ и $R_2 = 0,1 - 0,25$ [3].

В результате математической обработки были получены выражения, описывающие фракционные составы полученных порошков:

– для известняковой муки

$$R(d) = \exp(-9,8 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,45}); \quad (4)$$

– для свекловичного жома

$$R(d) = \exp(-4,2 \cdot 10^{-4} \cdot d^{1,43}); \quad (5)$$

– для рапсового жмыха

$$R(d) = \exp(-3,2 \cdot 10^{-4} \cdot d^{1,51}). \quad (6)$$

Кроме того, на технологической линии, представленной на рис. 2, проводились исследования процессов получения порошка какаовеллы при изменении частоты вращения ротора классификатора n (от 1980 до 2700 об/мин с шагом 180 об/мин) и производительности линии по готовому продукту M (от 25 до 60 кг/ч).

В результате исследований были получены тонкодисперсные порошки, некоторые фракционные составы которых (при производительности 25 кг/ч) в виде дифференциальных кривых распределения частиц по размерам представлены на рис. 3 [4].

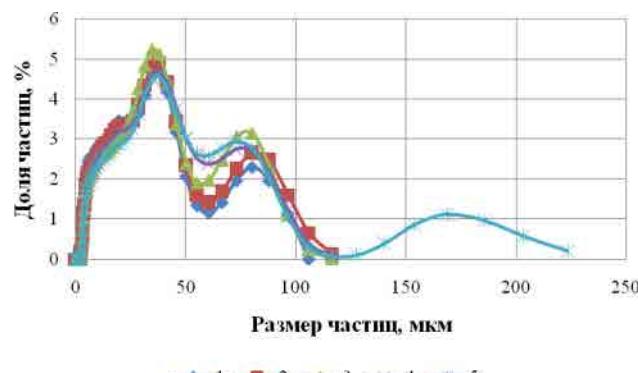


Рисунок 3. Гранулометрические составы полученных порошков при производительности 25 кг/ч:
1 – 2700 об/мин; 2 – 2520 об/мин; 3 – 2340 об/мин; 4 – 2160 об/мин; 5 – 1980 об/мин

Основными параметрами, характеризующими гранулометрический состав порошков, являются характеристические размеры, в частности, d_{10} (диаметр, при котором 10 % всех частиц порошка имеют меньший размер), медианный диаметр d_{50} (диаметр, при котором 50 %

Таблица 1. Характерные размеры частиц полученных порошков

Размер	Параметры проведения эксперимента				
	M=25 кг/ч, n=2700 об/мин	M=25 кг/ч, n=2520 об/мин	M=25 кг/ч, n = 2340 об/мин	M=25 кг/ч, n = 2160 об/мин	M=25 кг/ч, n = 1980 об/мин
1	2	3	4	5	6
d ₁₀ , мкм	5,2	5,6	5,9	5,9	6
d ₅₀ , мкм	19,7	22,3	24,7	23,9	26,7
d ₉₀ , мкм	59,2	68,7	69,4	67,9	77,5
	M=30 кг/ч, n=1980 об/мин	M=37,5 кг/ч, n=1980 об/мин	M=50 кг/ч, n=1980 об/мин	M=60 кг/ч, n=1980 об/мин	циклон 8
d ₁₀ , мкм	6,2	6,1	6	6	3
d ₅₀ , мкм	27,6	28,7	28,2	29,2	12
d ₉₀ , мкм	85,7	89,1	99	95,6	65

всех частиц порошка имеют меньший размер) и d₉₀ (диаметр, при котором 90 % всех частиц порошка имеют меньший размер) [5]. В табл. 1 представлены значения этих параметров для полученных порошков при разных параметрах проведения процесса, а также фракционный состав порошков после циклона 8.

Анализируя данные, представленные в табл. 1, можно сделать вывод о том, что характерные размеры частиц обратно пропорциональны частоте вращения ротора классификатора, что объясняется увеличением центробежной силы. Кроме того, можно заметить, что с увеличением производительности по готовому продукту увеличиваются и характерные размеры частиц, что объясняется увеличением концентрации твердой фазы в объеме установки, а соответственно, и увеличением нагрузки на аппарат.

Основным требованием, предъявляемым к порошку какаовеллы, является величина среднего размера фракции, т.е. он должен лежать в диапазоне от 15 до 30 мкм. В результате математической обработки экспериментальных данных было получено выражение, описывающее зависимость среднего размера частиц от частоты вращения ротора классификатора при производительности установки M = 25 кг/ч, которое имеет вид

$$d_{50} = 495,7n^{-0,835}. \quad (7)$$

На рис. 4 представлена корреляция экспериментальных и расчетных данных.

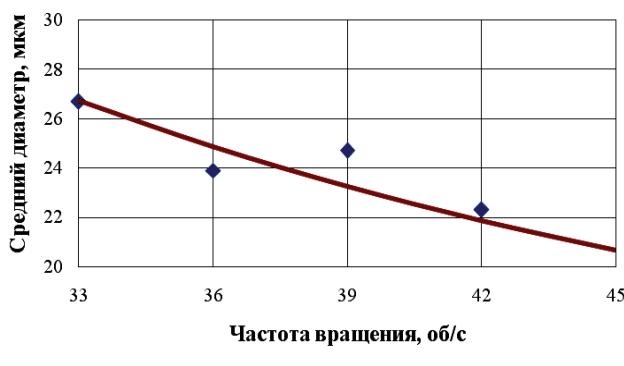


Рисунок 4. Корреляция расчетных и экспериментальных данных: 1 – эксперимент; 2 – расчет по выражению (7)

Заключение

Предлагаемая технологическая линия для производства известняковой муки обеспечивает получение 58 % продукта крупностью 1-3 мм, соответствующего требованиям ГОСТ 26826-86 «Мука известняковая для производства комбикормов и подкормки сельскохозяйственных животных и птицы», 39 % материала крупностью менее 1 мм, идущего на раскисление почвы и 3 % материала теряется из-за пылеуноса на всех стадиях технологического процесса. В свою очередь, линия для получения тонкодисперсных порошков из материалов растительного происхождения пригодна для получения порошков, удовлетворяющих предъявляемым к ним требованиям. В результате экспериментальных исследований установлено, что характерные размеры частиц обратно пропорциональны частоте вращения ротора классификатора и прямо пропорциональны производительности установки по готовому продукту.

ЛИТЕРАТУРА

- Комбикорма, кормовые добавки и ЗЦМ для животных (состав и применение): справоч. / В.А. Крохина [и др]. – М.: Агропромиздат, 1990. – 304 с.
- Технологические аппараты адаптивного действия / Л.А. Сиваченко [и др.]. – Минск: Изд. центр БГУ, 2008. – 375 с.
- Мизонов, В. Е. Аэродинамическая классификация порошков / В.Е. Мизонов, С. Г. Ушаков. – М.: Химия, 1989. – 160 с.
- Киркор, М.А. Разделение тонкодисперсных пищевых порошков на фракции / М.А. Киркор, Р.В. Махлов, И.Н. Никитин // Удосконалення процесів і обладнання – запорука інноваційного розвитку харчової промисловості: матер. Міжнар. науч.-практ. конф., Київ, 10-11 апр. 2012 г. / Нац. ун-т пищ. техн.; редкол.: С.В. Іванов [и др.]. – Київ, 2012. – С. 124-125.
- Коузов, П.А. Основы анализа дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов / П.А. Коузов. – Л.: Химия, 1987. – 264 с.

СТИМУЛИРОВАНИЕ ВСХОЖЕСТИ СЕМЯН ЭЛЕКТРОАКТИВИРОВАННЫМИ ВОДНЫМИ РАСТВОРАМИ

В.С. Корко, канд. техн. наук, доцент, П.В. Кардашов, канд. техн. наук, доцент, И.Б. Дубодел, канд. техн. наук, доцент, С.А. Козар, аспирант (БГАТУ)

Аннотация

Представлены результаты экспериментальных исследований и обоснованы режимы и параметры электроактивированных водных растворов для повышения всхожести и энергии прорастания семян зеленых культур в условиях сооружений защищенного грунта.

Experimental results and substantiated modes and parameters electroactivated aqueous solutions to improve germination and seed vigor of green crops in buildings protected ground are given.

Введение

Успешное решение задач по повышению урожайности сельскохозяйственных культур требует применения высокоеффективных технологий подготовки посевного и посадочного материала.

Традиционно применяемые методы повышения всхожести семян, роста и развития сельскохозяйственных культур с помощью химических и биологических стимуляторов достаточно трудоемки, экологически небезопасны, требуют больших затрат и не всегда дают хороший эффект.

Применение электрофизических методов в семеноводстве наиболее целесообразно при селекции семян, в растениеводстве – при предпосевной обработке семян. Перспективным является применение электрофизических методов в выращивании пряно-ароматических и зеленых растений, спрос на которые с каждым годом растет в Республике Беларусь. При внедрении предлагаемых методов и средств снижается использование пестицидов в целом и становится реальным получение продукции растениеводства по стандарту Green Food (здоровая пища), в чем видится социальная и экологическая значимость исследований [1-5].

Привлекательность технологии электроактивации растворов для сельского хозяйства объясняется тем, что из пресной воды или слабоминерализованной жидкости при относительно небольших затратах могут быть получены эффективные и экологически чистые технологические растворы (анолиты, католиты). Опыты по использованию этих растворов для стимуляции семян самых различных культур (овощных, зерновых, масличных) показывают достаточно высокую эффективность: повышение всхожести, уменьшение вегетативного периода, большая устойчивость к заболеваниям, рост урожайности [2-4].

В то же время результаты исследований в ряде случаев резко отличаются у раз-

личных исследователей, практически отсутствуют сравнительные исследования по влиянию анолитов, католитов и их смесей на всхожесть и проращивание семян зеленых культур.

Целью данной работы являются: обоснование режимов и параметров электроактивированных водных растворов для повышения эффективности процессов стимулирования всхожести и проращивания семян зеленых культур в условиях сооружений защищенного грунта.

Основная часть

Одними из основных посевных показателей качества семян, определяемых государственными стандартами (СТБ 1123-98 и СТБ 1894-2008), являются: их лабораторная всхожесть, энергия прорастания, длина проростков и длина корней. Соответственно, задачей экспериментальных исследований являлось определение влияния электроактивированных растворов с различным уровнем водородного показателя (рН) и окислительно-восстановительного потенциала (ОВП) на вышеуказанные стандартные показатели при обработке семян салата «Курлед» и укропа «Геркулес» по сравнению с проращиванием в обычной водопроводной воде.

В качестве объекта активирования использовали раствор поваренной соли NaCl концентрацией 10 г/л в водопроводной воде, имеющей исходные $pH=7.3\ldots7.5$ и ОВП=+250...309 мВ. Электроактивированные растворы, параметры которых представлены в табл. 1, приготовлены в экспериментальном электрохимическом реакторе при напряжении питания 12 В и рабочем токе 4 А.

Таблица 1. Показатели электроактивированных растворов

Католит		Анолит		Смесь католита и анолита 1:1	
pH	ОВП, мВ	pH	ОВП, мВ	pH	ОВП, мВ
7,8...8,2	-350... -530	5,1...6,0	+600...+807	3,1...4,1	+390... +600

Исследования проводили по следующей методике. Из чистой фракции исследуемой культуры отбирали четыре пробы по 100 штук семян, которые раскладывали вручную на расстоянии 0,5 см друг от друга на ложе трехслойной, увлажненной электроактивированными растворами до полной влагоемкости фильтровальной бумаги, в чашках Петри. Чашки закрывали стеклом и помещали в термостат, поддерживающий температуру +21°C. Состояние ложа проверяли ежедневно, при необходимости смачивая его электроактивированными растворами, не допуская переувлажнения. Энергию прорастания определяли на 5-е сутки для салата и на 7-е сутки для укропа, соответственно всхожесть – на 10-е и 14-е сутки. К числу всхожих относили семена, корешки которых достигали половины их длины. Среднеарифметические значения результатов опытов приведены на рис. 1 и 2.

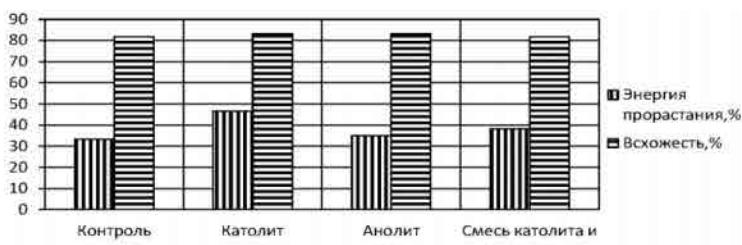


Рисунок 1. Показатели энергии прорастания и всхожести салата

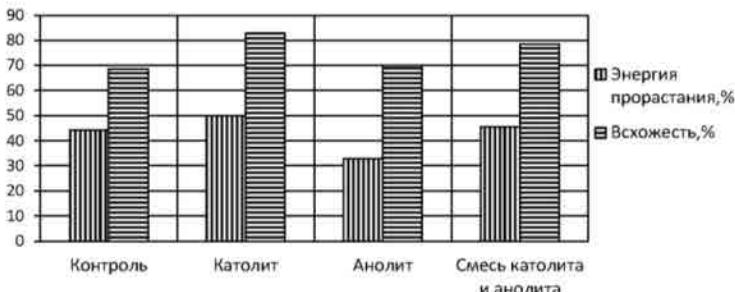


Рисунок 2. Показатели энергии прорастания и всхожести укропа

Анализ результатов исследования (рис. 1 и 2) показывает, что во всех опытных партиях наблюдается положительный эффект стимуляции жизнедеятельности семян, однако неодинаковый для разных культур и для исследуемых показателей. В результате обработки электроактивированными растворами заметно увеличилась энергия прорастания семян обоих культур, за исключением отрицательного воздействия анолита на семена укропа (снижение энергии прорастания на 11,4 %) и отсутствия эффекта при обработке салата смесью анолита и католита. Весьма заметное стимулирующее воздействие на семена оказывает обработка католитом, которая обеспечивает повышение энергии прорастания салата более чем на 13 % и укропа – почти на 6 %.

Общая всхожесть семян контрольной партии составила всего 81,7 % для салата и 68,6 % для укропа, что соответствует показателю их кондиции. В опыт-

ных партиях общая всхожесть выше по сравнению с контролем, т.е. семена, которые находились в глубоком покое и не прорастали в обычных условиях, в результате стимуляции дали всходы, тем самым повысив кондиционность. Причем, в католите общая всхожесть укропа увеличилась более чем на 14 %, а салата – всего на 1,6 %. Аналогично в анолите всхожесть укропа увеличилась на 1,4 % и салата – на 1,6 %. В то же время смесь католита и анолита обеспечила повышение всхожести укропа на 10 % и не оказала влияния на всхожесть салата.

Для сравнительной оценки и визуального представления интенсивности развития растений в начальный период после проращивания в среде электроактивированных растворов произвели фотографирование образцов на 5-й день онтогенеза (рис. 3) и замеры длины корешков и проростков на 11-й день онтогенеза (табл. 2 и 3).

Анализ фотографий (рис. 3) и результатов исследований (табл. 2, 3) показывает, что по своему биологическому развитию проросшие семена в каждой партии имеют определенные различия по длине корешков и проростков, причем в пользу стимулирующих видов обработки.

Во всех опытных партиях происходит более интенсивный их рост и развитие. Корни салата и укропа имеют наибольшую длину при проращивании семян в среде католита, а длина проростков укропа больше почти на 55 % в среде анолита, салата – на 90 % в смеси анолита и католита.

Результаты статистической обработки экспериментальных данных по методике [6] приведены в табл. 4.

Регрессионный анализ показал сильную зависимость энергии прорастания, всхожести, длины корней и проростков от обрабатываемого электрохимически активированного раствора у салата и укропа. Полученные модели – уравнения регрессии, качественно оценены по уровню значимости критерия Фишера. Степень точности описания моделей оценивалась коэффициентом детерминации (R – квадрат). Критерий Фишера, по данным табл. 4, во всех случаях меньше 0,05, следовательно, все модели значимы, а поскольку коэффициент детерминации в большинстве результатов больше 0,95, можно говорить о высокой точности аппроксимации, и только в отдельных – об удовлетворительной.

Полученные уравнения регрессии позволяют адекватно определить агрономические показатели семян и проросших растений при использовании электроактивированных растворов, указанных в табл. 1 параметров.

Таким образом, улучшение посевных качеств семенного материала и повышение биологической активности растений в среде электроактивированных

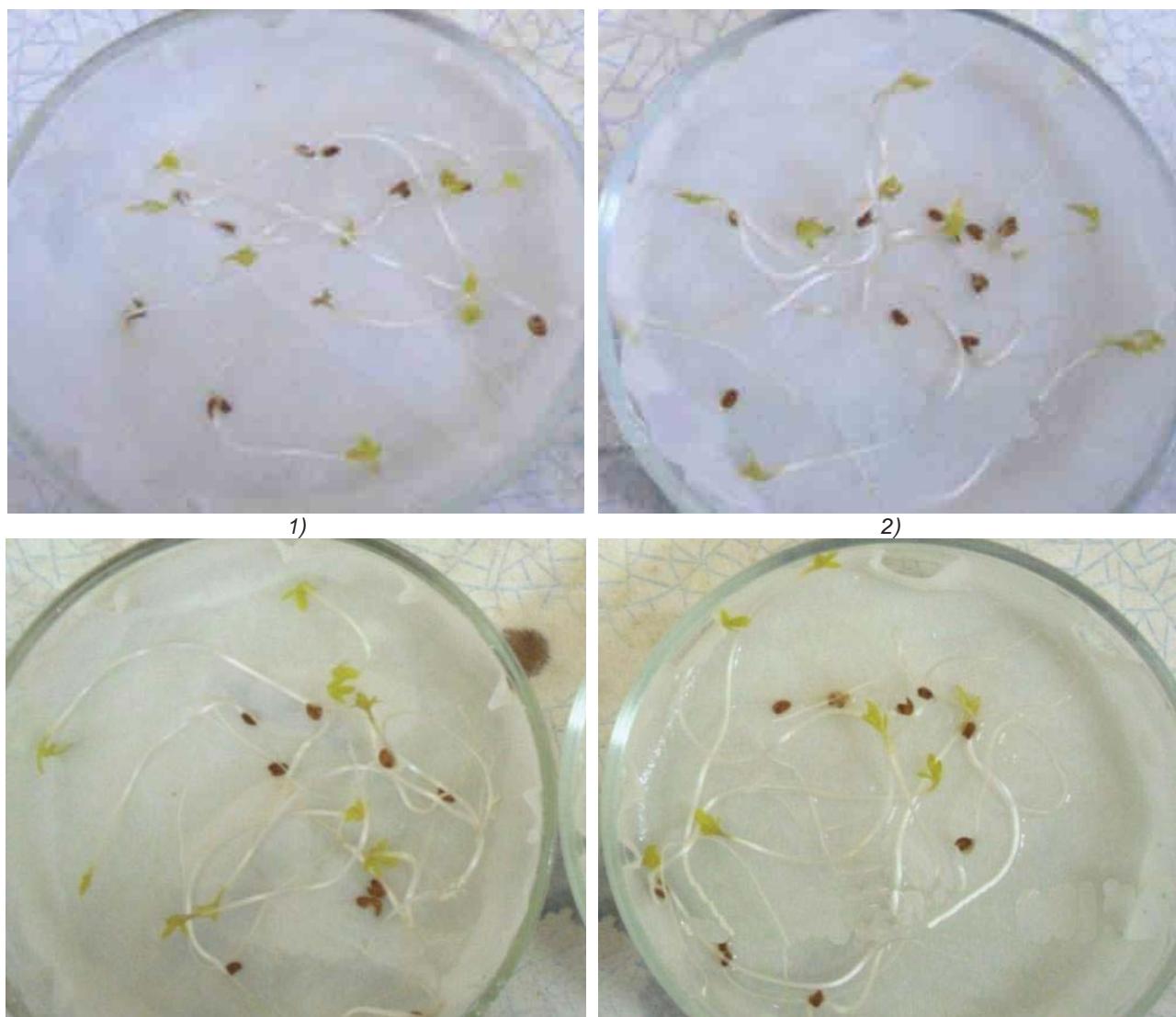


Рисунок 3. Пятидневные проростки семян салата «Курлед»:

1 – контроль; 2 – в католите; 3 – в анолите; 4 – в смеси католита и анолита

Таблица 2. Длина корней салата и укропа в среде активированных растворов

Культура	Длина корней							
	Контроль		Католит		Анолит		Смесь католита и анолита 1:1	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Салат «Курлед»	63,3	100	85,1	134,4	64,9	102,5	71,5	113
Укроп «Геркулес»	28,3	100	42,6	150,5	29,3	103,5	26,4	93,3

Таблица 3. Длина проростков салата и укропа в среде активированных растворов

Культура	Длина проростков							
	Контроль		Католит		Анолит		Смесь католита и анолита 1:1	
	мм	%	мм	%	мм	%	мм	%
Салат «Курлед»	39,9	100	66,8	167,4	63,4	158,9	75,9	190,2
Укроп «Геркулес»	34,6	100	39,4	113,9	53,6	154,9	34,8	100,6

растворов выражается в более быстром и полном выходе семян из состояния покоя, возрастании лабораторной всхожести (на 10...14 %), увеличении энергии

прорастания, размеров корешков и проростков. Как отмечается в работах [2, 3], под действием активированной воды в семенах происходит ряд процессов,

Таблица 4. Результаты статистической обработки экспериментальных данных по стимулированию процессов проращивания семян зеленых культур

Раствор	Энергия прорастания семян			Всхожесть семян			Длина корней			Длина проростков		
				Критерии, определяющие эффективность регрессионной модели								
	Критерий Фишера $p<0,05$	Коэф-т детерминации $>0,95$	Уравнение регрессии Y	Критерий Фишера $p<0,05$	Коэф-т детерминации $>0,95$	Уравнение регрессии	Критерий Фишера $p<0,05$	Коэф-т детерминации $>0,95$	Уравнение регрессии	Критерий Фишера $p<0,05$	Коэф-т детерминации $>0,95$	Уравнение регрессии
Салат «Курлед»												
Исходная вода	0,03	0,962	$14,26+0,39X$	0,026	0,998	$1,98+0,69X$	0,00005	0,955	$-4,42+0,414X$	0,00025	0,96	$-14,42+1,57X$
Католит	0,001	0,982	$-1,51+0,71X$	0,048	0,989	$-1,096+1,164X$	0,000085	0,963	$-1,09+0,58X$	0,00034	0,94	$-20,1+0,97X$
Анолит	0,042	0,794	$8,27+0,33X$	0,047	1	$10+0,001X$	0,0000056	0,993	$-2,88+0,775X$	0,0017	0,93	$8,513+0,274X$
Смесь	0,016	0,89	$2,79+0,809X$	0,0185	0,963	$0,813+1,078X$	0,00012	0,95	$-1,17+0,8X$	0,00028	0,955	$1,39+0,61X$
Укроп «Геркулес»												
Исходная вода	0,0025	0,864	$15,33+0,69X$	0,0446	0,65	$3+0,542X$	0,00074	0,94	$4,22+1,25X$	0,0021	0,97	$-15,1+0,99X$
Католит	0,0044	0,9	$-12,35+0,79X$	0,61	0,051	$-13,8+2,2X$	0,00016	0,953	$-43,4+1,68X$	0,0032	0,97	$-0,72+1,1X$
Анолит	0,05	0,83	$2,67+0,73X$	0,64	0,05	$-4,79+1,5X$	0,0000085	0,964	$-1,09+0,579X$	0,0018	0,98	$-15,1+0,99X$
Смесь	0,00075	0,96	$3,45+0,637X$	0,00033	0,951	$-9,92+1,92X$	0,000049	0,971	$-1,65+0,77X$	0,0002	0,975	$-1,04+0,35X$

приводящих к повышению проницаемости семенных оболочек, ускоряется поступление воды и кислорода в семена. Усиливается дыхание растения, измеряемое поглощением кислорода сырой тканью за определенный отрезок времени. Кроме того, повышается ферментативная активность, прежде всего гидролитических и окислительно-восстановительных ферментов. Это обеспечивает более быстрое и полное поступление питательных веществ к зародышу, ускорение темпа клеточного деления и активизацию ростовых процессов в целом.

Заключение

Результаты опытов показывают, что для стимулирования всхожести семян и дальнейшего проращивания зеленых культур наиболее эффективна щелочная фракция электроактивированного раствора – католит с $\text{pH}=7,8\ldots8,2$ и $\text{ОВП}=-350\ldots-530 \text{ мВ}$. Это подтверждают другие исследователи, которые связывают положительную энергетику активированной воды, стимулирующую биологические процессы, с ее обогащением ионами гидроксила OH^- , а отрицательную – с избытком протонов H^+ [1, 2, 4]. Кислую фракцию – анолит целесообразно использовать для предпосевного обеззараживания семян или почвы с последующей нейтрализацией католитом.

