



ISSN 2078-7138 (Print)
ISSN 2078-7146 (Online)
DOI: 10.56619/2078-7138-2023-158-4

АГРОПАНОРАМА

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ ДЛЯ РАБОТНИКОВ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА

№ 4
август
2023

В номере:

Экспериментальные исследования колебаний верхней ветви резиноармированной гусеницы сельскохозяйственного трактора

Результаты полевых исследований использования укрывающей пленки при посеве кукурузы в условиях Республики Беларусь

Аналитическая феррография моторного масла – один из основных методов контроля износа трибосопряжений ДВС

Стратегия развития on-line торговли аграрной продукцией в Республике Беларусь



ИНСТИТУТ ПОВЫШЕНИЯ КВАЛИФИКАЦИИ И ПЕРЕПОДГОТОВКИ КАДРОВ АПК БГАТУ



Институт повышения квалификации и переподготовки кадров агропромышленного комплекса Белорусского государственного аграрного технического университета – образовательный и научно-методический центр системы дополнительного образования взрослых. Ежегодно по образовательным программам переподготовки, повышения квалификации и стажировки в Институте проходят обучение свыше 3000 слушателей, в том числе из зарубежных государств.

Основная задача Института – систематическое обновление знаний руководящих работников и специалистов сельскохозяйственной отрасли с учетом развития широкого спектра инновационных направлений в агропромышленном комплексе, а также переподготовка кадров для получения новой квалификации.

Обучение в ИПК и ПК АПК осуществляется согласно плану-графику переподготовки и повышения квалификации руководящих работников, специалистов и рабочих (служащих) сельскохозяйственных организаций, утвержденному Министерством сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Институт располагает современной учебно-технической базой, а также использует базы специализированных кафедр университета. Больше половины учебного времени отводится обучению в сельскохозяйственных организациях и на предприятиях перерабатывающих сельскохозяйственное сырье, заводах по производству техники для агропромышленного комплекса, в научных учреждениях республики.

Образовательный процесс в ИПК и ПК АПК обеспечивает высококвалифицированный профессорско-преподавательский состав Института, БГАТУ, а также приглашаются руководители и ведущие научные сотрудники Научно-практических центров НАН Беларуси, руководители и специалисты министерств, ведомств, лучших сельскохозяйственных организаций и предприятий машиностроения республики, совместных предприятий.

Слушатели ИПК и ПК АПК проживают в благоустроенном общежитии, пользуются читальными залами, библиотечным фондом, средствами информатизации, пунктами общественного питания и медицины, спортивными площадками, расположенными в университетском комплексе БГАТУ.

Мы приглашаем Вас к нам учиться, обмениваться опытом, налаживать деловые связи.

Наш адрес: Республика Беларусь, 220012, г. Минск, пр-т Независимости, 99, корп. 5/3

Контактные телефоны: +375 17 350 46 36 – приемная;

+375 17 385 91 01 – методисты переподготовки;

+ 375 17 385 91 19 – методисты повышения квалификации;

+ 375 17 272 34 90 – факс

E-mail: ipk@bsatu.by, сайт: www.bsatu.by.

АГРОПАНОРАМА 4 (158) август 2023

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

Николай Николаевич Романюк

Заместитель главного редактора
Михаил Александрович Прищепов

Редакционная коллегия:

Л.С. Герасимович	И.С. Крук
П.П. Казакевич	А.С. Сайганов
В.М. Капцевич	В.Н. Тимошенко
А.Н. Каргашевич	Н.К. Толочко
Н.В. Киреенко	В.П. Чеботарёв
И.П. Козловская	Н.С. Яковчик

Е.В. Сенчуров – ответственный секретарь
Н.И. Цындрина – редактор

Компьютерная верстка
В.Г. Леван

Адрес редакции:

БГАТУ, пр-т Независимости, 99/1, к. 220
220012, г. Минск, Республика Беларусь,
Тел. (+375 17) 272-47-71
Тел./факс (+375 17) 258-41-16

Прием статей и работа с авторами:

г. Минск, пр-т Независимости, 99/5, к. 602, 608
Тел. (+375 17) 385-91-02, 355-22-14
E-mail: AgroP@bsatu.by

БГАТУ, 2023.

Формат издания 60 x 84 1/8.

Подписано в печать с готового оригинала-макета 23.08.2023 г. Зак. № 464 от 23.08.2023 г.

Дата выхода в свет 30.08.2023 г.

Печать офсетная. Тираж 100 экз.

Статьи рецензируются.

Отпечатано в ИПЦ БГАТУ по адресу: г. Минск, пр-т Независимости, 99/2

ЛП № 023330/316 от 30.10.2020 г.

Выходит один раз в два месяца.

Подписной индекс в каталоге «Белпочта» - 74884.

Стоимость подписки на журнал на 2-е п/г 2023 г.:

для индивидуальных подписчиков - 40,08 руб.;

ведомственная - 42,21 руб.;

Цена журнала в киоске БГАТУ - 11,70 руб.

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

СОДЕРЖАНИЕ

ИЗВЕСТНЫЙ УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ПОЭТ

Памяти Евгения Петровича Забелло.....2

Сельскохозяйственное машиностроение. Металлообработка

Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ

Экспериментальные исследования колебаний верхней ветви резиноармированной гусеницы сельскохозяйственного трактора.....4

Технологии производства продукции растениеводства и животноводства. Зоотехния

Т.А. Сергеева, М.В. Книга, Е.В. Таразевич

Анализ и обобщение результатов исследования реципрокных кроссов амурского сазана с карпом разной породной принадлежности из коллекционного стада.....10

Н.Н. Быков, Т.А. Непарко, Д.А. Жданко, А.С. Вороненко

Результаты полевых исследований использования укрывающей пленки при посеве кукурузы в условиях Республики Беларусь.....15

Энергетика. Транспорт

Н.Г. Крылова, А.В. Крутов, В.А. Ковалев

Теоретические основы исследования удельной электропроводности несортного молока методом диэлектрической (импедансной) спектроскопии.....19

Технический сервис в АПК. Экономика

**В.К. Корнеева, В.М. Капцевич, И.В. Закревский,
В.В. Остриков, И.В. Литвинов**

Аналитическая феррография моторного масла – один из основных методов контроля износа трибосопряжений ДВС.....26

К.В. Борель

Стратегия развития on-line торговли аграрной продукцией в Республике Беларусь.....33

С.Д. Юдицкая

Проблемные сельские территории: методические и практические аспекты.....38

ИЗВЕСТНЫЙ УЧЕНЫЙ, ПЕДАГОГ, ПОЭТ

*Памяти Евгения Петровича Забелло
(1940 – 2023)*



Ушел из жизни известный ученый, педагог, поэт, член редколлегии научно-технического журнала для работников агропромышленного комплекса «Агропанорама» – Евгений Петрович Забелло.

Е.П. Забелло родился 12 января 1940 г. в д. Мерешино Слуцкого района Минской области. Его детство прошло в тяжелые военные и послевоенные годы, но постоянная тяга к знаниям и творчеству помогала ему преодолевать жизненные трудности и невзгоды.

Окончив в 1956 г. с золотой медалью среднюю школу, Евгений Петрович при конкурсе 20 человек на место поступил учиться на инженера-электрика в Белорусский институт механизации сельского хозяйства и стал первым Ленинским стипендиатом в вузе. После окончания института с отличием в 1961 г. он был направлен на работу в Гродненские электриче-

ские сети, где работал старшим мастером по ремонту электрических сетей, инженером, старшим инженером, заместителем начальника службы РУП «Гродноэнерго».

В 1965 г. поступил в аспирантуру Белорусского филиала Энергетического института им. Г.М. Кржижановского (БелЭНИИ).

С 1968 г. работал в Белорусском теплоэнергетическом институте (ныне РУП «БЕЛТЭИ») руководителем группы, старшим научным сотрудником, ученым секретарем, заместителем директора по научной работе, заведующим лабораторией, отделом.

На протяжении 42 лет работы в БЕЛТЭИ его научные изыскания были направлены на решение алгоритмических и технических проблем построения многоуровневых сетей учета, контроля и управления энергопотреблением. Результатом этой работы стал комплекс технических средств автоматизации энергоучета для всех уровней – от генерации энергии до ее распределения и потребления.

В 1969 г. защитил кандидатскую диссертацию на тему: «Исследование надежности распределительных сетей 6-110 кВ (на примере энергосистемы Белорусской ССР)».

В 1992 г. защитил докторскую диссертацию в Институте электродинамики (ИЭД) Академии наук Украины, а в 1996 году получил диплом доктора технических наук в Республике Беларусь. В 2012 г. ему было присвоено ученое звание профессора.

С 2010 по 2022 гг. Е.П. Забелло работал профессором кафедры «Электрооборудование сельскохозяйственных предприятий» Белорусского государственного аграрного технического университета.

Он опубликовал более 200 научных работ и является автором 10 изобретений. Под его научным руководством подготовлен один кандидат наук.

За многолетний добросовестный труд Евгений Петрович Забелло награжден Почетной грамотой Верховного Совета БССР, медалью «Ветеран труда», знаками «Отличник энергетики СССР» и «Почетный энергетик СССР».

Евгений Петрович был всесторонне одаренным человеком. Он хорошо пел, издал более десяти сборников стихов. Светлая память об этом прекрасном человеке всегда будет жить в сердцах его родных и близких, коллег по работе, учеников и друзей.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ КОЛЕБАНИЙ ВЕРХНЕЙ ВЕТВИ РЕЗИНОАРМИРОВАННОЙ ГУСЕНИЦЫ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА

Ч.И. Жданович,

доцент каф. «Тракторы» БНТУ, канд. техн. наук, доцент

В.Н. Плищ,

ст. преподаватель каф. «Тракторы» БНТУ

Приведены результаты экспериментальных исследований колебаний верхней ветви резиноармированной гусеницы сельскохозяйственного трактора. Разработаны измерительный комплекс и методика определения ее собственной частоты колебаний в пролете между поддерживающими катками трактора. Исследовано влияние натяжения гусеницы на частоту собственных колебаний верхней ветви обвода. Проведена статистическая обработка результатов экспериментальных исследований и выполнено сравнение их с расчетными данными.

Ключевые слова: гусеничный трактор, резиноармированная гусеница, натяжение гусеницы, верхняя ветвь, собственная частота колебаний, измерительный комплекс.

The experimental studies of the upper branch vibrations of the rubber-reinforced track in an agricultural tractor have been carried out. The measuring complex and the method for determining the natural oscillation frequency in the span between the supporting rollers of the tractor have been developed. The influence of the track tensioning on the frequency of natural oscillations of the upper branch of the bypass has been investigated. The statistical processing of the experimental data was carried out and the comparison of the results with the calculated data was carried out.

Key words: tracked tractor, rubber-reinforced track, track tensioning, upper branch, natural oscillation frequency, measuring complex.

Введение

При проектировании ходовой части трактора важно обеспечить такие характеристики гусеничного обвода, как колебательные системы, при которых исключалось бы возникновение колебаний ветвей со значительной амплитудой [1, с. 83]. В настоящее время на сельскохозяйственных тракторах «БЕЛАРУС» применяются резиноармированные гусеницы (РАГ) различных конструкций: «БЕЛАРУС» 1802 – 470x125x73, «БЕЛАРУС» 2102 – 500x133x68 и «БЕЛАРУС» 2103 – 500x158x58 [2]. Для определения резонансных режимов колебаний верхней ветви обвода трактора с такими РАГ, выбора количества и расположения поддерживающих катков необходимо знать частоту ее собственных колебаний. В работе [3] получено аналитическое выражение для определения собственной частоты колебаний РАГ ($\omega_{\text{вк}}$, рад/с) в пролете между поддерживающими катками длиной l , м:

$$\omega_{\text{вк}} = \frac{k\pi}{l} \sqrt{\frac{gF}{q}}, \quad (1)$$

где k – форма колебаний ($k = 1, 2, 3, \dots, \infty$).

g – ускорение свободного падения, м/с²;

F – усилие, растягивающее гусеницу, Н;

q – вес единицы длины РАГ, Н/м;

Аналитическое выражение (1) требует экспериментальной проверки. В литературе известны результаты экспериментальных исследований для ленточных гусениц, применяемых на гусеничных машинах [1, с. 80]. РАГ сельскохозяйственных тракторов отличаются от ленточных гусениц наличием металлических закладных элементов, завулканизованных в гусеницу. Наличие таких конструктивных особенностей потребовало проведения экспериментальных исследований по определению собственной частоты поперечных (в вертикальной плоскости) колебаний РАГ в верхней ветви гусеничного движителя для подтверждения аналитической зависимости.

Цель настоящей работы – экспериментальные исследования колебаний верхней ветви РАГ конструкции 470x125x73 трактора «БЕЛАРУС» 1802 [4] в пролете между поддерживающими катками и их сравнение с расчетными значениями, полученными с использованием аналитической зависимости (1).

Основная часть

Измерительный комплекс и методика проведения эксперимента по определению собственной частоты колебаний РАГ

Согласно зависимости (1), для определения $\omega_{\text{вк}}$ необходимо знать F , l и q . Вес единицы длины РАГ 470x125x73 трактора «БЕЛАРУС» 1802 составляет

626,5 Н/м [2], длина пролета между поддерживающими катками – 1,1 м. Для измерения растягивающих усилий в металлических гусеницах применяют тензометрические узлы, состоящие из двух специальных звеньев и тензометрического пальца с наклеенными на него тензодатчиками и соединяющего два эти звена [5]. Однако РАГ имеет неразборную конструкцию и напрямую замерить растягивающие усилия не представляется возможным. Поэтому оценка растягивающих усилий в РАГ проводилась расчетно-экспериментальным способом. Для этого в среде MSC ADAMS была разработана модель механизма натяжения РАГ [6]. Задавая в качестве исходных данных давление жидкости в гидроцилиндре механизма натяжения и угол отклонения кривошипа механизма натяжения в вертикальной плоскости, определялось усилие, растягивающее РАГ. Для определения собственной частоты 1-й формы поперечных колебаний ($k = 1$) РАГ при соответствующих растягивающих усилиях необходимо знать процесс перемещения РАГ в середине пролета между поддерживающими катками в вертикальной плоскости.

Таким образом, для определения собственной частоты 1-й формы поперечных колебаний РАГ при проведении испытаний необходимо в реальном времени определять следующие параметры:

- давление жидкости в гидроцилиндре механизма натяжения;
- угол отклонения кривошипа механизма натяжения в вертикальной плоскости;
- перемещение РАГ в середине пролета между поддерживающими катками.

Для решения поставленной задачи был разработан измерительный комплекс. В состав комплекса, кроме объекта исследований, вошли:

1. Мобильный компьютер с программным обеспечением CATMAN-Express (HBM, Германия);

2. Четырехканальный цифровой универсальный измерительный усилитель несущей частоты (4,8 кГц) Spider 8 (HBM, Германия);

3. Потенциометрический датчик линейного перемещения LWH-0250 (Novotechnik, Германия). Диапазон измерения от 0,01 до 0,25 м;

4. Датчик абсолютного давления K-P8AP-231-13-A5 (HBM, Германия). Диапазон измерения от 0 до 20×10^6 Па;

5. Аналоговый датчик угла VX22 (Novotechnik, Германия). Диапазон измерения от 0 до 360 градусов.

Функциональная схема измерительного комплекса представлена на рисунке 1.

На основе функциональной схемы (рис. 1) разработана конструктивная схема измерительного комплекса (рис. 2). На гусеничном тракторе 1 был установлен комплект аппаратуры измерительного комплекса: мобильный компьютер с программным обеспечением CATMAN-Express – 2; цифровой мобильный измерительный усилитель Spider 8 – 3; потенциометрический датчик линейного перемещения LWH-0250 – 4; датчик абсолютного давления K-P8AP-231-13-A5 – 5; аналоговый датчик угла VX22 – 6.

Мобильный компьютер с программным обеспечением CATMAN-Express и цифровой мобильный измерительный усилитель Spider 8 были установлены в кабине гусеничного трактора «БЕЛАРУС» 1802 (рис. 3).

Потенциометрический датчик линейного перемещения LWH-0250 корпусом жестко крепился к остоу трактора 1, а штоком (подвижной частью) опирался через металлическую пластину на РАГ 7 в середине пролета между поддерживающими катками 8 (рис. 2). Установка датчика показана на рисунке 4. Датчик перемещения фиксировал перемещение РАГ в середине пролета между поддерживающими катками $y_{1/2}$, м при возбуждении свободных поперечных колебаний 1-й формы в вертикальной плоскости по оси Y (рис. 2).

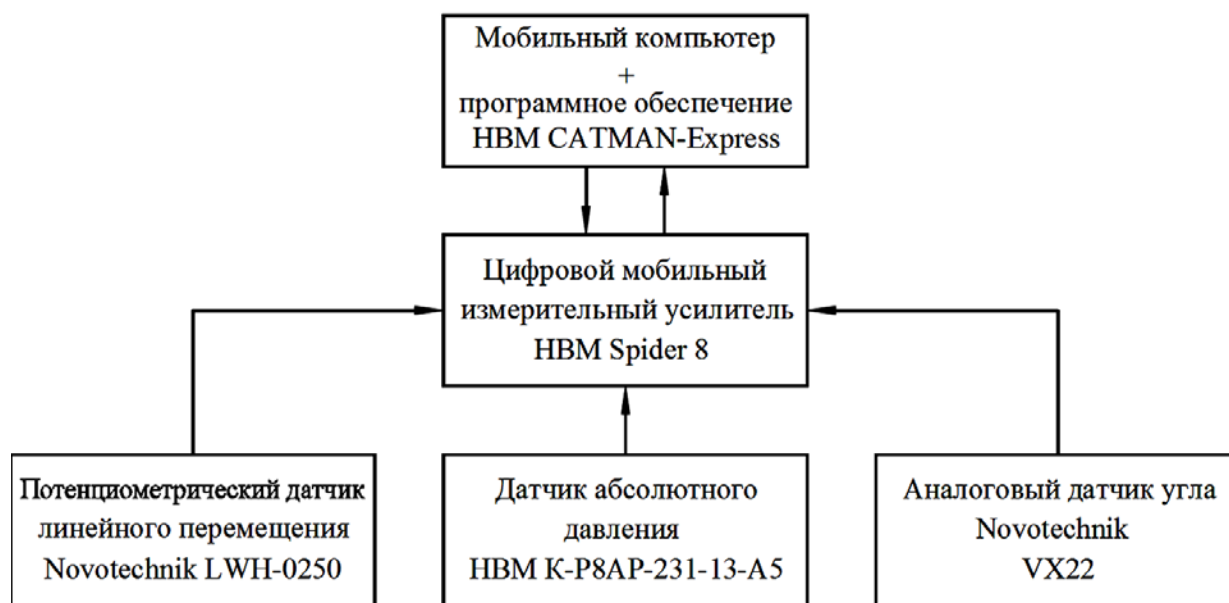


Рисунок 1. Функциональная схема измерительного комплекса

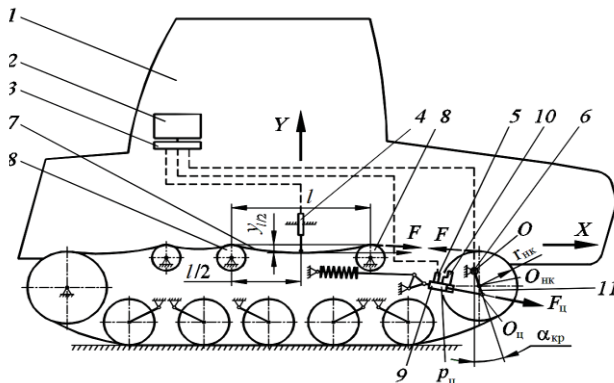


Рисунок 2. Конструктивная схема измерительного комплекса



Рисунок 3. Установка мобильного компьютера с программным обеспечением CATMAN-Express и цифрового мобильного измерительного усилителя Spider 8 в кабине гусеничного трактора «БЕЛАРУС» 1802

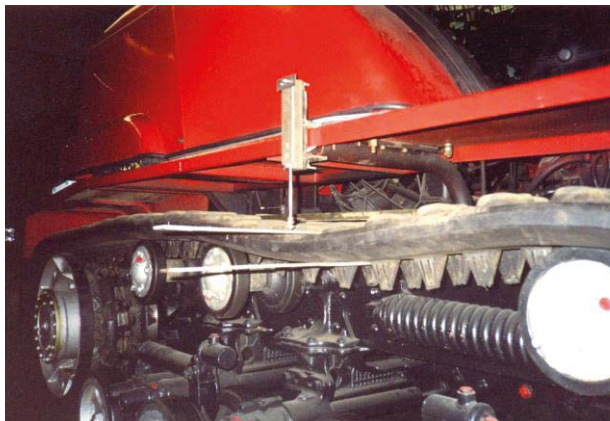


Рисунок 4. Установка потенциметрического датчика линейного перемещения LWH-0250 на гусеничном тракторе «БЕЛАРУС» 1802

Датчик абсолютного давления К-Р8АР-231-13-А5 располагался на гидроцилиндре механизма натяжения 9 (рис. 2). Гидросистема механизма натяжения РАГ заправлялась гидравлическим маслом АМГ-10. Запирание рабочей жидкости в гидроцилиндре проводилось с помощью гидравлического одностороннего замка ГА113 10 (рис. 2). Управление натяжением РАГ проводилось от гидросистемы трактора. Установка датчика давления и гидрозамка на гидроцилиндре ме-

ханизма натяжения приведена на рисунке 5. К гидроцилиндру механизма натяжения 1 крепился гидрозамок 2 с помощью кронштейна 3 и фиксаторов 4. Управление гидрозамком осуществлялось из кабины трактора с помощью рукоятки гидрораспределителя. Гидрозамок с гидроцилиндром соединялся металлическим трубопроводом 5 высокого давления. Через переходник 6 на гидроцилиндр механизма натяжения устанавливался датчик давления 7. Установка датчика давления проводилась вместо предохранительного клапана. Датчик давления фиксировал давление p_{II} . Па в гидроцилиндре механизма натяжения (рис. 2).

Аналоговый датчик угла VX22 располагался на оси вращения кривошипа в лонжероне рамы трактора в точке O (рис. 2). Для установки датчика угла была разработана конструкция переходного звена (рис. 6). Датчик угла 1 корпусом вставлялся неподвижно во внутреннюю цилиндрическую часть кронштейна 2 и фиксировался в нем крышкой 3 и запорным кольцом 4. Кронштейн 2 соединялся с рамой трактора. Подвижная часть датчика угла 1 соединялась жестко через переходные кронштейны 5 и 6 с кривошипом 7. Датчик угла фиксировал угол отклонения кривошипа 11 ($\alpha_{кр}$, град.) от вертикальной оси (рис. 2).

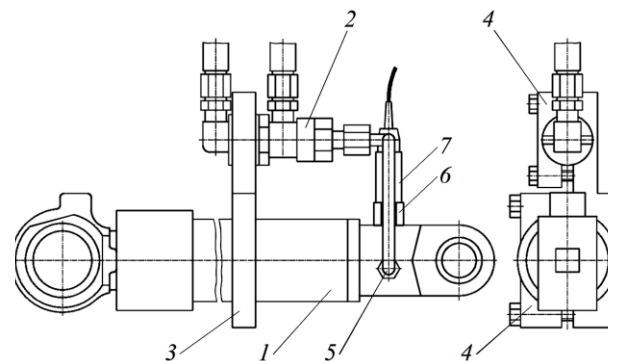


Рисунок 5. Установка датчика абсолютного давления К-Р8АР-231-13-А5 на гусеничном тракторе «БЕЛАРУС» 1802

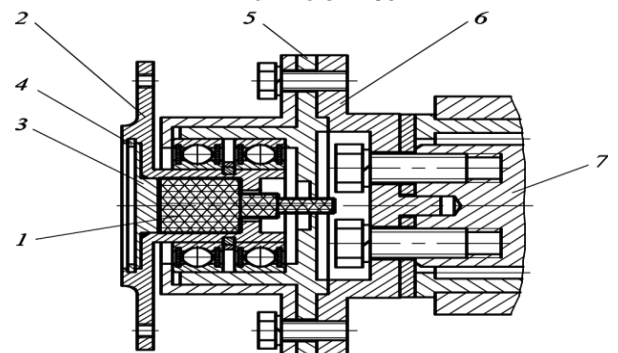


Рисунок 6. Установка аналогового датчика угла VX22 на гусеничном тракторе «БЕЛАРУС» 1802

Испытания проводились на ровной горизонтальной поверхности при температуре окружающей среды 18 °С. Процесс в реальном времени по всем измеряемым параметрам записывался в память компьютера с шагом 0,0025 с. В гидроцилиндр механизма

натяжения 9 подавалась рабочая жидкость и создавалось давление в нем $p_{ц}$ (рис. 2). В работе [7] установлено, что усилие в верхней ветви изменяется от своего минимального значения, определяемого устойчивостью РАГ на ведущем колесе до предварительного статического натяжения. Поэтому величина $p_{ц}$ находилась в диапазоне возникающих в свободной ветви обвода соответствующих натяжений в эксплуатационных режимах работы трактора, не превышала предварительного статического натяжения и задавалась ступенчато с интервалом 2×10^6 Па. Величина предварительного статического натяжения для трактора «БЕЛАРУС» 1802 приведена в источнике [2]. Опыты проводились при значениях $p_{ц}$ равных 6×10^6 Па, 8×10^6 , 10×10^6 , 12×10^6 , 14×10^6 , 16×10^6 и 18×10^6 Па. Одновременно фиксировался угол отклонения кривошипа $\alpha_{кр}$ от вертикальной оси (рис. 2). Далее проводилась выдержка (300 с) для стабилизации деформаций в резиновых слоях РАГ, определялось растягивающее усилие РАГ согласно [6], с учетом конструктивных параметров механизма натяжения трактора «БЕЛАРУС» 1802 и угла отклонения кривошипа $\alpha_{кр}$ от вертикальной оси. Усилие $F_{ц}$, Н, создаваемое гидроцилиндром механизма натяжения, определялось по известной зависимости (рис. 2):

$$F_{ц} = p_{ц} \frac{\pi d_{ц}^2}{4}, \quad (2)$$

где $d_{ц}$ – внутренний диаметр гидроцилиндра механизма натяжения, м.