Особенно эффективно применение электроактивированных растворов для повышения всхожести семян, находящихся в глубоком покое. Регрессионный анализ результатов исследования показал сильную и среднюю связь между параметрами электроактивированных растворов и показателями биологических процессов: длиной корней и проростков у салата и укропа.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бахир, В.М. Электрохимическая активация / В.М. Бахир. – М.: ВНИИИ мед. техники, 1992. – Ч. 2. – 657 с.
2. Использование анолита и католита для проращивания семян / В.И. Филоненко и [др.] // Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве и промышленности: тезисы докл. и крат. сообщения. – М.: ВНИИМТ, 1997. – С. 99-100.
3. Оськин, С.В. Применение электроактивированных растворов в сельском хозяйстве / С.В. Оськин, Д.С. Гребцов // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 2007. – №8. – С. 26.
4. Кожокару, А.Ф. Механизм действия электрохимически активированной воды и водных растворов на скорость прорастания семян / А.Ф. Кожокару, А.И. Мирошников // Слабые и сверхслабые поля и излучения в биологии и медицине: сб. тезисов. – Москва, 2000. – С. 57.
5. Корко, В.С. Технологические основы производства и применения электроактивированных растворов в животноводстве / В.С. Корко // Исследования, результаты: научный журнал Казахского национального аграрного университета, 2012, № 3. – С. 126-132.
6. Гельман, В.Я. Решение математических задач средствами Excel / В.Я. Гельман. – СПб.: Питер, 2003. – 240 с.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ЛИСТОСТЕБЕЛЬЧАТОЙ МАССЫ ИЗМЕНЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ СЛОЯ НА ШТИФТОВЫХ БАРАБАНАХ

Д. Н. Лысенко, мл. науч. сотр. (ННЦ «Институт механизации и электрификации сельского хозяйства» НААН Украины, г. Запорожье)

Аннотация

Приведены результаты теоретических исследований процесса воздействия штифтов фракционирующих барабанов на слой сухой листостебельчатой массы. Обоснованы технические параметры установки для фракционирования.

The results of theoretical investigations of the impact pins fractionation drums on the dry layer weight are given. Engineering parameters of fractionation are proved.

Введение

Проблема кормового белка была и остается основной при организации полноценного кормления сельскохозяйственных животных. Ежегодно в кормовом балансе Украины дефицит протеина составляет до 30 %, недобор продукции животноводства достигает 20-35 %, а себестоимость и затраты кормов увеличиваются в 1,5 раза. В связи с этим национальным проектом «Відроджене скотарство» запланировано к 2015 году довести производство белково-витаминно-минеральных добавок – до 1,18 млн. т [1]. Одним из потенциальных источников органического белка и витаминов является растительное сырье – это сено бобовых культур, таких как люцерна, клевер и др.

Однако такое сырье неоднородно по содержанию белка. В стеблях растений белка значительно меньше, а клетчатки больше, а в листьях, наоборот. Поэтому есть смысл отделять листовую фракцию. Для извлечения высокопитательной составляющей необходимо проведение теоретических исследований изменением параметров слоя листостебельчатой массы на барабанах процессе фракционирования.

Основная часть

Рассмотрим процесс воздействия штифтов фракционирующих барабанов на слой сухой листостебельчатой массы, приняв следующие условия:

а) масса, которая контактирует со штифтом, полностью разделяет его движение в вертикальном направлении;

б) при действии штифта слой мгновенно приобретает его скорость;

в) воздух не влияет на движение слоя массы [2, 3].

Штифты барабанов осуществляют круговое движение, описывают окружность радиусом R . Направим ось ординат вверх, а ось абсцисс – горизонтально по направлению движения слоя массы по барабанам. Угол поворота барабана будем отсчитывать от вертикальной оси ординат в направлении

вращения по часовой стрелке (рис. 1).

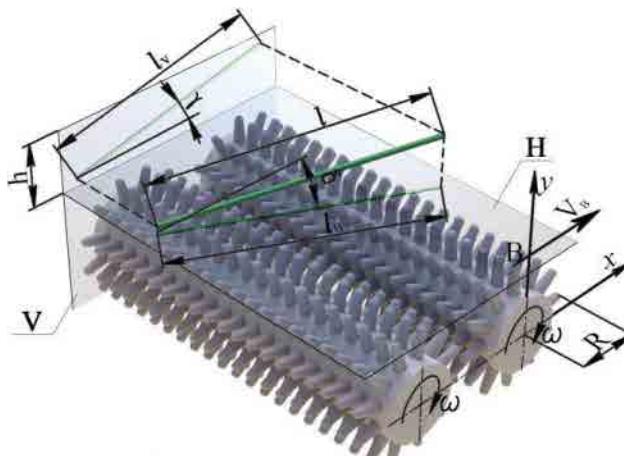


Рисунок 1. Кинематическая схема одноплоскостного размещения фракционирующих барабанов с определением величины проекции стебля на вертикальную (V) и горизонтальную (H) плоскости

При работе установки исходная листостебельчатая масса (сено люцерны) поступает на фракционирующие барабаны с произвольным расположением стеблей, как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскости. При этом проекция отрезка длиной l_V (т. е. стебля длиной l), расположенного на неограниченной вертикальной плоскости V в случайном положении с равнозначными направлениями) относительно любой из вертикальных плоскостей V по теории вероятности находится из выражения [4]

$$l_V = l \int_0^{\delta_0} |\cos \delta| f(\delta) d\delta, \quad (1)$$

где δ – угол между проекцией стебля и плоскостью, рад.;

$f(\delta)$ – закон распределения плотности случайной величины, $f(\delta) = 1/\pi$;

l – длина стебля, м.

Таким образом, имеем:

$$l_V = \frac{2 \cdot l^2}{\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} |\cos \delta| d\delta = \frac{2}{\pi} l. \quad (2)$$

Рассмотрев положение стебля длиной l в вертикальной плоскости, т. е. в слое листостебельчатой массы толщиной h , расположенного на фракционирующих барабанах, видим, что при определении проекции стебля на горизонтальную плоскость H плотность распределения случайной величины определяется зависимостью

$$f(\gamma) = \frac{l}{\arcsin\left(\frac{h}{l}\right)},$$

тогда получим

$$l_H = \frac{l}{\arcsin\left(\frac{h}{l}\right)} \int_0^{\arcsin(h/l)} |\cos \gamma| d\gamma = \frac{l}{\arcsin\left(\frac{h}{l}\right)} \quad (3)$$

Сама проекция стебля длиной l по направлению перемещения слоя массы на фракционирующих барабанах будет определяться зависимостью

$$l_x = l \cdot \cos \gamma \cdot \cos \delta,$$

где γ, δ – углы между стеблем и соответственно вертикальной и горизонтальной плоскостями, рад.

Согласно выражениям (2) и (3), значения направляющих косинусов положения стебля описываются зависимостями

$$\cos \gamma = \frac{2}{\pi} \text{ и } \cos \delta = \frac{h}{l \cdot \arcsin\left(\frac{h}{l}\right)}. \quad (4)$$

Исходя из условия смещения установленных рядом штифтов барабанов на половину угла их расстановки по окружности, скорости горизонтального перемещения массы этими барабанами представлены выражениями [5]

$$V_{By} = -\omega R \sin(\omega t + \alpha), \quad a_{By} = -\omega^2 R \cos(\omega t + \alpha), \quad (5)$$

где α – угол установки штифтов по окружности барабана, $\alpha = 2\pi/z$, рад;

z – количество штифтов по окружности барабана.

Действие штифтов фракционирующих барабанов на проходящий по ним слой листостебельчатой массы вызывает ее деформацию, т. е. изменение плотности, которое в зависимости от давления штифтов описывается уравнением [6]

$$p = C \left[e^{a(\rho - \rho_0)} - 1 \right], \quad (6)$$

где p – давление на слой листостебельчатой массы, Па;

ρ, ρ_0 – соответственно конечная и исходная плотность слоя, $\text{кг}/\text{м}^3$;

C, a – эмпирические коэффициенты, для сена

люцерны влажностью 16 % соответственно равны $C = 3,32 \cdot 10^{-5}$ Па и $a = 4610 \text{ м}^3/\text{кг}$.

Вертикальное усилие действия штифтов фракционирующих барабанов на слой листостебельчатой массы на основании выражения (5) описывается зависимостью

$$P_y = m \omega^2 R \cos \omega t,$$

где m – масса участка слоя листостебельчатой массы, приходящаяся на один фракционирующий барабан, $m = \rho_0 L_c B h$, кг;

L_c – длина участка слоя стеблей листостебельчатой массы, приходящаяся на один барабан.

Величина давления ряда штифтов фракционирующего барабана на слой листостебельчатой массы, при условии равновероятностного распределения стеблей длиной l в горизонтальной плоскости составляет

$$p = \frac{\pi \rho_0 L_c h \omega^2 R \cos \omega t}{2l}. \quad (7)$$

Приравнивая выражения (6) и (7) получаем зависимость изменения плотности слоя листостебельчатой массы на фракционирующих барабанах

$$p = \frac{\ln\left(\frac{\pi \rho_0 L_c h \omega^2 R \cos \omega t}{2Cl} + 1\right)}{a} + \rho_0.$$

Таким образом, плотность слоя листостебельчатой массы на фракционирующих барабанах под действием штифтов колеблется от ρ до ρ_0 .

При этом толщина слоя листостебельчатой массы изменяется на величину $\Delta h = h(\rho/\rho_0 - 1)$.

Соответственно положение центра тяжести слоя массы описывается зависимостью

$$y_c = R \cos \omega t - \frac{h}{2} \left(\frac{\rho}{\rho_0} + 1 \right).$$

Цикличность воздействия штифтов на листостебельчатую массу объясняется слабым взаимосцеплением ее элементов в вертикальном направлении и преимущественной ориентацией в плоскости, близкой к горизонтальной, о чем свидетельствует выражение (4).

Слой листостебельчатой массы на очистных барабанах состоит из стеблей с листьями, переплетенных между собой. Вертикальная элементарная сила dN действия одного элемента на другой описывается выражением

$$dN = g \cdot dm,$$

где dm – элементарная масса, кг.

Так как масса листостебельчатого слоя с площадью в плане, равной S , и высотой h выражена зависимостью: $m = \rho Sh$, получаем действие веса слоя листостебельчатой массы на ее нижнюю часть

$$N = g \rho Sh.$$

Принимая силу взаимного сцепления элементов

листостебельчатой массы в пределах варъирования высоты слоя на барабанах постоянной, запишем ее в виде

$$F_{\text{зу}} = c \cdot S,$$

где c – коэффициент пропорциональности, $\text{кг}/(\text{м}^2 \cdot \text{с}^2)$.

Таким образом, наибольшее значение взаимного сцепления равно

$$P_{\text{зу}} = S(c + g\rho h).$$

Как показывают исследования [7], это уравнение аппроксимируется зависимостью, максимальная величина которой для слоя листостебельчатой массы, расположенной горизонтально, представляется выражением

$$P_{\text{max}} = k_2 \rho h, \quad (8)$$

где k_2 – экспериментальный коэффициент пропорциональности, который для сена влажностью 15–20 % составляет $k_2 = 0,6\text{--}0,9 \text{ м}^3/\text{с}^2$.

Исходя из уравнения (8) для обеспечения рыхления штифтами фракционирующих барабанов слоя листостебельчатой массы, расположенного под углом к горизонту, равным δ (4), должно выполняться условие

$$m\omega^2 R \cos\left(\frac{\pi}{z}\right) \geq k_2 \rho l \arcsin\left(\frac{h}{l}\right).$$

Учитывая, что для прохода отделяемой листовой фракции вниз через слой листостебельчатой массы и барабаны должно выполняться условие $\omega^2 R < g$, окончательно имеем параметрическое неравенство:

$$g > R \cos\left(\frac{\pi}{z}\right) \geq \frac{k_2 l}{LBh} \arcsin\left(\frac{h}{l}\right). \quad (9)$$

Неравенство (9) объединяет практически все основные параметры установки для фракционирования – радиус очистных барабанов R , их длину B , количество штифтов по окружности барабана z , угловую скорость вращения и расстояние между барабанами L , а также толщину слоя листостебельчатой массы на барабанах h , длину стеблей l и механическую характеристику слоя массы k_2 .

При определении оптимальных параметров установки для фракционирования сухой листостебельчатой массы выполнены экспериментальные исследования и получены уравнения регрессии и функции отклика [8–9], определены режимы работы установки.

Из результатов экспериментальных исследований получили, что максимальная производительность фракционирования, представленная в кормовых единицах составляет 0,346 к. ед/с при частоте вращения очистных барабанов – 100 об/мин, толщине слоя массы на очистных барабанах – 75 мм и кинематическом режиме выходного барабана – 1,25 [10].

Заключение

Полученные в результате теоретических исследований математические выражения описывают все основные конструктивные параметры установки для

фракционирования.

Изменение толщины слоя листостебельчатой массы во время действия на него штифтов фракционирующих барабанов, происходящее с периодом $2\pi/\omega z$, вызывает взаимное перемещение стеблей в слое массы, которое в сочетании с колебанием всего слоя и его разрыхлением в этот же период приводит к отделению листовой фракции и просыпанию ее вниз через слой листостебельчатой массы с последующим выводом из установки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Національний проект «Відроджене скотарство» / Міністерство аграрної політики та продовольства України, Національна академія аграрних наук України. – К.: ДІА, 2011. – 44 с.
2. Сельскохозяйственные машины. Теория и технологический расчет / [Б. Г. Турбин и др.]; под общ. ред. Б. Г. Турбина. – 2-е изд. – Л.: Машиностроение, 1967. – 583 с.
3. Пустыгин, М. А. Теория и технологический расчет молотильных устройств / М. А. Пустыгин. – М.: ОГИЗ-Сельхозгиз, 1948. – 96 с.
4. Турчин, В. М. Теорія ймовірностей. Основні поняття, приклади, задачі. / В. М. Турчин. – К. : А.С.К. , 2004. – 208 с.
5. Лисенко, Д. М. Результати дослідження взаємодії сепараційних барабанів установки для фракціонування сухої листостеблевої маси / Д. М. Лисенко, О. В. Кисельов // Механізація, екологізація та конвертація біосировини в тваринництві: зб. наук. праць / Інститут механізації тваринництва НААН. – Запоріжжя, 2011. – Вип. 2(8). – С. 225–234.
6. Особов, В. И. Сеноуборочные машины и комплексы / В. И. Особов, Г. К. Васильев. – М.: Машиностроение, 1983. – 304 с.
7. Ковалев, Н. Г. Сельскохозяйственные материалы (виды, состав, свойства) / Н. Г. Ковалев, Г. А. Хайланс, М. М. Ковалев // Аграрная наука, 1998. – 208 с.
8. Лисенко, Д.М. Якіні показники роботи установки для фракціонування сухих стеблових кормів / Д.М. Лисенко // Науковий вісник Таврійського державного агротехнологічного ун-ту. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012, вип. 1. – С. 117–124.
9. Лисенко, Д.М. Кількісні показники роботи барабанного фракционера сухої листостеблевої маси / Д.М. Лисенко // Збірник наукових праць / Механізація, екологізація та конвертація біосировина у тваринництві. – Запоріжжя: ІМТ НААН, 2012. – Вип. 1. – С. 187–194.
10. Лисенко, Д.М. Дослідження модернізованої установки для фракціонування сухих стеблових кормів / Д.М. Лисенко // Аграрна наука та практика на сучасному етапі розвитку: досвід, проблеми та шляхи їх вирішення: мат. Міжнар. науково-практич. конф., Львів, 16–17 березня 2012 г. / Львів: Львівська аграрна фондация, 2012. – С. 17–19.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КОМБИНИРОВАННОГО АГРЕГАТА ДЛЯ СБОРА КОЛОРАДСКОГО ЖУКА ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЭКОЛОГИЧЕСКИ ЧИСТОГО КАРТОФЕЛЯ

П.В. Заяц, соискатель (РУП «НПЦ НАН Беларусь по механизации сельского хозяйства»)

Аннотация

Приведены результаты расчетов экономической и энергетической эффективности возделывания экологически чистого картофеля при использовании комбинированного агрегата для сбора колорадского жука. В качестве критерии оценки использовались такие показатели, как стоимость произведенной продукции, производственные денежные затраты на единицу площади, затраты труда на единицу площади возделывания и на единицу выращенной продукции, себестоимость полученной продукции, уровень рентабельности, биоэнергетический коэффициент.

The calculation results of the economic and energy efficiency of cultivation of ecologically pure potatoes with combined unit for collecting the Colorado potato beetle are given. Such indicators as the value of production, cash costs of production per unit area, the cost of labor per unit area and per unit of cultivation grown produce, the cost of the resulting products, the level of profitability, bioenergetic factor are used as the evaluation criteria

Введение

По результатам исследований был изготовлен и испытан комбинированный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля [1, 2].

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований были обоснованы конструктивно-технологические параметры рабочих органов, обеспечивающие качественный сбор колорадского жука с ботвы картофеля [3].

Результаты производственных испытаний такого агрегата на опытном поле Гродненского государственного аграрного университета показали, что при работе такого агрегата обеспечивается сбор колорадского жука в соответствии с агротехническими требованиями без травмирования картофеля (рис. 1).

За один проход комбинированного агрегата по полю осуществлялось стряхивание колорадского жука с ботвы картофеля, его сбор в накопительный фильтр и междурядная обработка картофеля.

При этом количество оставшихся на ботве картофеля особей колорадского жука не превышало порога экономической вредоносности. Потери колорадского жука за пределы желобчатых емкостей не превышали 5 %.

На основании результатов производственных испытаний такого комбинированного агрегата можно заключить, что он отвечает всем агротребованиям, предъявляемым к таким машинам, и позволяет получить экологически чистый картофель.

Применение комбинированного агрегата для обработки ботвы картофеля позволило бы вести борьбу

с вредными насекомыми (колорадским жуком) без применения пестицидов, т.е. выращивать экологически чистый картофель.

Аналогичные результаты получены при испытании данного комбинированного агрегата на полях СПК «Занеманский» Мостовского района Гродненской области.

Основная часть

Интенсификация сельского хозяйства в Республике Беларусь, ориентированная в прошлом на неограниченное потребление энергоресурсов, должна быть переведена на современном этапе развития общества на энергосберегающие технологии, которые



Рисунок 1. Комбинированный агрегат для сбора колорадского жука и окучивания картофеля в работе

связаны с ресурсосбережением [4].

Поэтому очень важным вопросом при внедрении новейших мероприятий в земледелии является определение их экономической и энергетической эффективности. Такой вид оценки дает возможность обеспечить поиск путей создания технологических процессов, сберегающих денежные, энергетические и трудовые ресурсы.

В качестве критериев оценки элементов технологии возделывания картофеля в исследованиях использовались следующие показатели:

- стоимость произведенной продукции;
- производственные денежные затраты на единицу площади (тыс. руб/га);
- затраты труда на единицу площади возделывания (чел-ч/га) и на единицу выращенной продукции (чел-ч/ц);
- себестоимость полученной продукции (тыс. руб/ц);
- уровень рентабельности (%);
- биоэнергетический коэффициент [5].

Расчеты производились по технологическим картам возделывания поздних и ранних сортов картофеля на продовольственные цели с использованием опытной технологии и технологии, обеспечивающей получение экологически чистой продукции.

При этом стоимость продукции определялась по формуле

$$C_p = Y \cdot \Pi_3, \quad (1)$$

где Y – урожайность, ц/га;

Π_3 – закупочная цена, тыс. руб./ц

Производственные затраты составляют:

$$\Pi_3 = Z_{пл} + Z_{ГСМ} + Z_{ам} + Z_{сем} + \\ + Z_{уд} + Z_{СЗР} + Z_{пр}, \quad (2)$$

где $Z_{пл}$ – затраты на оплату труда, тыс. руб;

$Z_{ГСМ}$ – затраты на горюче-смазочные материалы, тыс. руб;

$Z_{ам}$ – затраты на амортизацию, тыс. руб;

$Z_{сем}$ – затраты на семена, тыс. руб;

$Z_{уд}$ – затраты на удобрения, тыс. руб;

$Z_{СЗР}$ – затраты на средства защиты растений, тыс. руб;

$Z_{пр}$ – прочие затраты, тыс. руб. Прочие затраты составляют обычно порядка 2 %.

Результаты определения производственных затрат при различных технологиях возделывания картофеля представлены в табл. 1.

Затраты труда определяли как сумму всех затрат труда согласно технологическим картам.

Себестоимость продукции

$$Cб = \frac{\Pi_3}{Y}. \quad (3)$$

Чистый доход

$$Чд = C_p - \Pi_3. \quad (4)$$

Уровень рентабельности

$$У_{рен} = \frac{Чд}{\Pi_3} \cdot 100 \%. \quad (5)$$

Биоэнергетический коэффициент

$$Б_k = \frac{\mathcal{E}}{Z_3}, \quad (6)$$

где \mathcal{E} – выход энергии с одного гектара, МДж;

Z_3 – затраты энергии, МДж/га.

Результаты экономической оценки технологий возделывания позднего картофеля (табл. 2, 3) показали, что стоимость произведенной продукции при сравниваемых технологиях одинаковая (13200 тыс. руб.), что связано с одинаковой урожайностью. Про-

Таблица 1. Результаты расчета производственных затрат при различных технологиях возделывания позднеспелого и раннеспелого картофеля

Статьи затрат	Позднеспелый		Раннеспелый	
	Технология возделывания	обыч- ная	пред- лагае- мая	обыч- ная
Тарифный фонд оплаты с доплатами, тыс. руб.	441	479	434	468
Стоимость семян, тыс. руб.	1760	1760	1760	1760
Стоимость удобрений, тыс. руб.	1025	759	671	607
Работы и услуги, содержание основных средств, организация и управление, прочие затраты, тыс. руб.	4026	4026	4026	4026
Затраты на ГСМ и электроэнергию, тыс. руб.	515	520	483	467
Всего затрат на 1 га, тыс. руб.	7767	7542	7347	7328

Таблица 2. Экономическая эффективность возделывания картофеля по различным технологиям

Показатели	Позднеспелый		Раннеспелый	
	Технология возделывания	обыч- ная	пред- лагае- мая	обыч- ная
Урожайность, ц/га	300	300	300	300
Прибавка урожайности, ц/га	-	-	-	-
Стоимость продукции, тыс. руб.	13200	13200	13200	13200
Производственные затраты на 1 га, тыс. руб.	7767	7542	7347	7328
Чистый доход, тыс. руб.	5433	5658	5853	5872
Себестоимость 1 ц продукции, тыс. руб.	25,9	25,1	24,4	24,4
Уровень рентабельности, %	69,9	75,0	79,7	80,1
Затраты труда, чел-ч				
на 1 га	130	130	130	130
на 1 ц	0,43	0,43	0,43	0,43

Таблица 3. Энергетическая эффективность возделывания поздне- и раннеспелого сортов картофеля по различным технологиям

Сорт	Технология	Урожайность, ц/га	Затраты энергии, МДж/га	Энергоемкость, МДж/ц	Выход энергии с 1 га, МДж	Биоэнергетический коэффициент
Позднеспелый	обычная	300	33801	113	114000	3,37
	предлагаемая	300	33648	112	114000	3,38
Раннеспелый	обычная	300	33797	113	114000	3,37
	предлагаемая	300	32971	110	1140000	3,46

изводственные затраты на 1 ц клубнеплодов в технологии получения экологически чистой продукции на 225 тыс. руб. ниже, чем при обычной соответственно, при данной технологии на 0,8 тыс. руб. меньше себестоимость единицы продукции, на 5,1 % выше уровень рентабельности и на 0,01 выше биоэнергетический коэффициент.

Результаты расчетов экономической эффективности аналогичных технологий возделывания раннеспелых сортов картофеля показали, что при одинаковой стоимости продукции (13200 тыс. руб.) примерно близки затраты труда на 1 ц (7347 и 7328 тыс. руб.), чистый доход (5853 и 5878 тыс. руб.) и себестоимость (24,4 тыс. руб./ц). Уровень рентабельности составляет 79,7 и 80,1 % соответственно для обычной и предлагаемой технологии получения экологически чистой продукции, т.е. на 0,4 % выше. При технологии получения экологически чистой продукции на 0,09 единиц выше также и биоэнергетический коэффициент.

Заключение

На основании результатов экономического и энергетического анализов можно заключить, что даже при условии, что в расчетах цены товарного картофеля, полученного с использованием пестицидов, и экологически чистого картофеля принимались одинаковыми, предпочтение следует отдать технологии получения экологически чистой продукции. Т.е. получение экологически чистой продукции позднеспелого и

раннеспелого картофеля с использованием агрегата для сбора колорадского жука является экономически и энергетически оправданным на современном этапе развития сельскохозяйственного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Комбинированный агрегат для ухода за картофелем: пат. 1961 Респ. Беларусь, МПК А 01В 13/02, A01M 5/04 / В.К. Пестис, Э.В. Заяц, С.Н. Ладутько, П.В. Заяц; заявитель Гродненский гос. аграр. ун-т. – № u20040469; заявл. 15.10.04; опубл. 15.02.05 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2005. – № 10. – С. 8.
2. Заяц, П.В. Комбинированный агрегат для сбора колорадского жука / П.В. Заяц, Э.В. Заяц // Агропанорама, 2006. – №6. – С. 32-34.
3. Заяц, П.В. Обоснование конструктивных параметров ротора с упруго-эластичными элементами и регулятором амплитуды их колебаний / П.В. Заяц // Агропанорама, 2009. – №1. – С. 16-19.
4. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур: сб. отраслевых регламентов / В.Г. Гусаков [и др.]. – Мин.: ИАЭ НАН Беларуси, 2005. – 462 с.
5. Бусел, И.П. Технико-экономические расчеты и обоснования: учеб.-метод. пособие / И.П. Бусел, Г.А. Силкович, Л.И. Мацкевич. – Мин.: БАТУ, 1995. – 18 с.

“Агропанорама” - научно-технический журнал для работников агропромышленного комплекса. Это издание для тех, кто стремится донести результаты своих исследований до широкого круга читателей, кого интересуют новые технологии, кто обладает практическим опытом решения задач.

Журнал “Агропанорама” включен в список изданий, рекомендуемых Высшей аттестационной комиссией для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным наукам (зоотехния).

Журнал выходит раз в два месяца, распространяется по подписке и в розницу в киоске БГАТУ. Подписной индекс в каталоге Республики Беларусь: для индивидуальных подписчиков - 74884, предприятий и организаций - 748842. Стоимость подписки на первое полугодие 2014 года: для индивидуальных подписчиков - 104850 руб., ведомственная подписка - 146808 руб.

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЗАМАЧИВАНИЯ РЖИ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ РЖАНОГО СОЛОДА

А.М. Мазур, докт. техн. наук (БГАТУ)

Аннотация

Исследовано влияние качества обработки поверхности ржи на условии замачивания зерна, установлены технологические параметры процесса обработки поверхности ржи на абразивной установке. Исследовано содержание влаги в различных анатомических частях ржи в зависимости от продолжительности замачивания, влияние температуры замочной воды и размеров зерна на водопоглощение, влияние аэрации воды на содержание CO₂ в замачиваемом зерне. Уточнены и доработаны научно-практические основы замачивания ржи при производстве ржаного солода, определены потери зерна при замачивании.

The influence of surface quality rye on the condition of soaking the grain established technological process parameters on the abrasive surface of the rye plant. It was investigated: water maintenance in different parts of rye depending on the soaking, the influence of water temperature and grain size on the water absorption, the impact of aeration of water on the CO₂ content in the soaking grain. The scientific and practical bases of rye soaking in the process of rye malt manufacturing were clarified and improved.

Введение

В Республике Беларусь выпускается два вида ржаного солода – ферментированный и неферментированный, который получают в строго регламентируемых условиях температуры и влажности путем гидротации зерна в воде, с последующим проращиванием, томлением (для ферментированного солода), сушкой и дроблением.

Потребность пищевых предприятий республики в ржаном солоде около 3000 т в год и полностью за счет собственного производства пока не удовлетворяется.

Проводимая техническая модернизация существующих предприятий предусматривает разработку и совершенствование технологий производства солода, обеспечивающих его интенсификацию за счет сокращения времени прохождения отдельных стадий процесса, экономии материальных и энергетических ресурсов, а также повышения качества солода является актуальной задачей для Беларуси.

Для выполнения поставленной задачи необходимо провести исследование, уточнить и доработать научно-практические основы одного из главных процессов производства ржаного солода – замачивания.

Исследования проводились в лабораторных условиях ГНУ «Институт микробиологии НАН Беларусь», в лабораторных и производственных условиях ОАО «Машпищепрод» (г. Марьина Горка) в рамках государственной научно-технической программы «Промышленные биотехнологии».

Основная часть

На условие замачивания зерна влияет качество обработки поверхности ржи перед замачиванием. Это очистка зерна от органической и неорганической пы-

ли, создание неблагоприятных условий для развития плесневых грибов, а также обеспечение достаточного количества трещин в зерне для ускорения проникания воды внутрь зерна.

При этом необходимо сохранить жизнеспособность и энергетику прорастания зерна, обеспечить нормальный процесс диффузии влаги в зерновку, избегая травм при образовании микротрещин на поверхности ржи.

В лабораторных условиях исследовались факторы, влияющие на процесс механической обработки поверхности зерна ржи, определялись режимы и параметры обработки ржи. В качестве истирающей поверхности применялась наждачная бумага № 8, 10, 12, 16, 20, 24 с размерами зерен абразива 2,0-2,38; 1,66-2,00; 1,19-1,68; 0,84-1,10; 0,71-0,81; 0,50-0,71 мм соответственно. Число оборотов насадки, придающей зерну движение в чащце комбайна, составляло 400 об/мин. Исходное количество зерна составляло 100 г. На первом этапе исследовалось влияние размера применяемого абразива на набухаемость зерна и количество измельченной его части. Коэффициент набухаемости определялся из соотношения:

$$K = V_k/V_n,$$

где K – коэффициент набухаемости;

V_k – объем зерна конечный, см³;

V_n – объем зерна начальный, см³.

Результаты исследований представлены на рис. 1.

Из приведенных данных видно, что наиболее оптимальным является абразив № 16 и 20, которые дают наименьшее количество измельченной части зерна, при этом набухаемость растет с уменьшением размеров зерен абразива и достигает постоянства при использовании абразива от 16-го до 20-го номера, следовательно, принимаем номер абразива 16-20.

Результаты исследований по определению оптимальной величины окружной скорости движения зерна ржи при его механической обработке представлены на рис. 2.

Из рис. 2 видно, что с увеличением окружной скорости увеличивается масса измельченной части зерна, а коэффициент набухаемости уменьшается незначительно. Из результатов проведенных исследований за оптимальную окружную скорость движения зерна принимаем скорость (W) в пределах от 1,3 до 1,7 м/с.

Исследования зависимости величины коэффициента набухаемости от продолжительности механической обработки зерна представлены на рис. 3.

Зависимость коэффициента набухания представ-

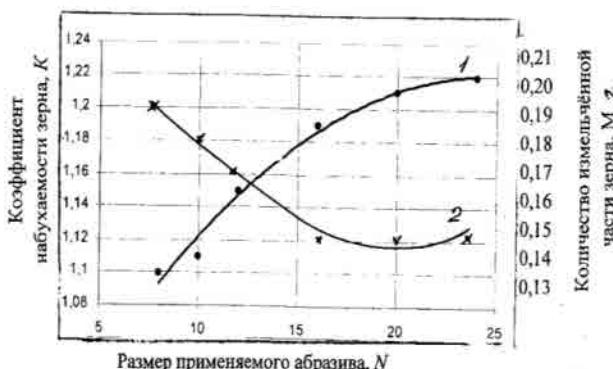


Рисунок 1. Влияние размера применяемого абразива N на набухаемость зерна K (1) и количество измельченной его части M (2)

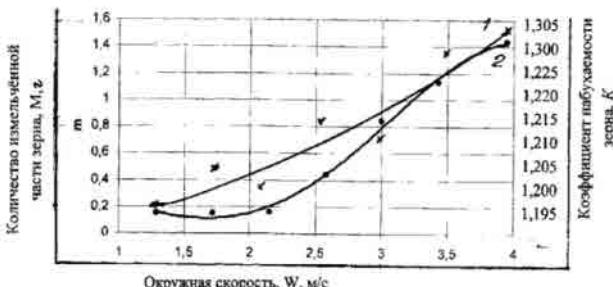


Рисунок 2. Влияние окружности скорости движения зерна W на набухаемость зерна K (1) и количество измельченной его части M , г

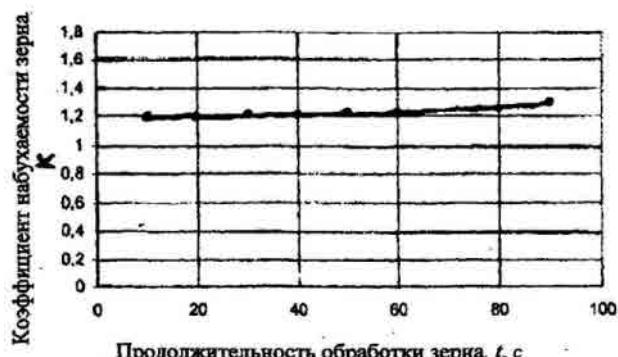


Рисунок 3. Зависимость коэффициента набухания K от продолжительности обработки зерна абрзивом t , с.

лена выражением

$$K = 2E - 0,5 t^2 - 0,0004 t + 1,2043, \quad (1)$$

где K – коэффициент набухаемости;
 t – продолжительность процесса, с.

Среднее квадратическое отклонение $R^2 = 0,9667$. Из рис. 3 и уравнения 1 видно, что оптимальная продолжительность процесса механической обработки зерна равна 40–50 с.

Исследования проверены в промышленных условиях на установке для обработки сельскохозяйственного сырья марки Ш 12-КОУ, которая имеет окружную скорость разгонного диска 1,52 м/с, размер зерен абрзива №16 (0,84–1,19 мм). Результаты испытаний показали эффективную очистку зерна.

Установлены технологические параметры работы абрзивной установки для обработки поверхности ржи перед замачиванием:

- окружная скорость движения зерна в пределах 1,3–1,7 м/сек;
- номер абрзива 16–20 с размерами зерен абрзива 0,84–1,19, 0,71–0,81, 0,50–0,71 мм;
- продолжительность обработки 40–50 с, что обеспечивает количество измельченной части зерна не более 0,15 г (0,0015 %) и увеличивает набухаемость зерна на 10–20 %.

При замачивании ржи вода попадает внутрь зерна, и благодаря этому имеющиеся ферменты активируют процесс прорастания, и при 30 %-м содержании влаги жизненные проявления становятся заметными. Быстрее и равномернее рожь прорастает при влажности 46–48 %, а максимальная влажность зерна (48–50 %) достигается на стадиях проращивания. Семенная оболочка ржи полупроницаема – она позволяет диффундировать внутрь зерна воду, но задерживает, например, 10 %-й раствор серной кислоты. Соляная кислота проникает через нее частично, а органические кислоты легко диффундируют через оболочку внутрь зерна. Ионы также проникают через трещины семенной оболочки и воздействуют на зародыш, так нитраты при концентрации 0,01 N оказывают неблагоприятное воздействие на солевой состав зародыша [1, 2].

При замачивании ржи усиливается дыхание зерна, а с ним и потребность в кислороде, поэтому при замачивании ржи следует обеспечить процесс как водой, так и кислородом, при этом необходимо учесть, что зерно очищается.

Водопоглощение происходит в основном через капилляры, выходящие в основание зерна, вследствие чего в первые часы замоченный зародыш, начиная от щитка, поглощает воду значительно быстрее, чем другие части зерна, такие как плодово-семенная оболочка, алейроновый слой, эндосперм (табл. 1).

Водопоглощение зависит от температуры замочной воды. Для достижения влажности – 40 % требуется:

- при 6° – 95 ч;
- при 12° – 72 ч;
- при 16° – 48 ч;
- при 18° – 42 ч.

Динамика поглощения воды при замачивании и зависимость между температурами и продолжительностью замачивания показана на рис. 4.

Таблица 1. Содержание влаги в различных частях ржаного зерна при замачивании

Часть зерна	Содержание влаги, %			
	1,5 ч	3 ч	6 ч	24 ч
Щиток	17,6	30,8	48,5	56,8
Зародыш	31,2	38,3	50,3	56,8
Плодово-семеная оболочка, алейроновый слой	11,4	13,6	25,9	35,9
Крахмалосодержащий эндосперм	10,5	11,8	20,4	34,8
Зерно в целом	21,1	23,2	28,1	38,1

На скорость водопоглощения оказывает влияние размер ржи, для полных и крупных зерен требуется больше времени, чем для щуплых и мелких (рис. 5).

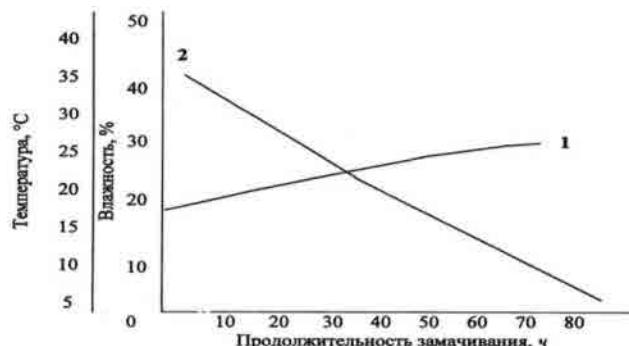


Рисунок 4. Динамика поглощения воды при замачивании (1) и зависимость между температурой и продолжительностью замачивания (2)

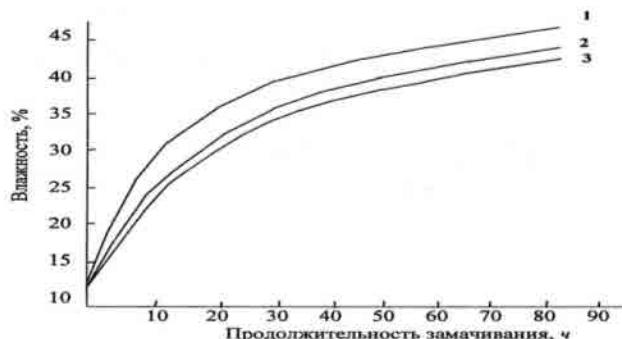
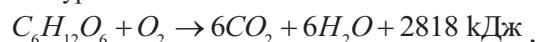


Рисунок 5. Влияние толщины зерна на водопоглощение: 1 – толщина 1,8-2,2 мм; 2 – толщина 2,2-2,6 мм; 3 – толщина 2,6-3,0 мм

Так, мелкие зерна при продолжительности замачивания в течение 50 часов приобретают влажность 35,5 %, крупные – 34,7 %. На водопоглощение влияет сорт ржи и условия ее выращивания, так как структура зерна зависит от теплых, сухих условий роста и погодных условий при уборке урожая. При этих условиях достигается плотная структура эндосперма [3, 4].

Учитывая, что на производство солода поступает рожь различного качества – смесь сортов, были проведены исследования по замачиванию этой ржи с длинными воздушными паузами, при этом во время них получили выравнивание скорости водопоглощения (рис. 6).

При замачивании рожь увеличивает свой объем на 40-45 %, что необходимо учитывать при проведении технологического процесса. При водопоглощении происходит интенсивное дыхание с увеличением потребности ржи в кислороде. Процесс этот описывается уравнением



при котором на каждую молекулу потребляемого кислорода образуется одна молекула диоксида углерода. При недостатке кислорода образуется избыток CO_2 , что порождает спиртовое брожение, при котором может произойти отравление зародыша продуктами обмена веществ – спиртом и диоксидом углерода.

Диоксид углерода оказывает тормозящее действие на рост, препятствуя полному использованию кислорода, поэтому необходимо постоянно удалять CO_2 , иначе продукты анаэробного обмена веществ вызывают повреждения зародыша. При этом материал приобретает кислотный запах, а затем и гнилостный запах, зерно теряет прочность и способность к прорастаемости.

При замачивании ржи необходимо обратить внимание на водочувствительность зерна, и при необходимости, подводить кислород в период воздушных пауз.

Исследования по содержанию CO_2 в замачиваемом зерне проводили в аппарате с коническим днищем вместимостью 30 m^3 с подачей воздуха через барботер, что улучшает снабжение материала кислородом и способствует более быстрому поглощению воды, сокращая процесс замачивания на 2-4 часа, и снижает содержание CO_2 до 15-20 % от начального – 1,7-1,9 г/дм³ [5, 6].

При этом установили, что образование CO_2 в замочном аппарате зависит от температуры замочной воды. Так, при температуре 13 °C образуется 1,8-5,9 % $CO_2/\text{ч}$, а при температуре 16-17 °C – 9-11,5 % $CO_2/\text{ч}$.

При этом эффект аэрации повышается при орошении и промывании ржи, не прерывая процесс поглощения влаги.

Испытаны возможности использования для нагревания ржи при первом замачивании в теплой воде с температурой около 24 °C в зимний период, что способствовало ускоренному водопоглощению.

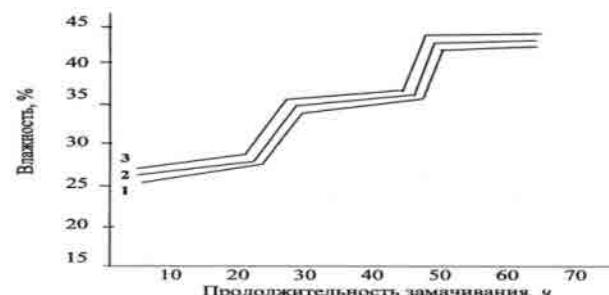


Рисунок 6. Водопоглощение ржи при замачивании смеси зерен различной толщины: 1 – толщина зерна 1,8-2,2 мм; 2 – толщина зерна 2,2-2,6 мм; 3 – толщина зерна 2,6-3,0 мм при количестве зерна: 1 – 32%; 2 – 43%; 3 – 25%

Во избежание температурного шока замачивание теплой водой проводилось через 2-3 часа от начала процесса, при влажности зерна – 30-31 %. При этом особое внимание обращалось на тщательное перемешивание зерна, чтобы избежать возникновения зон различных температур в массе зерна.

Замачивание проводилось по способу замачивания с «орошением» при четкой границе между периодами мокрого замачивания и воздушными паузами. Данная технология осуществлялась воздушно-оросительным способом, который обеспечивает быстрое и равномерное увлажнение зерна при хорошей его аэрации.

На первом этапе при замачивании рожь периодически ворошили через каждые 4-8 часов, орошая при этом водой температурой 15-16 °С через форсунки, установленные на ворошителе.

Снабжение кислородом осуществлялось при периодической продувке зерна воздухом температурой 14-16 °С нагнетаемым вентилятором в течение 20-25 минут. Первая продувка зерна проводилась через 4-5 часов после загрузки. Последующие продувки проводили через 1,5-2 часа в течение всего периода замачивания, поддерживая температуру в слое зерна 14-16° С. Длительность замачивания при таких условиях проведения технического процесса составила 18-24 ч в зависимости от качества зерна и температуры воды. Такая технология замачивания обеспечивала также высокую степень очистки ржи. Исследованиями установлено, что для получения влажности зерна 46-48 % потребность воды составила от 1-1,2 м³/т.

Начало проращивания проходило равномерно, количество корешков к концу процесса достигло 85-90 %.

Проведены исследования по определению потерь при замачивании, которые возникают вследствие наличия загрязнений на поверхности зерна, выщелачивания плодово-семенной оболочки, дыхания ржи в процессе замачивания.

Замачивание проводили в чане при полном заполнении водой, но небольшая часть замачиваемого зерна не погружалась под воду, несмотря на движение. Это мертвые зерна, которые собирались в переливе.

При этом для облегчения всплытия при замачивании целесообразно перемешивать плавающие на поверхности зерна так, чтобы не всплывали полные зерна. В зависимости от степени очистки ржи сплав составлял от 0,2 до 1,1 % перерабатываемого зерна. Сплав не относится к потерям, его необходимо собирать и отправлять на корм скоту. Потери от поверхностных загрязнений составили не более 0,08 %. Потери при выщелачивании достигали до 1 %, это грязь и вещества, входящие в состав плодово-семенной оболочки, – минеральные и дубильные вещества плодовой оболочки, белки. Потери при дыхании при замачивании в зависимости от качества ржи достигали 0,8-1,2 %.

Общие потери при замачивании составили от 1 до 2 %.

Выводы

На условие замачивания зерна влияет качество обработки поверхности ржи перед замачиванием. В ре-

зультате проведенных исследований установлены технологические параметры работы абразивной установки для обработки поверхности ржи перед замачиванием: окружная скорость движения зерна – 1,3-1,7 м/с; размер зерен абразива – 0,50-1,19 мм; продолжительность обработки – 40-50 с., что обеспечивает минимальное количество измельченной части зерна, равной 0,0015 %, и увеличивает набухаемость ржи на 10-20 %.

При замачивании вода диффундирует внутри зерна через семенную оболочку, что усиливает дыхание ржи, вызывая потребность в кислороде. В первые часы замачивания щиток и зародыш поглощают воду значительно быстрее, чем эндосперм, алейроновый слой и плодово-семенная оболочка, интенсивность поглощения воды снижается по мере приближения к точке насыщения.

Водопоглощение ускоряется при увеличении температуры замочной воды, с уменьшением толщины зерна и использовании щуплых и мелких зерен. Лучшему снабжению замачиваемого зерна кислородом и более быстрому поглощению воды способствует аэрация воды при орошении и промывании ржи, при этом сокращается процесс замачивания на 2-4 часа.

Использование при первом замачивании теплой воды с температурой около 24 °С способствует ускоренному водопоглощению, которое следует проводить через 2-3 часа от начала процесса при влажности зерна 30-31 % и тщательном перемешивании ржи во избежание образования в зерне зон с различными температурами.

Проводимое замачивание с орошением и периодическим ворожанием зерна через каждые 4-8 часов и орошением водой с температурой 15-16° С, периодической продувкой зерна (первая через 4-5 часов после загрузки, последующие – через 1,5-2 часа) в течение всего периода замачивания обеспечивает сокращение процесса замачивания до 18-24 часов.

Определены общие потери зерна при замачивании, которые составили от 1 до 2 %.

ЛИТЕРАТУРА

1. Калунянц, К.А. Химия солода и пива / К.А. Калунянц. – М.: Агропромиздат, 1990. – С. 176.
2. Калинин, Ф.Л. Биологически активные вещества в растениеводстве / Ф.Л. Калинин. – Киев: Наукова думка, 1984. – С. 318.
3. Солод ржаной сухой: ГОСТ 29272-92. – Введ. 01.06.93. – М.: Госстандарт СССР, 1993. – С. 22.
4. Нарцисс, Л. Технология солодорощения. Пивоварение / Л. Нарцисс. – 7-е изд.; пер. с нем. – СПб.: Профессия, 2007. – Т. 1. – С. 548.
5. Киселева, Т.Ф. Совершенствование технологии ржаного солода с применением ферментных препаратов / Т.В. Киселева, В.А. Помозова, А.Н. Кроль // Пиво и напитки, 2006. – № 2. – С. 22-24.
6. Мазур, А.М. Ржаной солод: применение, свойства, способы интенсификации производства / Л.И. Сапунова, И.О. Томкович, А.Т. Лобанок, В.П. Бойков, М.И. Котов, М.И. Болянова // Микробные биотехнологии: сб. науч. тр. – Мин.: Беларуская наука, 2009. – С. 345-359.

ПОДБОР ПРОБИОТИЧЕСКИХ МИКРООРГАНИЗМОВ ПО ОСНОВНЫМ ПРОИЗВОДСТВЕННО-ЦЕННЫМ СВОЙСТВАМ, ПРЕДНАЗНАЧЕННЫХ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКТОВ ДЕТСКОГО ПИТАНИЯ

Л.В. Сафоненко, канд. техн. наук (БГАТУ); Н.К. Жабанос, канд. техн. наук, Н.Н. Фурик, канд. техн. наук (РУП «Институт мясо-молочной промышленности»); Е.В. Сафоненко (ОДО «ВАН-97»)

Аннотация

Изложены результаты исследований по изучению производственно-ценных свойств бифидобактерий – Lactobacillus helveticus, Lactobacillus casei, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum, Streptococcus salivarius subsp. thermophilus из коллекционного фонда культур РУП «Институт мясо-молочной промышленности», предназначенных для производства новых кисломолочных продуктов для детского питания.

The results of studies on the industrial valuable, of Bifidobacterium, Lactobacillus helveticus, Lactobacillus casei, Lactobacillus acidophilus, Lactobacillus plantarum, Streptococcus salivarius subsp. thermophilus from Cultural Collection of "Institute of Meat and Dairy Industry," intended for the production of new dairy products for baby food are given in the article.

Введение

Питание детей представляет собой один из ключевых факторов, определяющих не только качество жизни, но также условия роста и развития ребенка. В Республике Беларусь на 1 января 2012 года насчитывалось около двух миллионов детей раннего, дошкольного и школьного возраста. Качественное питание именно этой категории населения является одной из приоритетных задач нашего государства в обеспечении здоровья нации. Полноценное питание укрепляет способность к обучению и здоровье детей. Такое питание влияет на интеллектуальное развитие ребенка и является необходимым условием хорошей успеваемости в школе. Дети, имевшие серьезную недостаточность основных нутриентов, минеральных и витаминных веществ, получают при тестировании на IQ и знание фактической информации более низкие оценки, чем дети в специально выбранных группах сравнения. И одно из первостепенных мест в обеспечении сбалансированного питания для детей занимают молоко и молочные продукты.

В кисломолочных продуктах (по сравнению с цельным молоком) содержатся молочнокислые и пробиотические микроорганизмы, которые подавляют развитие болезнетворных организмов в кишечнике, разрушают токсичные продукты обмена веществ, синтезируют витамины, повышают усвоение белков пищи, укрепляют иммунную систему. Учитывая незначительный ассортимент кисломолочных продуктов для питания детей раннего возраста и их высокую биологическую ценность, особую актуальность приобретает разработка новых технологий кисломолочных продуктов, обогащенных пробиотической микрофлорой.

Основная часть

Производство кисломолочных продуктов основано на использовании заквасок (традиционных и прямого внесения), бактериальных концентратов и монокультур, содержащих в своем составе микроорганизмы разных таксономических групп. Превращение исходного сырья в конечный продукт в биотехнологическом производстве не является результатом действия какого-либо одного штамма бактерий, а есть результат последовательного действия микробиологических популяций, которые за определенный период времени изменяют исходное сырье.

От видового и штаммового состава используемой микрофлоры (мезофильные лактобактерии, термофильные стрептококки, лактобациллы, бифидобактерии) зависят пробиотические свойства конечного продукта, стабильность протекания технологического процесса получения продуктов с заданными показателями качества и безопасности за счет биологически активных веществ, синтезируемых специально подобранными штаммами бактерий. Правильно подобранная микрофлора способна улучшить органолептические показатели продуктов, ускорить технологический процесс, повысить биологическую ценность продуктов, расширить ассортимент.

В этой связи определяющим этапом в технологии являются принципы подбора штаммов микроорганизмов для получения бактериальных концентратов и кисломолочных продуктов с пробиотическими свойствами. Было исследовано 22 штамма ацидофильной палочки, 17 штаммов бифидобактерий, 14 штаммов Lactobacterium delbrueckii subsp. bulgaricus, 10 штаммов Streptococcus salivarius subsp. thermophilus, 8 штаммов Lactobacillus plantarum, 4

штамма *Lactobacillus casei* и 8 штаммов рода *Bifidobacterium* из коллекции производственно-ценных штаммов РУП «Институт мясо-молочной промышленности». Штаммы отбирались по основным производственно-ценным свойствам:

- активность кислотообразования;
- активность роста в молоке и питательной среде;
- предельная кислотность;
- предельное значение активной кислотности;
- урожайность (количество жизнеспособных клеток в единице объема питательной среды);
- микроскопическая картина;
- органолептические свойства.

Активную кислотность (рН) регистрировали потенциометрически в ед. рН.