Значениям $p_{ц}$ равным 6×10^6 , 8×10^6 , 10×10^6 , 12×10^6 , 14×10^6 , 16×10^6 и 18×10^6 Па при установившихся значениях угла положения кривошипа соответствовали значения растягивающих усилий РАГ: 5000, 6600, 8200, 9800, 11400, 13000 и 14600 Н. Затем возбуждались свободные колебания 1-й формы в середине пролета между поддерживающими катками 8 РАГ 7 (рис. 2). Датчик линейного перемещения 4 записывал процесс колебаний в функции времени на мобильный компьютер 2 (рис. 2).

Для определения числа повторностей N опытов при каждом значении усилия в РАГ рассмотрим решение задачи планирования эксперимента при построении интервальных оценок. Для этого случая выражение для определения N имеет вид [8, с. 75]:

$$N \geq \left(\frac{U_{\alpha=q/2}}{\varepsilon_{доп}} \right)^2, \quad (3)$$

где $U_{\alpha=q/2}$ – значение нормированного нормального распределения при соответствующей α ;
 q – уровень значимости;
 $\varepsilon_{доп}$ – предельно допустимая относительная погрешность;

Практический опыт показывает, что чаще всего используется значение доверительной вероятности $p = 0,95$ [8, с. 70]. Уровень значимости определится выражением [8, с. 69]:

$$q = 1 - p. \quad (4)$$

Согласно выражению (4), $q = 0,05$. Тогда $U_{\alpha=q/2} = U_{\alpha=0,025} = 1,96$ [8, с. 290].

В источнике [9, с. 90] отмечено, что наибольшее отклонение в работающих реальных колебательных системах допускается 10-30 %. На основании этого примем, что $\varepsilon_{доп} = 0,3$. Подставив числовые значения в выражение (3), найдем $N \geq 42,684$. На основании этого примем, что повторность каждого опыта $N = 43$.

Результаты экспериментальных исследований колебаний верхней ветви РАГ

Осциллограмма колебаний РАГ в середине пролета между поддерживающими катками при натяжении 13000 Н приведена на рисунке 7.

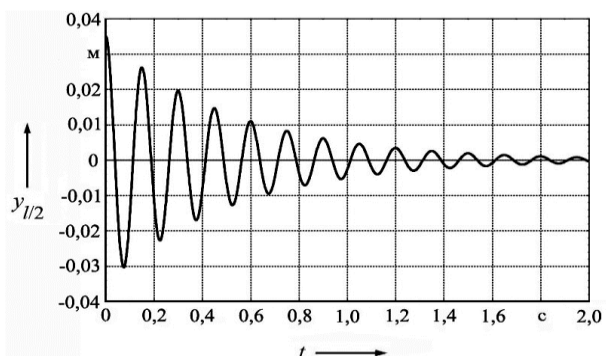


Рисунок 7. Процесс свободных колебаний РАГ ($F = 13000$ Н; $l = 1,1$ м; $q = 626,5$ Н/м; $k = 1$)

У трактора «БЕЛАРУС» 1802 диаметр $d_{ц}$ составляет 0,05 м, радиус направляющего колеса $r_{нк}$ равен 0,3 м, радиус качания кривошипа по оси направляющего колеса $OO_{нк} = 0,15$ м, радиус качания кривошипа по оси проушины гидроцилиндра механизма натяжения $OO_{ц} = 0,185$ м (рис. 2). Зная в любой момент времени усилие $F_{ц}$ (рис. 2) (2) и угол отклонения кривошипа $\alpha_{кр}$ и используя методику [6], определялось усилие в гусенице F , Н (рис. 2).

Параметры процесса свободных колебаний будем определять на основании хорошо известной теории свободных колебаний системы с одной степенью свободы [10, с. 52]. Период свободных затухающих колебаний (T , с) представляет промежуток времени между двумя последовательными прохождениями точки в одном направлении через положение покоя участка РАГ между поддерживающими катками [11, с. 439] и рассчитывался как среднее значение длительности 9-10 полных колебаний. Декремент колебаний D определялся по 6-7 полным колебаниям РАГ [12, с. 293]:

$$D = \frac{1}{2m} \left(\sum_{n=1}^m \frac{A_n}{A_{n+1}} + \sum_{n=1}^m \frac{A'_n}{A'_{n+1}} \right), \quad (5)$$

где m – число полных колебаний;

$\frac{A_n}{A_{n+1}}$, $\frac{A'_n}{A'_{n+1}}$ – отношения верхних и нижних амплитуд последовательных периодов колебаний соответственно [12, с. 293].

В результате обработки осциллограмм колебаний РАГ относительно положения статического равновесия получалось два параметра – T и D (5). Частота свободных колебаний РАГ 1-й формы (ω_{B1} , рад/с) определялась с использованием зависимости [11, с. 437-442]:

$$\omega_{B1} = \sqrt{\omega_T^2 + n^2},$$

где ω_T – частота свободных затухающих колебаний РАГ, рад/с;

$$\omega_T = \frac{2\pi}{T};$$

n – коэффициент затухания, рад/с;

$$n = \frac{\ln D}{T}.$$

В качестве оценки математического ожидания ($m_{\omega_{B1}}$, рад/с) частоты свободных колебаний РАГ 1-й формы в середине пролета между поддерживающими катками будем использовать среднее значение каждого опыта ($\bar{\omega}_{B1}$, рад/с) [8, с. 54]:

$$\bar{\omega}_{B1} = \frac{\sum_{i=1}^N \omega_{B1i}}{N}. \quad (6)$$

Результаты определения $\bar{\omega}_{B1}$ по экспериментальным данным согласно выажению (6) приведены в таблице 1.

Если дисперсия совокупности неизвестна, для выяснения вероятностных свойств выборочного математического ожидания $\bar{\omega}_{B1}$ применяется распределение Стьюдента [8, с. 64]. В этом случае доверительные интервалы для основных параметров нормальных распределений определяются выражением [8, с. 73]:

$$\bar{\omega}_{B1} - t_{N-1, \alpha=q/2} \left(\frac{S_{\omega_{B1}}}{\sqrt{N}} \right) \leq m_{\omega_{B1}} \leq \bar{\omega}_{B1} + t_{N-1, \alpha=q/2} \left(\frac{S_{\omega_{B1}}}{\sqrt{N}} \right),$$

где $t_{N-1, \alpha=q/2}$ – распределение Стьюдента;

$S_{\omega_{B1}}$ – среднеквадратичное отклонение случайной величины ω_{B1} , рад/с [8, с. 27; 57];

$$S_{\omega_{B1}} = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (\omega_{B1i} - \bar{\omega}_{B1})^2}.$$

Таблица 1. Результаты определения среднего значения каждого опыта $\bar{\omega}_{B1}$

Номер опыта	1	2	3	4	5	6	7
F , Н	5000	6600	8200	9800	11400	13000	14600
$\bar{\omega}_{B1}$, рад/с	26,933	30,490	33,674	36,582	39,275	41,795	44,171

Следовательно, нижний \hat{l}_H и верхний \hat{l}_B доверительные пределы [8, с. 69] в данном случае будут определяться выражениями:

$$\hat{l}_H = \bar{\omega}_{B1} - t_{N-1, \alpha=q/2} \left(\frac{S_{\omega_{B1}}}{\sqrt{N}} \right);$$

$$\hat{l}_B = \bar{\omega}_{B1} + t_{N-1, \alpha=q/2} \left(\frac{S_{\omega_{B1}}}{\sqrt{N}} \right). \quad (7)$$

Согласно табличным данным, при $N = 43$ и $q = 0,05$ t – распределение Стьюдента в зависимости от числа степеней свободы $N-1$ и вероятности α составит [8, с. 292]:

$$t_{N-1, \alpha=q/2} = t_{42, \alpha=0,025} = 2,02.$$

Результаты обработки экспериментальных данных по определению собственной частоты колебаний РАГ конструкции 470x125x73 в пролете между поддерживающими катками трактора «БЕЛАРУС» 1802 представлены на рисунке 8. Результаты вычисления нижнего \hat{l}_H и верхнего \hat{l}_B доверительных пределов экспериментальных данных согласно выражениям (7), показаны на рисунке 8.

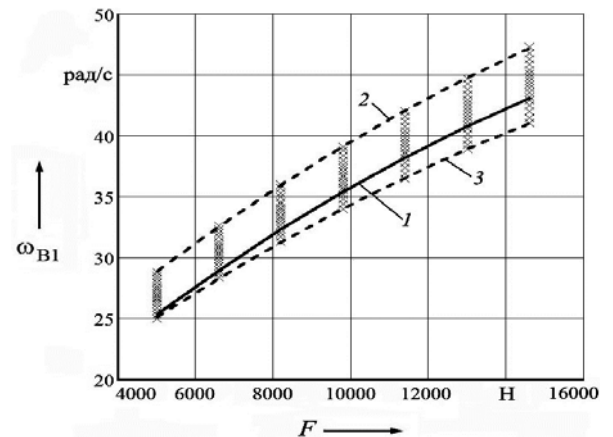


Рисунок 8. Результаты экспериментальных исследований по определению собственной частоты колебаний РАГ конструкции 470x125x73 трактора «БЕЛАРУС» 1802:

1 – теоретическая зависимость частоты колебаний 1-й формы РАГ от растягивающего усилия (согласно выражению (1)); 2, 3 – верхний и нижний пределы интервала экспериментальных данных с доверительной вероятностью 95 %

Из рисунка 8 видно, что график, построенный по аналитической зависимости (1), находится в пределах доверительного интервала экспериментальных данных.

Заключение

Разработан измерительный комплекс для определения собственной частоты колебаний РАГ в пролете свободной ветви между поддерживающими катками трактора.

Разработана методика и прове-

дены экспериментальные исследования по определению собственной частоты колебаний РАГ конструкции 470x125x73 трактора «БЕЛАРУС» 1802. Установлено, что при изменении натяжения от 5000 до 14600 Н частота собственных колебаний РАГ изменяется в диапазоне от 26,933 рад/с до 44,171 рад/с. Данные представлены по математическому ожиданию экспериментальных исследований частоты свободных колебаний 1-й формы РАГ.

Подтверждена правильность полученной аналитической зависимости для определения собственной частоты колебаний РАГ [3] путем ее сравнения с экспериментальными данными, верхняя и нижняя границы доверительной вероятности которых составили 95 %.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Платонов, В.Ф. Динамика и надежность гусеничного движителя / В.Ф. Платонов. – М.: Машиностроение, 1973. – 232 с.
2. Жданович, Ч.И. Выбор предварительного натяжения резиноармированной гусеницы сельскохозяйственного трактора с упругой подвеской / Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. аграр. наук. – 2022. – Т. 60, № 2. – С. 243-256.
3. Жданович, Ч.И. Выбор количества и расположения поддерживающих катков гусеничного трактора на основании анализа колебаний верхней ветви резиноармированной гусеницы / Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ // Вес. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. физ.-техн. наук. – 2023. – Т. 68, № 2. – С. 121-136.
4. Коробкин, В.А. Гусеничный трактор общего назначения «БЕЛАРУС 1802» / В.А. Коробкин // Междунар. аграр. журнал. – 2001. – № 9. – С. 46-48.

5. Латышенко, Н.Н. Приборы и оборудование для лабораторно-полевых исследований ходовых систем гусеничных тракторов / Н.Н. Латышенко, Е.Г. Попов // Исследование ходовых систем гусеничных тракторов: сб. науч. тр. / НАТИ; редкол.: В.А. Каргополов (отв. ред.) [и др.]. – М., 1964. – С. 80-119.

6. Плищ, В.Н. Моделирование в среде MSC ADAMS механизма натяжения резиноармированной гусеницы трактора / В.Н. Плищ // Автотракторостроение и автомобильный транспорт: сб. науч. тр.: в 2 т. / Беларус. нац. техн. ун-т; редкол.: Д. В. Капский (отв. ред.) [и др.]. – Минск, 2022. – Т. 1. – С. 229-234.

7. Жданович, Ч.И. Определение усилий в ветвях обвода трактора с резиноармированной гусеницей и упругой подвеской / Ч.И. Жданович, В.Н. Плищ // Агропанорама. – 2021. – № 6 (148). – С. 2-7.

8. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов. – Минск: БГУ, 1982. – 302 с.

9. Гидропневмоавтоматика и гидропривод мобильных машин. Теория систем автоматического управления: учеб. пособие / В.П. Автушко [и др.]; под ред. Н.В. Богдана, Н.Ф. Метлюка. – Минск: НП ООО «ПИОН», 2001. – 384 с.

10. Вонг, Дж. Теория наземных транспортных средств: пер. с англ. / Дж. Вонг. – М.: Машиностроение, 1982. – 284 с.

11. Никитин, Н.Н. Курс теоретической механики: учеб. для вузов / Н.Н. Никитин. – 5-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. школа, 1990. – 607 с.

12. Чудаков, Д.А. Основы теории и расчета трактора и автомобиля: учеб. для вузов / Д.А. Чудаков. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1972. – 384 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 12.07.2023

“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 один 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 2-е полугодие 2023 года: для индивидуальных подписчиков - 40,08 руб., ведомственная подписка - 42,21 руб.

АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕЦИПРОКНЫХ КРОССОВ АМУРСКОГО САЗАНА С КАРПОМ РАЗНОЙ ПОРОДНОЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ ИЗ КОЛЛЕКЦИОННОГО СТАДА

Т.А. Сергеева,

*зав. лабораторией селекции и племенной работы РУП «Институт рыбного хозяйства»
РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству»*

М.В. Книга,

*вед. науч. сотр. лаборатории селекции и племенной работы РУП «Институт рыбного хозяйства»
РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству», канд. с.-х. наук*

Е.В. Таразевич,

*профессор каф. технологий и технического обеспечения процессов переработки
сельскохозяйственной продукции БГАТУ, докт. с.-х. наук, профессор*

В статье представлены результаты исследования проявления эффекта гетерозиса у реципрокных кроссов амурского сазана с коллекционными линиями карпа белорусской и зарубежной селекции. Проведено сравнение рыбоводных, экстерьерных, интерьерных, биохимических и физиолого-биохимических признаков сеголетков, годовиков и двухлетков на этапах развития – икра и личинки, с использованием трех методов оценки (ранжирование, определение индексов гетерозиса и специфической комбинационной способности). Установлены кроссы, у которых отмечено проявление эффекта гетерозиса по отдельным признакам и комплексу признаков. Лучшим из сочетаний является отводка три прим карпа «Изобелинский» белорусской селекции с амурским сазаном.

Ключевые слова: амурский сазан, карп, кросс, гетерозис, сеголеток, годовик, двухлеток.

The article presents the results of the study of heterosis effect in reciprocal crosses of the Amur carp with carp collection lines of Belarusian and foreign selection. The comparison of fish breeding, exterior, interior, biochemical and physiological-biochemical traits of one-summer olds, one-year and two-year olds at the stages of development - spawn and larvae, using three methods of evaluation: ranging, defining heterosis indices and the specific combinatory ability was carried out. The crosses with heterosis effect on individual traits and the complex of traits have been established. The best of the combinations is the cross of three prim carp "Izobelinsky" of Belarusian selection with the Amur carp.

Key words: Amur carp, carp, cross, heterosis, one-summer old, one-year old, two-year old.

Введение

В Республике Беларусь формирование генофонда сазана начато в 1977-1980 годах. Материал представлял большую ценность для селекционных работ, так как он характеризовался высокой степенью генетического полиморфизма и адаптировался к местным климатическим условиям. С первых же лет выращивания амурского сазана и его гибридов с карпом были достигнуты положительные результаты при зимовке посадочного материала и выращивании товарных двухлетков гибридного происхождения в промышленных условиях. Эффект гетерозиса по рыбохозяйственным показателям, особенно по выживаемости на ранних этапах товарного выращивания, достигал 70,0 % и более [1-3]. Входящий в состав коллекционного стада амурский сазан использовался в селекционной

работе как компонент для скрещивания при получении промышленных кроссов.

В настоящее время на базе селекционно-племенного участка «Изобелино» Молодечненского района Минской области и хозрасчетного участка «Вилейка» РУП «Институт рыбного хозяйства» имеется небольшое по численности ремонтно-маточное племенное стадо амурского сазана 9-го и 10-го поколений с момента его воспроизводства в условиях Беларуси. Последние научные работы с сазаном по исследованию его комбинационной способности были проведены более чем 25 лет назад. За прошедшие 40 лет неизбежно произошли генетические изменения племенного стада сазана.

Несмотря на увеличение потребительского спроса на зеркального карпа с улучшенным экстерьером, гибриды карпа с сазаном остаются весьма перспективным

объектом рыборазведения, особенно благодаря высокой приспособляемости их к практически любым условиям прудовых хозяйств, расширенному спектру питания и высокой выживаемости. Особенно актуально использование данных гибридов для выращивания в прудовых хозяйствах второй зоны рыбоводства, где выживаемость рыбы на всех этапах выращивания является определяющим фактором успеха производства. В условиях интенсификации прудового рыбоводства республики актуальность данной разработки очевидна, поскольку использование сазано-карповых гибридов позволяет значительно увеличить рыбопродуктивность выростных и нагульных площадей.

Целью настоящей работы является проведение дальнейшего генетически обоснованного использования эффекта гетерозиса при гибридизации амурского сазана с карпом. Анализ исследования проявления эффекта гетерозиса у гибридов, полученных от реципрокных скрещиваний разных коллекционных пород карпа с амурским сазаном, и использования их в промышленных рыбоводных организациях.

Основная часть

Для проведения данных научных исследований были использованы следующие материалы и методики.

На основе инвентаризации и бонитировки по общепринятым методикам весной и осенью проводили рыбохозяйственную и фенотипическую оценку всех выращенных опытных групп сазана и гибридов карпа с сазаном. Комплекс рыбохозяйственных признаков включал среднештучную массу сеголетков (0+), годовиков (1.), двухлетков (1+), изменения массы тела за сезон, их выживаемость [4]. Изучение рыбохозяйственных показателей проводили согласно методикам [5], а их комплексную оценку – методом ранжирования [6].

Рыбоводно-биологические показатели у кроссов сравнивали со средними значениями родительских форм (по индексам гетерозиса) [7]. Контролем для кроссов служили сеголетки чистопородного амурского сазана, полученные и выращенные одновременно с опытными кроссами. Оценка проявления эффекта

гетерозиса сеголетков кроссов проводили по отношению к среднему значению рыбохозяйственных показателей чистопородных форм по формуле:

$$ИГ = \frac{Пкр \times 100}{Пп - 100}, \quad (1)$$

где $Пкр$ – показатель кросса;
 $Пп$ – средний показатель пород [8].

Уровень продуктивности гибридов и их ранги по рыбохозяйственным показателям меняются в зависимости от года (варианта) испытаний. Поэтому для оценки селекционной ценности компонентов скрещивания использовали показатели общей и специфической комбинационной способности (ОКС и СКС). Если X_A – средний урожай гибридов с участием линии А, а $X_{...}$ – средний урожай гибридов F_1 , тогда оценка общей комбинационной способности линии А равна $g = X_A - X_{...}$. Эффект специфической комбинационной способности от скрещивания линий А и Б составит: $S(A \times B) = x(A \times B) - X_A - X_B + X_{...}$ [8-10].

Проведенная серия опытно-экспериментальных работ по изучению гетерозисного эффекта у кроссов сазана с коллекционными линиями карпа разной породной принадлежности позволила выявить наиболее перспективные комбинации скрещиваний.

При проведении сравнительной оценки рыбоводно-биологических показателей кроссов использовали несколько методов. Самый простой из них – метод ранжирования. Комплекс рыбоводных показателей, характеризующих результат зимовки годовиков, выращивания сеголетков и двухлетков, биохимических и биохимико-физиологических показателей, включает несколько показателей. Первые ранги присваивали гибридам с улучшенными показателями и далее в порядке снижения их значений. Ранги рассмотренных признаков на каждом из этапов исследования суммировали и определяли средний ранг.

Оценка кроссов методом ранжирования представлена в таблице 1. Знаком (+) отмечены кроссы, у которых выявлены некоторые преимущества на каждом из этапов исследования. Так, например, на стадиях эмбрионального (икра) развития повышенной выживаемостью икры характеризовались кроссы – три

Таблица 1. Оценка продуктивности кроссов методом ранжирования

Кросс	Рыбоводные показатели				Биохим. состав тела 0+-1.	Физиол. показатели 0+-1.	Экстерьер, 1+	Интерьер, 1+	Итого
	икра/ личинки	0+	1.	2+					
Л.ч. х А.с.	-	-	-	+	-	+	+	-	3+
Т.ч. х А.с.	-	-	-	+	+	-	-	+	3+
З' х А.с.	+/+	-	+	-	+	-	+	+	6+
А.с. х Л.ч.	+/-	-	+	-	-	-	+	-	3+
А.с. х Т.ч.	+/-	-	-	+	+	-	-	+	4+
А.с. х З'	-	+	-	+	-	+	-	+	4+
Н. х А.с.	-	-	+	-	-	+	-	+	3+
Юг. х А.с.	-	-	-	-	-	+	-	-	1+
А.с. х Н.	+/+	+	-	+	-	+	+	-	6+
А.с. х Юг.	-	+	-	-	-	-	-	-	1+
А.с. х Фр.	+/-	-	-	+	-	-	+	+	4+

Примечание. Принятые сокращения: А.с. – амурский сазан; Л.ч. – карп «Лахвинский чешуйчатый»; Т.ч. – карп «Тремлянский чешуйчатый»; З' – отводка три прим карпа «Изобелинский»; Н. – карп «Немецкий»; Юг. – карп «Югославский»; Фр. – карп «Фресинет»; 0+ – сеголеток; 1. – годовик; 1+ – двухлеток.

прим х сазан, сазан х лахвинский чешуйчатый, сазан х тремлянский чешуйчатый, сазан х немецкий и сазан х фресинет. На стадиях постэмбрионального развития повышенную выживаемость демонстрировали – три прим х сазан, сазан х немецкий. По комплексу рыбоводных показателей сеголетков более продуктивными оказались – сазан х три прим, сазан х немецкий и сазан х югославский; годовиков – три прим х сазан, немецкий х сазан; двухлетков – лахвинский чешуйчатый х сазан, реципрокные комбинации сазана и тремлянского чешуйчатого карпа, сазан х три прим и сазан х немецкий.

По комплексу биохимических показателей, определяющих состав тела сеголетков и годовиков, также установлены кроссы, характеризующиеся повышенным содержанием сухого вещества, жира, протеина и минеральных веществ. Однако для сравнительной оценки зимостойкости различных опытных групп использовались величины отклонений рассмотренных признаков годовиков от сеголетков. Наименьшими отклонениями характеризовались кроссы – тремлянский чешуйчатый х сазан, три прим х сазан, сазан х тремлянский чешуйчатый.

Минимальными изменениями годовиков по сравнению с сеголетками по комплексу физиолого-биохимических показателей сыворотки крови характеризовались лахвинский чешуйчатый х сазан, сазан х три прим, югославский х сазан, реципрокные сочетания сазана и немецкого карпа.