Определение активности роста в молоке, органолептических показателей молочнокислых микроорганизмов проводили следующим образом: в стерильное восстановленное молоко (100 мл) вносили 3 % культуры лактобацилл и термостатировали при температуре 40-42 °C – для болгарской палочки и термофильного стрептококка, 37-38 °C – для ацидофильной палочки и 32-35 °C – для *Lactobacillus plantarum*, *L. casei*. Отмечали продолжительность образования сгустка, по которому судили об активности свертывания молока.

Титруемую кислотность определяли титрометрическим методом, выражая в градусах Тернера (°T), по ГОСТ 3624-92. После этого пробы помещали в холодильник и выдерживали при температуре 3-5 °C в течение 16-18 часов. Затем отмечали характер сгустка, вкус, аромат и консистенцию.

Предельную кислотность микроорганизмов определяли после внесения 3 % культуры в 100 мл стерильного обезжиренного молока и выдержки при оптимальной температуре – 37-38 °C для ацидофильной палочки или 32-35 °C – для *Lactobacillus plantarum*, *L. casei*. в течение 7 суток.

Препараты для световой микроскопии готовили по стандартным методикам и окрашивали по Граму в модификации Хукера или метиленовой синью по Леффлеру.

Число колониеобразующих единиц (КОЕ/см³) (количество клеток) рассчитывали методом предельных разведений в полужидких средах.

Для определения активности роста в питательной среде бифидобактерий в питательную (гидролизатно-молочную, гидролизатно-казеиновую, тиоглицериковую или др.) среду инокулировали 10 % культуры бифидобактерий и термостатировали при температуре 37 °C в течение 18-20 часов. Учитывали количество жизнеспособных клеток и активную кислотность. Активность роста и жизнеспособность выражали в единицах КОЕ/см³ или Ig KOE/см³.

При изучении видового пейзажа лактобацилл микрофлоры человека было установлено, что наиболее часто встречаются: *Lactobacillus plantarum*, *Lactobacillus acidophilus*, *Lactobacillus paracasei* subsp. *paracasei*, *Lactobacillus rhamnosus*, *Lactobacillus fermentum*, *Lactobacillus delbrueckii* subsp. *lactis*, *Lactobacillus brevis* [1].

Ацидофильная палочка *Lactobacillus acidophilus* и болгарская палочка *Lactobacterium delbrueckii* subsp.

Bulgarius характеризуются высокой антибиотической активностью по отношению к возбудителям кишечных заболеваний, поэтому ее вводят в кисломолочные продукты для придания им лечебных свойств. Авторами публикации были изучены основные физиолого-биохимические признаки, характеризующие возможность применения этих микроорганизмов для производства лечебно-профилактических кисломолочных продуктов. У 22 культур ацидофильной палочки и 10 культур болгарской палочки определены скорость свертывания молока, активность кислотообразования, предельная кислотность, органолептические показатели. Результаты исследований представлены в табл. 1 – 2.

Все культуры ацидофильной палочки образовывали сгусток в пределах 4,4-5,5 часов. Титруемая кислотность при этом составляла 60-70 °T, предельная кислотность – 240-440 °T. На основании данных, приведенных в табл. 1, были отобраны 4 штамма (A23, A27/2, A30/4, A38/4) ацидофильной палочки по признакам высокой активности роста, относительно низкой энергии кислотообразования, что является важным свойством при хранении готового продукта. Кроме того, важное значение имели органолептические показатели: консистенция и характер сгустка, вкус и запах.

Болгарская палочка обладает большей энергией кислотообразования, чем ацидофильная и образует сгусток в молоке за 2,5-4 часа. Сгусток имеет кислотность 47-95 °T, а предельная кислотность составляет 204-384 °T. Исходя из анализа изученных свойств отобрано 4 штамма болгарской палочки – B4,B6,B7,B14/1.

В табл. 3 представлены результаты исследований коллекционных культур термофильного стрептококка. Поскольку при производстве детских молочных продуктов используется широкий температурный диапазон, то учитывалась активность образования сгустка при разных температурах. Также учитывали структурные и органолептические особенности образуемого сгустка.

Коллекционные штаммы термофильного стрептококка в зависимости от температуры культивирования образовывали сгусток в молоке в течение 2,5-4 часов (43 °C) и 5-6 часов (30 °C). Титруемая кислотность сгустка составляла – 60-63 °T, предельная кислотность – 105-119 °T. Для работы отобрано 5 штаммов (St 36/1, St 44/2, St 55/1, St 72/2, St 78), имеющих слабовязкую и вязкую консистенцию.

Лактобациллы колонизируют второй слой при эпителиальной зоны кишечника здорового человека. Иммуностимулирующее действие лактобацилл в первую очередь связывают с присутствием в их клеточной стенке пептидогликанов и тейхоевых кислот, известных поликлональных индукторов и иммуномодуляторов. Способность *Lb. plantarum* предотвращать развитие кишечных инфекций, вызванных традиционными патогенами, осуществляется преимущественно через механизм образования аргинина и окиси азота, а также предотвращения адгезии посторонних микроорганизмов и образования ими эндотоксинов [2].

Технологические свойства *Lactobacillus plantarum* и *Lactobacillus casei* изучались при развитии

Таблица 1. Производственно-ценные свойства культур *Lactobacillus acidophilus*

Номер штамма	Время образования сгустка, час	Титруемая кислотность, °Т	Предельная кислотность, °Т	Органолептические показатели: консистенция, запах, вкус
A 1	5,0	71	290	вязкая, чистый кисломолочный
A 2	5,0	61	440	невязкая, чистый кисломолочный
A 6	5,0	65	390	невязкая, чистый кисломолочный
A 7	5,5	71	500	невязкая, чистый кисломолочный
A 8	5,5	71	386	вязкая, чистый кисломолочный
A 10	5,0	57	370	вязкая, чистый кисломолочный
A 11	5,2	65	385	вязкая, чистый кисломолочный
A 13	5,0	68	497	вязкая, чистый кисломолочный
A 16	5,0	61	270	вязкая, чистый кисломолочный
A 17	5,0	66	425	вязкая, чистый кисломолочный
A 18	5,5	69	400	вязкая, чистый кисломолочный
A 19	5,0	65	350	невязкая, чистый кисломолочный
A 21	5,5	68	350	невязкая, чистый кисломолочный
A 23	5,0	65	328	вязкая, чистый кисломолочный
A 24	5,0	70	346	вязкая, чистый кисломолочный
A 25	5,5	67	352	вязкая, чистый кисломолочный
A 15	5,0	64	440	вязкая, чистый кисломолочный
A 27/1	5,5	67	375	вязкая, чистый кисломолочный
A 27/2	5,0	70	270	вязкая, чистый кисломолочный
A 27/3	5,5	60	240	вязкая, чистый кисломолочный
A 30/4	4,5	64	370	вязкая, чистый кисломолочный
A 38/4	4,45	61	335	вязкая, чистый кисломолочный

Таблица 2. Производственно-ценные свойства культур *Lactobacterium delbrueckii* subsp. *bulgaricus*

Номер штамма	Время образования сгустка, час.	Титруемая кислотность, °Т	Предельная кислотность, °Т	Органолептические показатели: консистенция, запах, вкус
B 3	2,5	57	381	чистый кисломолочный
B 4	2,5	50	380	чистый кисломолочный
B 6	4,0	64	255	вязкая, чистый кисломолочный
B 7	2,5	56	384	чистый кисломолочный
B 9	3,5	52	361	чистый кисломолочный
B 12/1	3	60	305	чистый кисломолочный
B 12/2	2,5	95	342	чистый кисломолочный
B 13/1	2,5	71	354	чистый кисломолочный
B 13/2	3,0	82	350	чистый кисломолочный
B 14/1	2,5	47	298	чистый кисломолочный
B 14/2	3,0	65	288	чистый кисломолочный
B 15/2	3,0	67	292	чистый кисломолочный
B 17	3,0	51	204	чистый кисломолочный
B 18/2	3,0	54	212	чистый кисломолочный

Таблица 3. Производственно-ценные свойства культур *Streptococcus salivarius* subsp. *thermophilus*

Коллекционный номер штамма	Активность, час.		Титруемая кислотность, °Т	Титр клеток, КОЕ/мл	Предельная кислотность, °Т	Органолептические показатели: консистенция, запах, вкус
	При 43 °C	При 30 °C				
St 18	2,5	5,5	63,0	$2,0 \cdot 10^5$	110	Не вязкая, чистый кисломолочный
St 21/3	2,5	5,5	62,4	$2,5 \cdot 10^5$	117	Не вязкая, чистый кисломолочный
St 36/1	3,5	6,0	60,0	$7,5 \cdot 10^5$	105	Слабовязкая, чистый кисломолочный
St 42	4,0	6,0	62,0	$2,0 \cdot 10^5$	125	не вязкая, чистый кисломолочный
St 44/2	3,5	5,5	61,0	$2,5 \cdot 10^5$	108	слабовязкая, чистый кисломолочный
St 48/2	3,5	6,0	62,0	$2,0 \cdot 10^5$	123	чистый кисломолочный
St 55/1	2,5	5,0	62,3	$2,5 \cdot 10^5$	112	вязкая, чистый кисломолочный
St 72/2	2,5	5,0	62,0	$2,5 \cdot 10^5$	110	вязкая, чистый кисломолочный
St 77/1	3,0	5,0	61,0	$2,0 \cdot 10^5$	124	чистый кисломолочный
St 78	2,5	5,5	63,0	$3,0 \cdot 10^5$	119	слабовязкая, чистый кисломолочный

культур в питательных средах, поскольку активность кислотообразования в молоке у них по сравнению с другими молочнокислыми культурами низкая. Для этих культур более важными показателями являются

изменение активной кислотности и скорость накопления биомассы в питательной среде. Результаты исследований представлены в табл. 4 – 5.

Таблица 4. Технологические характеристики культур *Lactobacillus plantarum*

№ штамма	Титр клеток в пит.среде, КОЕ/см ³	Активн. кислотность, рН	Титруемая кислотность., Т *	Предельная кислотность, Т *	Микроскопический препарат
Pl 28/2	$8,0 \cdot 10^8$	4,9	68,0	103	короткие толстые палочки, одиночные и в ветвистые цепочки
Pl 30/1	$4,5 \cdot 10^9$	4,4	70,0	110	короткие, средней толщины палочки, сгруппированные по 3-4 вместе
Pl 30/2	$3,5 \cdot 10^9$	4,3	69,0	108	короткие, средней толщины палочки, сгруппированные по 3-4 вместе
Pl 30/3	$6,0 \cdot 10^8$	4,6	67,8	111	короткие, средней толщины палочки, сгруппированные по 3-4 вместе
Pl 30/4	$5,0 \cdot 10^8$	4,7	71,0	115	тонкие палочки, сгруппированные в ветв. цепочки
Pl 30/5	$4,0 \cdot 10^8$	4,8	68,0	110	тонкие палочки, сгруппированные в ветв. цепочки
Pl 30/6	$2,0 \cdot 10^8$	4,7	69,0	105	тонкие палочки, сгруппированные в ветв. цепочки
Pl 30/7	$3,0 \cdot 10^8$	4,8	70,0	112	тонкие палочки, сгруппированные в ветв. цепочки

* Примечание: Титруемую и предельную кислотности определяли при культивировании в стерильной творожной сыворотке.

Таблица 5. Основные показатели развития культуры *Lactobacillus casei* в питательной среде

№ штамма	Титр клеток, КОЕ/см	Активная кислотность, ед. рН	Микроскопический препарат
L. cas 1	$3,5 \cdot 10^9$	4,52	Гр+ тонкие палочки, сгруппированные в ветвистые цепочки
L. cas 2	$4,0 \cdot 10^9$	4,35	Гр+ тонкие палочки, сгруппированные в ветвистые цепочки
L. cas 3	$2,5 \cdot 10^9$	4,61	Гр+ тонкие палочки, сгруппированные в ветвистые цепочки
L. cas 5/1	$4,5 \cdot 10^9$	4,41	Гр+ тонкие палочки, сгруппированные в ветвистые цепочки

Титр клеток на питательной среде у исследуемых штаммов составлял от $2,0 \cdot 10^8$ до $4,5 \cdot 10^9$ КОЕ/ см³. Активная и титруемая кислотности колебались незначительно и составляли соответственно 4,3 – 4,8 ед. рН и 68-70 °Т.

На основании проведенных исследований было отобрано два штамма *Lactobacillus plantarum* Pl 28/2, Pl 30/1, которые характеризовались наиболее высокой энергией роста и относительно низкой предельной кислотностью.

При изучении воздействия бактерий *Lactobacillus casei* на организм человека рядом исследователей [3] установлено, что применение готовых продуктов, фер-

ментированных бифидобактериями в сочетании с *Lb. casei*, способствует увеличению приживаемости бифидобактерий в кишечнике человека. Поэтому в последние годы для производства пробиотических продуктов наряду с бифидобактериями, ацидофильной и болгарской палочками, используются и бактерии *Lb. casei*.

При культивировании культур *Lactobacillus casei* в питательных средах при интенсивном снижении значений активной кислотности до 4,35-4,61 ед. рН достигается достаточно высокий титр жизнеспособных клеток $4,0 \cdot 10^9$ - $4,5 \cdot 10^9$, что позволило отобрать два наиболее продуктивных штамма (L. cas 2 и L. cas 5/1).

Известно, что бифидобактерии на 99 % состав-

Таблица 6. Основные показатели развития культур рода *Bifidobacterium* в питательной среде

№ штамма	Титр клеток, КОЕ/мл	Активная кислотность, ед. рН	Микроскопический препарат
B bifidum Б 2/3	$5,0 \cdot 10^9$	4,68	Гр+, тонкие прямые и изогнутые палочки в скоплениях и одиночные, с бифуркациями на концах
B longum Б ½	$3,5 \cdot 10^9$	4,56	Гр+, тонкие изогнутые палочки, ветвящиеся и с бифуркациями на концах
B. adolescentis Б 43	$3,0 \cdot 10^9$	4,61	Гр+, тонкие изогнутые палочки, с ветвлением, встречаются в виде римских пятерок.
B. adolescentis Б 47	$5,5 \cdot 10^9$	4,58	Гр+, тонкие изогнутые палочки, с ветвлением, встречаются в виде римских пятерок.
B. breve Б 39	$4,0 \cdot 10^9$	4,54	Гр+, тонкие изогнутые палочки, с ветвлением, встречаются в виде римских пятерок и булавовидные формы
B longum Б 44	$3,5 \cdot 10^9$	4,56	Гр+, тонкие изогнутые палочки, ветвящиеся и с бифуркациями на концах
B bifidum Бф 2	$1,5 \cdot 10^9$	4,62	Гр+, тонкие прямые и изогнутые палочки в скоплениях и одиночные, с бифуркациями на концах
B. infantis Бф 11	$2,0 \cdot 10^9$	4,63	Гр+, тонкие прямые и изогнутые палочки в скоплениях и одиночные, с бифуркациями на концах

ляют флору кишечника здорового грудного ребенка и в больших количествах присутствуют в микробиоценозе толстого кишечника детей и взрослых людей [4]. Наиболее изученные виды *B. bifidum* (типовой), *B. adolescentis*, *B. longum*, *B. breve*, *B. infantis* используются при производстве пробиотических продуктов.

Отбор штаммов бифидобактерий проводили по основным технологическим характеристикам. Исследовали интенсивность накопления биомассы в питательной среде, способность культур развиваться в молоке, активность кислотообразования. Изученные свойства представлены в табл. 6.

Все исследуемые коллекционные штаммы бифидобактерий накапливали в питательной среде $1,5 - 5,0 \cdot 10^9$ КОЕ/мл. и интенсивно снижали активную кислотность среды до 4,54-5,5 ед. рН. На основании анализа полученных результатов с учетом видовой принадлежности культур отобрано 7 штаммов бифидобактерий, обладающих удовлетворительными показателями развития на питательных средах.

Заключение

Для создания технологии детских пробиотических кисломолочных продуктов произведен отбор штаммов-производителей по необходимым производственно-ценным свойствам из коллекции РУП «Ин-

ститут мясомолочной промышленности», что позволяет после изучения их медико-биологических свойств приступить к созданию технологии бактериальных препаратов и самих продуктов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лактофлора и колонизационная резистентность / А.А. Ленцнер [и др.] // Антибиотики и медицинская биотехнология, 1987. – Т. 32. – № 3. – С. 173-179.
2. Elango, V. Oral Biotherapeutic agents for gastroenteritis / V. Elango, S. Dhanapal, S. Devi // Ecoimmunonutrition / eds. R. Deolankar [et al.]; Ind. Dietetic Assoc. Pune, 1997. – Р. 39-46.
3. Тамим, А.Й. Йогурт и аналогичные кисломолочные продукты: научные основы и технологии/ А.Й. Тамим, Р.К. Робинсон; под науч. ред. Л.А. Забодаловой; пер. с англ. – СПб: Профессия, 2003. – 664 с.
4. Молокеев, А.В. Рецептуростроение комплексных эубиотиков, адекватных возрастному микробиоценозу человека / А.В. Молокеев, Э.В. Криницына, Р.М. Ильина // Тез. науч. техн. конф. Пробиотики и пробиотические продукты в профилактике и лечении наиболее распространенных заболеваний человека, Москва, 21-23 апреля 1999. – М., 1999. – С. 34-37.

Измерители-регуляторы МТ2

Предназначены для измерения и регулирования температуры (в комплекте с датчиками температуры), а также других неэлектрических величин (давление, уровень, влажность и т.д.)



Измерители-регуляторы МТ2 являются универсальными цифровыми программируемыми микропроцессорными устройствами. Они могут быть использованы при создании систем автоматического контроля и регулирования различных параметров технологических процессов в промышленности и сельском хозяйстве.

Основные технические данные

Напряжение питания	230 В ± 10%, 50 Гц
Потребляемая мощность, не более	4 ВА
Масса, не более	0,4 кг
Габаритные размеры	120x96x48 мм
Входной сигнал (измерительный преобразователь)	Термопреобразователь сопротивления: ТСП50П, ТСП100П, ТСМ50М, ТСМ 100М; Термопара типа: «L», «J», «K»; Унифицированный токовый сигнал: 0...5mA, 0...20mA, 4...20mA
Предел основной приведенной погрешности измерения	±0,5 %
Закон регулирования	позиционный, ПИД

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ ОСВЕТИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВОК

В.П. Степанцов, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Приведен экспресс метод оценки энергетической эффективности капитальных вложений в модернизацию осветительных установок и результаты расчетов с его использованием.

The text deals with the express method of the assessment of power efficiency of capital investments in modernization of lighting installations and results of calculations with its use.

Введение

При проектировании или модернизации светотехнической установки экономическую целесообразность принимаемого решения равноценных по светотехническому эффекту вариантов (освещенность рабочих поверхностей отличается не более чем на +20...–10 % и параметры качества освещения не превышают нормируемых значений) оценивают путем сопоставления таких абсолютных и относительных показателей, как интегральный эффект, коэффициент роста капитала, срок возврата капиталовложений [1].

Наблюдаемый рост цен на энергоносители требует повышенного внимания к проблеме экономии электрической энергии, так как при эксплуатации светотехнической установки ее стоимость обычно преобладает в общей сумме затрат [2].

Основная часть

При анализе возможных решений на начальном этапе экономического анализа предлагается ограничиться только сопоставлением относительной разницы установленных мощностей и ожидаемых капитальных затрат на приобретение светильников, ламп и пускорегулирующей аппаратуры (ПРА). Поскольку установленная мощность светотехнической установки, как правило, пропорциональна произведению коэффициента использования светового потока (η_{OV}), коэффициента полезного действия (КПД) светильника (η_{CB}), нормируемой освещенности для принятого типа источника (E), принимаемого при расчете коэффициента запаса (K_3), световой отдачи источника света (η_{IS}) и коэффициента, учитывающего потери энергии в ПРА (K_{PRA}), то относительная разность приведенных установленных мощностей (ΔP , отн. ед.) для рассматриваемых вариантов может быть определена как

$$\Delta P = 1 - \frac{\eta_{OV_2} \cdot \eta_{CB_2} \cdot E_2 \cdot K_{3_2} \cdot \eta_{IS_1} \cdot K_{PRA_1}}{\eta_{OV_1} \cdot \eta_{CB_1} \cdot E_1 \cdot K_{3_1} \cdot \eta_{IS_2} \cdot K_{PRA_2}}. \quad (1)$$

Положительное значение ΔP соответствует меньшей установленной мощности светотехнической установки и, как следствие, экономии электрической энергии в варианте 1 по отношению к принятому при сравнении за базовый (вариант 2), а отрицательное – ее перерасходу.

Относительная разность приведенных установленных мощностей позволяет определить годовой потенциал экономии (перерасхода) электрической энергии ΔW (кВт·ч)

$$\Delta W = \Delta P \cdot W_{\text{год}}, \quad (2)$$

где $W_{\text{год}}$ – годовое потребление электрической энергии светотехнической установкой, кВт·ч, определяемое как $W_{\text{год}} = P_{\text{P}} \cdot T_{MO}$;

P_{P} – установленная (расчетная) мощность установки, кВт;

T_{MO} – годовое число использования установленной (расчетной) мощности светотехнической установки, час [3, 4].

При обосновании проведения какого-либо одного из мероприятий по повышению эффективности светотехнической установки, например, замены светильников на светильники с большим КПД или меньшими потерями электрической энергии в ПРА, повышения КПД существующих светильников вследствие их чистки или обустройства автоматического управления установками искусственного освещения, устранения отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения и др., выражение (1) может быть представлено в виде:

– при замене светильников на светильники с большим КПД

$$\Delta P = 1 - \eta_{CB_2} / \eta_{CB_1}; \quad (3)$$

– при замене светильников на светильники с меньшими потерями электрической энергии в ПРА или установке энергоэффективных ПРА в существующие светильники, например, электронного ПРА (ЭПРА)

$$\Delta P = 1 - K_{PRA_1} / K_{PRA_2}; \quad (4)$$

– при замене источников света, например, установки в осветительные приборы ламп с большей световой отдачей

$$\Delta P = 1 - \eta_{IC_1} / \eta_{IC_2}; \quad (5)$$

– при повышении коэффициента использования светового потока осветительной установки, например, вследствие изменения коэффициентов отражения поверхностей помещения (потолка, стен, рабочей поверхности) при их покраске в более светлые тона (побелке, майке)

$$\Delta P = 1 - \eta_{OY_2} / \eta_{OY_1}; \quad (6)$$

– при изменении коэффициента запаса, например, вследствие замены светильников на светильники другой эксплуатационной группы

$$\Delta P = 1 - K_{3_2} / K_{3_1}; \quad (7)$$

– при изменении освещенности рабочей поверхности, например, вследствие проведения мероприятий по уменьшению отклонений напряжения в электрической сети от номинального значения, или применении источников другого вида

$$\Delta P = 1 - E_2 / E_1, \quad (8)$$

где E_1, E_2 – нормированные значения освещенности для применяемых в осветительной установке источников света, лк.

При обосновании мероприятий по изменению освещенности за счет устранения отклонений напряжения в электрической сети значение освещенности E_1 определяется расчетным путем по результатам измерения средних фактических значений напряжения и освещенности [5]

$$E_1 = \frac{E_{iz} \cdot U_h}{U_h - k \cdot (U_h - U_{iz})}, \quad (9)$$

где E_{iz} – среднее значение фактической освещенности, лк;

k – коэффициент, учитывающий изменения светового потока лампы при отклонении напряжения питающей сети (принимают равным 4 для ламп накаливания и 2 для газоразрядных ламп);

U_h – номинальное напряжение сети, В;

U_{iz} – среднее фактическое значение напряжения, В.

Относительную разность приведенных установленных мощностей при повышении КПД светильников вследствие их регулярной чистки можно определить как [5, 6]

$$\Delta P = 1 - (g_c + b_c \cdot e^{-(t/t_c)}), \quad (10)$$

где g_c, b_c, t_c – постоянные для заданных условий эксплуатации светильников [6];

t – продолжительность эксплуатации светильников между двумя ближайшими чистками.

При расчете энергоэффективности осветительных установок следует обратить особое внимание на то, что нормируемая освещенность E_{min} при замене типа источ-

ника света может быть иной, например, при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы [7]. Поэтому при определении ΔP из формулы (1) или ΔW из формулы (2) подстановка значений нормируемой освещенности рабочей поверхности для принятого типа источника при замене ламп накаливания на газоразрядные лампы является не совсем корректной, так как в осветительных установках, особенно при лампах накаливания, не всегда соблюдается прямолинейная зависимость установленной мощности от нормируемой освещенности.

Расчет экономии электрической энергии при автоматическом управлении осветительными установками требует учета многих факторов. Известные методики расчета [8, 9] довольно сложны для использования и могут быть рекомендованы при необходимости точной оценки сопоставимых вариантов. Тем не менее, ориентировочный расчет от внедрения систем автоматизации осветительных установок можно произвести по следующей формуле [5]:

$$\Delta P = k_{\mathcal{E}A}, \quad (11)$$

где $k_{\mathcal{E}A}$ – коэффициент эффективности, определяемый уровнем сложности системы управления, и равный:

– при организации контроля освещенности и автоматического включения (отключения) при критических значениях освещенности – 0,1...0,15;

– зонном управлении освещением (дискретно, в зависимости от распределения естественной освещенности) – 0,2...0,25;

– плавном управлении мощностью и световым потоком в зависимости от распределения естественной освещенности – 0,3...0,4.

Значение годового потенциала экономии электрической энергии позволяет оценить ожидаемый эффект от внедрения предлагаемого варианта осветительной установки в сопоставлении с базовым, для чего определим:

1. Стоимость электрической энергии, которую предполагается сэкономить при внедрении предлагаемого варианта осветительной установки $C_{\mathcal{E}E}$, руб.

$$C_{\mathcal{E}E} = \Delta W \cdot C_{kWm}, \quad (12)$$

где C_{kWm} – действующий тариф на электрическую энергию, руб. \cdot кВт \cdot ч $^{-1}$.