По комплексу экстерьерных признаков некоторые преимущества установлены у кроссов три прим х сазан, сазан х немецкий, сазан х фресинет и реципрокных комбинаций сазана и лахвинского чешуйчатого карпа.

У всех рассмотренных кроссов на отдельных этапах развития по какому-либо признаку методом ранжирования установлено преимущество. В целом при суммарной сравнительной оценке рассмотренных комбинаций скрещиваний методом ранжирования некоторыми преимуществами выделяются кроссы – сазан х немецкий (6+) и три прим х сазан (6+). Реципрокные кроссы югославского карпа с амурским сазаном имеют меньше всего преимуществ (1+) в сравнении с другими опытными группами кроссов.

Рыбоводно-биологические показатели у кроссов сравнивали со средними значениями родительских

форм с помощью индексов гетерозиса (табл. 2). Знаком (+) в таблице отмечены кроссы, у которых установлен эффект гетерозиса по определенным показателям не менее 10,0-15,0 %. Оценку проявления эффекта гетерозиса сеголетков, годовиков и двухлетков кроссов проводили по отношению к среднему значению рыбоводных показателей чистопородных форм. Средняя масса сеголетков закономерно обратно пропорциональна их выживаемости. Поэтому кроссы, у которых отмечен эффект гетерозиса по массе тела, как правило, не проявляют преимуществ по выживаемости и наоборот. У годовиков важным показателем, характеризующим зимостойкость, является показатель «потери массы тела за зимний период» (на сколько похудела рыба). Среди опытных кроссов эффект по потере массы тела установлен у кроссов лахвинский чешуйчатый х сазан и изобелинского карпа (отводка три прим х сазан). У кроссов эффект гетерозиса по выживаемости годовиков отмечен у комбинаций три прим х сазан, сазан х фресинет, реципрокных сочетаний немецкого и югославского карпа с амурским сазаном. У двухлетков всех опытных кроссов эффект гетерозиса проявился по показателям прироста массы тела и выживаемости за вегетационный период.

По итогам оценки проявления эффекта гетерозиса по рыбоводным показателям у кроссов сазана с коллекционными чистопородными группами карпа можно выделить четыре комбинации, у которых по большинству рассмотренных рыбоводных показателей установлен эффект гетерозиса:

- лахвинский чешуйчатый х сазан;
- три прим х сазан;
- немецкий х сазан;
- югославский х сазан

Уровень продуктивности гибридов и их ранги по рыбохозяйственным показателям меняются в зависимости от года (варианта) испытаний. Поэтому для оценки селекционной ценности компонентов скрещивания использовали показатели специфической комбинационной способности (СКС) (табл. 3). Знаком (+) отмечены кроссы с повышенной комбинационной способностью.

Среди сеголетков опытных кроссов повышенной комбинационной способностью по массе тела характеризуются комбинации: тремлянский чешуйчатый х

Таблица 2. Оценка проявления эффекта гетерозиса у реципрокных кроссов амурского сазана с карпом разной породной принадлежности

Кросс	0+		1.		1+		Итого
	средняя масса	выживаемость	потеря массы	выживаемость	прирост	выживаемость	
Л.ч. х А.с.	-	+	+	-	+	+	4+
Т.ч. х А.с.	+	-	-	-	+	+	3+
З' х А.с.	-	-	+	+	+	+	4+
А.с. х Л.ч	+	-	-	-	+	+	3+
А.с.х Т.ч.	-	+	-	-	+	+	3+
А.с. х З'	+	-	-	-	+	+	3+
Н. х А.с.	+	-	-	+	+	+	4+
Юг. х А.с.	+	-	-	+	+	+	4+
А.с. х Н.	-	+	-	-	+	+	3+
А.с. х Юг.	-	+	-	+	+	+	3+
А.с. х Фр.	+	-	-	+	+	-	3+

Таблица 3. Оценка проявления СКС у опытных кроссов сазана с карпом

Кросс	0+		1.		1+		Итого
	масса	выживаемость	потеря массы	выживаемость	прирост	выживаемость	
Л.ч. х А.с.	-	+	+	-	+	+	4+
Т.ч. х А.с.	+	-	+	+	+	+	5+
З' х А.с.	-	+	+	+	+	+	5+
А.с. х Л.ч.	+	-	+	-	+	+	4+
А.с. х Т.ч.	-	+	+	-	+	+	4+
А.с. х З'	+	-	+	-	+	+	4+
Н. х А.с.	+	-	+	+	+	+	5+
Юг. х А.с.	-	-	+	+	+	+	4+
А.с. х Н.	-	+	-	-	+	+	3+
А.с. х Юг.	-	+	+	+	+	+	5+
А.с. х Фр.	+	-	+	+	+	+	5+

сазан, сазан х лахвинский чешуйчатый, сазан х три прим, немецкий х сазан, сазан х фресинет, а по выживаемости сеголетков – лахвинский чешуйчатый х сазан, три прим х сазан, сазан х тремлянский чешуйчатый, сазан х немецкий и сазан х югославский.

У всех опытных сочетаний наблюдается повышенная СКС по уровню потери массы тела у годовиков, за исключением кросса сазан х немецкий. Повышенная СКС по выживаемости годовиков отмечена у кроссов тремлянский чешуйчатый х сазан, три прим х сазан, немецкий х сазан, югославский х сазан, сазан х югославский, сазан х фресинет. У всех двухлетков опытных кроссов отмечена повышенная комбинационная способность по приросту массы тела и выживаемости.

При подведении итогов проявления СКС по рыболоводным показателям выделены кроссы, у которых установлены преимущества по большинству рассмотренных признаков: тремлянский чешуйчатый х сазан, отводки изобелинского карпа три прим х сазан, карп немецкий х сазан, сазан х карп югославский, сазан х карп фресинет.

Заключение

Таким образом, по результатам сравнительной оценки рыболоводно-биологических показателей реципрокных кроссов амурского сазана с коллекционными линиями карпа белорусской и зарубежной селекции тремя методами (ранжирования, сравнения индексов гетерозиса и проявления СКС) были определены наиболее продуктивные сочетания (табл. 4).

В результате оценки продуктивности кроссов тремя методами установлены преимущества различных комбинаций скрещиваний. Выделена лишь одна

комбинация, преимущество которой определено тремя методами (три прим х амурский сазан).

В целом кроссы сазана с карпом в любых сочетаниях проявляют эффект гетерозиса по различным показателям, однако проведенные исследования указывают на преимущества приведенных в таблице 4 комбинаций, особенно сочетания отводки изобелинского карпа три прим с амурским сазаном десятого поколения из сформированной в Беларуси популяции (рис. 1).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Чутаева, А.И. Результаты промышленного испытания гибридов изобелинского карпа с амурским сазаном ханкайской популяции / А.И. Чутаева, М.В. Ветохина, А.Т. Климович // Информационный листок. – Минск: БелНИИТИ. – 1980. – № 266. – 6 с.
2. Таразевич, Е.В. Промышленное выращивание гибрида изобелинского карпа и амурского сазана / Е.В. Таразевич, А.И. Чутаева, Э.К. Скурат. // Рыбное хозяйство. – 1981. – № 5. – С.11-12.
3. Чутаева, А.И. Рыбохозяйственная характеристика внутривидовых помесей белорусского карпа и его гибридов с амурским сазаном / А.И. Чутаева, М.В. Книга // Тезисы докладов XXI науч. конф. по изучению и освоению водоемов Прибалтики и Белоруссии. – Псков, 1983. – Т. 2. – С. 164-167.
4. Технологическая инструкция по разведению племенного карпа белорусской селекции / Е.В. Таразевич [и др.] // Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре в Беларуси. – Минск, 2006. – С. 6-20.

Таблица 4. Результаты комплексной оценки рыболоводно-биологических показателей кроссов сазана с карпом разной породной принадлежности

Метод оценки		
Ранжирование	Определение ИГ	Определение СКС
Карп «Изобелинский» отводка «Три прим» х амурский сазан	Карп «Изобелинский» отводка «Три прим» х амурский сазан	Карп «Изобелинский» отводка «Три прим» х амурский сазан
Амурский сазан х карп немецкий	Карп лахвинский чешуйчатый х амурский сазан	Карп тремлянский чешуйчатый х амурский сазан
-	Карп немецкий х амурский сазан	Амурский сазан х карп югославский
-	Карп югославский х амурский сазан	Амурский сазан х карп фресинет



Рисунок 1. Сегаолетки кросса отводки карпа «Изобелинский» с амурским сазаном

5. Сборник научно-технологической и методической документации по аквакультуре. – М.: Изд-во ВНИРО, 2001. – С. 147-151.

6. К методике определения рыбохозяйственной ценности отдельных групп рыб методом ранжирования. / Е.В. Таразевич [и др.] // Вопросы рыбного хозяйства Беларуси: сб. науч. тр. / Ин-т рыбного хозяйства Беларуси. – Минск, 2005. – Вып. 21. – С. 45-55.

7. Свечин, К.Б. Оценка эффекта гетерозиса в относительных показателях / К.Б. Свечин // Животноводство. – 1967. – № 1. – С. 61-62.

8. Савченко, В.К. Генетический анализ в сетевых пробных скрещиваниях / В.К. Савченко. – Минск: Наука и техника, 1984. – 222 с.

9. Савченко, В.К. Генетический анализ и синтез в практической селекции / В.К. Савченко. – Минск: Наука и техника, 1986. – 92 с.

10. Савченко, В.К. Метод оценки комбинационной способности генетически разнокачественных наборов родительских форм / В.К. Савченко // Методика генетико-селекционного и генетического экспериментов. – Минск, 1973. – С. 48-77.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 29.06.2023

Радиоволновой влагомер зерна

Предназначен для непрерывного измерения влажности зерна в процессе сушки на зерносушильных комплексах.

Влагомер обеспечивает непрерывный контроль влажности зерна в потоке и автоматическую коррекцию результатов измерения при изменении температуры материала, имеет аналоговый выход – 4-20 мА, а также интерфейс – RS-485.



Основные технические данные

Диапазон измерения влажности зерна
Основная абсолютная погрешность
Температура контролируемого материала
Цена деления младшего разряда блока индикации
Напряжение питания
Потребляемая мощность

от 9 до 25 %
не более 0,5 %
от +5 до +65 °С
0,1 %
220 В 50 Гц
30 ВА

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОЛЕВЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ УКРЫВАЮЩЕЙ ПЛЕНКИ ПРИ ПОСЕВЕ КУКУРУЗЫ В УСЛОВИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

Н.Н. Быков,

доцент каф. эксплуатации машинно-тракторного парка и агротехнологий БГАТУ, канд. техн. наук

Т.А. Непарко,

зав. каф. эксплуатации машинно-тракторного парка и агротехнологий БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Д.А. Жданко,

проректор по учебной работе и производству БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

А.С. Вороненко,

студент агроmechanического факультета БГАТУ

В статье представлен опыт возделывания кукурузы на зерно с использованием саморазлагающейся пленки для укрытия посевов, который был проанализирован и применен в почвенно-климатических условиях Беларуси на площади 23 га в филиале «Агро-Бокс» СП «Унибокс» ООО Червенского района Минской области, позволяющий оптимизировать условия роста и развития растений.

Ключевые слова: кукуруза, зерно, температура, заморозки, пленка, микроклимат.

The article presents the experience of corn cultivation for grain using biodegradable film for covering crops, which was analyzed and applied in soil and climatic conditions of Belarus on the area of 23 hectares in the Agro-Box branch of the Unibox JV Ltd. of Cherven District, Minsk Region. As a result it allows optimizing the conditions for plant growth and development.

Key words: maize, grain, temperature, frost, plastic sheeting, microclimate.

Введение

Кукуруза – одна из важнейших зерновых и кормовых культур, посевные площади которой в мировом земледелии занимают третье место после риса, яровой и озимой пшеницы. Родиной кукурузы является Южная и Центральная Америка. Именно происхождением объясняется высокая требовательность этой культуры к теплу

Благодаря созданию скороспелых гибридов, обладающих холодостойкостью и высокой продуктивностью, возделывание кукурузы практикуют и в северных областях.

Для прорастания семян кукурузы требуется относительно высокая температура. С ее повышением от 12 до 21 °С продолжительность довсходового периода сокращается с 22 до 8 дней. Холодная и сырая погода после посева благоприятствует развитию болезней, а при низких температурах различные патогенные микроорганизмы могут вызвать загнивание семян и корневую гниль всходов, особенно в условиях высокой влажности почвы [1, 2].

Рост растений кукурузы более тесно связан с температурой, чем с любым отдельно взятым климатическим фактором. Уровнем температуры определяются также сроки появления у кукурузы очередных листьев и наступление фенологических фаз. На сроки выбрасывания метелок большое влияние оказывает

температура предшествующего периода. Так, при средней температуре 18,4 °С от всходов до выбрасывания метелок у раннеспелых гибридов проходит 44 дня, а при средней температуре 16 °С – 58 дней. Прохладные ночи замедляют темпы роста растений в период до выбрасывания метелок. Восковая спелость зерна (раннеспелый гибрид) наступает через 100 дней после сева при среднесуточной температуре 18 °С и через 140 дней – при температуре 16 °С.

Всходы кукурузы выдерживают заморозки от –1 °С до – 2 °С. При более низких температурах надземная масса отмирает, но после потепления растения снова отрастают при условии, если надземная часть проростка осталась неповрежденной. При этом урожайность культуры будет меньшей. Многолетние наблюдения за заморозками показывают, что их вероятность в первой декаде мая составляет 2 к 10. В некоторых районах, где много торфяных почв, заморозки повреждают кукурузу несколько чаще. Они наиболее опасны в первой декаде мая (если кукуруза была посеяна во второй декаде апреля) [3].

Температуру воздуха и почвы можно регулировать следующими приемами: размещением посевов на южных и юго-западных склонах, на участках, защищенных от северных и восточных ветров лесом или лесозащитными полосами, на лучше прогреваемых супесчаных почвах, а также поддержанием почвы в рыхлом состоянии, а посева – в чистоте. Кроме

этого, в последнее время в растениеводстве (овощеводстве, выращивании клубники) все чаще применяют искусственную регуляцию температурного режима наземного слоя посевов. Для этих целей используют синтетический материал (спанбонд, агроволокно и т.д.), создавая на грунте оптимальный микроклимат, ускоряющий развитие растений. При этом отмечают, что внезапные заморозки не могут погубить первые всходы. Синтетический материал расстилают непосредственно на почве, в которую высеяны семена или высажена рассада, края полотнищ присыпают небольшим слоем земли для предотвращения сдувания их ветром. Почва, накрытая сетчатым материалом, быстрее прогревается, и это создает лучшие условия для прорастания семян. В процессе роста растения приподнимают материал, в результате получая своеобразную «крышу над головой». Использование данного метода целесообразно, поскольку позволяет оптимизировать условия роста и развития растений: в ночные часы удерживается тепло, аккумулированное в течение светлого времени суток, днем воздух нагревается медленнее, что позволяет избежать перегрева растений и почвы. Опыт возделывания кукурузы компанией Samco System (Ireland), показавший, что снижение негативного эффекта температурных колебаний возможно при использовании саморазлагающейся пленки для укрытия посевов, был проанализирован и применен в почвенно-климатических условиях Беларуси на площади 23 га в филиале «Агро-Бокс» СП «Унибокс» ООО Червенского района Минской области, с которым тесно сотрудничает кафедра эксплуатации машинно-тракторного парка и агротехнологий БГАТУ [4].

Изучением вопросов по эффективному возделыванию кукурузы занимались многие ученые в разных странах – Д. Шпаар, Н.Ф. Надточаев, Р.Б. Албегов, В.С. Сотченко, Т.Р. Толорая, А.А. Беляев, С.А. Семина, А.Э. Панфилов, В.С. Ильин и многие другие.

Цель работы – изучение опыта использования укрывающей пленки при посеве кукурузы.

Основная часть

Опыты проводились на гибриде LG 3227. Почва опытного участка – дерново-подзолистая, среднекультуренная, среднесупесчаная. Агрохимические показатели пахотного горизонта до закладки опытов показывали, что почва опытного участка характеризовалась кислой реакцией почвенной среды (4,8), средним содержанием гумуса (2,18 %), средней обеспеченностью подвижными формами фосфора (210 мг/кг почвы) и недостаточным содержанием подвижных форм калия (115 мг/кг почвы). Предшественником являлась зернобобовая смесь, после уборки которой вносили 100 т/га органических удобрений под зяблевую вспашку. Посев проводился в конце марта при норме высева – 81 тыс.

семян/га [5, 6]. Морфометрические показатели оценивались у трех случайно взятых растений по вариантам исследований.

Урожай и его качество при любом уровне агротехники находятся в определенной зависимости от климатических условий местности и погоды, которая устанавливается в период от сева до уборки. При этом особенно заметное влияние оказывают тепловой режим и влагообеспеченность. Метеорологические условия в год проведения опыта были разнообразными: начало весны выдалось теплым и влажным, а в третьей декаде апреля наблюдалось повышение температуры воздуха (на 4,0 °С выше нормы) и количество осадков составило 54,2 мм при норме 49,0 мм. Май не отличался резкими скачками температур. Количество осадков в среднем за месяц превысило норму в два раза и составило 122,3 мм, причем первая декада месяца была засушливая, а основная доля осадков пришлось на конец месяца. В июне наблюдались резкие скачки температуры. В первой декаде среднесуточная температура превысила норму на 3,4 °С и составила 19 °С. С середины месяца температура понизилась до 13,8-13,2 °С, что значительно ниже нормы. Количество выпавших осадков составило 76,8 мм при норме 84 мм. Июль был теплым, с некоторым недобором осадков. Средняя температура за месяц на 3,3 °С превысила климатическую норму и составила 20,5 °С. Осадков выпало 49 % месячной нормы, особенно засушливой оказалась третья декада месяца (3,4 мм при норме 28 мм). Первая декада августа характеризовалась преобладанием теплой, сухой погоды. В среднем за декаду температура воздуха составила 24,1 °С, без осадков. Во второй декаде – температура снизилась до 18,5 °С, количество выпавших осадков превысило норму почти в два раза. Последняя декада августа характеризовалась неустойчивым температурным режимом и обилием осадков, которые сопровождалась грозами. Сентябрь по всем декадам отличался более высокими температурными показателями, осадков же в первые две декады практически не выпадало. В целом за период апрель – сентябрь в год закладки опыта сложились достаточно благоприятные условия для роста, развития и формирования полноценного урожая кукурузы на зерно.

Согласно результатам наблюдений, уже на начальных этапах развития растений были отмечены существенные отличия на различных вариантах выращивания кукурузы на зерно (табл. 1).

В результате первого учета было установлено, что при создании оптимального микроклимата на грунте, значительно ускоряется рост растений кукурузы. Так, через 70 дней после посева превышение по высоте над контролем составило 42 см, отмечена более поздняя фаза развития растений – 10 листьев, масса одного растения составила 252 г при 25,5 г на

Таблица 1. Оценка морфометрических показателей растений кукурузы при различных способах посева (70 дней после посева)

Вариант	Высота, см	Количество листьев, шт.	Масса 1 растения (без корней), г	Масса корней, г	Сухая масса растения, г
Контроль	38	7	23	2,5	2,7
Пленка	80	10	213	36	27,6

контрольном варианте.

Второй учет показал, что посев кукурузы под пленку обеспечил временное ускорение роста и развития примерно в три недели: высота и развитие растений через 95 дней после посева соответствовали растениям под пленкой через 70 дней после посева (табл. 2).

По измеряемым параметрам растения, высаженные под пленкой, превосходили контрольные растения (высота – на 100 см, количество листьев – 2, масса 1 растения – 967 г).

Результаты третьего учета показали, что растения контрольного варианта приблизились к растениям экспериментального варианта по основным показателям. Вместе с тем, средняя масса початка на растениях под пленкой на 55 % превосходила данный показатель у контрольных растений (табл. 3).

При учете приведенных параметров, через 142 дня после посева установлено, что масса 1 растения (без корневой системы), выращенного под пленкой, уступала контрольным растениям. Это связано с более быстрым прохождением фенологии и наступлением физиологической спелости (табл. 4).

При примерно одинаковой массе початка отмечены значительные отличия по массе початка без оберток (на 21 %, или на 40 г выше у растений под пленкой).

Учет в посевах кукурузы накануне уборки показал (табл. 5), что большая масса початка (228,5 г) отмечена у растений в посевах под пленку. Также влажность зерна значительно отличалась в зависимости от способа посева кукурузы. Так, рост растений под пленкой обеспечил снижение влажности зерна на 6,2 % в сравнении с контрольными растениями. В связи с этим

потеря массы при высушивании зерна составила только 26 % при 40,3 % на контрольных растениях.

Общеизвестно, что чем ниже влажность зерна, тем меньше расходы на его сушку. Так, на сушку 1 т зерна влажностью 25 % расходуется 29-36 кг дизельного топлива, а влажностью 38 % – 48-60 кг, что при урожайности 7 т/га составит 200-250 и 350-400 кг/га. В связи с этим совершенствование технологии возделывания кукурузы, ведущее к более существенному снижению влажности зерна при уборке, является актуальным.

Создание более качественных условий для роста и развития растений кукурузы (использование пленки) позволило сохранить густоту стояния растений к уборке на уровне 77 тыс./га, что на 2 тыс./га выше, чем в контрольном варианте (табл. 6). Оценка продуктивности посевов при различных технологиях возделывания показала, что более урожайной оказалась кукуруза с использованием пленки – 10,45 т/га. Посевы без пленки показали урожайность 8,42 т/га. Прибавка (2,03 т/га) за счет увеличения урожайности и снижения влажности зерна предполагает компенсацию дополнительных затрат на испытываемый способ возделывания.

Оценка качественных параметров зерна показала, что они незначительно отличались в зависимости от способа выращивания кукурузы (табл. 7).

Таким образом, результаты исследований указывают на перспективность испытанного способа возделывания кукурузы, имеющего ряд существенных преимуществ. Во-первых, в климатических условиях Республики Беларусь она позволяет производить посев на 2 недели раньше, чем при использовании обычного способа. Во-вторых, полимерная пленка – хорошая защита

Таблица 2. Оценка морфометрических показателей растений кукурузы при различных способах посева (95 дней после посева)

Вариант	Высота, см	Количество листьев, шт.	Масса 1 растения (без корней), г	Масса корней, г
Контроль	95	9	330	26
Пленка	195	11	1240	83

Таблица 3. Оценка морфометрических показателей растений кукурузы при различных способах посева (120 дней после посева)

Вариант	Высота, см	Количество листьев, шт.	Масса 1 растения (без корней), г	Масса корней, г	Масса початка, г
Контроль	236	13	807	113	207
Пленка	258	13	983	117	320

Таблица 4. Оценка морфометрических показателей растений кукурузы при различных способах посева (142 дня после посева)

Вариант	Высота, см	Масса 1 растения (без корней), г	Масса корней, г	Масса початка, г	Масса початка без оберток, г
Контроль	260	797	120	240	187
Пленка	261	683	213	253	227

Таблица 5. Оценка морфометрических показателей растений кукурузы при различных способах посева (179 дней после посева)

Вариант	Масса початка, г	Масса зерна 1 початка до сушки, г	Влажность зерна до сушки, %	Разница влажности, ± %	Масса зерна 1 початка после сушки, г
Контроль	212,2	157,4	32,9	–	112,2
Пленка	228,5	171,0	26,7	– 6,2	135,8

Таблица 6. Влияние различных способов посева на густоту стояния перед уборкой и биологическую продуктивность кукурузы (179 дней после посева)

Вариант	Густота стояния перед уборкой, тыс. растений/га	Биологическая продуктивность, т/га
Контроль	75	8,42
Пленка	77	10,45

Таблица 7. Влияние различных способов посева на качество зерна кукурузы

Вариант	Протеин, %	Крахмал, %	Жир, %
Контроль	11,5	70,1	3,7
Пленка	10,7	71,6	3,8

от ранневесенних заморозков. Кроме того, данная технология позволяет возделывать гибриды кукурузы с более высоким числом ФАО, что особенно важно при выращивании кукурузы на зерно. Если в условиях республики оптимальное число ФАО – 200, то под пленкой можно возделывать гибрид с числом ФАО – 300.

Поскольку большинство сельскохозяйственных предприятий ориентированы на молочное животноводство, задача специалистов по растениеводству заключается в том, чтобы с единицы площади получать максимум сухого вещества с высокой энергетической ценностью. Как раз такую возможность дает технология выращивания кукурузы под пленкой. За счет создаваемого полимером парникового эффекта лучше развивается корневая система растений, что позволяет им получать из почвы максимум питательных элементов. Цикл развития растения под пленкой проходит значительно быстрее, нежели в обычных условиях, початки раньше формируются и раньше достигают зрелости.

Заключение

1. Создание более качественных условий для роста и развития растений кукурузы (использование пленки) ускорило прохождение этапов органогенеза, позволило сохранить густоту стояния растений к уборке на уровне 77 тыс./га, что на 2 тыс./га выше, чем по традиционной технологии (в контрольном варианте). Оценка продуктивности посевов показала, что более урожайной оказалась кукуруза с использованием пленки – 10,45 т/га, против 8,42 т/га – без ее использования.

2. Рост растений под пленкой обеспечил снижение влажности зерна на 6,2% в сравнении с контрольными растениями. В связи с этим потеря массы

при высушивании зерна составила только 26 % при 40,3 % на контрольных растениях.

3. С учетом того, что снижение влажности початков на 1 % позволяет экономить топливо при сушке до 30 кг/га, себестоимость производства зерна значительно уменьшится.

4. Прибавка (2,03 т/га) за счет увеличения урожайности и снижения влажности зерна предполагает компенсацию дополнительных затрат на испытываемый способ возделывания.

5. Применяемый полимер экологичен, его использование не наносит вреда здоровью людей и животных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Надточаев, Н.Ф. Кукуруза на полях Беларуси / Н.Ф. Надточаев; Научно-практический центр НАН Беларуси по земледелию. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 412 с.
2. Коледа, К.В. Растениеводство / К.В. Коледа, А.А. Дудук. – Минск: ИВЦ Минфина, 2008. – 280 с.
3. Русак, Г.С. Инновационная технология возделывания кукурузы в Республике Беларусь / Г.С. Русак, Т.А. Непарко, Н.Н. Быков // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник науч. статей Международной науч.-практич. конференции, Минск, 24-25 ноября 2022 г. / Белор. гос. аграрн. технич. ун-т; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 372-375.
4. Русак, Г.С. Внедрение высокоэффективных технологий в сфере сельского хозяйства / Г.С. Русак, Н.Н. Быков, Т.А. Непарко // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей Международной науч.-практич. конференции, Минск, 24-25 ноября 2022 г. / Белор. гос. аграрн.-технич. ун-т; редкол.: В.П. Чеботарев [и др.]. – Минск: БГАТУ, 2022. – С. 367-370.
5. Организационно-технологические нормативы возделывания кормовых и технических культур: сборник отраслевых регламентов / НАН Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф.И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларуская навука, 2012. – 288 с.
6. Непарко, Т.А. Технологии и техническое обеспечение производства продукции растениеводства / Т.А. Непарко, А.В. Новиков, И.Н. Шило; под общ. ред. Т.А. Непарко. – Минск: ИВЦ Минфина, 2015. – 199 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 14.06.2023

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИССЛЕДОВАНИЯ УДЕЛЬНОЙ ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТИ НЕСОРТОВОГО МОЛОКА МЕТОДОМ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ (ИМПЕДАНСНОЙ) СПЕКТРОСКОПИИ

Н.Г. Крылова,

доцент каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. ф-м. наук, доцент

А.В. Крутов,

доцент каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.А. Ковалев,

доцент каф. электроснабжения и электротехники БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

Работа посвящена разработке методов контроля качества молока с использованием импедансной спектроскопии. Проанализированы теоретические модели для нахождения комплексной диэлектрической проницаемости молока в широком диапазоне частот. Рассмотрены эквивалентные схемы замещения измерительной ячейки с несортovým молоком и проведено моделирование отклика электрохимической системы на изменение удельной электропроводности молока. Показано, что многофакторность системы (из-за наличия вкладов поляризации, диффузии, электрохимических реакций) может приводить к слабому изменению импеданса в некоторых частотных диапазонах. Для разработки высокочувствительных электрохимических методов исследования несортového молока необходимо проводить измерения в широком частотном диапазоне.

Ключевые слова: несортовое молоко, диэлектрическая проницаемость, удельная электропроводность, импеданс, релаксация, двойной электрический слой.

The paper is concerned with the development of methods for milk quality control using impedance spectroscopy. The theoretical models for finding the complex dielectric permittivity of milk over a wide range of frequencies are analyzed. The equivalent substitution circuits of the measuring unit with ungraded milk are considered and the modeling of the response of the electrochemical system to changes in the specific electro-conductivity of milk is carried out. It has been shown that the multifactorial character of the system (due to the presence of polarization, diffusion, and electrochemical reaction contributions) can lead to a weak change in impedance in some frequency ranges. For the development of highly sensitive electrochemical methods for testing ungraded milk, the measurements need to be carried out over a wide frequency range.

Key words: ungraded milk, dielectric permittivity, specific electro-conductivity, impedance, relaxation, double electrical layer.

Введение

Методы импедансной (диэлектрической) спектроскопии являются перспективными для анализа комплексного сопротивления различных систем, так как позволяют проводить как поверхностные измерения, так и измерения в объемных образцах [1]. В настоящее время существует много методов оценки качества сельскохозяйственной продукции. У каждого из них есть свои преимущества и недостатки. В последнее время особой популярностью пользуются те методы и технологии, которые одновременно отвечают нескольким критериями:

- удобство и дешевизна в использовании;
- возможность миниатюризации;
- неинвазивность

Импедансная спектроскопия соответствует всем этим критериям [2]. На ее основе можно реализовать простые в использовании, дешевые и эффективные экспресс-методы оценки качества производимой продукции.

В сельскохозяйственной практике импедансные методы могут применяться для детектирования качества мясной и молочной продукции, анализа состояния почвы, семян и древесины [3-8]. Современные достижения в биосенсорике и миниатюризации чиповых устройств (системы «lab-on-a-chip») свидетельствуют о том, что такого типа устройства могут обеспечить микробиологический и молекулярно-биохимический контроль в экспресс-режиме со значительной экономической выгодой [9]. Однако большинство предлагаемых систем все еще требуют раз-

работки технологических решений, конструкционных особенностей, высокоселективных покрытий, а также методов и протоколов работы (в том числе подготовку проб и их очистку) для каждой задачи ввиду сложности композитного состава биологических образцов.

Республика Беларусь входит в пятерку ведущих стран мира по экспорту молочной продукции. Объемы производства молока в стране составляют около 9 млн тонн в год. Поэтому обеспечение качества молока является важнейшей задачей, так как от сортности поставляемого на переработку молока зависит качество молочной продукции и доходность отрасли. Молоко по физико-химическим показателям должно соответствовать установленным нормам в соответствии с межгосударственным стандартом: ГОСТ 31449-2013 «Молоко коровье сырое. Технические условия».

Наибольшее влияние на качество молока оказывают различные болезни коров, которые приводят к снижению молочной продуктивности, изменению состава и свойств молока, что уменьшает конкурентоспособность продукции. Ранняя диагностика заболеваний позволяет не допускать их дальнейшего развития и получать высококачественное молоко.

В настоящее время в молочном производстве большое внимание уделяется разработке адаптивных энерго- и ресурсосберегающих технологий на основе автоматизированного мониторинга, важнейшей составляющей которого является экспресс-анализ нарушений функции вымени. Развитие и внедрение импедансных методов и основанных на них нанобиосенсоров перспективно для получения оперативной информации в системах автоматизированного мониторинга качества сельскохозяйственной продукции. Дешевизна, высокая скорость анализа, возможность миниатюризации и автоматизации позволяют интегрировать их в систему автоматизированного доения. В то же время, высокую чувствительность и избирательность метода могут обеспечить – использование высокоселективных биосенсоров (биосенсорика) или измерение импеданса в широком диапазоне частот (импедансная спектроскопия) [9]. Сенсоры первого типа – это высокоселективные биосенсоры для детектирования, как компонентов молока (например, лактоза), так и ряда чужеродных химических и биохимических соединений, токсичных для человека (например, в молоке требуется определять микотоксин, афлотоксин М1, хинолоновые и тетрациклиновые соединения, пероксид водорода и др.) [4; 10-12]. Преимущество метода – простота в использовании и интерпретации полученных результатов. Однако чувствительное покрытие такого биосенсора обычно включает белковые молекулы (иммобилизованные антитела, ферменты), что существенно усложняет технологию производства, повышает технические требования к условиям хранения и использования, значительно увеличивает стоимость анализа.

Метод импедансной спектроскопии, в общем случае, не требует дополнительных меток («label-free»). Комплексная диэлектрическая проницаемость молока на различных частотах определяется поляризацией различных компонентов молока, а, следова-

тельно, различные профили изменения состава молока будут приводить к разному частотному отклику электрохимической системы [13-18]. Применение таких сенсоров может обеспечить экспресс-диагностику отклонения состава молока от нормы вследствие нарушения питания и/или развития заболеваний у животных [13-14], разбавления или загрязнения молока в процессе обработки [15-17]. Так, показано, что емкость двойного электрически заряженного слоя линейно возрастает при разбавлении молока водой [15] и при наличии примеси мыла [16] за счет снижения электрической проводимости. Метод диэлектрической спектроскопии в широком диапазоне частот является перспективным для разработки высокочувствительных автоматизированных систем диагностики субклинического мастита коров [17].

Цель настоящей статьи – дать теоретические предпосылки и векторы развития методов определения комплексной диэлектрической проницаемости несортного молока на основании метода диэлектрической (импедансной) спектроскопии.

Основная часть

Метод импедансной спектроскопии заключается в оценке сопротивления исследуемого образца при наличии возмущающего электрического поля малой амплитуды в зависимости от его частоты. При исследовании импеданса важно учесть приэлектродные процессы, протекающие на границе раздела электрод – исследуемая среда, а также поляризационные процессы содержащихся в ней компонентов.

Диэлектрические свойства жидкостей выражаются комплексной относительной диэлектрической проницаемостью [19-23]

$$\varepsilon_r^*(\omega) = \varepsilon'(\omega) + j\varepsilon''(\omega) \text{ или}$$

$$\varepsilon_r^* = \varepsilon_r + \frac{\gamma}{j\omega\varepsilon_0} = \varepsilon_r - j\frac{\gamma}{\omega\varepsilon_0},$$

где ε_r и ε_r^* – относительная диэлектрическая проницаемость и ее комплексное значение;

ε' и ε'' – вещественная и мнимая составляющие диэлектрической проницаемости, Ф/м;

ω – круговая частота, с⁻¹;

j – мнимая единица;

ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м;

γ – удельная проводимость молока, См/м;

Комплексная относительная диэлектрическая проницаемость определяется способностью системы поляризоваться в ответ на внешнее электрическое поле. В эквивалентной схеме замещения релаксационную поляризацию можно учесть, введя понятие удельной комплексной проводимости, $\underline{\gamma}$

$$\underline{\gamma} = \gamma + j\omega\varepsilon_a$$

где ε_a – абсолютная диэлектрическая проницаемость, Ф/м.

Полярные жидкости, такие как вода, одноатомные спирты, а также разведенные растворы полярных жидкостей в неполярных растворителях характеризуются одним временем ориентационной релаксации

и могут быть описаны уравнениями Дебая. Согласно уравнениям Дебая [19]

$$\varepsilon' = \varepsilon_{\infty} + \frac{\varepsilon - \varepsilon_{\infty}}{1 + \omega^2 \tau^2}, \quad \varepsilon'' = \frac{(\varepsilon - \varepsilon_{\infty}) \omega \tau}{\varepsilon + \varepsilon_{\infty} \omega^2 \tau^2}, \quad \operatorname{tg} \delta = \frac{\varepsilon''}{\varepsilon'}, \quad (1)$$

где ε – предельная высокочастотная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

ε_{∞} – предельная низкочастотная диэлектрическая проницаемость, Ф/м;

τ – время релаксации, с;

$\operatorname{tg} \delta$ – тангенс угла диэлектрических потерь.

Однако большинство полярных жидкостей имеют широкую область дисперсии с несколькими временами релаксации, и для описания дисперсии в таких случаях уравнения Дебая неприменимы. Так, в растворах электролитов дополнительная дисперсия диэлектрической проницаемости обусловлена процессами образования и разрушения ионной атмосферы. В периодических полях увеличение диэлектрической проницаемости, вызванное этим эффектом, определяется величиной дополнительного тока смещения и зависит от асимметрии в распределении зарядов [20].

Для моделирования свойств гетерогенных систем необходимо описывать многорелаксационный процесс, обусловленный наличием нескольких типов диполей. В самом простом случае, когда можно пренебречь кооперативными процессами и рассматривать релаксацию различных типов диполей как независимые релаксационные процессы (случай разбавленных растворов), диэлектрическая проницаемость определяется суммой вкладов каждого типа диполей [19]:

$$\frac{\varepsilon' - \varepsilon_{\infty}}{\varepsilon - \varepsilon_{\infty}} = \sum_k \frac{C_k}{1 + (\omega \tau_k)^2}, \quad \frac{\varepsilon'' - \varepsilon_{\infty}}{\varepsilon - \varepsilon_{\infty}} = \sum_k \frac{C_k \omega \tau_k}{1 + (\omega \tau_k)^2}, \quad (2)$$

где параметры C_k характеризуют вклад, вносимый каждым независимым релаксационным процессом, и удовлетворяют соотношению: $\sum_k C_k = 1$.

Для каждого i -го процесса время релаксации может быть определено через молекулярные постоянные по формуле:

$$\tau_i = 4\pi a^3 \eta / kT,$$

где a – радиус сферической молекулы, м;

η – вязкость раствора, Па·с;

k – постоянная Больцмана, Дж/К;

T – температура, К.

В электролитах дополнительные вклады в поляризацию будут давать эффект Максвелла-Вагнера, обусловленный накоплением носителей заряда на межфазных границах, и формирование двойного электрически заряженного слоя Гельмгольца, имеющего диффузный характер распределения заряда на границах раздела фаз. Эти эффекты учитываются для системы непроводящих включений в проводящей среде в теории Духина-Шилова [24]. Учет двойного слоя в электролитах приводит к следующему выражению для инкремента диэлектрической проницаемости:

$$\Delta \varepsilon = \varepsilon^* - \varepsilon_1 = \frac{9}{4} p \varepsilon_1 (\kappa a)^2 \frac{(A_1 a_2 - A_2 a_1)(1 + W + W^2)}{A_1^2 (1 + W)^2 + W^2 (A_1 + A_2 W)^2}, \quad (3)$$

где p – объемная доля частиц дисперсной фазы;

κ – обратный дебаевский радиус экранирования, м;

$W = a/r_0 = a\sqrt{\omega/2D}$, $D = D^+ D^- (z^+ + z^-)/(z^+ D^+ + z^- D^-)$;

$$a_1 = \alpha^+ (1 - z^- q + \alpha_c^- + q \alpha^-) - \alpha^- (1 + z^+ q + \alpha_c^+ + q \alpha^+);$$

$$A_1 = (z^- - \alpha^-)(1 + z^+ q + \alpha_c^+ + q \alpha^+) +$$

$$+ (z^+ + \alpha^+)(1 - z^- q + \alpha_c^- + q \alpha^-);$$

$$a_2 = \alpha^+ (1 + z^- q + \frac{D}{D^-} \alpha_1^-) - \alpha^- (1 - z^+ q + \frac{D}{D^+} \alpha_1^+);$$

$$A_2 = -(z^- - \alpha^-)(1 + z^+ q + \frac{D}{D^+} \alpha_1^+) -$$

$$-(z^+ + \alpha^+)(1 - z^- q + \frac{D}{D^-} \alpha_1^-);$$

$$q = z^+ z^- (D^- - D^+) / (z^+ D^- + z^- D^+);$$

$$\alpha^{\pm} = \frac{1}{\kappa a} \left[\frac{3}{2} m^{\pm} I_2^{\pm} \mp z^{\pm} I_1^{\pm} \right];$$

$$\alpha_c^{\pm} = \frac{1}{\kappa a} \left[\frac{3}{2} m^{\pm} I_{2c}^{\pm} \mp z^{\pm} I_1^{\pm} \right]; \quad \alpha_1^{\pm} = \frac{z^{\mp}}{\kappa a} [I_1^{\pm} + I_3^{\pm}];$$

$$m^{\pm} = \frac{\varepsilon_0}{6\pi\eta D^{\pm}} \left(\frac{RT}{F} \right)^2;$$

где D^{\pm}, z^{\pm} – коэффициенты диффузии и валентности положительных и отрицательных ионов, составляющих электролит;

$I_1^{\pm}, I_2^{\pm}, I_{2c}^{\pm}, I_3^{\pm}$ – коэффициенты концентрации ионов определяются интегралами для тангенциальных потоков ионов и зависят от граничных условий и распределения концентраций ионов и потенциала в пределах двойного слоя. Вид интегралов приведен в источнике [24];

R – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

F – число Фарадея, Кл/моль.

Молоко представляет собой сложную многокомпонентную полидисперсную систему. Его основные частицы дисперсной фазы (жир, казеин, молочный сахар) неодинаковы по размеру и находятся в тонкодисперсном состоянии. Молоко содержит также минеральные вещества в виде макро- и микроэлементов. Известно, что жир находится в молоке в виде эмульсии, казеин – в виде коллоидного раствора. Молочный сахар содержится в виде молекулярного водного раствора. В среднем, молоко имеет следующий состав (%) [25]:

– вода – 87,5;

– сухое вещество – 12,5.

В том числе:

молочный жир – 3,8;

белки – 3,3 (казеин – 2,7; альбумин – 0,5; глобулин – 0,1);

молочный сахар – 4,7;

минеральные вещества – 0,7.

На состав молока оказывают влияние многие факторы: порода скота, рацион кормления, стадии лактации, возраст, состояние животного и другие. При воспалительных процессах вымени вследствие нарушения секреции в молоке значительно уменьша-

ется количество лактозы, которая не поступает в готовом виде из крови, а синтезируется в молочной железе. В результате снижается осмотическое давление молока. Для выравнивания осмотического давления, из крови в молоко усиленно начинают диффундировать соли, главным образом, хлористый натрий [26-27]. Изменяется не только качественный состав молока, но и его физико-химические свойства, в частности его электропроводность.

Известно, что удельная электропроводность молока в норме, в среднем, составляет 0,46-0,59 См/м и обусловлена ионами Cl^- , Na^+ , K^+ . Электрически заряженные белки (казеин, альбумин, глобулин) и покрытые белковой оболочкой шарики жира тормозят подвижность ионов, уменьшая электропроводность молока. Электропроводность значительно изменяется при различных заболеваниях животных, а также в зависимости от лактационного периода, типа используемых кормов. В частности, показано, что в маститном молоке повышается удельная электропроводность, вплоть до 1,3 См/м, что обусловлено увеличением содержания ионов хлора и натрия [17].

Наибольшие изменения на субклинической стадии регистрируются в числе соматических клеток, ионном составе (удельной проводимости) и в составе белковой фракции.

В таблице 1 представлены основные компоненты и параметры молока, изменения в которых ассоциированы с развитием мастита.

Таблица 1. Изменение состава молока коров, больных маститом [27]

Компоненты и параметры молока	Здоровые животные	Субклинический мастит	Клинический мастит
Соматические клетки (10^5 клеток в мл)	<2	3-5	>5
Жирность (%)	4,32	4,31	4,08
Белки (%)	3,30	3,34	3,70
Казеин	2,70	2,55	2,25
Белок молочной сыворотки	0,84	1,13	1,35
Сухие обезжиренные вещества (%)	9,73	9,61	9,35
Альбумин	0,17	0,24	0,37
Лактоза (%)	4,84	4,71	4,41
pH	6,61	6,63	6,80
Проводимость (мСм/см)	5,90	6,01	7,21
Cl^-	0,09	0,13	0,16
Na^+	0,05	0,09	0,11
K^+	0,18	0,16	0,13

Изменения состава молока, полученного от больных маститом коров, его электропроводности, кислотности и вязкости будут приводить к изменению частотной зависимости импеданса молока. При высоких частотах приложенного электрического поля, когда поле меняется значительно быстрее, чем ориентация диполей белковых молекул, содержащихся в молоке, величина импеданса будет определяться только ионной составляющей. На частотах выше 1 МГц клетки не препятствуют прохождению тока и не вносят вклад в общий импеданс, а на частотах выше 1 ГГц свойства системы полностью определя-

ются проводящими свойствами раствора [2]. Поэтому при высоких частотах остаточные сопротивления соответствуют сопротивлению объема среды (раствора) между электродами.

В настоящее время для экспресс-диагностики субклинического мастита у коров по изменению электропроводности молока используется кондуктометрический метод. Среди несомненных достоинств кондуктометрического метода можно выделить: высокую чувствительность (нижняя граница определяемых содержаний ионов солей $10^{-4} - 10^{-5}$ моль/л), простоту методик, доступность аппаратуры, возможность титрования мутных, окрашенных, непрозрачных растворов. В то же время недостатком данного метода является значительно меньшая чувствительность по сравнению со стандартным микроскопическим методом измерения числа соматических клеток в молоке. Кроме того, электропроводность молока может естественно варьироваться в зависимости от лактационного периода, породы животных и других факторов, влияющих на состав и кислотность молока.

Комплексная диэлектрическая проницаемость молока на различных частотах определяется поляризацией компонентов молока, а, следовательно, различные профили изменения состава молока будут приводить к разному частотному отклику электрохимической системы.

В простейшем случае учет поляризационных эффектов компонентов молока на основании уравнения Дебая (1) приводит к зависимости мнимой части импеданса ϵ'' от действительной ϵ' (диаграмма Коула-Коула) в виде полуокружности с центром на оси абсцисс на расстоянии $(\epsilon + \epsilon_\infty)/2$ от начала координат и с радиусом $(\epsilon - \epsilon_\infty)/2$. Диаграммы Коул-Коула, получаемые в эксперименте, для сложных гетерогенных систем существенно отклоняются от полуокружности. Для таких систем время релаксации перестает быть дискретной величиной, а описывается некоторым распределением около своего среднего значения. Угол, на который полуокружность Коул-Коул диаграммы молока опускается под ось абсцисс, прямо связан с шириной распределения

времени релаксации и является важным параметром при обработке экспериментальных данных. Дуга может искажаться за счет релаксационных процессов, среднее время релаксации которых существенно (на 2 и более порядка) отличается от характерного для данной полуокружности. Так, характерные времена релаксации для клеток составляют порядка 10^{-5} с, белков и шариков жира – $10^{-7} - 10^{-6}$ с.

Рост числа соматических клеток в молоке обусловлен в первую очередь накоплением лейкоцитов (нейтрофилов, макрофагов), которые в процессе фагоцитоза генерируют активные формы кислорода, что

может приводить к усилению окислительно-восстановительных и электрохимических реакций в приэлектродной области сенсора. Диффузионные процессы и протекающие электрохимические реакции будут приводить к дополнительному искривлению и перекрытию окружностей в экспериментальных спектрах. Моделирование и подбор наиболее точной эквивалентной электрической схемы необходимы для корректного анализа получаемых экспериментальных данных.

В работе [17] показано, что экспериментальные данные хорошо описываются эмпирической 6-ти параметрической формулой

$$\underline{Z}(j\omega) = K \frac{(1 + j\omega / z_1)^{\alpha_1} (1 + j\omega / z_2)^{\alpha_2}}{(j\omega)^\beta},$$

где \underline{Z} – импеданс молока;

$K, z_1, z_2, \alpha_1, \alpha_2, \beta$ – параметры модели.

Величины коэффициентов β и z_2 зависят от кислотности молока, содержания белков, жиров и кальция; коэффициент α_2 определяется только содержанием сахара.

Изменения в кислотности, вязкости, содержании жира, количестве ферментов (каталаза, липаза) в молоке, полученном от больных маститом коров, будут приводить к изменению зависимости импеданса молока от частоты.

При моделировании диэлектрических свойств молока предпочтительнее основываться на модели Духина-Шилова (3), рассматривая в качестве непроводящих включений шарики жира, которые погружены в проводящую среду. В первом приближении можно пренебречь фракцией глобулярных белков и соматических клеток, и рассматривать в качестве полярной среды солевой раствор водной фазы молока. Так как для молока на стадии субклинического мастита характерны изменения не только в ионной, но и в белковой и клеточной фракциях, то выбранная модель не может быть ограничена одним релаксационным процессом. Простой учет релаксации белков и соматических клеток можно выполнить на основании формул (2), добавив соответствующие слагаемые к результирующей диэлектрической проницаемости, найденной по формуле (3). Для более точного описания необходимо использовать, так называемые, дробно-степенные модели (fractional models), такие, как распределение Девидсона-Коула и формула Гаврильяка-Негами [19].

Основными элементами эквивалентных схем за-

мещения компонентов молока в импедансных моделях выступают резисторы и электрические емкости. Импеданс резистора имеет только вещественную составляющую, которая частотно независима и характеризует величину тепловых потерь в исследуемом образце. Емкость – реактивный элемент. В схеме она означает отрицательное значение мнимой составляющей импеданса и с увеличением частоты она пропорционально частоте уменьшается.