2. Капитальные затраты (руб.) на изготовление осветительной установки. При модернизации осветительной установки в расчет могут быть приняты только ее заменяемые элементы: светильники, лампы, ПРА или иные. В этом случае, при определении дополнительных капитальных затрат в расчетах можно ограничиться лишь стоимостью оборудования и строительно-монтажных работ (принимается равным 25...30 % стоимости оборудования) [2].

3. Срок окупаемости T_{OK} (лет) предлагаемых мероприятий по модернизации осветительной установки [2]

$$T_{OK} = K / C_{\mathcal{E}E}. \quad (13)$$

В качестве примера приведем сравнительный расчет экономического обоснования замены в осветительной установке бытового помещения (жилая комната, нормируемая освещенность – 100 лк при газо-

разрядных лампах) лампы накаливания БК215-225-75 (мощность – 75 Вт, световой поток – 1030 лм, срок службы – 1000 час, цена в розничной торговле по состоянию на 01.10.2012 – 2850 руб.) на аналогичную ей по световому потоку энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу Т3SPC20 фирмы «Космос» (Россия) со следующими параметрами:

- номинальная мощность – 20 Вт;
- световой поток – 1100 лм;
- срок службы – 8000 час;
- цена в розничной торговле – 37100 руб.

Примем среднегодовое время работы осветительной установки – 1000 часов при условии работы в день – 2,5...3 часа. Действующий тариф на электрическую энергию для бытовых нужд примем равным 295 руб. \cdot кВт \cdot ч $^{-1}$.

Приведенные данные позволяют установить требуемые в формуле (1) параметры:

- а) для базового варианта – $E_2 = 75$ лк; $\eta_{\text{ис(2)}} = 13,7 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$; $K_{3(2)} = 1,2$; $K_{\text{ПРА(2)}} = 1,0$;
- б) для предлагаемого варианта – $E_1 = 100$ лк; $\eta_{\text{ис(1)}} = 52,5 \text{ лм}\cdot\text{Вт}^{-1}$; $K_{3(1)} = 1,4$; $K_{\text{ПРА(1)}} = 1,05$.

Тогда

а) относительная разность приведенных установленных мощностей

$$\Delta P = 1 - \frac{100 \cdot 1,4 \cdot 13,7 \cdot 1,05}{75 \cdot 1,2 \cdot 52,5 \cdot 1,0} = 0,43;$$

б) годовое потребление электрической энергии базового варианта

$$W_{\text{год}_2} = P_P \cdot T_{\text{МО}} \cdot K_{\text{ПРА}} = 0,1 \cdot 1000 \cdot 1,0 = 100 \text{ кВт}\cdot\text{ч},$$

где P_P – установленная мощность осветительной установки, кВт;

$T_{\text{МО}}$ – годовое число использования установленной мощности, ч;

в) годовой потенциал экономии электрической энергии

$$\Delta W = 0,43 \cdot 100 = 43 \text{ кВт}\cdot\text{ч};$$

г) стоимость сэкономленной электрической энергии

$$C_{\mathcal{E}2} = 43 \cdot 295 = 12685 \text{ руб};$$

д) дополнительные капитальные затраты K на модернизацию осветительной установки в рассматриваемом варианте ограничим стоимостью ламп с учетом их номинальных сроков службы. Так как за время работы люминесцентной лампы Т3SPC20 (8000 час) пользователю придется сменить 8 ламп накаливания БК215-225-75 (1000 час), то

$$K = (37100 - 8 \cdot 2850) = 14300 \text{ руб};$$

е) ожидаемый срок окупаемости предполагаемых вложений составит

$$T_{\text{ОК}} = 14300 / 12685 \approx 1,13 \text{ лет.}$$

Как видим, проведенный сопоставимый технико-экономический анализ целесообразности замены в осветительной установке бытового помещения лампы накаливания на энергоэкономичную одноцокольную компактную люминесцентную лампу указывает на то, что подобная замена позволяет сэкономить до 40...50 %

потребляемой электрической энергии. При этом даже при действующем на сегодняшний день, низком относительно себестоимости производства тарифе на электрическую энергию для бытовых нужд, расчетный срок окупаемости подобной замены составляет более 1 года.

С использованием предлагаемого метода проведены расчеты замены светотехнических изделий при модернизации осветительных установок. Результаты расчетов дают основание утверждать, что замена ламп накаливания на люминесцентные лампы серии Т12 позволяет экономить до 41...63 % электрической энергии; люминесцентные лампы серии Т8 позволят сэкономить 44...68 % электроэнергии и лампы серии Т5 – 46...70 %; компактные люминесцентные лампы – 40...50 %; лампы ДРЛ – 38...48 %; лампы ДРИ – 52...68 % и ДНаТ – 55...73 % электроэнергии; светодиодные лампы – 42...95 %. При замене люминесцентных ламп серии Т12 на лампы серии Т8 экономия электрической энергии в осветительной установке достигает 15...24 %, замена на лампы серии Т5 – 18...32 %, светодиодные лампы – 21...38 %, лампы ДРИ – 18...25 % и ДНаТ – 22...30 %. Использование в осветительной установке ламп ДРИ в сравнении с лампами ДРЛ экономит до 32...48 % электроэнергии, а ламп ДНаТ – 36...52 %. Отметим также, что использование в схемах включения газоразрядных ламп электронных ПРА вместо электромагнитных приводит к экономии 10...15 % электрической энергии.

Проведенный анализ показывает, что при модернизации осветительных установок экономически целесообразно применять энергоэкономичные светотехнические изделия, несмотря на некоторое увеличение дополнительных капитальных вложений и относительно низкий тариф на электрическую энергию. Важным доводом подобного утверждения является возможность существенной экономии электрической энергии в осветительных установках и относительно небольшой срок окупаемости дополнительных капитальных вложений. Однако при этом не следует делать преждевременные выводы о более или менее экономичных вариантах осветительных установок вообще, а следует говорить только о предпочтительных для данных конкретных условий.

Заключение

Приведенный метод приближенного расчета энергетической эффективности установок искусственного освещения и обоснования инвестиций в их реконструкцию позволяет получать результаты с точностью до $\pm 20\%$ и делать на их основании выводы о целесообразности вложений в мероприятия по энергосбережению. Результаты работы рекомендуются для практического применения при определении составляющих затрат на реконструкцию и эксплуатацию светотехнических установок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Зеленовский, А.А. Методика оценки эффективности установок искусственного освещения: сб.

науч. тр. фа-та предпринимательства и управления БГАТУ / А.А. Зеленовский, В.П. Степанцов; редкол. И.М. Морозова и [др.]. – Мин.: БГАТУ, 2012. – 262 с.

2. Методические рекомендации по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий. – Мин.: Белэнергосбережение, 2003. – 60 с.

3. Козловская, В.Б. Электрическое освещение: справоч. / В.Б. Козловская, В.Н. Радкевич, В.Н. Сацукеевич. – 2-е изд. – Мин.: Техноперспектива, 2008. – 271 с.

4. Степанцов, В.П. Светотехника: учеб. пособ. / В.П. Степанцов, Р.И. Кустова. – Минск, БГАТУ, 2012. – 568 с.: ил.

5. Лоскутов, А.Б. Методика расчета экономии электроэнергии в действующих осветительных установках помещений при проведении энергетического аудита /

А. Б. Лоскутов, А. С. Шевченко [Электронный ресурс]. – 2012. – Режим доступа: <http://www.marketelectro.ru>. – Дата доступа: 19.10.2012.

6. Айзенберг, Ю.Б. Справочная книга по светотехнике / Ю.Б. Айзенберг. – М.: Энергоатомиздат, 1995. – 528 с.: ил.

7. Естественное и искусственное освещение. Строительные нормы проектирования: ТКП 45-2.04-153-2009. – Мин.: Мин-во архитектуры и строительства, 2009. – 59 с.

8. Канакин, Н.С. Технико-экономические вопросы электрификации сельского хозяйства / Н.С. Канакин, Ю.М. Коган. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 192 с.

9. Кунгс, Я.А. Автоматизация управления электрическим освещением / Я.А. Кунгс. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 112 с.

УДК 621.365

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 27.11.2012

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕТОДА ЭЛЕКТРОТЕПЛОВОЙ АНАЛОГИИ ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ ЦЕПЯМИ С НЕЛИНЕЙНЫМИ РЕЗИСТИВНЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ

А.И. Шакирин, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Приведена методика моделирования стационарных процессов теплопередачи в изотропных материалах с помощью электрических цепей с нелинейными резистивными элементами, позволяющая учесть нелинейную зависимость коэффициента теплопроводности от температуры. Предложенная методика позволяет повысить точность моделирования процессов теплопередачи, особенно при использовании современных материалов.

A method for modeling steady-state heat transfer processes in isotropic materials using electrical circuits with nonlinear resistive elements, which allows taking into account the nonlinear dependence of thermal conductivity on temperature, is proposed in the article. The proposed method allows more accurate modeling of heat transfer, especially when using modern materials.

Введение

Повышение качества, надежности и долговечности традиционных и вновь создаваемых строительных, конструкционных, тепло- и электроизоляционных материалов требуют совершенствования известных и создания новых методов расчета.

При расчете стационарных процессов теплопередачи в изотропных материалах часто применяют метод электротепловой аналогии [1-3], который основан на использовании закона теплопроводности Фурье и применении методов расчета резистивных электрических цепей [3]. При использовании этой методики предполагается, что коэффициент теплопроводности является постоянной величиной, а закон Фурье не учитывает инерционность процесса теплопередачи.

Для большинства материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры доста-

точно слабая, что позволяет вычислить среднее значение коэффициента теплопроводности в заданном интервале температур и оперировать им как постоянной величиной, что и сделано в работах [1, 3].

Однако для некоторых материалов и веществ зависимость коэффициента теплопроводности от температуры становится принципиальной [2], и поэтому формальное применение метода электротепловой аналогии без учета зависимости коэффициента теплопроводности от температуры снижает точность моделирования процессов теплопередачи, особенно при использовании современных материалов [3].

Целью настоящей работы является повышение точности моделирования процессов теплопередачи путем применения метода расчета электрических цепей [4, 5], который позволяет одновременно учесть нелинейные и инерционные свойства цепи.

Основная часть

Для упрощения задачи моделирования теплопередачи заменяют полную систему уравнений теплообмена на электрическую аналоговую модель, пользуясь методом электротепловой аналогии [1, 2].

В основе метода электротепловой аналогии лежит то обстоятельство, что математическая модель процесса передачи тепла через материалы и математическая модель процесса протекания тока в электрической цепи (с известными ограничениями) формально описывается одним и тем же выражением.

Так, плотность стационарного теплового потока q через плоскую стенку хорошо моделируется соотношением (закон Фурье)

$$q = \lambda \cdot \Delta t. \quad (1)$$

Величина тока i (A), протекающего через электропроводящую среду в установившемся режиме, выражается соотношением (закон Ома)

$$i = g \cdot \Delta u. \quad (2)$$

В этих выражениях λ и g – коэффициент теплопроводности (Вт/(м·К)) и электрическая проводимость (А/В), а Δt и Δu – перепады температур (град) и электрических потенциалов (В) соответственно.

Выражения (1) и (2), являясь математическими моделями процесса передачи тепла и процесса протекания электрического тока, позволяют применять для решения многих задач теплотехники известные методы расчета резистивных электрических цепей с сосредоточенными параметрами, основанные, в частности, на законах Кирхгофа.

В работе [2] отмечено, что для большинства материалов зависимость коэффициента теплопроводности от температуры достаточно слабая, что позволяет пользоваться усредненным значением коэффициента теплопроводности в заданном интервале температур, как это сделано, например, в работах [1, 3]. В тех случаях, когда зависимость коэффициента теплопроводности от температуры $\lambda = f(T)$ игнорировать нельзя, ее приближенно аппроксимируют линейной функцией вида: $\lambda = \lambda_0 [1 + b(T - T_0)]$ или $\lambda = \beta + kT$, либо экспоненциальной функцией вида: $\lambda = b \cdot e^{kT}$ [2].

Таким образом, в общем случае имеет место нелинейная зависимость $\lambda = f(T)$, поэтому в электрической схеме, которой заменяется схема теплопередачи при использовании метода электротепловой аналогии, обычные проводимости g необходимо заменить нелинейными $g = f(U)$. Как уже отмечалось, зависимость $\lambda = f(T)$ имеет слабо выраженную нелинейность, поэтому и электрические цепи с нелинейными проводимостями $g = f(U)$ можно считать цепями с несущественной нелинейностью.

Одним из методов анализа нелинейных цепей является метод, основанный на представлении связи воздействия x и отклика на него $y(t)$ в виде функционального ряда Вольтерра [4–6]:

$$\begin{aligned} y(t) = & \int_{-\infty}^{+\infty} k(\tau)x(t-\tau)d\tau + \\ & + \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} k(\tau_1, \tau_2)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)d\tau_1d\tau_2 + \\ & + \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} k(\tau_1, \tau_2, \tau_3)x(t-\tau_1)x(t-\tau_2)x(t-\tau_3)d\tau_1d\tau_2d\tau_3 + \dots + \\ & + \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} \dots \int_{-\infty}^{+\infty} k(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k) \prod_{i=1}^k x(t-\tau_i)d\tau_i + \dots, \end{aligned} \quad (3)$$

где x и y – соответственно входное воздействие и отклик цепи; $k(\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k)$ – многомерная функция (ядро) k -го порядка, характеризующая как линейные, так и нелинейные свойства цепи.

Выражение (3) преобразуется по Лапласу в пространстве многих комплексных переменных $p_i = (p_1, p_2, \dots, p_k)$, соответствующих $\tau_i = (\tau_1, \tau_2, \dots, \tau_k)$, и в операторной форме запишется следующим образом:

$$Y(p_1, p_2, \dots, p_k) = \sum_{k=1}^{\infty} K(p_1, p_2, \dots, p_k) \prod_{i=1}^k X(p_i), \quad (4)$$

где $Y(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – изображение отклика;

$K(p_1, p_2, \dots, p_k)$ – изображение ядра k -го порядка, характеризующего индивидуальные особенности цепи;

$X(p_i)$ – изображение входного воздействия.

Описание электрической цепи с помощью ряда Вольтерра было впервые исследовано Н. Винером [7], поэтому класс цепей этого вида называется классом Вольтерра – Винера.

Описание электрических цепей с помощью рядов Вольтерра имеет следующие достоинства:

1. Явная связь отклика и воздействия (как во временной, так и в операторной форме), что не характерно для описания свойств цепи с помощью системы дифференциальных уравнений.

2. Одновременный учет как линейных, так и нелинейных свойств цепи.

3. В тех случаях, когда влиянием инерции можно пренебречь (для резистивной цепи), ряд Вольтерра преобразуется в известный степенной ряд, широко используемый для анализа электрических цепей

$$y(x) = k_0 + k_1 x + k_2 x^2 + k_3 x^3 + \dots + k_i x^i + \dots \quad (5)$$

На практике часто используют разновидность разложения (5) в виде ряда Тейлора, для которого $k_0 = y(x_0)$, $k_1 = y'(x_0)/1!$, $k_2 = y''(x_0)/2!$, ..., $k_i = y^{(i)}(x_0)/i!$, где x_0 – точка функции (5), относительно которой осуществляется разложение.

Особенностью ряда Тейлора является единственность способа представления функции, в то время как применение степенных полиномов других видов дает неединственные результаты, а коэффици-

енты k_i полинома (5) зависят от способа их определения и области входного воздействия.

4. Удобство использования аппарата рядов Вольтерра при анализе цепей с малой нелинейностью [4, 5]. Это объясняется линеаризацией и алгебраизацией системы нелинейных дифференциальных уравнений цепи при использовании преобразования Лапласа (4), что существенно облегчает моделирование благодаря применению методов анализа линейных цепей.

В практике расчета электрической цепи широко используется представление как всей цепи в целом, так и ее элементов с помощью формализованных понятий – двухполюсников и многополюсников.

Простейшие двухполюсные физические модели представляются тремя цепями: резистивной, емкостной и индуктивной (рис. 1).

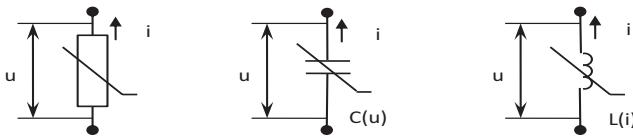


Рисунок 1. Виды нелинейных двухполюсных элементов

Приложенные к этим элементам токи i и напряжения u связаны зависимостями:

$$i = f(u) \text{ или } u = f(i) - \text{ для резистивной цепи; } (6)$$

$$i = C(u) \frac{du}{dt} - \text{ для емкостной цепи;}$$

$$u = L(i) \frac{di}{dt} - \text{ для индуктивной цепи,}$$

где $C(u)$ и $L(i)$ – соответственно дифференциальная емкость и дифференциальная индуктивность, в общем случае, нелинейные.

В настоящей работе ограничимся рассмотрением резистивной цепи и представим зависимости (6) в окрестности исходной рабочей точки в виде рядов Тейлора:

$$i = \sum_{n=0}^m \frac{1}{n!} \frac{d^n i}{du^n} u^n = \sum_{n=0}^m G^{(n)} u^n;$$

$$u = \sum_{n=0}^m \frac{1}{n!} \frac{d^n u}{di^n} i^n = \sum_{n=0}^m R^{(n)} i^n,$$

$$\text{где } G^{(0)} = G; R^{(0)} = R.$$

Возможно разложение нелинейных функций (6) в степенные ряды других видов, однако эти разложения не единственны, а коэффициенты рядов зависят от области воздействия.

Для цепей с нелинейностью резистивного характера ряд Вольтерра преобразуется в степенной ряд вида

$$y = K^{(1)} x + K^{(2)} x^2 + K^{(3)} x^3 + \dots, \quad (7)$$

где y и x соответственно, отклик и воздействие на электрическую цепь.

Методика определения $K^{(1)}$, $K^{(2)}$ и $K^{(3)}$ передаточной характеристики (7) электрической цепи следующая [4]:

1. Составляется система уравнений анализируемой цепи, основанная на законах Кирхгофа.

2. Все свободно стоящие в уравнениях токи и напряжения заменяются коэффициентами степенных рядов соответствующих порядков, при этом исходная система уравнений распадается на три подсистемы относительно искомых членов ряда (7): линейного $K^{(1)}$, квадратичного $K^{(2)}$ и кубического $K^{(3)}$.

3. Входное воздействие x заменяется единицей для линейной подсистемы и нулем для подсистем высших порядков.

4. Компонентные уравнения, связывающие токи и напряжения, приложенные к резистивным элементам цепи (линейным и нелинейным), подставляются из табл. 1.

Величины параметров нелинейных резистивных элементов G, G', G'', R, R', R'' находятся по известным вольт-амперным (ампер-вольтовым) характеристикам нелинейных элементов. Если аналитические выражения соответствующих характеристик неизвестны, то параметры можно определить экспериментально путем использования соответствующих устройств, например [8].

5. Подсистемы решаются относительно коэффициентов ряда искомого напряжения или тока (7).

Для иллюстрации предложенной методики рассмотрим пример расчета теплообмена в помещении с

Таблица 1. Компонентные уравнения

Вид компонента	Уравнение характеристики	Компонентное уравнение	Примечание
Резистивный нелинейный	$i = f(u)$	$K_i^{(1)} - GK_u^{(1)} = 0$ $K_i^{(2)} - GK_u^{(2)} = \alpha$ $K_i^{(3)} - GK_u^{(3)} = \beta$	$\alpha = G' \left[K_u^{(1)} \right]^2$ $\beta = G'' \left[K_u^{(1)} \right]^3 + 2G'K_u^{(1)}K_u^{(2)}$ $i = Gu + G'u^2 + G''u^3$
Резистивный линейный	$u = f(i)$	$K_u^{(1)} - RK_i^{(1)} = 0$ $K_u^{(2)} - RK_i^{(2)} = \gamma$ $K_u^{(3)} - RK_i^{(3)} = \delta$	$\gamma = R' \left[K_i^{(1)} \right]^2$ $\delta = R'' \left[K_i^{(1)} \right]^3 + 2R'K_i^{(1)}K_i^{(2)}$ $u = Ri + R'i^2 + R''i^3$
Резистивный линейный	$i = f(u)$	$K_i^{(1)} - GK_u^{(1)} = 0$ $K_i^{(2)} - GK_u^{(2)} = 0$ $K_i^{(3)} - GK_u^{(3)} = 0$	—
Резистивный линейный	$u = f(i)$	$K_u^{(1)} - RK_i^{(1)} = 0$ $K_u^{(2)} - RK_i^{(2)} = 0$ $K_u^{(3)} - RK_i^{(3)} = 0$	—

использованием электротепловой аналогии [1]. Для упрощения расчетных выражений представим модель теплообмена электрической цепью, в которой для моделирования нелинейной зависимости коэффициента теплопроводности от температуры $\lambda = f(T)$ используются нелинейные резистивные элементы R_1 и R_2 , как показано на рис. 2.

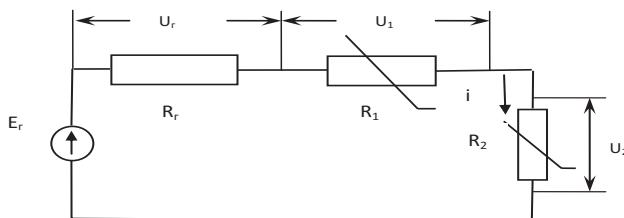


Рисунок 2. Модель теплообмена в виде нелинейной электрической цепи

Представим нелинейную зависимость тока $i=f(u)$, который протекает через элементы R_1 и R_2 , в виде ряда Тейлора, соответственно

$$i = G_1 u_1 + G_1^{(1)} u_1^2 + G_1^{(2)} u_1^3 \text{ и } i = G_2 u_2 + G_2^{(1)} u_2^2 + G_2^{(2)} u_2^3.$$

Система уравнений, составленная по законам Кирхгофа для этой цепи, запишется следующим образом:

$$\begin{cases} u_r + u_1 + u_2 - E_r = 0, \\ i = G_1 u_1, \\ i = G_2 u_2, \\ u_r = R_r i. \end{cases} \quad (8)$$

Используя приведенную выше последовательность действий и табл. 1, составим соответствующие подсистемы. Тогда выходное напряжение будем искать в виде

$$u_2 = K_{u_2}^{(1)} E_r + K_{u_2}^{(2)} E_r^2 + K_{u_2}^{(3)} E_r^3. \quad (9)$$

Подсистема первого порядка:

$$\begin{cases} K_{u_r}^{(1)} + K_{u_1}^{(1)} + K_{u_2}^{(1)} - 1 = 0, \\ K_i^{(1)} = G_1 K_{u_1}^{(1)}, \\ K_i^{(1)} = G_2 K_{u_2}^{(1)}, \\ K_{u_r}^{(1)} = R_r K_i^{(1)}, \end{cases}$$

откуда

$$K_i^{(1)} = 1/L; K_{u_1}^{(1)} = R_1/L; K_{u_2}^{(1)} = R_2/L; L = R_r + R_1 + R_2.$$

Подсистема второго порядка:

$$\begin{cases} K_{u_r}^{(2)} + K_{u_1}^{(2)} + K_{u_2}^{(2)} = 0, \\ K_i^{(2)} = G_1 K_{u_1}^{(2)} + \alpha_1, \\ K_i^{(2)} = G_2 K_{u_2}^{(2)} + \alpha_2, \\ K_{u_r}^{(2)} = R_r K_i^{(2)}, \end{cases}$$

$$\text{где } \alpha_1 = G_1^{(1)} \left[K_{u_1}^{(1)} \right]^2; \alpha_2 = G_2^{(1)} \left[K_{u_2}^{(1)} \right]^2, \text{ откуда}$$

$$K_i^{(2)} = (\alpha_1 R_1 + \alpha_2 R_2) / L;$$

$$K_{u_1}^{(2)} = (K_i^{(2)} - \alpha_1) R_1; K_{u_2}^{(2)} = (K_i^{(2)} - \alpha_2) R_2.$$

Подсистема третьего порядка:

$$\begin{cases} K_{u_r}^{(3)} + K_{u_1}^{(3)} + K_{u_2}^{(3)} = 0, \\ K_i^{(3)} = G_1 K_{u_1}^{(3)} + \beta_1, \\ K_i^{(3)} = G_2 K_{u_2}^{(3)} + \beta_2, \\ K_{u_r}^{(3)} = R_r K_i^{(3)}, \end{cases}$$

$$\text{где } \beta_1 = G_1^{(2)} \left[K_{u_1}^{(1)} \right]^3 + 2G_1^{(1)} K_{u_1}^{(1)} K_{u_1}^{(2)};$$

$$\beta_2 = G_2^{(2)} \left[K_{u_2}^{(1)} \right]^3 + 2G_2^{(1)} K_{u_2}^{(1)} K_{u_2}^{(2)}, \text{ откуда}$$

$$K_i^{(3)} = (\beta_1 R_1 + \beta_2 R_2) / L; K_{u_1}^{(3)} = (K_i^{(3)} - \beta_1) R_1;$$

$$K_{u_2}^{(3)} = (K_i^{(3)} - \beta_2) R_2.$$

Таким образом, полученные значения коэффициентов $K_{u_1}^{(1)}$, $K_{u_2}^{(1)}$ и $K_{u_2}^{(3)}$ позволяют представить выходное напряжение (9) с точностью до трех членов ряда, что в большинстве случаев достаточно для моделирования теплопередачи с учетом зависимости коэффициента теплопроводности от температуры.

Заключение

На основе метода электротепловой аналогии предложена методика моделирования стационарных процессов теплопередачи в изотропных материалах, которая за счет использования нелинейных резистивных элементов позволяет учесть нелинейный характер зависимости коэффициента теплопроводности от температуры. Это позволяет повысить точность моделирования процессов теплопередачи, особенно при использовании современных материалов. Для моделирования процессов теплопередачи, которые представляются сложными электрическими цепями, алгоритмы предложенной методики могут быть реализованы в виде компьютерных программ. Методика представляется перспективной, так как есть основания полагать, что ее возможности могут быть использованы для моделирования квазистационарных процессов теплопередачи, которые моделируются малоинерционными электрическими цепями.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика / В. Н. Богословский. – 2-е изд., пер. и доп. – М.: Высшая школа, 1982. – 416 с.

2. Фокин, В. М. Основы технической теплофизики / В. М. Фокин, Г. П. Бойков, Ю. В. Видин. – М.: Машиностроение, 2004. – 172 с.

3. Кожухов, В. А. Моделирование тепловых процессов резистивными схемами / В.А. Кожухов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета, 2010. – № 4. – С. 150-155.

4. Проектирование усилительных устройств (на интегральных микросхемах): учеб. пособие для радиотехнических специальностей вузов / Б. М. Богданов

нович [и др.]; под ред. Б. М. Богдановича. – Мин.: Выш. школа, 1980. – 208 с., ил.

5. Богданович, Б. М. Нелинейные искажения в приемно-усилительных устройствах / Б. М. Богданович. – М.: Связь, 1980. – 280 с., ил.

6. Пупков, К. А. Функциональные ряды в теории нелинейных систем / К. А. Пупков, В. И. Капалин, А. С. Ющенко. – М.: Наука, 1976. – 448 с., ил.

7. Винер, Н. Нелинейные задачи в теории случайных процессов / Н. Винер. – М.: ИЛ, 1961. – 79 с.

8. Устройство для измерения передаточных функций Вольтерра нелинейных четырехполюсников: а. с. 586403 СССР, МКИ G 01R 29/02 / Б. М. Богданович, В. П. Дорошев, С. С. Позняк, Л. А. Черкас, А. И. Шакирин. – № 2054383/18-21 4; заявл. 16.08.74; опубл. 30.12.77 // Бюл. № 48. – С. 3.

УДК 621.316.1

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 24.09.2013

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОТКАЗОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

**И.В. Протосвицкий, канд. техн. наук, доцент, А.И. Зеленъкевич, ст. преподаватель,
Д.А. Кулаковский, аспирант (БГАТУ); А.И. Науменко, начальник службы
распределительных сетей (РУП «Витебскэнерго»)**

Аннотация

В статье приведен анализ и прогнозирование отказов в распределительных сетях Республики Беларусь на примере Витебских электрических сетей.

The analysis and forecasting of refusals of distributive networks of the Republic of Belarus by way of example of Vitebsk electric networks are given in the article.

Введение

Функционирование и развитие АПК республики невозможно без качественной и надежной работы сельских электрических сетей (СЭС), которые являются заключительным звеном при обеспечении сельскохозяйственных потребителей электроэнергией. Основное отличие сельскохозяйственных электрических сетей от промышленных заключается в том, что они находятся в непосредственном взаимодействии с конкретным сельскохозяйственным потребителем или агропромышленным объектом. Для поддержания стабильной работы СЭС необходимо решать вопросы, направленные на повышение надежности и качества электроснабжения путем применения совокупности технических и организационных мероприятий. К ним можно отнести:

- повышение эффективности управления сетями;
- подготовку обслуживающего персонала необходимого уровня;
- замену устаревшего оборудования;
- повышение технической оснащенности и безопасности СЭС на основе новых, научно-обоснованных технических решений и технологий.

В последнее время в распределительных сетях наблюдается постоянный рост числа электропотребителей, обладающих высокой чувствительностью к надежности электроснабжения и качеству электроэнергии (электронные и микропроцессорные устройства и др.). Для поддержания надежности электроснабжения на соответствующем уровне необходимо разрабатывать и принимать меры по повышению надежности, в частности, распределительных воздуш-

ных линий напряжением 10 и 0,4 кВ, так как они являются наиболее ненадежным звеном в системе электроснабжения, и большинство всех аварий происходит именно в сетях данного класса напряжений [1].

Основными причинами снижения надежности СЭС являются отказы оборудования, ошибки эксплуатационного персонала, превышение срока эксплуатации, отклонение реальных условий от расчетных, ущерб от стихийных бедствий.

Целью данной работы является проведение теоретического анализа состояния распределительных электрических сетей на примере Витебских ЭС, а также составление прогноза отказов в распределительных сетях.

Основная часть

Система электроснабжения сельских районов в Республике Беларусь сформирована на основе сетей трех типов, отличающихся между собой уровнем напряжения.

Первый тип сетей – это питающие сети высокого напряжения – 110 кВ. В таких сетях происходит передача электрической энергии от энергосистем к промежуточным питающим подстанциям – 110/35, 110/10, 35/10, 110/35/10 кВ.

Второй тип сетей – это распределительные сети среднего напряжения – 35 и 10 кВ. Они состоят из воздушных линий электропередачи – 35 и 10 кВ, а также из потребительских подстанций – 35/0,4 и 10/0,4 кВ.

Третий тип сетей – распределительные сети низкого напряжения – 0,4 кВ. Эти сети непосредственно питают электроэнергией потребителей. Они имеют

большую протяженность, чем питающие, и, соответственно, в них возникает больше аварийных ситуаций, влияющих на уровень надежности электроснабжения потребителей.

Уровень надежности электроснабжения в большей степени зависит от надежности элементов электрических сетей, которая в свою очередь характеризуется такими показателями, как вероятность безотказной работы; интенсивность отказов; продолжительность ремонтных и восстановительных работ; частота преднамеренных отключений; время преднамеренных (плановых) отключений.

Сбор статистической информации и обработка данных по отказам элементов электрических сетей позволяет сделать вывод о техническом состоянии электрооборудования и получить прогнозные модели развития конкретной системы электроснабжения.

В работе рассмотрены отказы основного электрооборудования распределительных сетей напряжением 0,4-10 кВ, эксплуатируемого в Витебских электрических сетях в период с 2002 по 2011 гг.

При обработке статистических данных по отключениям были выделены наиболее повреждаемые (ненадежные) элементы распределительной электрической сети. К ним относятся:

1. Элементы воздушных линий:
 - изоляторы ШФ-20В(Г);
 - провода АС сечением до 35 мм²
2. Элементы кабельных линий:
 - кабели;
 - соединительные муфты.
3. Элементы ТП, КТП, РП:
 - трансформаторы силовые, мощностью до 250 кВ·А;
 - изоляторы опорные;
 - изоляторы ПНБ-10;
 - разрядники РВО-10.

Для определения устойчивости функционирования отдельных элементов распределительной электрической сети необходимо разработать математическую модель прогнозирования отказов. Наиболее эффективным математическим аппаратом при разработке модели является модель вероятностного прогнозирования [2].

На первоначальной стадии разработки модели собрана и проанализирована статистическая информация по отказам распределительных электрических сетей. Информация получена из оперативных журналов по отключениям за период с 2002 по 2012 гг. в Витебских электрических сетях, в состав которых входят 7 районов электросетей (Городокский РЭС, Витебский сельский РЭС, Витебский городской РЭС, Лиозненский РЭС, Бешенковичский РЭС, Шумилинский РЭС, Рубовский РЭС).

Рассмотрим в качестве примера отключение воздушных линий электропередачи в распределительных электрических сетях по причине обрыва и перегорания провода.

Статистические данные об отказах, произошедших в период с 2002 по 2011 гг. в распределительных электрических сетях Витебских ЭС по причине обрыва

ва провода на воздушной линии электропередачи, представлены в табл. 1.

Построим группированный статистический ряд для данных, представленных в табл. 1. Для этого диапазон значений случайной величины отказов разбиваем на интервалы.

Оптимальная величина интервала разбиения [3]:

Таблица 1. Количество аварийных отключений по причине обрыва провода в распределительных электрических сетях Витебских ЭС (2002-2011 гг.)

Годы	Месяцы											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
2002	4	0	5	0	1	1	0	2	7	6	4	2
2003	14	1	1	0	0	3	1	5	2	2	2	1
2004	27	2	2	6	4	1	7	1	0	1	6	2
2005	5	0	1	2	1	2	5	7	1	1	7	3
2006	13	4	1	0	4	4	2	6	4	7	1	3
2007	7	5	1	0	1	2	3	4	1	4	2	1
2008	2	3	2	5	3	1	7	6	5	5	1	5
2009	7	2	2	2	4	6	5	1	1	1	1	6
2010	4	0	1	0	4	3	10	4	3	1	4	6
2011	23	8	0	4	3	2	14	2	1	5	2	4

$$\Delta x \leq \frac{x_{\max} - x_{\min}}{1 + 3,21 \cdot \lg n} = \frac{27 - 0}{1 + 3,21 \cdot \lg 120} = 3,5, \text{ г}$$

где $(x_{\max} - x_{\min})$ – размах вариации случайной величины X ;

n – общее число произведенных наблюдений (120 месяцев).

Определим число интервалов разбиения

$$k = \frac{x_{\max} - x_{\min}}{\Delta x} = \frac{27 - 0}{3,5} = 7,7. \quad (1)$$

Разобьем все количество отказов, произошедших с 2002 по 2011 гг., на 8 интервалов.

Определим частоты попадания в интервалы разбиения

$$p_i^* \{ X \in (x_i, x_{i+1}) \} = \frac{l_i}{n},$$

где l_i – число наблюдений, в которых значение случайной величины X попало в i -й разряд.

$$\text{Причем } \sum_{i=1}^k p_i^* = 1.$$

Также рассчитываем плотность частоты для каждого интервала разбиения:

$$f_i^* = \frac{p_i^*}{\Delta i},$$

где Δi – длина соответствующего интервала.

Так как все интервалы приняты равными, то

$$\Delta i = x_{i+1} - x_i = 3,375.$$

Все расчеты занесем в табл. 2.

Таблица 2. Результаты расчета наблюдаемых частот попадания данных в интервалы разбиения и плотностей частот

Интервалы	0÷3,375	3,375÷6,75	6,75÷10,125	10,125÷13,5	13,5÷16,875	16,875÷20,25	20,25÷23,625	23,625÷27
Частота, p_i^*	0,583	0,291	0,083	0,008	0,017	0,000	0,008	0,008
Плотность частоты, f_i^*	0,173	0,086	0,025	0,002	0,005	0,000	0,002	0,002
Число попаданий в интервал, l_i	70	35	10	1	2	0	1	1

По данным табл. 2 построим гистограмму (рис. 1).

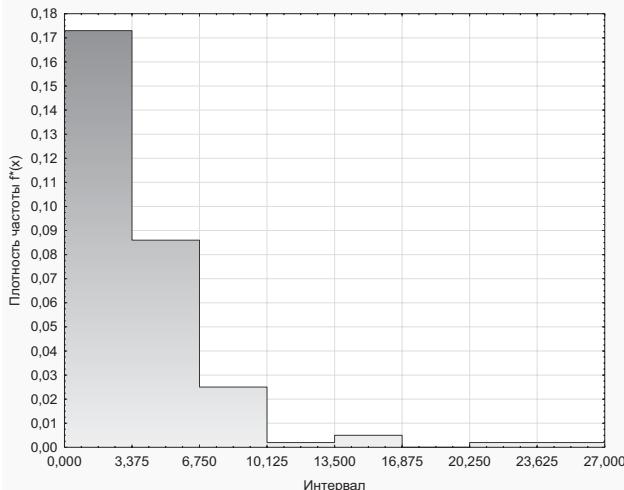


Рисунок 1. Гистограмма распределения отказов

Далее подбираем закон плотности распределения вероятности и на гистограмме строим график плотности распределения $f(x)$ отключений линий по причине обрыва провода.

В данном случае в качестве теоретического закона распределения отказов принимаем экспоненциальный закон распределения. Этот закон применяется для анализа сложных систем, работающих в тяжелых условиях, где преобладают внезапные отказы. Главной его особенностью является независимость потока отказов от времени эксплуатации [4].

Функция плотности распределения вероятности, которой описывается экспоненциальный закон, имеет вид

$$f(x) = \lambda \cdot e^{-\lambda x} \quad (x > 0),$$

где $\lambda = \omega(x) = \text{const}$ – параметр (интенсивность) потока отказов.

Функция распределения для экспоненциального закона:

$$F(x) = \int_0^x \lambda e^{-\lambda x} dx = 1 - e^{-\lambda x}.$$

Найдем приближенное значение статистического среднего m_x^*

$$\begin{aligned} m_x^* &= \sum_{i=1}^k \tilde{x}_i p_i^* = 1,688 \cdot 0,583 + 5,063 \cdot 0,291 + \\ &+ 8,442 \cdot 0,083 + 11,813 \cdot 0,008 + \\ &+ 15,237 \cdot 0,017 + 21,942 \cdot 0,008 + \\ &+ 25,313 \cdot 0,008 = 3,911. \end{aligned}$$

Определим параметр потока отказов

$$\lambda = \frac{1}{m_x^*} = \frac{1}{3,911} = 0,256.$$

Для выравнивания гистограммы построим ее показательную кривую распределения $f(x) = 0,256 \cdot e^{-0,256x}$.

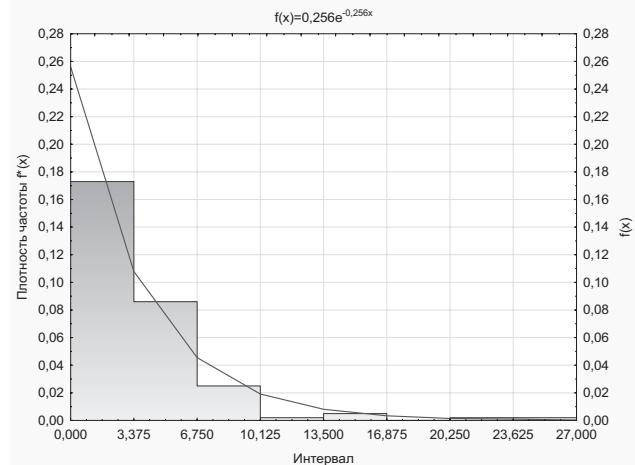


Рисунок 2. Гистограмма с наложенной теоретической функцией плотности распределения вероятности отказов

Пользуясь критерием согласия χ^2 Пирсона, определяем, не противоречит ли статистическим данным гипотеза о том, что случайная величина X распределена по экспоненциальному закону

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i}, \quad (2)$$

где k – число интервалов статистического ряда (1); p_i – теоретическое значение вероятности попадания случайной величины X в i -й интервал, согласно выбранному закону распределения.

Таблица 3. Результаты расчета теоретических частот попадания данных в интервалы разбиения

Интервалы	0÷3,375	3,375÷6,75	6,75÷10,125	10,125÷13,5	13,5÷16,875	16,875÷20,25	20,25÷23,625	23,625÷27
Частота, p_i	0,579	0,244	0,103	0,043	0,018	0,008	0,003	0,001

В качестве уровня значимости принимаем $\alpha=0,05$ [5].

Составим таблицу вероятностей попаданий случайной величины X , подчиненной экспоненциальному закону с параметрами $m=3,911$ и $\lambda=0,256$ в интервалы (табл. 3).

Вероятность попадания случайной величины X в интервал разбиения равна приращению функции распределения на этом интервале:

$$p_i = P\{X \in (x_i, x_{i+1})\} = \int_{x_i}^{x_{i+1}} f(x) dx = F(x_{i+1}) - F(x_i),$$

где $F(x) = 1 - e^{-\lambda x}$.

По формуле (2) найдем расчетное значение χ^2 :

$$\chi^2_{\text{набл}} = \sum_{i=1}^8 \frac{(n_i - np_i)^2}{np_i} = 10,17.$$

Число степеней свободы r для экспоненциального закона распределения [6]:

$$r = k - 2 = 8 - 2 = 6.$$

Определяем критическое значение χ^2 для $r = 6$ и $\alpha = 0,05$ [3].

$$\chi^2_{\text{крит}}(0,05; 6) = 12,6.$$

Сравним значения критериев согласия

$$\chi^2_{\text{набл}} < \chi^2_{\text{крит}},$$

$$10,17 < 12,6.$$

Таким образом, можно сделать вывод, что выдвинутая гипотеза об экспоненциальном распределении случайной величины X не противоречит статистическим данным.

На основании подобранного закона распределения составим прогноз отключений на 2012 год. Для этого необходимо представить закон распределения в интегральном виде и решить интеграл через нахождение квантиля с доверительной вероятностью $P=0,95$ [5].

На рис. 3 представлена кривая распределения для экспоненциального закона $f(x)=0,256 \cdot e^{-0,256x}$. Заштрихованная площадь соответствует вероятности $\alpha = 0,95$.

Получим уравнение для прогнозирования отказов воздушных линий по причине обрыва проводов

$$P = F(x) = \int_0^{a_{0,95}} f(x) dx = \int_0^{a_{0,95}} \lambda e^{-\lambda x} dx = \int_0^{a_{0,95}} 0,256 e^{-0,256x} dx = 0,95. \quad (3)$$

В течение года поток отказов не равномерен и это означает, что количество отказов может отличаться в несколько раз в разные месяцы года. Используя выражение (3) можно получить прогноз данных по отказам электрооборудования (в частности отказы воздушных линий по причине обрыва проводов) с вероятностью 95 % для любого месяца в году. Прогнозируемые значения принимаем для месяцев с максимальным процентным числом отказов из-за того, что может возникнуть ошибка при отличии прогнозируемых и наблюдаемых значений отказов за месяц в два и более раза.

Решая уравнение (3), получим: $a_{0,95}=11,7$.

Для расчета прогноза отказов используем пропорцию

$$\Pi = a_{0,95} \cdot \frac{r_{\text{набл}}, \%}{r_{\text{макс}}, \%},$$

где Π – корректируемое значение прогноза на месяц;

$a_{0,95}$ – квантиль плотности распределения с доверительной вероятностью 0,95;

$r_{\text{набл}}, \%$ – количество отказов для рассчитываемого месяца, выраженное в % от общего годового числа отказов;

$r_{\text{макс}}, \%$ – максимальное количество отказов в месяц в течение года, выраженное в % от общего годового числа отказов.

Точность прогноза можно оценить при помощи

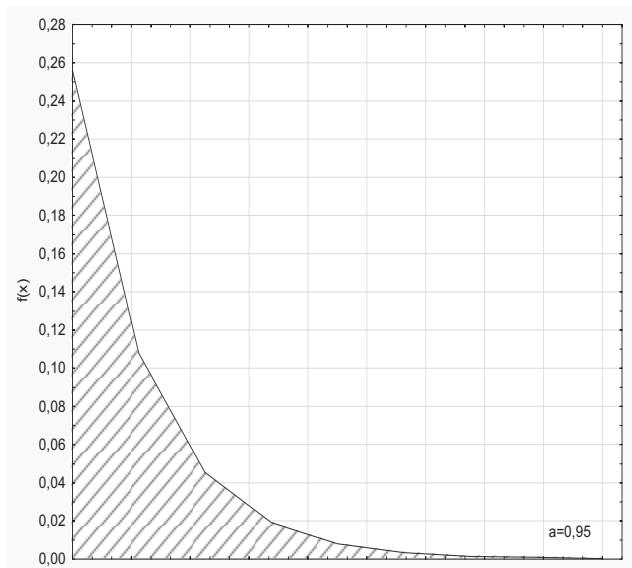


Рисунок 3. Кривая распределения $f(x)=0,256 \cdot e^{-0,256x}$

относительной ошибки, которая определяется по выражению

$$W = \frac{t - t_n}{t} \cdot 100\% ,$$

где t – число отказов в месяц за прогнозируемый период;

t_n – значение прогноза на месяц.

Таблица 4. Среднее годовое распределение отказов воздушных линий по причине обрыва проводов по месяцам за период с 2002 по 2011 гг.

Месяцы	$\Gamma_{набл}, \%$
1	24,824
2	5,854
3	3,747
4	4,449
5	5,854
6	5,854
7	12,646
8	8,899
9	5,854
10	7,728
11	7,025
12	7,728
Всего за год	100

Рассчитаем прогнозные значения отказов воздушных линий по причине обрыва проводов на каждый месяц 2012 года, а также подсчитаем ошибку прогноза, сравнивая прогнозные значения и реальные данные по отказам ВЛ за 2012 год. Результаты сходим в табл. 5.

Таблица 5. Прогнозные значения и ошибка прогноза

Месяц	Прогноз количества отказов	Реальное число отказов	Ошибка прогноза W, %
1	12	3	-290
2	3	8	65,51
3	2	7	74,77
4	2	5	58,06
5	3	3	8,03
6	3	5	44,82
7	6	8	25,5
8	4	5	16,11
9	3	4	31,02
10	4	6	39,29
11	3	2	-65,55
12	4	3	-21,41
Всего за год	47	59	19,75

Отрицательные значения ошибки прогноза принимает в тех случаях, когда прогнозные значения превышают реальные.

Заключение

Дана оценка состояния распределительных сетей 10-0,4 кВ на примере Витебских ЭС, а также подобран и проверен на соответствие критерию Пирсона экспоненциальный закон распределения отказов воздушных линий по причине обрыва проводов. По расчетным данным построена кривая распределения $f(x)=0,256 \cdot e^{-0,256x}$ и получено уравнение для прогнозирования отказов

$$\int_0^{a_{0,95}} 0,256e^{-0,256x} dx = 0,95.$$

В результате произведенных расчетов прогнозного значения отказов воздушных линий электропередачи по причине обрыва проводов было выявлено, что ошибка при прогнозе на год незначительная и составляет 19,75 %, однако при прогнозировании отказов по месяцам ошибка очень высокая – более 50 %. Исходя из полученных значений ошибки можно сделать вывод, что предложенный способ эффективен при составлении годовых прогнозов.

На основании прогнозной информации можно более качественно проводить организационно-технические мероприятия, влияющие на надежность электроснабжения, а также спланировать работу персонала и рассчитать запасной фонд.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лещинская, Т.Б. Многокритериальная оценка технико-экономического состояния распределительных электрических сетей / Т.Б. Лещинская, В.В. Князев // Вестник МГАУ, 2010. – №2. – С. 14.
2. Микрюков, Д.Н. Модель прогноза отказов электрооборудования / Д.Н. Микрюков // Сб. науч. тр. проф.-преподав. состава Рязанской ГСХА. – Рязань, 2006. – С. 314.
3. Вентцель, Е.С. Теория вероятностей и ее инженерные приложения: учеб. пос. для вузов/ Е.С. Вентцель, Л.А. Овчаров. – 2-е изд. – М.: Выш. шк., 2000. – 480 с.
4. Шеметов, А.Н. Надежность электроснабжения: учеб. пос. / А.Н. Шеметов. – Магнитогорск: МГТУ им. Г.И. Носова, 2006. – 141 с.
5. Анищенко, В.А. Основы надежности систем электроснабжения: учеб. пос. / В.А. Анищенко, И.В. Колосова. – Мн.: БНТУ, 2007. – 151 с.
6. Гмурман, В.Е. Теория вероятностей и математическая статистика: учеб. пос. для вузов / В.Е. Гмурман. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Выш. шк., 1977. – 479 с.

ОРГАНИЗАЦИЯ РЕАБИЛИТАЦИИ ОТДЕЛЬНЫХ КАТЕГОРИЙ ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА, ЗАГРЯЗНЕННЫХ РАДИОНУКЛИДАМИ

**Р.Г. Дубас, канд. экон. наук, доцент, декан учетно-экономического факультета (Университет
управления и предпринимательства, г. Киев, Украина)**

Аннотация

В статье осуществляется попытка обосновать возможность реабилитации отдельных категорий лесокультурного фонда, загрязненных радионуклидами, на основе расчета экономической эффективности выращивания энергетических плантаций кустарниковых ив с целью производства экологического топлива.

In the article an attempt to justify the possibility of rehabilitation of certain categories of silvicultural fund 'contaminated', based on the calculation of economic efficiency of cultivation of energy plantations willow for the production of ecological fuel is made.

Введение

Авария на Чернобыльской АЭС привела к значительному радиоактивному загрязнению лесов Украины. По данным радиационного обследования, проведенного радиологической службой Государственного агентства лесных ресурсов Украины, в результате аварии на Чернобыльской АЭС в зоне радиоактивного загрязнения оказалось около 3,5 млн га лесов, из которых 157 тыс. га выведено из хозяйственного обращения в результате высоких уровней радиоактивного загрязнения цезием-137 (свыше 15 Ки/км²). Из общей площади загрязненных лесов 43,8 % имеют плотность загрязнения цезием-137 выше 1 Ки/км², где лесохозяйственная деятельность ограничивается и регламентируется рекомендациями по ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения, разработанными учеными отраслевого научно-исследовательского института [1].

По данным профессора А.С. Малиновского [2], только в Житомирской области Украины при загрязнении почвы изотопами цезия от 37 до 111 кБк/м² (1-3 Ки/км²) территория сенокосов и пастбищ лесного фонда насчитывает 44,5 тыс.га, расположенных в разных лесорастительных условиях и не используемых в хозяйственном обороте. В связи со специфичностью лесных экосистем применения в качестве контрмер специальных видов механической обработки почв и агрохимических мелиораций на значительных площадях признано нецелесообразным и небезопасным. Принимая во внимание измененные экологические условия на землях после продолжительного их неиспользования, лесоразведение должно осуществляться по специальным проектам с предварительным детальным изучением категории лесокультурного фонда, плодородия и радиационного загрязнения почвы на

отдельно взятом участке, расчетом необходимых финансовых средств и сроков их возврата и других мероприятий эколого-экономического характера.

Такие проекты по использованию, например, территории сенокосов и пастбищ лесного фонда, должны, кроме экономического эффекта, предупреждать дальнейшее обесценивание органико-минеральных и водорегулирующих свойств лесных земель, обеспечивать сохранение существующего биоразнообразия и уменьшение рисков потенциального развития различных вредителей и болезней на лесных площадях.