Моделирование импеданса молока методом эквивалентных электрических схем сводится к своеобразной электрохимической ячейке, подобной плоскому конденсатору. Комплексная емкость конденсатора \underline{C} :

$$\underline{C} = \frac{\epsilon_0 S}{\int_0^d \frac{dx}{\epsilon_r^*(x)}},$$

где S – площадь электродов ячейки, м²;

d – межэлектродное расстояние, м.

Комплексная входная проводимость измерительной ячейки:

$$\underline{Y}_{вх} = j\omega \underline{C} = \frac{\gamma S}{d} + j\omega \frac{\epsilon_a S}{d} = g + jb,$$

где g, b – активная и реактивная составляющие проводимости, См.

Известно, что на границе раздела электрод – исследуемая среда образуется двойной электрический слой, обладающий значительной емкостью. Для модели Дебая эквивалентная схема представляет собой параллельное соединение емкостного и резистивного элементов. Простая эквивалентная электрическая схема электрохимической ячейки с молоком [15] параллельно с емкостью двойного электрического слоя C , формирующегося на границе с электродом, включает резистор R (характеризует активную составляющую проводимости молока) и емкость C_1 , обусловленную поляризацией белковых молекул и жировой фракции (рис. 1а). Импеданс такой цепи выражается формулой:

$$\underline{Z} = Z' - jZ'' = \frac{C_1^2 R}{C^2 C_1^2 R^2 \omega^2 + (C + C_1)^2} - j \frac{(C C_1^2 R^2 \omega^2 + C + C_1)}{C^2 C_1^2 R^2 \omega^3 + \omega(C + C_1)^2}. \quad (4)$$

Диаграмма Коул-Коула для этой цепи имеет вид слабо искаженной полуокружности (рис. 2а).

Чтобы смоделировать диффузионные процессы,

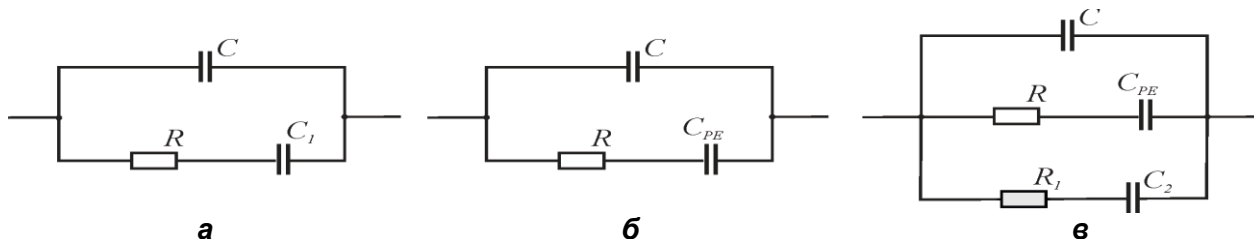


Рисунок 1. Варианты эквивалентных электрических схем электрохимической ячейки с молоком:

а – простая эквивалентная схема молока; б – схема с учетом диффузии (с элементом постоянной фазы); в – схема с учетом диффузии и протекающей электрохимической реакции

требуется последовательно с резистивным элементом включить элемент постоянной фазы (C_{PE}) [15] или элемент Варбурга, как показано на рис. 1б. Импеданс элемента с постоянной фазой определяется выраже-

$$\underline{Z}_{C_{PE}} = \frac{1}{A(j\omega)^n},$$

где A – константа, показатель степени n определяет фазовый сдвиг и лежит в диапазоне от 0 до 1.

Тогда импеданс ячейки может быть представлен в следующем виде:

$$\underline{Z} = \frac{1 + RA(j\omega)^n}{j\omega C + A(j\omega)^n(1 + j\omega CR)}. \quad (5)$$

Наличие элемента постоянной фазы описывает диффузию жировых шариков и соматических клеток в приэлектродной области сенсора. Для описания протекающих на поверхности электрохимических реакций могут быть использованы – модель Максвелла или лестничные модели [28], выражаемые в виде цепной дроби, число звеньев в которой варьируется в зависимости от протекающих электрохимических реакций. Для нашего рассмотрения ограничимся дополнительной RC -цепочкой, как показано на рисунке 1в. Импеданс такой электрической цепи определяется формулой:

$$\underline{Z} = \left[(1 + jC_2R_1\omega)(1 + AR(j\omega)^n) \right] \times \left[A(j\omega)^n(CR\omega(C_2R_1\omega - j) - jC_1\omega(R + R_1) + \omega(CC_2R_1\omega - j(C + C_2))) \right]^{-1}. \quad (6)$$

Соответствующая диаграмма Коул-Коула представлена на рисунке 2в.

На основании полученных формул (4)-(6) была

проведена оценка величины изменения импеданса при 10 %-м повышении удельной проводимости молока. Результаты моделирования представлены на рисунке 2. Как видно из сравнения сплошных и пунктирных кривых, наибольшие изменения импеданса регистрируются в низкочастотной области, в то же время наличие сложных многорелаксационных процессов поляризации, диффузии и электрохимических реакций может приводить к нивелированию эффектов проводимости в некоторых частотных областях.

Из результатов моделирования можно сделать вывод о том, что для развития высокочувствительных электрохимических методов диагностики мастита на субклинических стадиях необходимо проводить измерения в достаточно широком диапазоне частот, так как многофакторность системы может проявляться в слабом отклике или его отсутствии при некоторых частотах.

Заключение

Анализ подходов к теоретическому моделированию диэлектрических свойств гетерогенных жидких сред показал, что наиболее подходящей моделью поляризации молока является модель Духина-Шилова, учитывающая диффузное распределение заряда двойного электрически заряженного слоя Гельмгольца. Учет релаксации белков и соматических клеток предложено выполнять как вклады в комплексную диэлектрическую проницаемость независимых релаксационных процессов.

На основании метода эквивалентных электрических схем проведено математическое моделирование процессов изменения электрофизических характеристик несортного молока в широком частотном диапазоне. Показано, что наличие диффузии и электрохимических реакций, обусловленных наличием в молоке соматических клеток и белковой фракции, могут

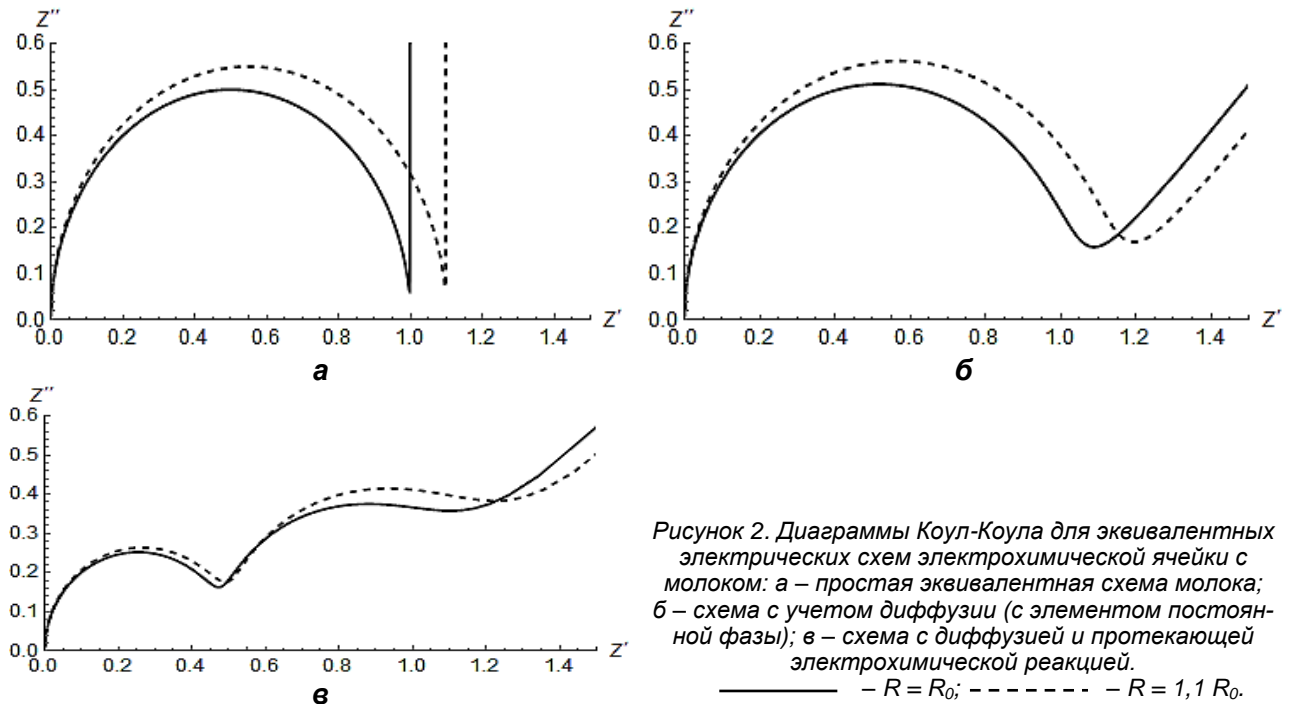


Рисунок 2. Диаграммы Коул-Коула для эквивалентных электрических схем электрохимической ячейки с молоком: а – простая эквивалентная схема молока; б – схема с учетом диффузии (с элементом постоянной фазы); в – схема с диффузией и протекающей электрохимической реакцией.
————— – $R = R_0$; - - - - - – $R = 1,1 R_0$.

приводить к отсутствию отклика системы на некоторых частотах. Полученные результаты позволяют учесть возможные ошибки при разработке электрохимических датчиков мониторинга качества молока.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Impedance Spectroscopy and Biosensing / O. Pänke [et al.] // *Advanced Biochemistry Engineering*. – 2008. – Vol. 109. – P. 195-237.

2. Bioimpedance Spectroscopy / B. Klösgen [et al.] // *BetaSys: Systems Biology of Regulated Exocytosis in Pancreatic β -Cells* / B. Boob-Bavnbeek [et al.]; red. S. Choiudg. – New York: Springer Publishing Company. – 2011. – Vol. 2. – P. 241-271.

3. Electrical impedance spectroscopy for quality assessment of meat and fish: a review on basic principles, measurement methods, and recent advances / X. Zhao [et al.] // *Hindawi Journal of Food Quality* – 2017. – Vol. 2017. – Article ID 6370739.

4. Paniel, N. Development of an electrochemical biosensor for the detection of aflatoxin M1 in milk / N. Paniel, A. Radoi, J.-L. Marty // *Sensors*. – 2010. – Vol. 10. – P. 9439-9448.

5. Таран, Е.Н. Контроль жирности молока в системе автоматизированного мониторинга молочной фермы: дис. ... канд. техн. наук: 05.20.02 / Е.Н. Таран. – Зерноград, 2011. – 167 с.

6. Perspective electrochemical sensors for soil quality assessment / Md. A. Ali [et al.] // *Journal of the Electrochemical Society*. – 2020. – Vol. 167. – Article 037550.

7. Jocsak, I. Electrical impedance measurement on plants: a review with some insights to other fields / I. Jocsak, G. Vegvari, E. Vozary // *Theor. Exp. Plant Physiol.* – 2019. – Vol. 31. – P. 359-375.

8. Ковалев, А.В. Диэлектрическая фурье-спектроскопия в оценке состояния деревьев в очагах массового размножения короедов / А.В. Ковалев, R. Jakuš, Е.Н. Пальникова, В.Г. Суховольский // *Хвойные бореальной зоны*. – 2016. – Т. XXXIV. – № 1-2. – С. 44-51.

9. Biosensors for on-farm diagnosis of mastitis. / S.A.M. Martins [et al.] // *Front. Bioeng. Biotechnol.* – 2019. – Vol. 7. – Article 186.

10. Emerging Electrochemical Sensors for Real-Time Detection of Tetracyclines in Milk / M.R. Raykova [et al.] // *Biosensors* – 2021. – Vol. 11. – P. 232.

11. 9 Barry, S. Electrochemical nanosensors: advances and applications / S. Barry, A. O’Riordan // *Reports in Electrochemistry*. – 2016. – Vol. 6. – P. 1-14.

12. Zhu, Z. Recent developments on rapid detection of main constituents in milk: a review / Z. Zhu, W. Guo // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. – 2020. – DOI: 10.1080/10408398.2020.1731417.

13. 11 Mastitis detection: current trends and future perspectives / C. Viguier [et al.] // *Trends Biotechnol.* – 2009. – Vol. 27. – P. 486-493.

14. 12 Rapid diagnostic device for mastitis based on electrochemical detection of superoxide produced from neutrophils in fresh milk / K. Okada [et al.] // *IEEE SENSORS 2009 Conference*. – 2009. – P. 1772-1775.

15. Abdelkafi, A. Impedance investigation of milk dilution / A. Abdelkafi, P. Büschel, A. Fendri, O. Kanoun // *Proc. AMA Sensor and Test*. – May 2015. – P. 156-159.

16. Das, C. On-chip detection and quantification of soap as an adulterant in milk employing electrical impedance spectroscopy / C. Das, S. Chakraborty, A. Karmakar and S. Chattopadhyay // *Int.Symposium on Devices, Circuits and Systems (ISDCS)*, 2018. – P. 1-4. Doi: 10.1109/ISDCS.2018.8379634.

17. Lopes, A.M. Milk characterization using electrical impedance spectroscopy and fractional models / A.M. Lopes, J. A. T. Machado, E. Ramalho, V. Silva // *Food Anal. Methods*. – 2018. – Vol. 11. – P. 901-912.

18. Oshima, M. Empirical formula for correcting electrical conductivity values of milk in relation to temperature / M. Oshima // *Jpn. J. Zootech. Sci.* – 1978. – Vol. 49. – № 3. – P. 180-188.

19. Гусев, Ю.А. Основы диэлектрической спектроскопии: учеб. пособие / Ю.А. Гусев. – Казань: КГУ, 2008. – 112 с.

20. Методы измерения в электрохимии / Под ред. Э. Егера и А. Залкинда. – М.: Мир, 1977. – Т. 2. – 577 с.

21. Электрохимический импеданс / З.Б. Стойнов [и др.]. – М.: Наука, 1991. – 328 с.

22. Macdonald, J.R. Impedance Spectroscopy. Theory, Experiment and Applications / J.R. Macdonald ; ed. E. Barsoukov. – 2nd ed. – New Jersey: A John Wiley & Sons, Inc., 2005. – 595 p.

23. The Impedance Measurement Handbook: A Guide to Measurement Technology and Techniques. – Agilent Technologies Co. Ltd., 2006. – 126 p.

24. Духин, С.С. Диэлектрические явления и двойной слой в дисперсных системах и полиэлектролитах / С.С. Духин, В.Н. Шилов – Киев: Наукова думка, 1972. – 206 с.

25. Богатова, О.В. Химия и физика молока: учеб. пособие / О.В. Богатова, Н.Г. Догарева. – Оренбург: ОГУ, 2004. – 137 с.

26. Бактериальный мастит у коров /А.И. Краевский [и др.]. – Сумы: Сумский Национальный аграрный ун-т, 2014. – 215 с.

27. Alhussien, M.N. Milk somatic cells, factors influencing their release, future prospects, and practical utility in dairy animals: An overview. *Veterinary World*, EISSN: 2231-0916 / M.N. Alhussien, A.K. Dang. – May 2011. – Vol. 11. – P. 562-577.

28. Импедансная спектроскопия: теория и применение: учеб. пособие / Ю.В. Емельянова [и др.]; под общ. ред. Е.С. Буяновой / Министерство образования и науки Рос. Федерации; Уральский федер. ун-т. – Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2017. – 156 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.07.2023

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ФЕРРОГРАФИЯ МОТОРНОГО МАСЛА – ОДИН ИЗ ОСНОВНЫХ МЕТОДОВ КОНТРОЛЯ ИЗНОСА ТРИБОСОПРЯЖЕНИЙ ДВС

В.К. Корнеева,

доцент каф. технологии металлов БГАТУ, канд. техн. наук, доцент

В.М. Капцевич,

зав. каф. технологии металлов БГАТУ, докт. техн. наук, профессор

И.В. Закревский,

ст. преподаватель каф. технологии металлов БГАТУ

В.В. Остриков,

студент БГАТУ

И.В. Литвинов,

студент БГАТУ

Разработан и изготовлен аналитический феррограф для анализа продуктов износа в моторном масле работающего двигателя внутреннего сгорания (ДВС) автотракторной техники. Показаны возможности практического применения феррографа в агропромышленном комплексе (АПК).

Ключевые слова: аналитический феррограф, моторное масло, продукты износа, микроскопические исследования.

The analytical ferrograph for analyzing the wear products in the engine oil of the running internal combustion engine (ICE) of automotive tractor equipment was developed and manufactured. The opportunities of practical application of the ferrograph in agribusiness are shown.

Key words: analytical ferrograph, engine oil, wear products, microscopic studies.

Введение

Одним из важнейших конструктивных элементов работающего ДВС является моторное масло, от качества которого во многом зависит надежность работы всех трущихся сопряжений. Кроме того, моторное масло является источником информации, как о своем состоянии, так и механизмов и узлов ДВС. Моторное масло в процессе работы ДВС выносит из трущихся сопряжений продукты износа, анализируя которые можно получать информацию о состоянии трибосопряжений.

К методам диагностики ДВС, основанным на анализе продуктов износа моторного масла, можно отнести следующие спектральные методы анализа:

- эмиссионная спектрофотометрия [1];
- атомно-абсорбционная спектроскопия [2, 3];
- атомно-флуоресцентная спектрофотометрия [4-6];
- абсорбционная спектрофотометрия [7];
- оптическая микроскопия [8] и другие.

Перечисленные методы предусматривают использование узкоспециализированного дорогостоящего оборудования, проведение сложных лабораторных исследований, требуют привлечения высококвалифицированных специалистов, что приводит к не-

возможности их использования в условиях предприятий агропромышленного комплекса.

Одним из перспективных методов анализа загрязненности моторного масла работающего ДВС является метод аналитической феррографии, разработанный в конце 60-х годов прошлого столетия [9, 10], который реализуется с использованием специального прибора – феррографа (рис. 1).

Принцип действия феррографа основан на осаждении продуктов износа, содержащихся в моторном масле, под действием высокоградиентного магнитного поля на предметном стекле. Благодаря уклону предметного стекла, частицы располагаются в соответствии со своими размерами – по убыванию, сверху вниз. Феррограмма – это стекло с осажденными и закрепленными на нем частицами (рис. 2).

Исследование феррограмм при помощи оптической и электронной микроскопии позволяет получать информацию о конкретных продуктах износа. По размерам и количеству частиц можно определить интенсивность изнашивания рабочих поверхностей деталей, по форме частиц – характер износа, по химическому составу частиц – конкретные изнашиваемые детали.

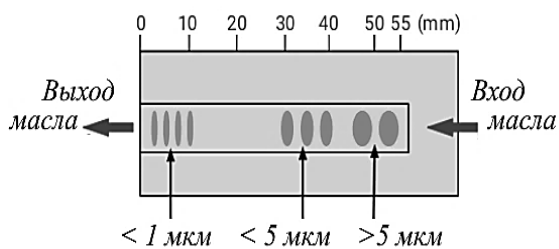
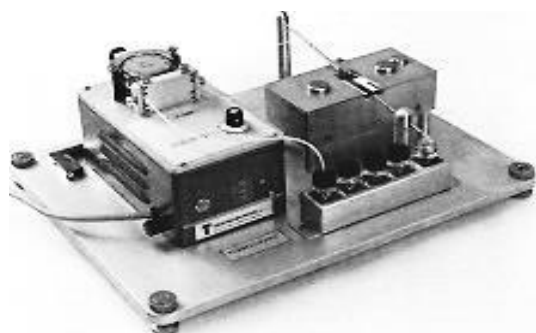


Рисунок 2. Феррограмма, полученная на феррографе линейного типа

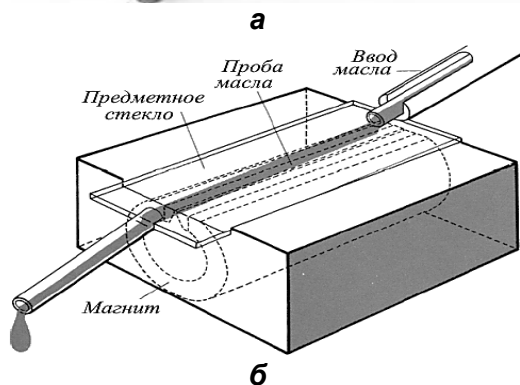


Рисунок 1. Феррограф: а – общий вид; б – принципиальная схема

Стандартом ASTM D7690 [11] установлены шесть характерных форм частиц износа (рис. 3):
– гладкие пластины (рис. 3а) толщиной до 1 мкм

и размером 5–15 мкм, образующиеся в результате нормального изнашивания при скольжении в результате отслаивания;

– стружки (спираль) (рис. 3б) шириной 2–5 мкм и длиной 25–100 мкм, возникающие при абразивном изнашивании (микрорезании) деталей в результате режущего или царапающего действия на них абразивных частиц, находящихся в трибосопряжениях в свободном или закрепленном состоянии. Частицы абразивного износа являются наиболее опасными: повышенное количество крупных частиц (длиной более 50 мкм) приводит к отказу детали механизма;

– сферические частицы (рис. 3в) диаметром 1–10 мкм, образующиеся в трещинах подшипников или зацеплениях в результате усталостного изнашивания. По мере развития микротрещин в дорожках качения и шариках подшипников образуются тысячи сферических частиц. При этом один шарик подшипника может сгенерировать до $6,8 \times 10^6$ сферических

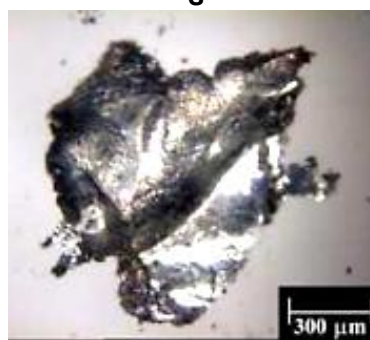
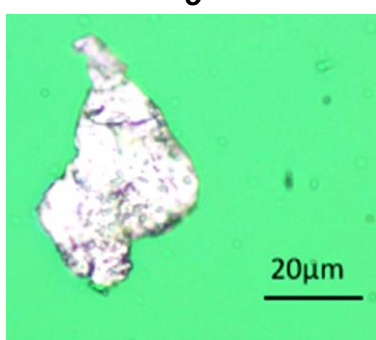
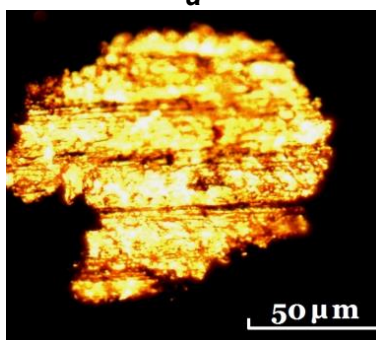
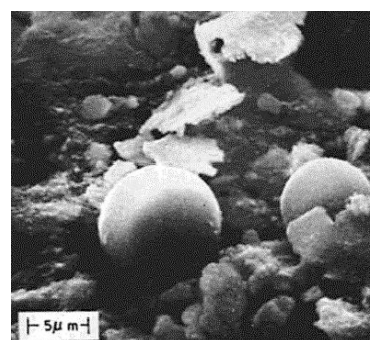
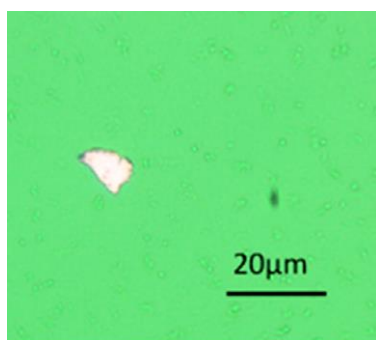


Рисунок 3. Формы частицы износа: а – гладкие пластины [12]; б – стружки (спираль) [13]; в – сферические частицы [14]; г – пластины с параллельными бороздками [15]; д – хлопьевидные плоские частицы [12]; е – крупные частицы [16]

частиц перед тем, как он разрушится [10];

– *пластины с параллельными бороздками* на их поверхности (рис. 3г) толщиной до 3 мкм, размером до 200 мкм, являющиеся результатом сильного изнашивания при заедании (задире) в условиях скольжения. Наличие таких частиц подтверждает сильный износ деталей, приводящий к отказу механизма в целом;

– *хлопьевидные плоские частицы* (рис. 3д), представляющие собой очень тонкие металлические частицы с отверстиями размером 20–50 мкм. Эти частицы появляются в результате усталостного выкрашивания подшипников качения. Увеличение количества хлопьевидных частиц, наряду со сферическими, свидетельствует о наличии и развитии усталостных микротрещин подшипников качения;

– *крупные частицы* износа (рис. 3е), образующиеся в зубчатых передачах в результате усталостного износа. Такие частицы обычно имеют гладкую поверхность и неправильную геометрическую форму с соотношением длины (ширины) к толщине от 4:1 до 10:1.

Зная из какого материала выполнены детали трибосопряжений двигателя, можно судить об их износе по анализу проб моторного масла. В таблице представлены металлы, из которых изготовлены детали двигателя, и их предельное допустимое количество в моторном масле [17].

Таким образом, при проведении анализа размеров, формы, количества и природы продуктов износа, содержащихся в масле картера двигателя, метод феррографии в конечном итоге позволяет получать своевременную информацию о техническом состоянии деталей двигателя и, при необходимости, провести своевременный ремонт и замену отдельных деталей, предотвращая, тем самым, выход двигателя из строя.

В настоящее время в технически развитых странах для феррографических исследований

широко используется различное оборудование. Например, феррограф *YJF-3 Oil* (Китай) [18], двойной аналитический феррограф масла *YTF-8* (Китай) [19], феррограф *Kittiwake ANALEX rpd FG-K19026-KW* (Великобритания) [20], аналитическая феррографическая лаборатория *SpectroT2FM Q500* (Великобритания) [21] и другое. Стоимость такого оборудования, по данным источника [22], составляет порядка 50 000 долл. США.

В настоящее время сведения о применении феррографии для диагностирования технического состояния ДВС, в том числе автотракторной техники, на территории бывшего Советского Союза отсутствуют.

Цель данной работы – разработать малогабаритный, недорогостоящий аналитический феррограф с возможностью его использования непосредственно в условиях АПК для получения феррограмм и последующего их анализа в лабораторных условиях.

Основная часть

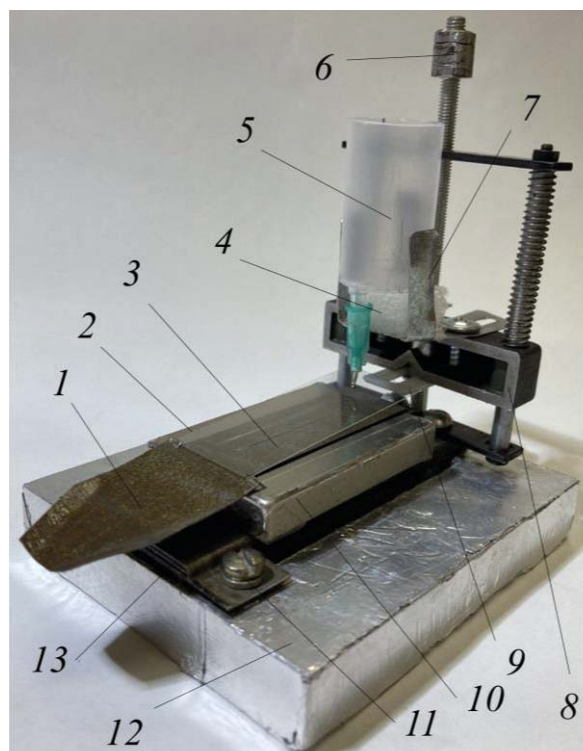
В работе [23] авторами проведены теоретические исследования движения ферромагнитных частиц в высокоградиентном магнитном поле постоянных магнитов для различных размеров и природы продуктов износа и значений градиента напряженности магнитного поля.

Проведенные теоретические расчеты позволили разработать и создать эффективное магнитное устройство – малогабаритный аналитический феррограф (рис. 4) с магнитной системой с открытой доменной структурой Киттеля для контроля за продуктами износа ДВС.

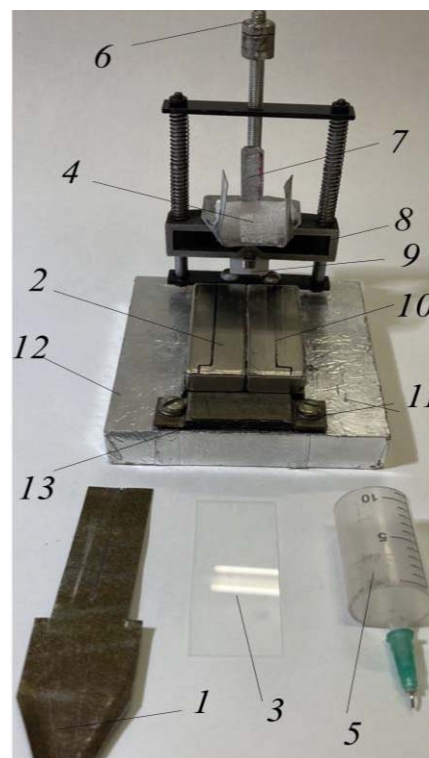
Основными узлами аналитического феррографа являются: рабочее основание 12, выполненное из алюминиевого сплава, на котором размещено «ядро»

Таблица. Металлические продукты износа в моторном масле

Металл	Источник продуктов износа	Предельное допустимое значение, ppm (мг/кг)
Железо	Блок цилиндров, головка блока цилиндров, клапаны, толкатели и направляющие клапанов, коленчатый, распределительный и коромысловый валы, поршневой палец, масляный насос	80-180
Хром	Поршневые кольца, подшипник качения, опора коленчатого вала, выпускные клапаны, уплотнительные элементы, направляющие втулки, режущие подшипники скольжения	4-26
Алюминий	Поршни, режущий блок цилиндров, корпус масляного насоса, масляный радиатор, направляющие втулки, алюминиевые опоры подшипников скольжения	12-55
Медь	Основной компонент латуни и бронзы, масляный насос, масляный радиатор, шатунные подшипники, подшипники поршневого пальца и коромыслового вала, маслостойкие диски	25-60
Свинец	В большинстве случаев вместе с оловом и медью, шатунные подшипники, слои заливки во вкладышах подшипников, присадки, добавленные к маслу	10-30
Олово	В большинстве случаев вместе со свинцом, слои заливки во вкладышах шатунных подшипников, подшипники коромысловых валов и поршневых пальцев, оловосвинцовый припой, места спайки на радиаторе	12-24
Никель	Выпускные клапаны, направляющие клапанов, легирующий компонент высокопрочных зубчатых колес, таких как в случае клапанного распределения или системы распределения в топливном насосе	1-3



а



б

Рисунок 4. Аналитический феррограф: а – в собранном (рабочем) виде; б – рабочие составляющие

13 из двенадцати пластин, изготовленных из магнитомягкого материала (электротехническая сталь), толщиной 0,8 мм каждая. «Ярмо» 13 и подъемный механизм 8 прикреплены к рабочему основанию 12 с помощью четырех болтов 11. Подъемный механизм 8 содержит рамку 9 из полиэтилена для регулировки угла наклона покровного стекла 3 и держатель 7 из тонколистовой оцинкованной стали. В держатель 7 размещается пенополиуретан 4, на который устанавливается дозирующий шприц 5. На «ярмо» 13 устанавливаются два неодимовых магнита 2, 10 марки N 38 с размерами 60×20×10 мм, плотно примыкающих друг к другу, с противоположным направлением направленности магнитного поля. На магнитах 2, 10 размещается пластина 1 из магнитомягкого материала (электротехническая сталь) толщиной 0,8 мм с прорезью шириной 0,6 мм таким образом, чтобы зазор (прорезь) находился непосредственно над верхними кромками сопрягаемых граней магнитов 2, 10. Покровное стекло 3 устанавливается выходной частью на пластину 1, а входной частью – на рамку 9, с возможностью перемещения вверх – вниз при помощи регулировочного винта 6 подъемного механизма 8. Габаритные размеры феррографа – 90×120×120 мм.

Аналитический феррограф работает следующим образом. В пробу испытуемого масла добавляют растворитель (трихлорэтилен) в соотношении 1:1 (1 мл масла, 1 мл растворителя) и тщательно перемешивают. При помощи рамки 9 подъемного механизма 8 устанавливается угол наклона покровного стекла 3, равный 5°. Положение дозирующего шприца 5 в дер-

жателе 7 регулируют таким образом, чтобы расстояние от конца иглы до покровного стекла составляло 2-3 мм. Подготовленный раствор масла и растворителя заливают в дозирующий шприц 5. Выбранное соотношение объемов масла и растворителя, а также установленный угол наклона покровного стекла 3 обеспечивают скорость движения масла по покровному стеклу, равную 0,5 мл/мин. При движении масла частицы загрязнений задерживаются на покровном стекле 3 под действием высокоградиентного магнитного поля, создаваемого предложенной магнитной системой. После пропускания по покровному стеклу 3 всего объема исследуемого раствора, в дозирующий шприц 5 заливают 2-3 мл растворителя (трихлорэтилена), при движении которого по покровному стеклу удаляются остатки масла. Для фиксации осажденных частиц в дозирующий шприц 5 заливают 1 мл перхлорэтилена (тетрахлорэтилен) и пропускают по покровному стеклу 3. Феррограмму (покровное стекло с нанесенными и зафиксированными частицами загрязнений) снимают с феррографа, сушат на воздухе и передают на микроскопическое исследование.

Процесс получения феррограммы моторного масла марки Shell 10W40 с наработкой 250 ч представлен на рисунке 5, а на рисунке 6 – фрагмент полученной феррограммы.

Внешний вид феррограммы моторного масла Лукойл Люкс 10W40 с наработкой 250 ч представлен на рисунке 7.

На рисунке 8 представлены феррограммы масел

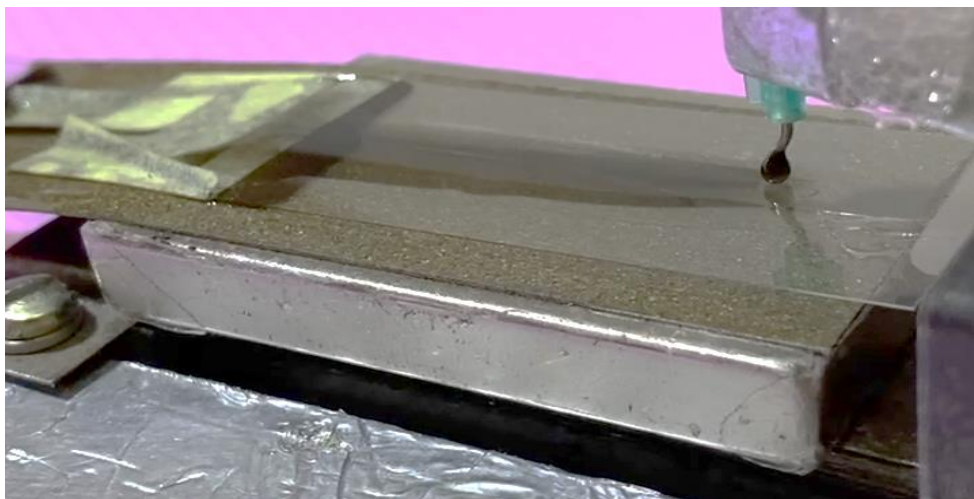


Рисунок 5. Процесс получения феррограммы



Рисунок 6. Фрагмент полученной феррограммы моторного масла Shell 10W40 с наработкой 250 ч

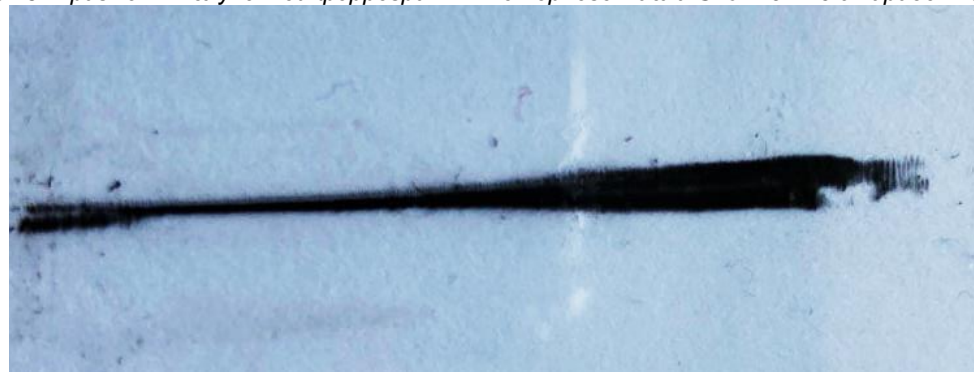


Рисунок 7. Внешний вид феррограммы моторного масла Лукойл Люкс 10W40

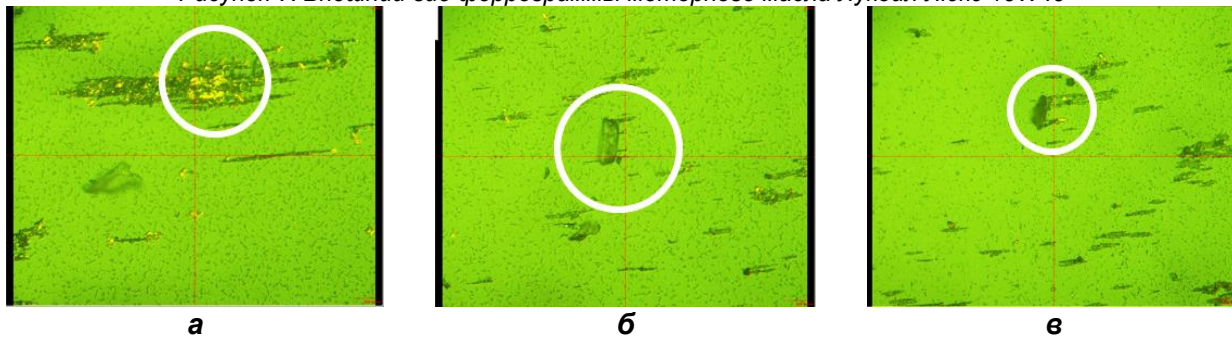


Рисунок 8. Феррограммы масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 100 ч, полученные на инвертированном микроскопе МИ-2Т: а – начало феррограммы; б – середина феррограммы; в – конец феррограммы

Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 100 ч и увеличением 200×, исследованные на инвертированном микроскопе МИ-2Т.

На рисунке 9 представлен фрагмент феррограммы (увеличение 100×) масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 30 ч.

Анализ полученных результатов (рис. 8, 9) пока-

зывает, что даже в моторном масле с небольшой наработкой содержатся частицы износа двигателя с критическими размерами (более 50 мкм), что соответствует переходному режиму смазки со следами схватывания и может свидетельствовать о протекающем процессе изнашивания трибосопряжений ДВС.

Исследование морфологии и химического состава частиц моторного масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 150 ч (рис. 10) проводили на аттестованном сканирующем электронном микроскопе «Mira» фирмы «Tescan» (Чехия) с различным увеличением, а элементный состав фрагмента феррограммы (рис. 11) определяли при помощи микрорентгеноспектрального анализатора фирмы «Oxford Instruments Analytical» (Великобритания).

Проведенные исследования (рис. 10, 11) позволили предположить, что крупные частицы меди являются продуктами усталостного износа трибосопряжений масляного насоса, а частицы коррозионно-стойкой стали – продуктами износа трибосопряжений газораспределительного механизма ДВС.

Заключение

Разработанный феррограф, имеющий невысокую стоимость, небольшую массу и малые габаритные размеры, а также возможность легко разбираться/собираться и транспортироваться, не требующий под-

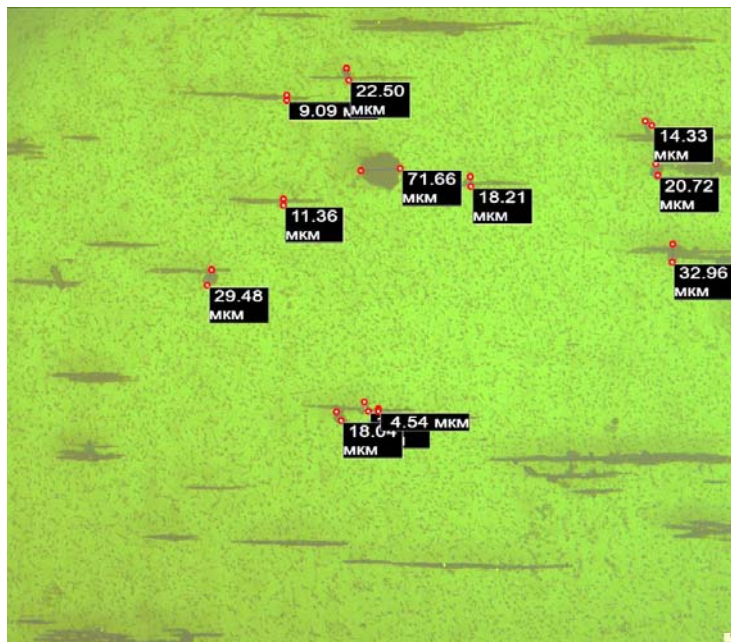
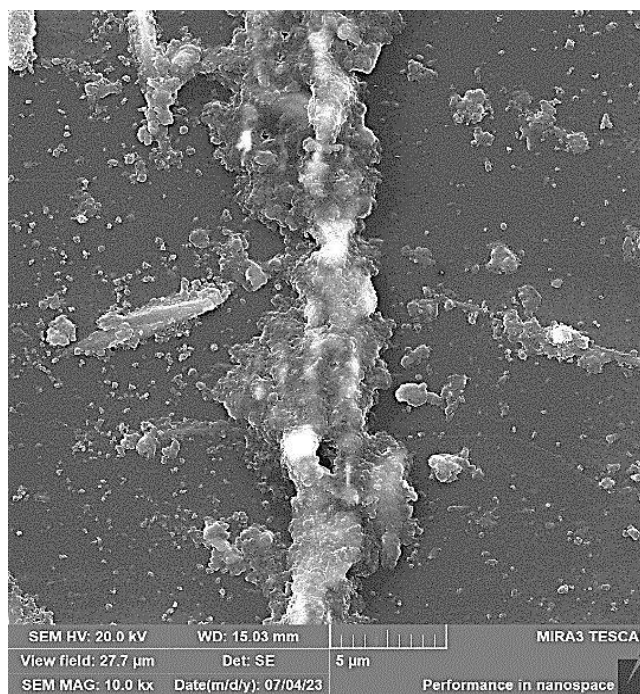


Рисунок 9. Фрагмент феррограммы масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 30 ч



а



б

Рисунок 10. Фрагмент феррограммы моторного масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 150 ч с увеличением: а – 1000×; б – 10000×

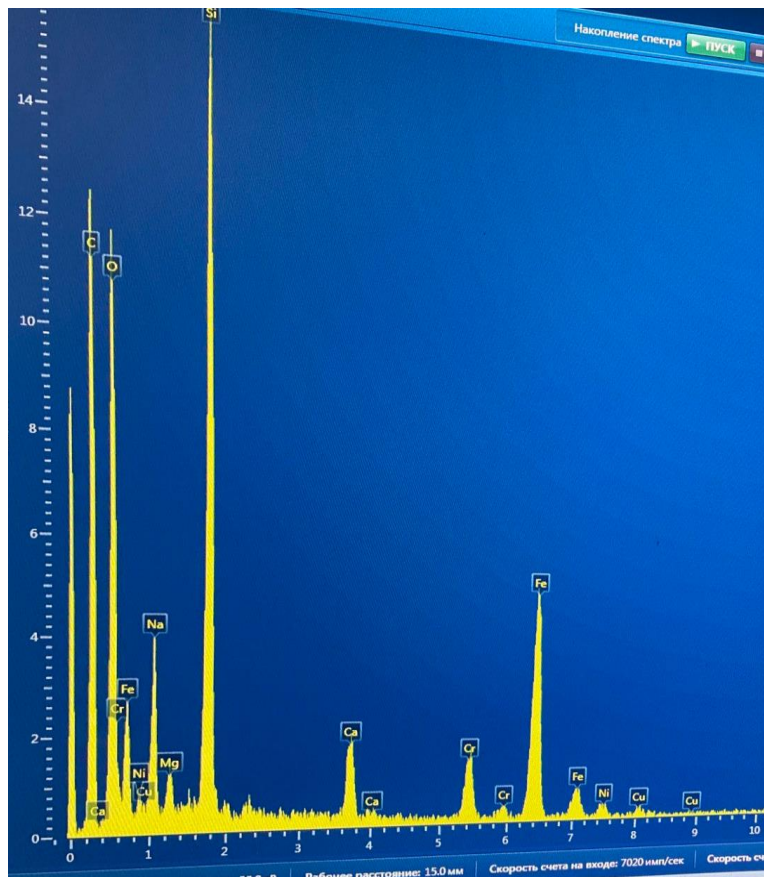


Рисунок 11. Элементный состав фрагмента феррограммы моторного масла Лукойл Авангард 10W40 с наработкой 150 ч

ключения к электросети, может быть использован в полевых условиях АПК для получения феррограмм. Преимущество данного устройства заключается в том, что, даже не проводя микроскопических исследований, можно визуально или с помощью небольших увеличений (лупа, полевой микроскоп) качественно оценить степень загрязненности моторного масла продуктами износа трибосопряжений ДВС. Однако для детального анализа феррограмм (размеры, форма, природа и количество частиц износа) необходимо применение высокоточного оборудования (микроскопы с большим увеличением) и, во многих случаях, привлечение высококвалифицированных специалистов, что возможно осуществлять только в лабораторных условиях.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Hansen, T. Determination of iron in used lubricating oils by spectrochemical analysis / T. Hansen, P. Skiba, C.R. Hodkins // *Analytical Chemistry*. – 1951. – № 23 (10). – P. 1362-1365.
2. Lukas, M. Current technology in oil analysis spectrometers and what we may expect in the future / M. Lukas, R.J. Yurko // *Integrated monitoring, diagnostics and*

failure prevention: In *Proceedings of a Joint Conference*. – Mobile, Alabama, 1996. – P. 161-171.

3. Levinsohn, H. Limitations of atomic absorption spectrophotometry applied to spectrometric oil analysis / H. Levinsohn // *ASLE Transactions*. – 1984. – № 27 (1). – P. 24-32.

4. Cumming, G. The determination of iron in lubricating oil by X-ray fluorescence spectrometry / G. Cumming, I.G. McDonald // *Wear*. – 1985. – № 103 (1). – P. 57-66.

5. Berg, J.L. Lubricant testing as an oil to bearing damage analysis / J.L. Berg, J.E. Lieser // *Lubrication Engineers*. – 1973. – № 29 (12). – P. 539-543.

6. Yang, Z. Determination of wear metals in engine oil by mild acid digestion and energy dispersive X-ray fluorescence spectrometry using solid phase extraction disks / Z. Yang, X. Hou, B.T. Jones // *Talanta*. – 2003. – № 59 (4). – P. 673-680.

7. Severin, D. Zur Mesung von motoren olverschmutzung / D. Severin [et al.] // *Schmierungstechnik + Tribologie*. – 1981. – № 28 (3). – P. 87-88.

8. Reda, A.A. Characteristics of particles generated at the interface between sliding steel surfaces / A.A. Reda, R. Bowen, V.C. Westcott // *Wear*. – 1975. – № 34 (3). – P. 261-273.

9. Seifert, W.W. A method for the study of wear particles in lubricating oil / W.W. Seifert, V.C. Westcott // *Wear*. – 1972. – Vol. 21. – P. 27-42.

10. Westcott, V. *Ferrographic Oil and Grease Analysis as Applied to Earthmoving Machinery* / V. Westcott // *SAE Technical Paper 750555*. – 1975.

11. *Standard Practice for Microscopic Characterization of Particles from In-Service Lubricants by Analytical Ferrography: ASTM D7690 –11*. – ASTM International, West Conshohocken, PA 19428-2959, 2011. – 12 p.

12. Wang, S. Integrated model of BP neural network and CNN algorithm for automatic wear debris classification / S. Wang [et al.] // *Wear*. – 2019. – № 426-427. – P. 1761-1770.

13. Hong, W. Mechanical wear debris feature, detection and diagnosis: A review / W. Hong [et al.] // *Chinese Journal of Aeronautics*. – 2018. – № 31 (5). – P. 867-882.

14. Scott, D. Ferrography – an advanced design aid for the 80's / D. Scott, W. W. Seifert, V.C. Westcott // *Wear*. – 1975. – № 34 (3). – P. 251-260.

15. Upadhyay, R.K. Microscopic technique to determine various wear modes of used engine oil / R.K. Upadhyay // *Journal of Microscopy and Ultrastructure*. – 2013. – № 1 (3). – P. 111-114.