Проблемам реабилитации лесных площадей, загрязненных радионуклидами, в последние десятилетия уделялось достаточно много внимания в трудах отечественных и зарубежных ученых-лесоводов. Среди них следует особо отметить научные изыскания В.П. Краснова, А.И. Щеглова, А.А. Орлова, В.А. Бузуна, Ф.А. Тихомирова, И.М. Булавика, П.П. Надточия и др. [3-10]. Приоритетом этих исследований являются стратегические и концептуальные обоснования мероприятий по использованию лесных ресурсов в зоне радиационного загрязнения, тенденции распределения радионуклидов в лесных экосистемах, экономические последствия радиоактивного загрязнения лесов и т.п. Конкретных же проектов по использованию и реабилитации лесных площадей с возможным экономическим эффектом фактически обосновано не было.

Таким образом, целью работы является обоснование возможности вовлечения в хозяйственный оборот неиспользуемых территорий сенокосов и пастбищ лесного фонда на основе экономической оценки создания и выращивания энергетических плантаций кустарниковых ив.

Основная часть

Распределение радионуклидов в лесных массивах Украины неравномерное: наибольшее их количество сконцентрировано в лесах Полесья и значительно меньшее – в лесах Лесостепи и Карпатском регионе. Наибольшие площади загрязненных радионуклидами лесов Украины расположены в Житомирской (60,0 %), Киевской (52,2 %) и Ровенской (56,2 %) областях. В Черниговской, Волынской, Черкасской, Винницкой и Сумской областях количество загрязненных лесов составляет около 20 % от общей их площади [3].

Как уже отмечалось, в результате высокой плотности загрязнения насаждений радиоцезием (свыше 15 КИ/км²) в лесном фонде Украины, за пределами 30-километровой зоны ЧАЭС лесохозяйственная деятельность запрещена на площади 40,8 тыс. га, использование древесины – на площади 157 тыс. га, пищевых ресурсов леса и лечебно-технологического сырья – на площади 1190,5 тыс. га. В настоящее время в условиях радиоактивного загрязнения хозяйственную деятельность ведут 70 гослесхозов с общей численностью 36 тысяч человек или 34 % от численности работающих в отрасли. В связи с этим особой проблемой является создание безопасных условий труда на предприятиях и вопросы охраны здоровья людей, работающих на загрязненных территориях.

Лесохозяйственными предприятиями загрязненной зоны производится свыше 40 % продукции лесной отрасли страны. Это вызывает необходимость проведения радиационного контроля сырья и готовой продукции. С целью радиационного контроля продукции леса, в Гослесагентстве Украины организована радиологическая служба. В ее состав входят несколько лабораторий радиационного контроля и инженеры-радиологи в гослесхозах, расположенных на загрязненных территориях. Радиологическая служба обеспечена современным дозиметрическим и радиометрическим оборудованием, что позволяет ежегодно обеспечивать контроль около 20 тысяч образцов разных видов лесной продукции.

Современная радиационная ситуация в лесах является достаточно стабильной и прогнозируемой, что объясняется распадом (со временем аварии на ЧАЭС) кратковивущих радионуклидов, перемещением радиоактивных элементов в почву и закреплением их в ней, а также наступлением периода квазиравновесия, т. е. положения, когда определенная активность поступает в лесные растения корневым путем и приблизительно такое же ее количество возвращается в почву с ежегодным опадом.

Интенсивность поступления радиоактивных элементов в лесные растения определяется их биологическими особенностями, а также экологическими условиями роста, в первую очередь характеристиками почвы, минеральным и гранулометрическим составом, содержимым гумуса, кислотностью, влажно-

стью, степенью насыщенности основаниями, емкостью катионов поглощения и т. д. Установлено, что, чем больше кислотность и влажность и меньше содержащие органических веществ и физической глины, тем интенсивнее миграция радиоактивных элементов в почву. Вследствие этого, в настоящее время наблюдается очень разное радиоактивное загрязнение одних и тех же растений в разных типах леса и различных экологических условиях, что вынуждает применять дифференцированный подход к эксплуатации ресурсов леса в разных ситуациях.

Под реабилитацией лесных земель надо понимать постепенное возобновление хозяйственной деятельности и использование продукции лесного хозяйства на территориях, загрязненных радионуклидами.

Исследования отечественных и зарубежных учёных свидетельствуют, что одним из эффективных направлений использования радиоактивно загрязненных сельскохозяйственных земель является лесовыращивание, поскольку к возрасту спелости насаждений радиоактивность земельных участков и самой древесной продукции в результате распада радиоактивных элементов уменьшится в несколько раз, и древесина в большинстве случаев будет пригодна для использования. Себестоимость создания лесных насаждений на бывших сельскохозяйственных угодьях в Украине составляет порядка 3,5 тыс. гривен/га (в ценах 2012 г.) [10]. На выполнение этих работ необходимо предусматривать средства в бюджете лесных предприятий, а в перспективе это возможно даже за счет привлечения международных средств (согласно Киотскому протоколу) и продажи квот на вредные выбросы в атмосферу.

Для оценки предлагаемых природопреобразующих действий по реабилитации лесных площадей, а также определение эффективности этих мероприятий необходимо использовать следующие критерии [8]:

- плотность радиоактивного загрязнения почвы;
- удельную активность радионуклидов в продукции лесного хозяйства;
- индивидуальную дозу облучения работников на конкретных видах лесохозяйственного производства;
- коллективную дозу внутреннего облучения от применения продукции лесного хозяйства.

В статье предложен эффективный подход относительно реабилитации отдельных категорий земель лесного фонда с необходимой экономической оценкой создания и выращивания миниорационных энергетических плантаций кустарниковых ив. В частности, предложено выращивание ивы прутовидной как сырья для производства топливных брикетов. Категорией лесокультурной площади служат задерневшие сенокосы и пастбища, расположенные на загрязненных радионуклидами территориях и исключенные из хозяйственного пользования. Как уже отмечалось, только в Житомир-

ской области при загрязнении почвы изотопами цезия от 1 до 3 Ки/км² территория неиспользуемых сенокосов и пастбищ насчитывает 44,5 тыс. га.

Ива прутовидная – кустарник или полукустарник семейства ивовых. Быстро растет, достигает высоты от 1,5 до 2 м в год в сырьих и влажных условиях грунтов и сугрудов (Д3,4 – С3,4). Зимостойкая, непрятязательная к плодородию почв, выносит засоление. Кора ивы прутовидной, как и других ив, является одним из источников получения наилучшего дубильного экстракта, который служит стандартом при оценке дубильных экстрактов на мировом рынке [11].

При создании плантаций ивы прутовидной, на плодородных сырьих и влажных почвах ее побеги растут более интенсивно. На малоплодородной и умеренно увлажненной почве формируются тонкие и гибкие побеги. Поэтому для данного вида ивы наиболее пригодными являются сырьи и влажные дерново-подзолистые супесчаные и суглинистые почвы. То есть ива прутовидная лучше всего продуцирует фитомассу в сырьих, влажных и свежих грунтах и сугрудах в объеме 30-40 т на 1 га ежегодно [11].

Технологические операции выращивания энергетической плантации ивы прутовидной заключаются:

- в сплошной вспашке почвы;
- предпосадочной культивации почвы с бороно-ванием;
- весенней посадке зимних черенков длиной 20-30 см и толщиной 14-15 мм верхнего конца, заготовленных ранней весной к началу движения сока из средней части однолетних побегов;
- лесоводственных уходах, которые проводятся одновременно с заготовкой прута.

Лесоводственный уход заключается в ежегодном срезании надземной части, которая обеспечивает формирование саженцев кустообразной формы. На второй и последующие годы срез прутьев ивы для заготовки сырья на топливо делают уже выше предыдущего на 2-3 см. После шести лет использования плантации кусты ивы омолаживают, срезая прут у самой земли. Общий срок эксплуатации такой плантации составляет 24-25 лет.

Затраты лесохозяйственного производства на создание и выращивание энергетической плантации ивы прутовидной, по мнению автора, наиболее целесообразно определять по методу возобновительной стоимости, то есть брать за основу расчетов действующие нормы выработки и действующие тарифные ставки оплаты труда работников лесной сферы. Естественно, что размер расходов на выращивание энергетической плантации ивы прутовидной зависит от технологии производства, то есть агротехнических приемов по созданию насаждений и системы лесохозяйственных мероприятий по уходу за ними.

В табл. 1 и 2 приведены результаты вычисления себестоимости выращивания 1га плантации и 1т ежегодной древесной массы ивы прутовидной в условиях

сырого сугруда (С4). Анализируя приведенные табличные данные, необходимо отметить, что технологические приемы выращивания плантации ивы прутовидной в сырьих сугрудах (С4) обусловлены залеганием грунтовых вод на глубине 0,5-1,0 м, что требует применения конно-ручного труда при проведении отдельных лесокультурных операций.

В частности, пахоту почвы необходимо проводить в осенний засушливый период. Схему размещения посадочных мест с шириной между рядов – 0,5 м и шагом посадки в ряду – 0,3 м, что соответствует 66,7 тыс. посадочных мест на 1 га, целесообразно применять в первый год выращивания плантации, с возможным незначительным уменьшением плотности кустов в дальнейшем. Формирование куста ивы из пяти и более прутьев предусматривается осуществить уже на следующий год после посадки черенков. Вес однолетнего прута ивы прутовидной составляет немного выше 0,1кг [11]. Влажность древесного сырья при поступлении в сушилку в среднем составляет 30 %, а на выходе – 12 %. Для осуществления отдельных операций по созданию плантации необходимо закупить вспомогательные материалы (шпагат, ведра, другой малоценный инвентарь) на общую сумму около 1тыс. грн. в год.

При проведении расчетов расходов на выращивание плантации ивы прутовидной ссылались на типовые нормы времени (выработки) на работы по озеленению, отраслевые нормы выработки и нормы расходов горючего в лесных рассадниках, тарифные ставки за 8-часовой рабочий день работников в лесном хозяйстве по состоянию на 1 января 2010 г. взяты по ГП «Овруцкое лесное хозяйство» Житомирской области, лесной фонд которого загрязнен радионуклидами на значительных территориях. Потребности в оборудовании и стоимость его содержания при производстве топливных брикетов типа "NESTRO" рассчитаны на основании данных Бердичевского частного предприятия «Брикетирующие технологии».

Из данных табл. 2 следует, что себестоимость создания и выращивания 1 га плантации ивы прутовидной за первый год составляет около 19,4 тыс. грн., а производство 1т топливных брикетов при влажности 12 % – 744,6 грн.

Следует подчеркнуть, что ежегодная заготовка ивового прута на протяжении 25 лет (длительность эксплуатации плантации) с проведением в последующие годы 1-2-х лесокультурных операций по уходу за плантацией путем взрыхления почвы и удаления сорняков с применением мотыги и гербицидов, обеспечивает минимум финансовых расходов на выращивание и заготовку ивового сырья.

Согласно данным, приведенным в табл. 2, полная себестоимость производства 26 т топливных брикетов из однолетних прутьев ивы прутовидной, выращенных на 1 га миниротационной плантации, уже на втором году роста составляет 19359,73 грн. При реализа-

Таблица 1. Расчет потребности и стоимости рабочей силы, механизированной и конной тяги, орудий и средств для выращивания 1 га энергетической пшеницы однолетней ивы прутвицкой для производства топливных брикетов

Название работ	Однолетняя пшеница	Марка машин, оборудования и средств труда	Гарифный	Затраты	Стоймость, грн	Бесро	
						Кофе-Лицен	Малюко-Сиен
1. Лесопатологическое обследование	ям	5	лопата, мешки	10 III	32,52	0,5	
2. Перевозка минеральных удобрений до 3 км	т	0,4	одноконная повозка	2,6 II	29,49	0,15	4,42
3. Приготовление мин. удобрений	т	0,4	вода, бочка	9,7 III	32,52	0,04	1,30
4. Внесение мин. удобрений	т	0,4	мешки, ведра	8,5 III	32,52	0,05	1,63
5. Сплошная вспашка почвы на глубину 27 см	га	1,0	МТЗ; ПН-3- 35	2,56 III	42,72	0,4	
6. Нарезка прутов в маточнике	1000 шт	13,2	секатор, шнур	5,1 III	32,52	2,2	120,00
7. Предпосадочное культивирование с 2-кратным боронованием	га	2,0	МТЗ-82; КП-4	12,0 III	42,72	0,17	
8. Нарезка черенков из прутьев	тыс. шт	67	секатор, шнур	3,2 IV	36,84	20,9	769,95
9. Перевозка черенков до 3 км	тыс. шт	67	поворот	44 III	32,52	1,5	48,78
10. Маркировка площади вручную	га	1,0	шнур, копыш.	0,86 II	29,49	1,16	34,13
11. Посадка черенков вручную	тыс. шт	67	лом	1,6 IV, I	64,02	41,9	268,24
12. Рыхление почвы	м ²	10000	мотыги	648 III	32,52	15,4	500,81
13. Нарезка прутьев	га	1,0	«Секор»	0,48 IV	48,21	2,0	96,42
14. Измельчение прутьев	т	30	NESTRO	5,6 IV, II	77,70	5,36	1314,72
15. Сушка измельченной массы	т	30	сушилка	7,2 IV, II	77,70	4,17	1379,31
16. Брикетирование сырья	т	26	пресс	4,32 IV, II	77,70	12,5	2287,68
17. Окуничивание срезанных кустов	тыс. п.м	20,0	конный плуг	18,8 IV	36,84	-	485,62
ВСЕГО						39,05	2773,30
						84,80	123,85
						5372,71	15517,17
						216,8	11106,7

Таблица 2. Себестоимость выращивания однолетней ивы прутовидной и производства топливных брикетов

Площадь участка, га Масса древесных брикетов, т	Заработная плата рабочих, грн	Другие виды оплаты труда, грн. (10 %)	Отчисления в социальные фонды, грн.	Общий фонд оплаты труда, грн	Стоимость, грн.		Затраты, грн.		Себестоимость, грн.	
					машино-смен и коне-дней	вспомогательных материалов	Прямые	накладные (30 %)	1 га плантации	1 т топливных брикетов
1,0 26	5517,17	551,72	2263,70	8332,6	5589,51	970,00	14892,10	4467,63	19359,73	744,6

ции 26 т топливных брикетов по цене 1000 грн, которая сформировалась в последние годы на рынке экологического топлива, прибыль составляет 6640,27 грн. Таким образом, рентабельность производства 26 т топливных брикетов из ивы прутовидной составляет 34,4 %. Это достаточно высокий уровень рентабельности, прежде всего, из-за применений тарифных ставок, которые действовали 01.01.2010 г. и приняты для расчетов. Если эти ставки увеличить хотя бы в 1,5 раза, а реализационную стоимость 1 т топливного брикета – на 20 %, то рентабельность 1 т изделия будет составлять около 26 %, что также подтверждает экономическую целесообразность выращивания и ежегодной эксплуатации плантаций ивы.

Заключение

Особенностью предложенного подхода относительно реабилитации лесных площадей, а именно: использование территорий сенокосов и пастищ лесного фонда, является его экологическая направленность – предупреждение дальнейшего обесценивания органико-минеральных и водорегулирующих свойств лесных земель, сохранение биоразнообразия, уменьшение рисков потенциального развития различных вредителей и болезней на площадях, не используемых в хозяйственном обороте. Кроме того, обоснована экономическая эффективность выращиванияミニротационных плантаций энергетических ив для заготовки однолетнего прута с целью производства экологического топлива, что подтверждает экономическую целесообразность их использования на значительных площадях нелесных земель, загрязненных радионуклидами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Рекомендации по ведению лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения / Министерство Украины по вопросам чрезвычайных ситуаций и по делам защиты населения от последствий Чернобыльской катастрофы; Министерство аграрной политики Украины; Государственный комитет лесного хозяйства Украины; Украинская академия аграрных наук; Институт агроэкологии УААН. – К.: Госкомлесхоз Украины, 2008. – 84 с.

2. Малиновский, А.С. Системное возрождение сельских территорий в регионе радиационного загрязнения: монография / А.С. Малиновский. – К.: ННЦ ИАЭ, 2007. – 604 с.

3. Краснов, В.П. Прикладная радиоэкология леса / В.П. Краснов, А.А. Орлов, В.А. Бузун. – Житомир: Полесье, 2007. – 680 с.

4. Тихомиров, Ф.А. Последствия радиоактивного загрязнения лесов в зоне влияния аварии на ЧАЭС / Ф.А. Тихомиров, А.И. Щеглов // Радиационная биология. Радиоэкология. – 1997. – Т. 37, вып. 4. – С. 664-672.

5. Булавик, И.М. Обоснование лесопользования в условиях радиоактивного загрязнения Белорусского Полесья: автореф. дис. . д.с.-х.н / И.М. Булавик. – Гомель, 1998. – 39 с.

6. Орлов, О.О. Закономерности накопления 137-Сs дикорастущими грибами и ягодами в Полесье Украины / О.О. Орлов, С.П. Ирклиенко, В.П. Краснов // Гигиена населенных мест, 2000. – Ч. I, вып. 36. – С. 431-445.

7. Щеглов, А.И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС/ А.И. Щеглов. – М.: Наука, 1999. – 268 с.

8. Долин, В.В. Перспективы естественно-антропогенной ремедиации радиационно-загрязненных агроэкосистем / В.В. Долин // Доклад НАН Украины, 2000. – №12. – С. 215-219.

9. Орлов, О.О. Балансовый подход к радиогеохимическим исследованиям автореабилитационных процессов в лесных экосистемах / О.О. Орлов , С.П. Ирклиенко, В.В. Долин // Проблемы экологии леса и лесопользования на Полесье Украины, 2001. – Вып. 2(8). – С. 10-25.

10. Надточий, П.П. Опыт преодоления последствий Чернобыльской катастрофы / П.П. Надточий. – К.: Мир, 2003. – 372 с.

11. Фучило, Я.Д. Биолого-экологические и технологические основы плантационного лесовыращивания в Украине: автореф.... дис. д-ра с.-х. наук / Я.Д. Фучило; Национальный аграрный университет. – К., 2006. – 36 с.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИНТЕГРАЦИИ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ РЕЗКИ ЗАГОТОВОВОК ИЗ ЛИСТА И ИХ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Л.М. Акулович, докт. техн. наук, профессор, Д.Б. Ермашкевич, аспирант (БГАТУ)

Аннотация

Рассматриваются основные принципы представления информации и структура интегрированной системы автоматизированного проектирования технологических процессов раскроя листового металла и механической обработки заготовок.

The basic principles of information and structure of integrated computer-aided design process sheet metal cutting and machining work pieces are considered.

Введение

В сельскохозяйственном машиностроении широкая номенклатура деталей почвообрабатывающих, посевных, кормо- и зерноуборочных машин, навесных и прицепных механизмов изготавливается из листовых металлов. Это целый класс деталей – ножи, диски, лемехи, зубья и т.п. Большинство из них работает в условиях коррозионно-абразивного изнашивания, а также воспринимает ударные нагрузки. Поэтому к деталям, изготавливаемым из листового металла, предъявляются требования высоких антифрикционных и демпфирующих свойств. Существующие на предприятиях республики технологии изготовления указанных деталей не обеспечивают ресурс их работы, адекватный зарубежным аналогам. Поэтому предприятия сферы агросервиса многие из сменных деталей закупают у зарубежных фирм, технологии у которых являются ноу-хау производителя.

Для повышения срока службы указанных деталей в республике за последние годы созданы и интенсивно развиваются новые технологии термического упрочнения, плазменного и лазерного легирования, обеспечивающие формирование наноструктурированных поверхностных слоев высокой твердости. Установлено, что значительный ресурс повышения работоспособности этих деталей кроется в материале, из которого формируются триботехнические характеристики трущихся поверхностей. Сочетание материалов и технологий их упрочнения с использованием концентрированных источников энергии позволяет обеспечивать заданное качество комплексных физико-механических характеристик поверхностей указанных деталей машин. Например, новые технологии термического упрочнения ориентированы на использование листового проката из стали марки ПП-60 взамен 65Г или 38ХМ, а технологические возможности современного оборудования термической резки листового материала значительно расширились, что позволяет во многих случаях производить обработку отверстий, окон, контуров деталей окончательно, обеспечивая заданные чертежом требования точности и шероховатости поверхностей. Установки для

лазерной и плазменной резки заготовок из листа обеспечивают точность позиционирования по осям $\pm 0,01\text{мм}$, а точность обработки – $\pm 0,1\text{мм}$. Высокая производительность резки (до 20 м/мин), малые ширина реза и зона термического влияния (диаметр луча составляет сотые доли миллиметра), высокая точность позиционирования, обеспечивающая адекватную точность взаимного расположения вырезаемых контуров заготовки, возможность раскроя сложных контуров деталей из листового материала, отсутствие механического воздействия на обрабатываемый материал позволяют использовать способы термической резки совместно с операциями механической обработки в единых технологических процессах.

Внедрение конкурентоспособных технологий, обеспечивающих высокое качество и минимальную себестоимость продукции, неизбежно приводит к увеличению удельного веса работ по технологической подготовке производства и, как следствие, к необходимости ее автоматизации с целью снижения затрат и сокращения сроков освоения. Одним из наиболее эффективных средств решения возникших задач является компьютеризация проектирования технологических процессов. Поэтому целью настоящей работы является создание эффективного инструмента автоматизированного проектирования технологических процессов раскроя листового металла и механической обработки заготовок.

Все это обуславливает создание систем автоматизированного проектирования (САПР) сквозных технологических процессов изготовления деталей машин, позволяющих разрабатывать как единые технологические процессы изготовления деталей, так и управляющие программы для оборудования с числовым программным управлением.

Основная часть

Существующие системы автоматизированного проектирования технологических процессов механической обработки (САПР ТП МО) и раскроя листовых материалов (САПР «Раскрой») не могут функциониро-

вать совместно [1]. САПР «Раскрой» решает задачи раскладки заготовок на листе и разработки управляющих программ для машин термической резки. Стоит задача создания интегрированной системы автоматизированного проектирования, в которой термическая резка заготовок из листа представляется на уровне операций механической обработки. При этом для всех операций необходимо учитывать взаимосвязь компонентов структурного и параметрического синтеза.

Методический подход решения поставленной задачи состоит в следующем. Структура St.p.= {V, S} интегрированной САПР ТП рассматривается как множество $V = \{v_1, v_2, \dots, v_n\}$ элементов каждой системы и множество связей $S = \{s_1, s_2, \dots, s_m\}$ между ними. Информация о размерах и точности всех элементов детали, о расположении элементарных поверхностей, шероховатости и т.п. представляется в виде конструкторско-технологического шифра [2]. Этот шифр служит ключом для поиска в таблицах кодированных сведений (ТКС) нужной при проектировании информации. Несмотря на разнообразие ТКС в рассматриваемых САПР, все они являются модификацией одной общей идеи – представление в виде множеств однотипных кортежей реквизитов, описывающих элементы детали.

Следующим шагом является систематизация исходной информации, которая определяет эффективность автоматизированного проектирования технологических процессов. Рациональное представление этой информации, то есть формализация ее в системном виде, осуществляется на основе следующих основных принципов [3, 4]:

- технологический процесс рассматривается, с одной стороны, как просто перечень отдельных его элементов, а с другой стороны – как совокупность взаимосвязанных и взаимообусловленных элементов;
- процесс проектирования разбивается на рациональные этапы (выбор типа заготовки, синтез маршрута обработки, расчет технологических режимов и т.п.);
- оптимизация принятых решений.

Входные данные интегрированной САПР ТП раскрыя листового материала и механической обработки заготовок разделены на условно-постоянные и переменные (рис. 1).



Рисунок 1. Структура входных данных

Технологический процесс изготовления детали с одной стороны (стороны структуры) представляется как совокупность взаимосвязанных этапов, операций и переходов, а с другой (со стороны функции) – как часть производственного процесса, связанную с ко-

личественным и качественным преобразованием объектов производства из состояния заготовок C_3 в состояние готовых изделий C_H . Реализация технологических процессов приводит к изменению качественных и количественных характеристик объектов производства. В результате функция технологического процесса может быть описана как $C_3 \rightarrow C_H$. В соответствии с разделением технологического процесса на операции общая функция расчленяется на ряд операционных функций φ_j . Функция каждой φ_j -операции характеризует промежуточное изменение качественного состояния заготовки $C_{j-1} \rightarrow C_j$.

Состояние заготовки C_j характеризуется формой, межоперационными размерами, их точностью, шероховатостью и физико-механическими свойствами поверхностей, полученных в результате выполнения j -й операции.

Таким образом, процесс проектирования технологических процессов представляется в виде нескольких уровней или этапов. На каждом уровне проектирования исходными данными являются техническое задание (ТЗ), набор элементов и их параметров, характеризующих рассматриваемый уровень. При проектировании выбрана линейная стратегия (рис. 2 а), которая считается более эффективной по сравнению с последовательным приближением к цели итерационным методом (рис. 2 б).

Для обеспечения системного единства проектирующих подсистем требуется создание единой информационной модели. В технологии машиностроения принята следующая иерархическая классифика-

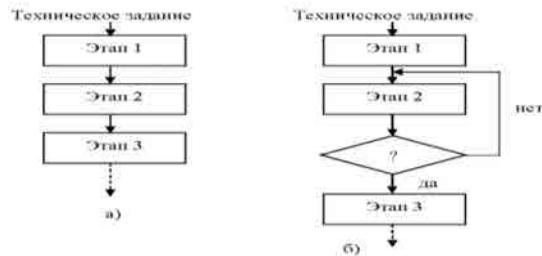


Рисунок 2. Схемы проектирования с использованием линейной (а) и циклической (б) стратегий

ции элементов технологических процессов: план обработки (расщепки) → маршрут обработки → операция → установ → переход → проход → ход → шаг. Использование указанной иерархии определяет набор этапов и базовую номенклатуру информационных моделей, определяющих системное единство САПР ТП. В результате такой декомпозиции процесс проектирования технологического процесса сводится к решению задач различной степени детализации на взаимосвязанных уровнях: от формирования состава и структуры маршрута обработки до расчета режимов обработки и разработки управляющих программ.