16. Raadnui, S. Wear particle analysis – utilization of quantitative computer image analysis: A review /

S. Raadnui // Tribology International. – 2005. – № 38 (10). – P. 871-878.

17. Металлы в отработанном моторном масле. Сколько считать нормой? // Гараж 504/507 [Электронный ресурс]. – 2023. – Режим доступа: <https://504507.ru/garage/oiltest/13-mctally-v-otrabotannom-motomom-masle-skolko-schitat-normoj.html>. – Дата доступа: 14.07.2023.

18. YJF-3 Thistle Tube Oil Analytical Ferrography / yateks® [Electronic resource]. – 2023. – Mode of access: <https://yateks.com/product/oil-analytical-ferrography/>. – Date of access: 12.07.2023.

19. YTF-8 Dual Slide Analytical Ferrography / yateks® [Electronic resource]. – 2023. – Mode of access: <https://yateks.com/product/dual-slide-analytical-ferrography/>. – Date of access: 12.07.2023.

20. ANALEX_RPD – Rotary Particle Depositor | #FG-K19026-KW / Parker [Electronic resource]. – 2021. – Mode of access: <https://ph.parker.com/us/en/analex-rpd-rotary-particle-depositor/fg-k19026-kw>. – Date of access: 15.08.2021.

21. SpectroT2FM Q500 Analytical Ferrography Laboratory / SciMED™ [Electronic resource]. – 2023. – Mode of access: <https://www.scimed.co.uk/product/spectrot2fm-q500-analytical-ferrography-laboratory/>. – Date of access: 12.07.2023.

22. Белов, В.В. Экспресс-методика диагностирования износа механизмов двигателя / В.В. Белов, А.Р. Ваймер // Грузовик, 2009. – № 12. – С. 18-21.

23. Осаждение ферромагнитных частиц в поле постоянных магнитов / В.К. Корнеева [и др.] // Агропанорама. – 2022. – № 5 (153). – С. 34-39.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 17.07.2023

УДК 339.5

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-158-4-33-38>

СТРАТЕГИЯ РАЗВИТИЯ ON-LINE ТОРГОВЛИ АГРАРНОЙ ПРОДУКЦИЕЙ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

К.В. Борель,

ассистент каф. управления БГСХА, магистр экон. наук

В статье проанализированы системы сбыта аграрной продукции и модели электронной коммерции при продвижении товаров на внутренний и внешний рынок. Разработана стратегия развития on-line торговли аграрной продукцией в Республике Беларусь, базирующаяся на системе целей по методу SMART. Обоснован комплекс приоритетных направлений, предусматривающих создание сайта-агрегатора и мобильного приложения по продаже продукции на макроуровне, а также развитие собственного Интернет-магазина организации и расширение сотрудничества с электронными торговыми площадками на основе CRM-системы.

Ключевые слова: стратегия, on-line торговля, производственно-сбытовая система, электронная торговля, модель, эффективность.

The article analyzes the agrarian products sales systems and e-commerce models of product promotion in the national and foreign markets. The strategy of on-line trade development of agricultural production in the Republic of Belarus, based on the SMART goal system, has been developed. A set of priority directions was substantiated, providing the creation of the site-aggregator and the mobile application for the products sales at macro level, as well as the development of the company's Internet-shop and the cooperation expansion with electronic trade platforms based on CRM-system.

Key words: strategy, on-line trade, value chain, e-commerce, model, efficiency.

Введение

Инновационное развитие мировой и национальной экономики определяет новые направления функционирования производственно-сбытовой системы (ПСС). Согласно теоретическим исследованиям В.Г. Гусакова, Л.Н. Байгот, В.И. Бельского, В.И. Буця, З.М. Ильиной, Н.В. Киреенко, В.А. Ключача, Л.В. Пакуш и на основе изучения зарубежного опыта, в практике аграрной сферы выделяются следующие системы сбыта продукции [1-9]:

1) кооперативные, представленные контракцией

(заключение договора между фермерами и предприятиями-интеграторами на производство и сбыт определенных видов продукции) и кооперацией (реализуются в виде горизонтальной и вертикальной кооперации);

2) оптово-посреднические, включающие оптовую торговлю, товарные биржи, выставки и ярмарки, аукционную торговлю, оптовые продовольственные рынки, распределительные центры, специализированные оптовые компании, мелкооптовые магазины-склады;

3) розничные и корпоративные, включающие розничную и фирменную торговлю, корпоративную торговую сеть, общественное питание.

По мере внедрения информационных и цифровых технологий второй и третий типы стали трансформироваться в систему прямых производственно-сбытовых цепочек (ПСЦ) на основе развития электронной коммерции. Практическое внедрение последней требует соответствующего расширения инфраструктуры для субъектов аграрного бизнеса, в том числе за счет разработки стратегии on-line торговли продукцией в Республике Беларусь, что и определяет цель данной научной статьи.

Материалы и методы

Теоретической и методической основой исследования послужили научные разработки отечественных и зарубежных ученых по проблемам управления каналами сбыта аграрной продукции, в том числе на основе

расширения методов и стратегий on-line торговли. Использовались различные методы – монографический, абстрактно-логический, обобщения и аналогий, экономико-математический, экспертных оценок.

Основная часть

Выполненные исследования показали, что к настоящему времени выделяется ряд моделей электронной коммерции в системе управления каналами сбыта аграрной продукции [9-12]. Подходы базируются на взаимодействии между субъектами ПСЦ в рамках координации усилий сельскохозяйственных и обрабатывающих (пищевых) организаций, а также централизации материального и информационного обеспечения процесса продвижения продукции на внутренний и внешний рынок (рис. 1).



Рисунок 1. Модели электронной коммерции в системе управления каналами сбыта аграрной продукции
Примечание. Рисунок выполнен автором по данным источников [9-12].

Каждая из представленных моделей оказывает определенное влияние на функционирование субъектов ПСЦ через каналы реализации продукции (электронные торговые площадки (маркетплейсы); товарные биржи с применением электронных торгов; электронные магазины; электронные аукционы; Интернет-магазин на сайте; Интернет-каталог и др.) и на основе комплекса преимуществ, которые систематизированы автором следующим образом:

- широкий охват потенциальных потребителей на разных рынках сбыта;
- освоение новых сегментов, в том числе и внешних, с наименьшими затратами;
- четкий таргетинговый фильтр, предложение товара именно целевой аудитории;
- удобный сбор аналитической информации о потребителях;
- расширение аудитории – товар доступен всем потребителям;
- мониторинг покупательского спроса к товару в режиме on-line;
- возможность доставки продукции из любой точки мира через логистические каналы;
- уникальная система финансовых расчетов, основанная на транзакционных возможностях ведения бизнеса в сети Интернет. Это обусловлено тем, что электронная коммерция имеет дело не с реальными товарами, а с информацией о них и связанных с ними транзакциями.

Исследования показали, что, наряду с преимуществами развития электронной коммерции и использования инструментов электронной торговли при продвижении аграрной продукции на рынок, выделяются и недостатки:

- 1) несоответствие юридических норм и правил по исследуемому направлению между разными странами, включая вопросы налогообложения, интеллектуальной собственности или защиты персональных данных;
- 2) трудности при переходе с традиционной торговли на электронную форму в части организации рекламы, логистики, обратной связи с потребителями;
- 3) рост конкуренции, что обусловлено развитием очень быстрыми темпами электронной торговли;
- 4) отсутствие возможности проверить качество товара до покупки;
- 5) не всегда гарантирована безопасность при проведении финансовых транзакций, как для продавцов, так и для потребителей продукции.

Эффективность реализации электронной коммерции зависит от оптимальной ПСС, включающей механизм распределения, обработки отгрузки и доставки товаров. Именно она, по мнению М.Л. Калужского, «делает возможной взаимосвязь между виртуальной средой и реальными мировыми рынками» [13, с. 258]. Поэтому сегодня, как отмечают М. Кристофер, Х. Пэк, «основным полем битвы становятся цепочки поставок. Это определяет резкие различия между торговыми взаимоотношениями, управляемыми ценой и отношениями, создающими дополнительную ценность» [14, с. 182]. Так, наиболее специфическими каналами сбыта

продукции в рамках моделей электронной коммерции на современном этапе являются [15]:

- электронные торговые площадки и маркетплейсы, работающие в виде электронного посредника для заключения сделок по оптовой продаже товаров и проведению финансово-торговых транзакций. В мире существует значительное их количество, но наиболее известными являются: Alibaba.com; EBay.com; Amazon; Indiamart.com; Tradekey.com; EPINDUO;
- товарные биржи с применением электронных торгов, представляющие собой одну из форм электронного оптового рынка товаров, где они продаются по стандартным образцам. Данный рынок действует на регулярной основе;
- электронные магазины – электронные ресурсы, торгующие товарами от имени владельца, отличительной особенностью которых является оказываемый покупателю полный цикл торговых услуг: от приема заказов до отгрузки продукции;
- электронные аукционы, предоставляющие пользователям возможность покупать и продавать товары на условиях аукционных торгов.

Среди наиболее доступных и динамично развивающихся форм электронной коммерции можно выделить:

- Интернет-магазин на сайте – специализированный вид бизнеса, основанный на дистанционном обслуживании и дающий возможность продавцу осуществлять продажи собственных товаров и услуг посредством сети Интернет;
- Интернет-каталог – структурированный набор ссылок на сайты с кратким их описанием, предусматривающий разбивку по темам, ранжирование по индексу цитирования, дате добавления, алфавиту и др.

Для аграрной сферы Республики Беларусь на современном этапе актуальным направлением является трансформация ПСС, которая, по мнению автора, должна основываться на стратегии развития on-line торговли аграрной продукцией (рис. 2). Научная новизна состоит в том, что разработка базируется на системе целей по методу SMART и включает комплекс приоритетных направлений, предусматривающих создание сайта-агрегатора и мобильного приложения по продаже продукции на макроуровне, а также развитие собственного Интернет-магазина организации и расширение сотрудничества с электронными торговыми площадками на основе CRM-системы.

Стратегия на макроуровне будет базироваться на сайте-агрегаторе и бизнес-модели, предусматривающей самостоятельный поиск информации, что позволяет пользователям не тратить время (сайт анализирует данные в Интернете и добавляет информацию) и оперативно получить доступ на размещение заказа. Дополнительное создание мобильного приложения позволит обеспечить максимальный охват целевой аудитории и оперативно выполнить доставки продукции до потребителя. В соответствии с законодательством Республики Беларусь владельцем сайта-агрегатора может выступать юридическое или физическое лицо, что предусматривает широкие возможности по реализации стратегии на государственно-частной основе.



Рисунок 2. Алгоритм разработки стратегии развития on-line торговли аграрной продукцией
Примечание. Рисунок выполнен автором на основе собственных исследований.

С целью обеспечения результативности разработанной стратегии автором предлагается создание Интернет-магазина на собственном сайте организации и взаимодействие с действующими электронными торговыми площадками в сфере АПК. В качестве последних определены:

- fermer1.by – информационный ресурс для фермеров Республики Беларусь, основная цель которого развитие межфермерских связей, обмен информацией, открытие торговой площадки и т.д.;

- iBiz.by – республиканский поисковый портал, содержащий в себе ключевую информацию более чем о 150 000 компаний, зарегистрированных и функционирующих в Беларуси. Обладает достоверными и актуальными данными, предназначенными как для юридических, так и физических лиц;

- AGRONEWS.com – мультифункциональная web-платформа для сельского хозяйства и промышленности, включающая каталог товаров и услуг, сайты предприятий, вакансии и резюме, проекты для поиска деловых партнеров, новости и аналитику рынков, медиапланер и рассылки, образовательные курсы

и подписки на специализированный контент, конструктор сайтов и продающих страниц;

- doska.by – электронный инструмент, позволяющий встраивать объявления на сайт.

Разработка апробирована на ОАО «Александрия-Агро» Каменецкого района и СПК «Гигант» Бобруйского района, занимающихся выращиванием картофеля и имеющих собственные сайты для создания Интернет-магазинов (<https://alexcandria-agro.ibiz.by>; <https://spk-gigant.by>). Расчет экономического эффекта от предложенных мероприятий показывает, что с учетом совокупных расходов на внедрение данной системы в рамках стратегии развития простой срок окупаемости вложений составит 90 и 22 дня соответственно (таблица).

Установлено, что развитие современных электронных каналов продаж обеспечит рост конкурентных преимуществ ОАО «Александрия-Агро» Каменецкого района и СПК «Гигант» Бобруйского района, прогнозируемое увеличение прироста продаж – на 7,5 %, а прирост прибыли от реализации составит 26,02 тыс. руб. и 88,57 тыс. руб. соответственно.

Таблица. Экономический эффект от реализации стратегии развития on-line торговли картофелем на микроуровне, руб.

Наименование показателей	ОАО «Александрия-Агро» Каменецкого района	СПК «Гигант» Бобруйского района
Прирост прибыли от реализации	26 016,2	88 565,25
Прирост текущих расходов на техподдержку Интернет-магазина	2 510,20	2 510,20
Прирост текущих расходов на обеспечение работы электронных торговых площадок	2 049,07	2 049,07
Прирост прибыли от реализации с учетом покрытия дополнительных расходов (стр. 1 – стр. 2 – стр. 3)	21 456,93	84 005,98
Прирост чистой прибыли (стр. 4 – стр. 4 x 0,2)	17 165,54	67 204,78
<i>Примечание. Таблица составлена автором на основе собственных исследований.</i>		

В целом, разработка и реализация стратегии развития on-line торговли аграрной продукцией обеспечит преимущества всем участникам ПСЦ, формируя совокупный экономический эффект:

– *поставщикам (производителям) продукции*: возможность создания виртуальной витрины, автоматический сбор заказов, прямое и удобное взаимодействие с покупателями через внутренний мессенджер; дополнительный инструмент для расширения сбыта, возможность выхода на новые рынки, планирование увеличения производства; возможность публиковать новости, рецепты, статьи о продукции; инструмент для продвижения своего бренда, дополнительная реклама; возможность привлечения инвесторов и партнеров и др.

– *оптовым и розничным потребителям*: высокое качество предлагаемой продукции; экологичность товара; максимальная свежесть продукта (обеспечивается за счет сокращения цепи поставки товара); возможность выбора продукции прямо у производителя; возможность самостоятельного сбора урожая (в сезонный период); разные варианты доставки и др.

– *государству*: повышение налоговых отчислений в бюджет страны; развитие оптово-распределительных и логистических центров внутри страны; улучшение качества жизни и здоровья населения; развитие инфраструктуры в сельской местности; повышение качества продукции за счет развития конкуренции.

Заключение

Таким образом, основная цель стратегии развития on-line торговли продукцией в Республике Беларусь состоит в повышении эффективности продаж продукции за счет максимального охвата целевой аудитории и оперативной доставки до потребителей. Стратегия включает обоснование целей по методу SMART, комплекс приоритетных направлений по уровням управления, научная новизна которых заключается в их практической направленности и развитии цифровой инфраструктуры Республики Беларусь с учетом современных условий хозяйствования, обеспечивающих эффективное продвижение продукции на внутренний и внешний рынок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гусаков, В.Г. Новейшая экономика и организация сельского хозяйства в условиях становления рынка: научный поиск, проблемы, решения / В.Г. Гусаков. – Минск: Белорусская наука, 2008. – 431 с.
2. Байгот, Л.Н. Развитие экспорта сельскохозяйственной продукции и продовольствия Беларуси: состояние, проблемы, перспективы / Л.Н. Байгот, В.С. Ахрамович // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2016. – № 1. – С. 24-32.
3. Бельский, В. Интеграционная стратегия развития молочной отрасли Беларуси / В. Бельский, Т. Лукашевич, П. Лаппо // Аграр. экономика. – 2011. – № 7. – С. 23-29.
4. Буць, В.И. Логистическое обоснование параметров производственно-сбытовой системы сельскохозяйственной организации: рекомендации / В.И. Буць, Л.А. Таптунов. – Горки: БГСХА, 2021. – 36 с.
5. Формирование эффективной системы сбыта сельскохозяйственной продукции / З.М. Ильина [и др.]; под общ. ред. З.М. Ильиной. – Минск: Ин-т систем. иссл. в АПК НАН Беларуси, 2013. – 185 с.
6. Киреевко, Н.В. Теория и методология формирования сбытовой системы в новых условиях хозяйствования (на примере АПК Республики Беларусь): автореф. дис. ... д-ра экон. наук: 08.00.05 / Н.В. Киреевко; Ин-т систем. иссл. в АПК НАН Беларуси. – Минск, 2017. – 60 с.
7. Ключач, В.А. Маркетинг в агропромышленном комплексе / В.А. Ключач, Д.А. Логинов. – М.: Колос, 2010. – 254 с.
8. Пакуш, Л.В. Формирование логистической системы в свеклосахарном подкомплексе в Республике Беларусь: монография / Л.В. Пакуш, Е.В. Кокиц. – Горки: БГСХА, 2019. – 218 с.
9. Бельский, В.И. Полноформатная цифровизация / В.И. Бельский // Экономика Беларуси: итоги, тенденции, прогнозы. – 2018. – № 1. – С. 16-23.
10. Систер, В.Г. Эффективность производственно-сбытовых систем нового поколения / В.Г. Систер,

Е.Н. Горлачева, А.П. Василенко // Экономические науки. – 2019. – № 7 (176). – С. 73-80.

11. Борель, К.В. Направления трансформации производственно-сбытовой системы АПК Республики Беларусь в условиях цифровой экономики / К.В. Борель // Вестник Белорус. гос. с.-х. акад. – 2023. – № 2. – С. 19-24.

12. Киреенко, Н.В. Рекомендации по повышению эффективности производства и реализации картофеля и картофелепродуктов в Республике Беларусь / Н.В. Киреенко, К.В. Борель // Экономические вопросы развития сельского хозяйства Беларуси: межвед. те-

матич. сборник. – Минск: Ин-т систем. иссл. в АПК НАН Беларуси, 2022, вып. 50. – С. 144-151.

13. Калужский, М.Л. Маркетинговые сети в электронной коммерции: институциональный подход / М.Л. Калужский. – М.: Директ-Медиа, 2014. – 402 с.

14. Кристофер, М. Маркетинговая логистика / М. Кристофер, Х. Пэк. – М.: ИД «Технологии», 2005. – 200 с.

15. Киреенко, Н.В. Новая конфигурация глобальных производственно-сбытовых цепочек на агропродовольственном рынке / Н.В. Киреенко // Белорусский экономический журнал. – 2022. – № 1. – С. 62-78.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 05.07.2023

УДК 332.1

<https://doi.org/10.56619/2078-7138-2023-158-4-38-48>

ПРОБЛЕМНЫЕ СЕЛЬСКИЕ ТЕРРИТОРИИ: МЕТОДИЧЕСКИЕ И ПРАКТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

С.Д. Юдицкая,

аспирант каф. экономики и управления предприятиями АПК БГЭУ

В статье раскрываются методические и практические вопросы управления устойчивостью развития сельских территорий. Разработана авторская методика оценки устойчивости развития сельских территорий, которая позволила выделить 4 уровня (высокий, средний, низкий и критический). Апробация методики произведена на примере районов Республики Беларусь. Определены проблемные сельские территории и выявлены кластеры по уровню их устойчивости. Выдвинуты предложения по управлению развитием проблемных сельских территорий.

Ключевые слова: сельские территории, устойчивость, проблемные территории, методика оценки устойчивости, государственное регулирование.

The article presents the methodological and practical issues of managing the sustainability of rural development. The method of assessing the sustainability of rural development has been developed, which allowed classifying the four levels (high, medium, low and critical). The method was tested in a number of districts of the Republic of Belarus. The problem rural territories were identified and according to the level of sustainability the clusters were revealed. The paper suggests management proposals for the development of problem rural territories.

Key words: rural territories, sustainability, problem territories, sustainability assessment method, state regulation.

Введение

Устойчивое развитие, в основу которого положены принципы экологической целостности, социальной защищенности и экономической эффективности, носит общемировой характер и направлено на улучшение экологической ситуации, рациональное использование ресурсов, решение проблем голода, социальной дифференциации, а также других вопросов, непосредственно связанных с жизнью и здоровьем населения планеты.

При реализации стратегии развития сельских территорий возникают отклонения различного рода, отдельные функции не выполняются в полной мере. Следовательно, появляется проблема эффективности и целесообразности функционирования в заданном ключе. Исходя из этого, научного осмысления заслуживает понятие «проблемная сельская территория», т.к. его точная формулировка послужит основой для

принятия управленческих решений по выводу территории из кризиса.

Изучение сельских территорий отражено в работах О.В. Шумаковой, М.А. Рабкановой, С.С. Шибаевой, Ю.А. Макуриной, С.С. Цукарева, И.Г. Ушачева, К.П. Мартынова, Ю.А. Китаёва, Н.А. Полушкина и других ученых. Вопросы, связанные с различными аспектами устойчивого развития сельских территорий, затронуты в исследованиях многих белорусских ученых: Г.И. Гануша, В.Г. Гусакова, А.Г. Ефименко, Т.А. Запрудской, Л.В. Корбут, Г.В. Миренковой, Л.В. Пакуш, А.С. Сайганова, Н.И. Соловцова, А.А. Лопатнюк.

Подходы к оценке устойчивости развития сельских территорий содержатся в документах международных организаций, например, Организации экономического сотрудничества и развития, Комиссии ООН, Всемирного банка, Центра экологической по-

литики и права, Фонда устойчивого общества, а также рассматриваются в работах отечественных и зарубежных исследователей: Н.А. Павельева, А.В. Агибалова, И.Н. Меренкова, А.И. Голубева, Т.И. Никитина, М.И. Гусенок, В.П. Черданцева, С.А. Шаклеина, С.А. Молчаненко, А.В. Шуваева, Е.А. Третьякова, А.В. Цветных, Н.В. Шевцовой. Аспекты выделения проблемных (депрессивных) территорий рассматриваются в трудах А.Г. Гранберга, Г.В. Петрашевича, Я.В. Рипка, А.Д. Хасанова, К.Е. Родяшиной, В.Н. Лексина, А.Н. Швецова, Р.А. Кузнецова.

Проблематика устойчивого развития имеет междисциплинарный характер. Анализ научных изысканий показывает, что ряд методик невозможно применить для Республики Беларусь в полном объеме ввиду отсутствия статистических данных по необходимым административно-территориальным единицам или их динамических рядов и мониторинга экологических показателей требуемой периодичности.

Цель данной статьи – представить авторскую методику оценки уровня устойчивости сельских территорий, а также внести ряд предложений по повышению уровня устойчивости проблемных территорий. Отдельные аспекты данного вопроса исследовались автором ранее [1, 2].

Основная часть

В основу исследований положена концепция устойчивого развития, поскольку именно в ее рамках возможно комплексно исследовать вопросы социо-эколого-экономического развития сельских территорий, особенно проблемных. По мнению автора, проблемные сельские территории – это не только территории с низкими значениями показателей социо-эколого-экономического развития, но и территории, для которых характерно ухудшение показателей в динамике.

Предварительно выдвинем рабочую гипотезу о гетерогенности объекта исследования: сельские территории будут неоднородны по уровням устойчивости.

Алгоритм предлагаемой автором методики оценки устойчивости развития сельских территорий состоит из 7 этапов и представлен на рисунке 1.

Преимущества методики выражаются в универсальности, наглядности, простоте расчетов, доступности информации, а также в возможности использования ее элементов при прогнозировании за счет применения различных методик анализа временных рядов к выбранным показателям.

В рамках данного исследования апробация методики проводилась по административным районам Республики Беларусь. Система показателей приведена в таблице 1. Информационная база основана на данных официальной статистики по каждому району без учета крупных городов за 2015 и 2021 гг. [3-8].