Затем следует выбрать метод проектирования. В большинстве современных САПР ТП разработка технологических процессов осуществляется следующими методами:

- проектирование в диалоговом (интерактивном) режиме, в том числе методом синтеза с использованием конструкторско-технологических элементов (КТЭ);

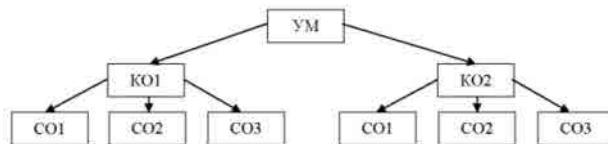
– проектирование в автоматическом режиме. В «диалоговых» системах технологические процессы создаются технологом, в основном в диалоговом режиме с использованием достаточно развитых баз данных, либо технолог использует технологические процессы, ранее разработанные и занесенные в базу данных, т.е. в основу положен принцип заимствования ранее принятых решений. В процессе работы на предприятии накапливаются типовые, групповые, единичные технологические процессы, унифицированные операции, планы обработки конструктивных элементов и поверхностей, т.е. самопрограммально создается база знаний, уровень которой определяется технологической квалификацией предприятия-пользователя. Эти системы представляются в «коробочном» виде и являются инструментальным средством для создания силами пользователя систем, ориентированных на их условия. Такой подход требует длительного времени адаптации к условиям предприятия, поскольку база знаний создается постепенно, по мере разработки технологических процессов, при этом требуется высокая квалификация технологов предприятия.

САПР ТП, функционирующие в автоматическом режиме, имеют ряд преимуществ перед «диалоговыми» системами. Основой функционирования таких систем являются комплексные технологические процессы (КТП). С одной стороны, КТП в отличие от типового процесса представляет собой избыточный типовой технологический процесс для любой детали, входящей в группу с примерно общими конструктивными и технологическими признаками. С другой стороны, КТП представляет собой формализованный технологический алгоритм, содержащий операции, модели оборудования и переходы на определенную группу деталей с условиями их назначения.

Используя опыт ОАО «Институт Белоргстанкимпром» создания САПР ТП МО (механической обработки), для обеспечения режима автоматического проектирования в структуре интегрированной САПР каждый КТП представлен в виде массивов:

- управляющий массив (УМ);
- комплексная операция (КО);
- содержание операции (СО).

Структура управляющего массива (УМ) используется для определения состава технологического процесса в виде упорядоченного перечня комплексных операций (рис. 3).



В УМ приводятся все возможные комплексные операции, которые могут встречаться при обработке деталей определенной группы с логическими условиями их назначения. В результате анализа логических условий выбираются комплексные операции, из которых формируется состав проектируемого технологического процесса.

Комплексная операция (КО) представляет собой массив, имя которого формируется из обрабатываемо-

го управляющего массива. В КО описывается перечень входящих операций, условия их назначения и модели оборудования. Массивы КО могут входить как в один, так и в несколько УМ, что дает возможность использовать один и тот же массив КО в разных УМ.

Содержание операции представляет собой массив, имя которого получено из записи СО массива комплексной операции. В содержании операции задается перечень переходов, которые входят в данную операцию с условиями их назначения.

Структурная схема интегрированной САПР ТП раскроя листового материала и механической обработки заготовок приведена на рис. 4.

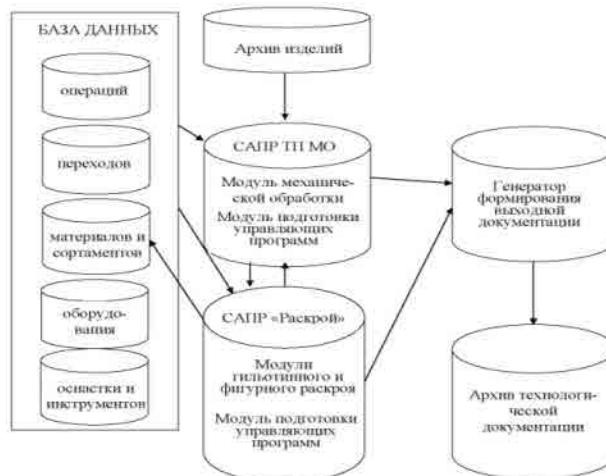


Рисунок 4. Структурная схема интегрированной САПР ТП

Таким образом, новизна предложенной методики интеграции САПР ТП МО и САПР «Раскрой» основывается на формализации представления комплексных технологических процессов, систематизации входных данных рассматриваемых систем и создании единой базы данных.

Заключение

Предложена методология интеграции систем автоматизированного проектирования САПР ТП МО и САПР «Раскрой», включающая систематизацию входных данных, использование комплексных технологических процессов и их формализацию, создание единой базы данных. На основании методики разработана структура интегрированной САПР ТП раскроя листового металла и механической обработки заготовок, ориентированной на проектирование технологических процессов в автоматическом режиме. Использование в САПР комплексных технологических процессов не требует высокой квалификации технологов предприятия-пользователя, так как в КТП заложена база знаний опытных специалистов.

Структура интегрированной САПР ТП будет использована при разработке алгоритмов и программного обеспечения. Внедрение САПР ТП на предприятиях сельскохозяйственного машиностроения позволит улучшить качество технологических процессов изготовления деталей из листовых сталей, уменьшить сроки их разработки в 3...10 раз в зависимости от сложности деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акулович, Л.М. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении: учеб. пос. / Л.М. Акулович, В.К. Шелег. – Мн.: Новое знание; М: ИНФРА-М, 2012. – 488 с.
2. Горанский, Г. К. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах

подготовки производства / Г. К. Горанский, Э. И. Бендерева. – М.: Машиностроение, 1981. – 456 с.

3. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учеб. для вузов / Н.М. Капустин [и др.]; под ред. Н.М. Капустина. – М.: Высшая школа, 2004. – 415 с.

4. Норенков, И.П. Основы автоматизированного проектирования / И.П. Норенков. – М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2009. – 430 с.

УДК 541.133.08:519.8

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.05.2012

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ ПРИБОРА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ КОНЦЕНТРАЦИИ МОЮЩИХ РАСТВОРОВ ПРОГРАММНЫМ СПОСОБОМ

Н.В. Исаеня, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

Аннотация

Предложен алгоритм вычисления коэффициентов настройки прибора для измерения концентрации моющих растворов на основе обработки экспериментально полученной таблицы их проводимости в зависимости от концентрации и температуры.

The method of adjustment coefficients calculation of a device based on the experimentally obtained table of solution conductivity versus concentration and temperature is proposed.

Введение

При ремонте двигателей внутреннего сгорания после разборки их предварительно отмывают в моющих растворах от всевозможных загрязнений и нагара. Основным фактором ухудшения моющей способности растворов, применяемых на ремонтных заводах в процессе их эксплуатации, является истощение моющих средств в результате их взаимодействия с загрязненными поверхностями и разбавление растворов водой для компенсации их естественной убыли. Поэтому для определения концентрации в процессе мойки необходимо постоянно осуществлять отбор проб моющего раствора, и в лаборатории завода путем химического анализа определять его концентрацию с целью добавления моющего средства. В связи с этим большое значение приобретает контроль концентрации экспресс-методом непосредственно во время технологического процесса мойки. Кроме того, поддержание оптимальной концентрации может обеспечить регламентируемое качество очистки и исключить перерасход моющих средств, а в перспективе датчик концентрации раствора будет одним из основных элементов системы автоматического регулирования концентрации моющего средства в растворе.

Так как синтетические моющие средства являются электролитами, то за основной информационный параметр их концентрации в растворе целесообразно принять проводимость растворов, которая представляет собой величину, обратную удельному сопротивлению, и измеряется в сименс/сантиметрах. Кроме того, кондуктометрический метод измерения концентрации на основе электропроводности широко применяется в химической и кондитерской промыш-

ленности, крахмало-паточном производстве, сахарной промышленности и т. д., так как их жидкие продукты тоже принадлежат к проводникам второго рода, т. е. электролитам. Однако существенное влияние на значения проводимости оказывает температура растворов, которое необходимо устраниТЬ.

Основная часть

Экспериментально полученная таблица проводимости моющего раствора МС-8 в зависимости от его концентрации и температуры приведена в табл. 1. Анализ данной таблицы показывает, что при фиксированных концентрациях с изменением температуры от 20 до 70 °C проводимость раствора изменяется приблизительно в 2,5 раза. В общем виде для любого раствора таблица проводимостей состоит из *n* строк (по количеству значений температуры) и *m* столбцов (по количеству значений концентрации) (табл. 2). Идея состоит в том, что в экспериментально полу-

Таблица 1. Экспериментальная таблица проводимости моющего раствора МС-8 в зависимости от концентрации и температуры

Температура, <i>T</i> °C	Концентрация раствора, <i>N</i> г/л					
	5	10	15	20	25	30
20	0,23	0,46	0,69	0,9	1,11	1,32
30	0,32	0,61	0,89	1,18	1,45	1,7
40	0,42	0,73	1,1	1,43	1,75	2,05
50	0,5	0,89	1,31	1,7	2,07	2,42
60	0,58	1,05	1,51	1,95	2,38	2,78
70	0,65	1,21	1,71	2,2	2,68	3,14

ченной таблице проводимости раствора X_{ij} (табл.2) при фиксированных концентрациях N_j необходимо устраниТЬ влияние температуры раствора T_i , а затем по ней и рассчитать параметры настройки прибора.

Таблица 2. Общий вид таблицы проводимости моющего раствора

$N, \text{г/л}$ $T, ^\circ\text{C}$	N_1	N_2	...	N_j	...	N_m
T_1	X_{11}	X_{12}	...	X_{1j}	...	X_{1m}
T_2	X_{21}	X_{22}	...	X_{1j}	...	X_{2m}
...
T_i	X_{i1}	X_{i2}	...	X_{ij}	...	X_{im}
...
T_n	X_{n1}	X_{n2}	...	X_{nj}	...	X_{nm}

Кроме того, согласно [1], проводимость X с изменением температуры T при постоянных значениях концентрации N также приближенно определяется линейной зависимостью

$$X = X_0 + KT,$$

где X_0 – проводимость при 0°C , а K – температурный коэффициент проводимости данного раствора. В таком случае значение проводимости для каждого j -го столбца с изменением температуры T_i определяется зависимостью: $X_j = D_j + E_j T_i$, где $D_j = X_0$ и $E_j = K_j$ для каждого столбца будет свое.

Тогда для постоянных концентраций N_j проводимость каждого столбца с изменением его номера j будет задаваться формулой

$$X_{ij} = D_j + E_j T_i = D_j(1 + E_j / D_j T_i) = D_j(1 + \alpha_j T_i), \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha_j = E_j / D_j.$$

Поэтому получив на основании табл. 1 сначала значения аппроксимирующих коэффициентов D_j и E_j , целесообразно перейти к параметрам аппроксимации D_j и α_j , так как параметр α_j обладает, согласно расчетам и графикам концентрации $N_j = f(T)$, меньшим разбросом для различных N_j .

Так как проводимость каждого столбца таблицы в зависимости от температуры близка к линейной, применим формулы для расчета коэффициентов аппроксимации линейной функции $y = f(z) = a + bz$ по методу наименьших квадратов:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n (z_i y_i) - \sum_{i=1}^n z_i \sum_{i=1}^n y_i}{n \sum_{i=1}^n z_i^2 - (\sum_{i=1}^n z_i)^2} \quad \text{и} \quad a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n z_i}{n}.$$

Поэтому коэффициенты E_j и D_j для каждого столбца будут рассчитываться аналогично коэффициентам b и a линейной функции по выражениям

$$E_j = \frac{n \sum_{i=1}^n x_{ij} t_i - \sum_{i=1}^n x_{ij} \sum_{i=1}^n t_i}{n \sum_{i=1}^n t_i^2 - (\sum_{i=1}^n t_i)^2},$$

$$D_j = \frac{\sum_{i=1}^n x_{ij} - E_j \sum_{i=1}^n t_i}{n} \quad \text{и} \quad \alpha_j = \frac{E_j}{D_j}$$

в результате программной обработки таблицы по столбцам и строкам.

Определив в полученном диапазоне α_{\min} и α_{\max} , этот диапазон разбивается на K интервалов с шагом $d\alpha = (\alpha_{\max} - \alpha_{\min}) / K$ и формируется массив из k значений α с данным интервалом $d\alpha$ ($\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_k$). Затем для каждого из этих α определяется новая промежуточная таблица значений проводимости XP_{ij} согласно формуле (1)

$$XP_{ij} = D_j(1 + \alpha_j T_i), \quad i = 1, n; j = 1, m. \quad (2)$$

Всего будет получено k таких таблиц. Для каждой из этих таблиц определяется суммарная ошибка по всем строкам и столбцам между полученными по формуле (2) проводимостями и их истинными проводимостями, взятыми из табл. 1. В результате такой программной обработки будет получен массив ошибок S для различных α (всех их k значений). Затем среди всего множества этих S находится наименьшее и его номер. Этот номер и будет номером того α , которое согласно формуле (2) осуществляет температурную компенсацию проводимости. В результате изложенной выше методики расчета обработки исходной табл. 1 при $k = 20$ получено $\alpha = 0,06657$. Так как в выражении (1) D_j есть стабилизированное значение проводимости, то при найденном α , обеспечивающем стабилизацию проводимостей по температуре, стабилизированные проводимости XS_{ij} согласно выражению (1) будут описываться формулой

$$XS_{ij} = \frac{X_{ij}}{1 + \alpha T_i}, \quad i = 1, n; j = 1, m. \quad (3)$$

Тогда в результате программной обработки проводимостей по всем строкам и столбцам табл. 1 при данном значении α получена новая табл. (3) проводимостей, скомпенсированных по температуре.

В данной таблице, например, при концентрации 5 г/л с изменением температуры от 20 до 70 градусов проводимость увеличилась в 1,16 раза, а в исходной табл. 1 – в 2,8 раза.

Таблица 3. Скомпенсированная по температуре таблица проводимостей

Температура, $T, ^\circ\text{C}$	Концентрация раствора, $N, \text{г/л}$					
	5	10	15	20	25	30
20	0,099	0,197	0,296	0,386	0,476	0,566
30	0,107	0,204	0,297	0,394	0,484	0,567
40	0,115	0,199	0,300	0,39	0,478	0,56
50	0,116	0,206	0,303	0,393	0,478	0,559
60	0,116	0,210	0,302	0,39	0,477	0,557
70	0,115	0,214	0,302	0,389	0,473	0,555

Таблица 4. Истинная концентрация раствора, полученная на основании рассчитанных параметров a , b , c и α

	Температура T °C	Истинная концентрация раствора, N г/л					
		5	10	15	20	25	30
20	4,51	9,328	14,68	19,746	24,984	30,394	
30	4,599	9,66	14,734	20,186	25,439	30,457	
40	5,005	9,435	14,921	19,996	25,082	29,998	
50	5,048	9,771	15,05	20,13	25,109	29,961	
60	5,08	10,018	15,033	19,998	25,010	29,813	
70	5,014	10,208	15,021	19,898	24,083	29,7	

Так как согласно [1], концентрация N через проводимость X при постоянной температуре T определяется квадратичной зависимостью $N = ax^2 + bx + c$, то для стабилизованных по температуре значений проводимости N_j (табл. 3) для каждой из строк таблицы находим

$$N_j = a_j XS_{ij}^2 + b_j XS_{ij} + c_j, \quad j = 1, m.$$

Аппроксимирующие промежуточные коэффициенты a_j , b_j и c_j рассчитываются методом наименьших квадратов для каждой строки табл. 3 на основании формул аппроксимации экспериментальных данных квадратичной зависимостью $y = ax^2 + bx + c$. В результате будет получено n значений a , b и c для каждой строки, скомпенсированной по температуре (табл. 3). Аналогично расчету α определяется a_{min} и a_{max} , b_{min} и b_{max} , c_{min} и c_{max} . Потом каждый из диапазонов изменения a , b и c от их минимального до максимального значений разбивается на k интервалов с шагом $da = (a_{max} - a_{min})/k$, $db = (b_{max} - b_{min})/k$ и $dc = (c_{max} - c_{min})/k$. Для каждого a , b и c формируется массив из k коэффициентов: $a = a + da$, $b = b + db$ и $c = c + dc$, где первоначальное значение $a = a_{min}$, $b = b_{min}$ и $c = c_{min}$. Потом многократно вложенным циклом на основании табл. 3, скомпенсированной по температуре, создается множество виртуальных таблиц проводимостей, состоящих из n строк и m столбцов (всех таблиц будет $k \times k \times k = k^3$). Для каждой из них определяется суммарная ошибка в % между расчетными значениями концентрации по формуле (3) и их табличными значениями N_j . Из множества этих ошибок находится номер того a , b и c , где эта ошибка минимальная. По результатам такой обработки табл. 3 при $k=20$ получены следующие значения: $a=10,61$, $b=49,01$ и $c=-0,75$. Тогда концентрация раствора с учетом скомпенсированных по температуре прово-

димостей XS_{ij} (табл. 3) на основании формулы (3) будет определяться выражением

$$N_{ij} = \frac{a \cdot XS_{ij}^2}{(1 + \alpha T_i)^2} + \frac{b \cdot XS_{ij}}{1 + \alpha T_i} + c, \\ i = 1, n; j = 1, m. \quad (4)$$

В результате программной обработки табл. 3 по выражению (4) при рассчитанных значениях a , b , c и α получены концентрации моющего раствора МС-8 при различных температурах от 20^0C до 70^0C (табл. 4). Как видно из таблицы, ошибка на границах диапазона концентраций и температур не превышает 10 %.

Увеличив количество интервалов k , например, с 20, при которых сделаны расчеты, до 200 или еще больше, можно повысить точность вычисления a , b , c и α и соответственно повысить точность определения концентрации моющего раствора.

Таким образом, концентрацию моющего раствора можно определять по формуле

$$N = \frac{ax^2}{(1 + \alpha T)^2} + \frac{bx}{1 + \alpha T} + c,$$

где x – проводимость раствора, T – его температура, измеренные в данный момент датчиками проводимости и температуры;

a , b , c и α – параметры, полученные в результате программной обработки экспериментально снятой таблицы проводимости конкретного раствора.

Заключение

В результате программной обработки экспериментальной таблицы проводимости конкретного раствора в зависимости от его концентрации и температуры, по изложенному алгоритму найдены коэффициенты настройки измерительной схемы прибора, позволяющего устранять температурную погрешность и измерять концентрацию раствора на основе его электропроводности.

ЛИТЕРАТУРА

- Худякова, Т.А. Кондуктометрический метод анализа / Т.А. Худякова, А.П. Крещков. – М.: Высшая школа, 1975. – С. 207.

—Правила для авторов—

1. Журнал «Агропанорама» помещает достоверные и обоснованные материалы, которые имеют научное и практическое значение, отличаются актуальностью и новизной, способствуют повышению экономической эффективности агропромышленного производства, носят законченный характер.

Приказом ВАК от 4 июля 2005 г. № 101 (в редакции приказа ВАК от 2.02.2011 г. № 26) журнал «Агропанорама» включен в Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований по техническим (сельскохозяйственное машиностроение и энергетика, технический сервис в АПК), экономическим (АПК) и сельскохозяйственным (зоотехния) наукам.

2. Объем научной статьи, учитываемой в качестве публикации по теме диссертации, должен составлять, как правило, не менее 0,35 авторского листа (14000 печатных знаков, включая пробелы между словами, знаки препинания, цифры и др.), что соответствует 8 стр. текста, напечатанного через 2 интервала между строками (5,5 стр. в случае печати через 1,5 интервала).

Рукопись статьи, передаваемая в издательство, должна удовлетворять основным требованиям современной компьютерной верстки. К набору текста и формул предъявляется ряд требований:

1) рукопись, подготовленная в электронном виде, должна быть набрана в текстовом редакторе Word версии 6.0 или более поздней. Файл сохраняется в формате «doc»;

2) текст следует сформатировать без переносов и выравнивания правого края текста, для набора использовать один из самых распространенных шрифтов типа Times (например, Times New Roman Сug, Times ET);

3) знаки препинания (.,!?:...) не отделяются пробелом от слова, за которым следуют, но после них пробел обязателен. Кавычки и скобки не отделяются пробелом от слова или выражения внутри них. Следует различать дефис«-» и длинное тире «--». Длинное тире набирается в редакторе Word комбинацией клавиш: Ctrl+Shift+«-». От соседних участков текста оно отделяется единичными пробелами. Исключение: длинное тире не отделяется пробелами между цифрами или числами: 1991-1996;

4) при наборе формул необходимо следовать общепринятым правилам:

а) формулы набираются только в редакторе формул Microsoft Equation. Размер шрифта 12. При длине формулы более 8,5 см желательно продолжение перенести на следующую строчку;

б) буквы латинского алфавита, обозначающие переменные, постоянные, коэффициенты, индексы и т.д., набираются курсивом;

в) элементы, обозначаемые буквами греческого и русского алфавитов, набираются шрифтом прямого начертания;

г) цифры набираются шрифтом прямого начертания;

д) аббревиатуры функций набираются прямо;

е) специальные символы и элементы, обозначаемые буквами греческого алфавита, использованные при наборе формул, вставляются в текст только в редакторе формул Microsoft Equation.

ж) пронумерованные формулы пишутся в отдельной от текста строке, а номер формулы ставится у правого края.

Нумеруются лишь те формулы, на которые имеются ссылки в тексте.

3. Рисунки, графики, диаграммы необходимо выполнять с использованием электронных редакторов и вставлять в файл документа Word. Изображение должно быть четким, толщина линий более 0,5 пт, размер рисунка по ширине: 5,6 см, 11,5 см, 17,5 см и 8,5 см.

4. Цифровой материал должен оформляться в виде таблиц. Каждая таблица должна иметь заголовок и номер

(если таблиц несколько). Рекомендуется установить толщину линии не менее 1 пт. В оформлении таблиц и графиков не следует применять выделение цветом, заливку фона.

Фотографии должны иметь контрастное изображение и быть отпечатаны на глянцевой бумаге размером не менее 9x12 см. В электронном виде фотографии представляются отдельно в файлах формата «tif» с разрешением 300 dpi.

Научные статьи, публикуемые в изданиях, включенных в перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований, должны включать:

аннотацию на русском и английском языках;

фамилию и инициалы автора (авторов) статьи, ее название;

введение;

основную часть, включающую графики и другой иллюстративный материал (при их наличии);

заключение, завершающее четко сформулированными выводами;

список цитированных источников;

дату поступления статьи в редакцию.

В разделе «Введение» должен быть дан краткий обзор литературы по данной проблеме, указаны не решенные ранее вопросы, сформулирована и обоснована цель работы.

Основная часть статьи должна содержать описание методики, аппаратуры, объектов исследования и подробно освещать содержание исследований, проведенных авторами.

В разделе «Заключение» должны быть в сжатом виде сформулированы основные полученные результаты с указанием их новизны, преимуществ и возможностей применения.

Дополнительно в структуру статьи могут быть включены:

индекс УДК;

перечень принятых обозначений и сокращений.

5. Литература должна быть представлена общим списком в конце статьи. Библиографические записи располагаются в алфавитном порядке на языке оригинала или в порядке цитирования. Ссылки в тексте обозначаются порядковой цифрой в квадратных скобках. Ссылки на неопубликованные работы не допускаются.

6. Статьи из научно-исследовательских или высших учебных заведений направляются вместе с сопроводительным письмом, подписанным директором и приложенной экспертизой справкой по установленной форме.

7. Статьи принимаются в электронном виде с распечаткой в одном экземпляре. Распечатанный текст статьи должен быть подписан всеми авторами. В конце статьи необходимо указать полное название учреждения, организации, предприятия, колхоза и т. д., учченую степень и ученое звание (если есть), а также полный почтовый адрес и номер телефона (служебный или домашний) каждого автора.

8. Авторы несут ответственность за направление в редакцию статей, опубликованных ранее или принятых к печати другими изданиями.

9. Плата за опубликование научных статей не взимается.

10. Право первоочередного опубликования статей предоставляется аспирантам, докторантам, соискателям в год завершения обучения.

Авторские материалы для публикации в журнале «Агропанорама» направляются в редакцию по адресу:

*220023, Минск, пр. Независимости, 99,
корп. 5, к. 602, 608. БГАТУ.*

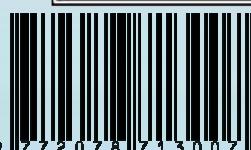
Электрогидравлический обкаточно-тормозной стенд

Предназначен для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и создания тормозной нагрузки при обкатке коробок передач и ведущих мостов.



Основные технические данные

Мощность электрического двигателя для холодной обкатки, кВт.....	11
Тип тормозного устройства.....	гидравлический
Мощность торможения, кВт.....	100
Диапазон регулирования частоты вращения вала электродвигателя, об/мин.....	500 - 3000
Диапазон частоты вращения гидравлического тормоза (при г/о), об/мин.....	1200 - 2900
Диапазон измерения частоты вращения, об/мин	
- магнитоиндукционным тахометром.....	до 3000
- электронным тахометром.....	до 9999
Диапазон измерения давления масла, Мпа.....	0 - 40
Диапазон измерения температуры масла, °С.....	0 - 150
Масса стенда, кг.....	200
Занимаемая площадь, м ² , не более.....	1,5



9 772 078 713 007

1 4001