Результаты апробированной методики позволили сформировать матрицу сельских территорий по уровню их устойчивости, содержащую в своей структуре информацию о количестве районов в разрезе областей Республики Беларусь (табл. 2). Анализ матрицы

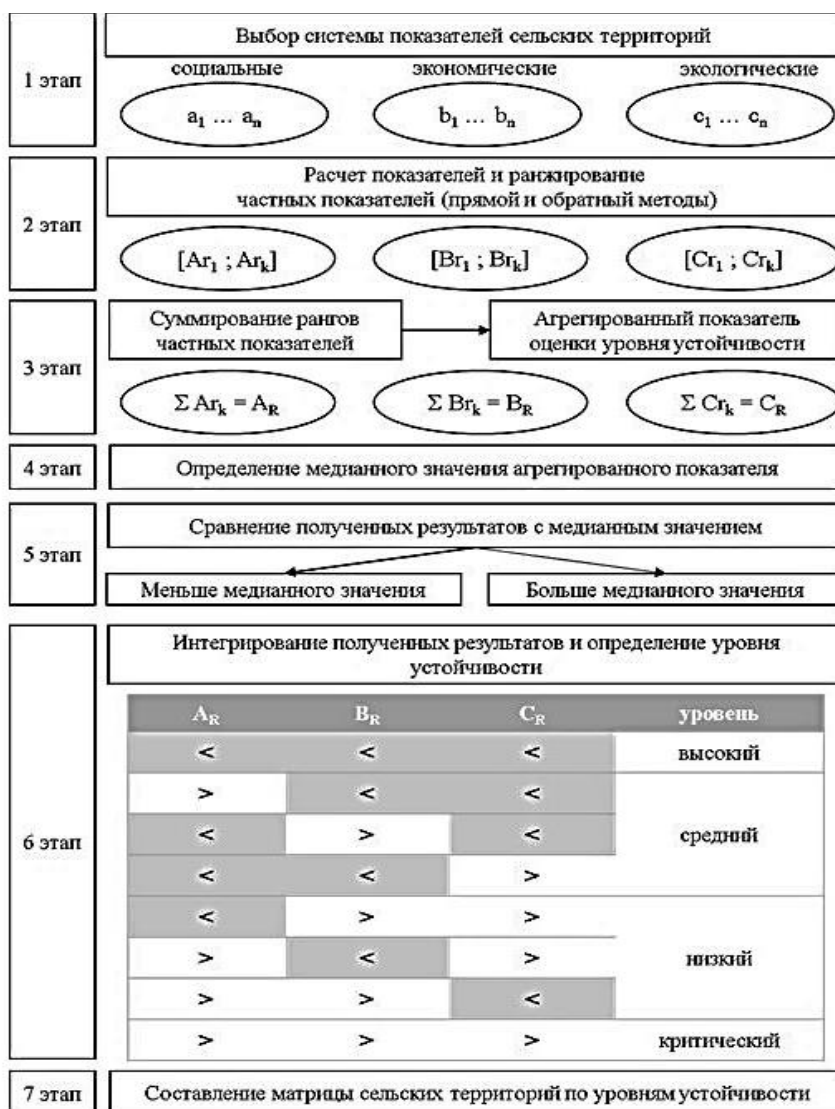


Рисунок 1. Этапы методики оценки устойчивости развития сельских территорий

Примечание. Собственная разработка автора.

Таблица 1. Показатели устойчивого развития сельских территорий

Сфера	Показатель	Ед. изм.
Социальная	Жилищный фонд в расчете на человека	тыс. км ² / чел.
	Численность учащихся, приходящихся на одного учителя в дневных учреждениях общего среднего образования	чел.
	Численность практикующих врачей по областям, городам и районам на 10 000 человек населения	чел.
	Количество публичных библиотек в расчете на человека	ед.
	Количество клубов в расчете на человека	ед.
Экологическая	Выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных источников в расчете на единицу площади	тонн / га
	Доля использованных отходов производства	%
	Количество неиспользованных отходов производства на единицу площади	тыс. тонн / тыс. км ²
	Доля улучшенных луговых в общей площади луговых земель	%
	Доля осушенных сельскохозяйственных земель в общей площади сельскохозяйственных земель	%
Экономическая	Номинальная начисленная среднемесячная заработная плата работников	руб.
	Доля занятых в экономике в численности населения трудоспособного возраста	%
	Рентабельность продаж	%
	Доля выручки сельского, лесного и рыбного хозяйства в общей выручке района	%
	Инвестиции в основной капитал	млн руб.

Таблица 2. Матрица сельских территорий по уровню устойчивости в 2015 и 2021 гг.

Уровень устойчивости	Год	Область						Итого	
		Брестская	Витебская	Гомельская	Гродненская	Минская	Могилевская		
Высокий	2015	4	1	1	5	2	1	14	
	2021	6	2	3	5	0	0	16	
Средний	проблема социального характера	2015	4	0	1	0	2	0	7
		2021	3	1	1	1	5	0	11
	проблема экологического характера	2015	4	0	0	2	2	4	12
		2021	3	1	0	2	3	3	12
	проблема экономического характера	2015	3	9	8	2	1	5	28
		2021	3	10	3	1	1	4	22
Низкий	проблема социального и экологического характера	2015	0	3	7	5	11	0	26
		2021	1	2	3	3	10	1	20
	проблема социального и экономического характера	2015	1	1	2	1	3	1	9
		2021	0	3	3	1	2	1	10
	проблема экологического и экономического характера	2015	0	1	1	0	0	3	5
		2021	0	1	2	0	0	6	9
Критический	2015	0	6	1	2	1	7	17	
	2021	0	1	6	4	1	6	18	

подтверждает нашу гипотезу о гетерогенности: распределение сельских территорий по уровням устойчивости неоднородно.

Анализ динамики устойчивости показал, что за 2015-2021 гг. значительно улучшились экономическая и социо-экологическая составляющие, а также увеличилось количество территорий с высоким уровнем устойчивости, однако, наряду с этим, ухудшились социальная и эколого-экономическая сферы.

Количество районов с высоким и критическим уровнем устойчивости в 2021 году составляет 16 и 18 соответственно. Отметим районы с самым высоким показателем: экологическая сфера – Шарковщинский; экономическая сфера – Гродненский; социальная сфера – Глусский.

Среди районов с самым низким уровнем устойчивости наблюдаем следующие: имеют проблемы в

экологической сфере – Кричевский; экономической – Славгородский; социальной – Пуховичский.

В Брестской области 38 % территорий имеют высокий уровень устойчивости, незначительная доля территорий с социально-экологическими проблемами, а социально-экономические и эколого-экономические проблемы не зафиксированы.

Около половины сельских территорий Витебской области (48 %) сталкиваются с проблемой экономического характера, однако экологические проблемы практически отсутствуют. Отметим, что за анализируемый промежуток времени доля территорий с критическим уровнем устойчивости снизилась на 24 п.п.

В Гомельской области преобладающее количество (29 %) сельских территорий – с критическим уровнем устойчивости. Анализ показывает, что значительно улучшилась экономическая составляющая, однако на 4 п.п. увеличилась доля территорий с проблемой социально-экономического характера. В период с 2015 по 2021 гг. в области значительно увеличилась доля территорий с высоким уровнем устойчивости, что отражено в таблице 2. Поясним низкую долю экологических проблем тем, что в рамках исследования не рассматривались последствия загрязнений после катастрофы на Чернобыльской АЭС, что, безусловно, внесло бы значительную корректировку в итоговый результат, однако не позволило бы сравнить районы между собой.

Для Гродненской области распределение сельских территорий по уровням устойчивости очень полярно: в 2015 году доля территорий с критическим уровнем составила 29 %, с проблемой социально-экологического характера – 24 %. В 2021 году с критическим уровнем устойчивости зафиксировано 24 % территорий, а с высоким – 29 %. Отметим, что значительно улучшилась социально-экологическая составляющая (доля территорий с такой проблемой сократилась на 9 п.п.), а проблемы эколого-экономического характера не зафиксированы.

Исследования также показали, что за 2015-2021 гг. в Минской области сократилось количество территорий с высоким уровнем устойчивости, что нашло от-

ражение в отсутствии представленности территорий данного уровня. Около половины сельских территорий области (45 %) сталкиваются с проблемой социально-экологического характера.

Приходится констатировать, что в Могилевской области за анализируемый период также сократилось количество территорий с высоким уровнем устойчивости. Для большей части (58 %) сельских территорий характерны проблемы эколого-экономического и социо-эколого-экономического характера.

Более углубленный анализ позволил установить, что уровень устойчивости сельских территорий динамичен, т.е. территории переходят из одной группы в другую (табл. 3).

В развитие вышеизложенного положения, уточним, что проблемные сельские территории – это территории с критическим уровнем устойчивости, а также территории, уровень устойчивости которых снизился минимум на 2 позиции за последние 3-5 лет. Таким образом, апробация методики позволила выявить в Беларуси 33 проблемных сельских территории.

Принимая во внимание особенности и доминирование сельского хозяйства как основного вида деятельности во многих районах страны, отметим, что, помимо указанных в таблице 1 показателей, на уровень устойчивости также влияют природно-климатические условия. Их воздействие обуславливает направление развития территории и механизмы достижения ее устойчивости. Закономерно предположение, что для территорий, находящихся в непосредственной близости друг от друга, будут характерны однотипные проблемы. В связи с этим, автором была предпринята попытка проверить гипотезу о существовании кластеров, объединенных одним уровнем устойчивости, с применением картографического метода. Углубленный анализ позволит выявить проблемы, свойственные для определенного пространства.

В целях наглядности и объективности территории районов обозначены на карте Республики Беларусь в соответствии с уровнем их устойчивости. Таким образом, выделено 9 кластеров. В рамках статьи полученные кластеры представлены по отдельности (рис. 2-10).

Таблица 3. Группы районов, уровень устойчивости которых изменился за 2015 – 2021 гг.

Область	Перечень районов, уровень устойчивости	
	понижился	повысился
Брестская	Столинский	Дрогичинский, Жабинковский, Каменецкий
Витебская	Дубровенский, Толочинский	Докшицкий, Лепельский, Лиозненский, Россонский, Сенненский, Ушачский
Гомельская	Брагинский, Чечерский	Ельский, Петриковский
Гродненская	Ивьевский, Кореличский, Щучинский	Берестовицкий, Гродненский, Мостовский, Свислочский
Минская	Копыльский, Крупский, Стародорожский	Березинский, Воложинский
Могилевская	Кличевский, Краснопольский, Мстиславский, Славгородский	Белыничский

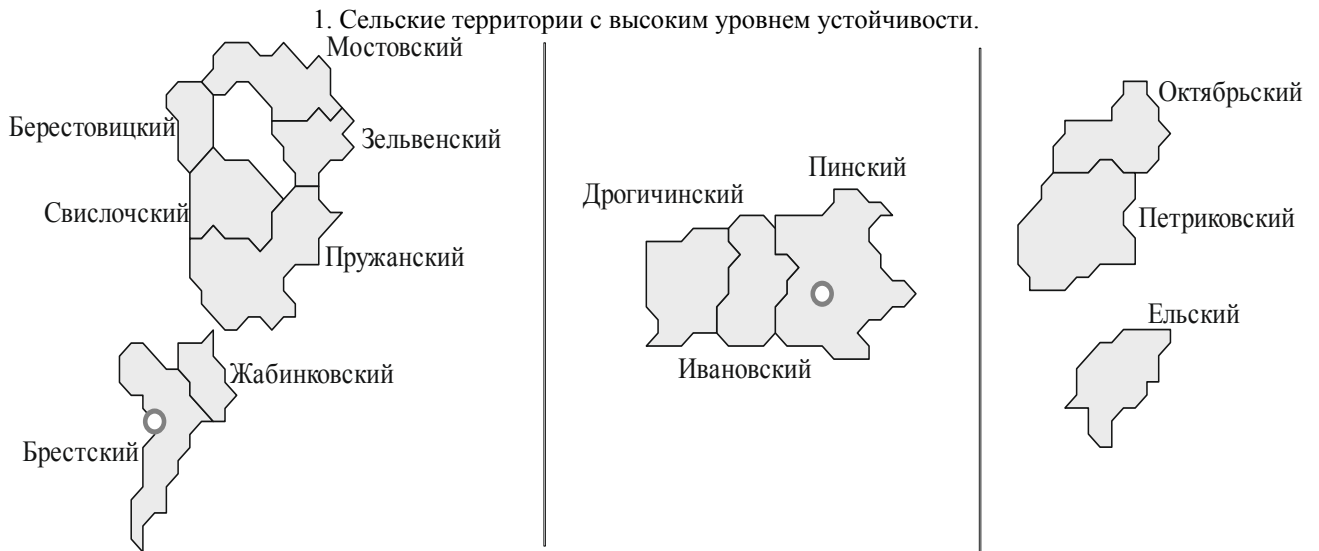


Рисунок 2. Кластер №1

Примечание. Источник – собственная разработка автора

2. Сельские территории со средним уровнем устойчивости: проблема экономического характера.

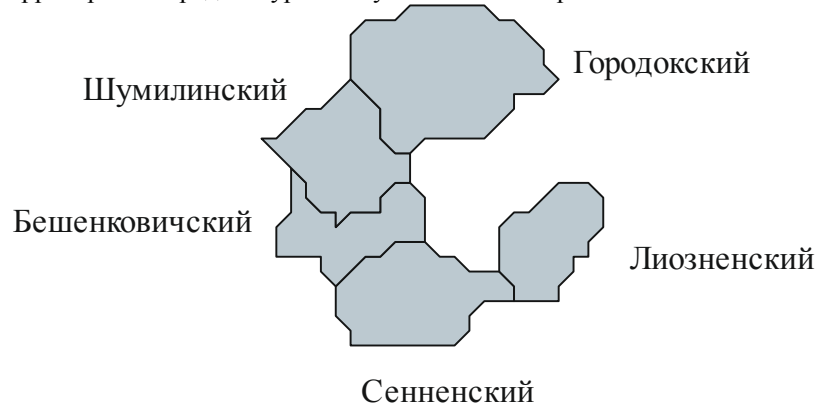


Рисунок 3. Кластер №2

Примечание. Источник – собственная разработка автора

3. Сельские территории со средним уровнем устойчивости: проблема экологического характера.

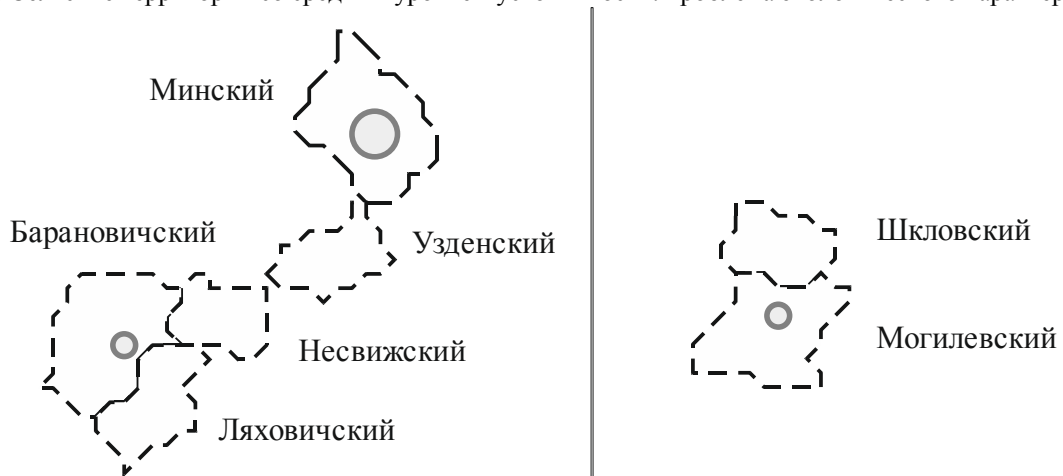


Рисунок 4. Кластер №3

Примечание. Источник – собственная разработка автора

4. Сельские территории с низким уровнем устойчивости: проблема социо-экологического характера.

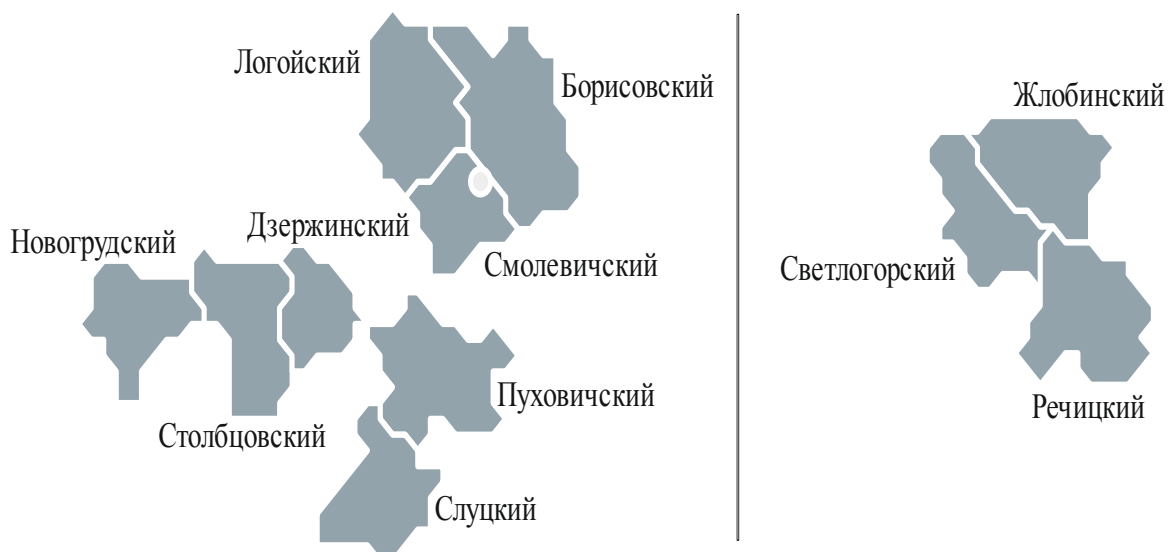


Рисунок 5. Кластер №4

Примечание. Источник – собственная разработка автора

5. Сельские территории с низким уровнем устойчивости: проблема эколого-экономического характера.

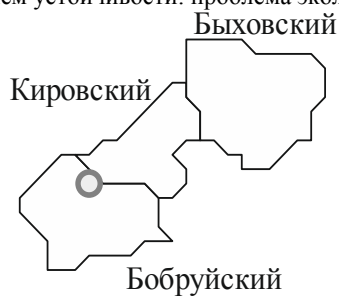


Рисунок 6. Кластер №5

Примечание. Источник – собственная разработка автора

6. Объединение сельских территорий с проблемами социального (белый цвет) и социо-экономического (светло-серый цвет) характера.



Рисунок 7. Кластер №6

Примечание. Источник – собственная разработка автора

7. Объединение сельских территорий с проблемами экономического (темно-серый цвет) и социо-экономического (светло-серый цвет) характера.

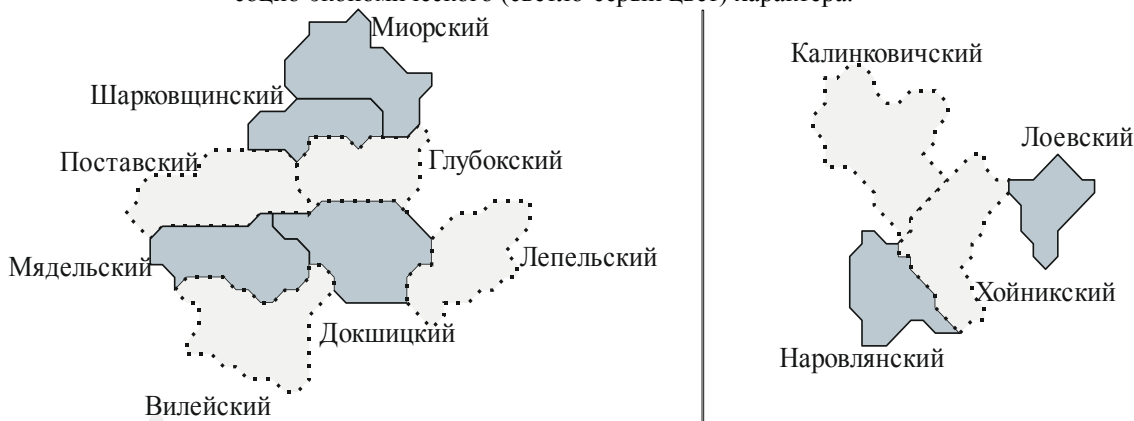


Рисунок 8. Кластер №7

Примечание. Источник – собственная разработка автора

8. Объединение сельских территорий с проблемами социо-экологического характера (серый цвет) и проблемных территорий (черный цвет).



Рисунок 9. Кластер №8

Примечание. Источник – собственная разработка автора

9. Проблемные сельские территории.

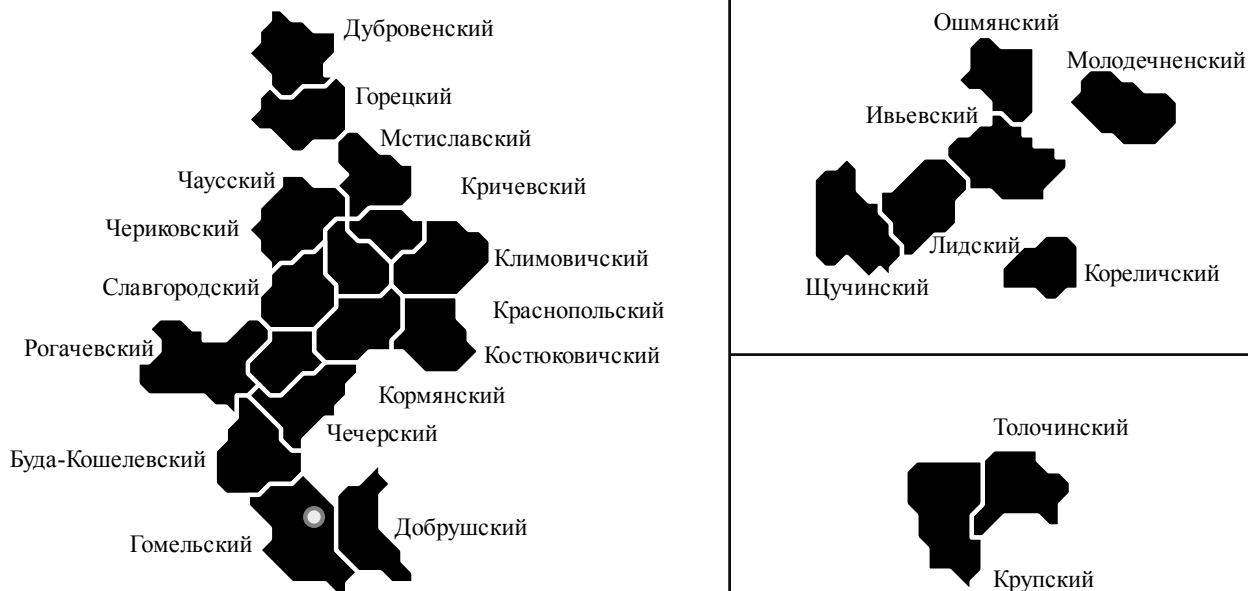


Рисунок 10. Кластер №9

Примечание. Источник – собственная разработка автора

Как показали результаты анализа, ярко наблюдается ситуация расположения проблемных сельских территорий рядом или даже между несколькими территориями с высоким уровнем устойчивости, что отражено на рис. 11.

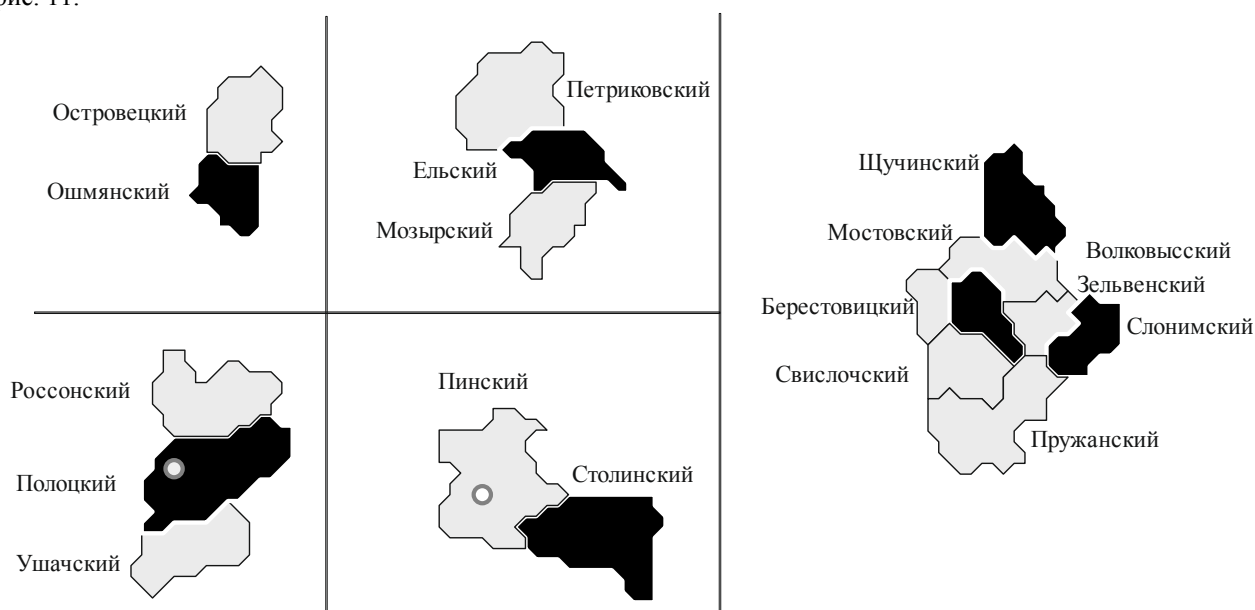


Рисунок 11. Расположение проблемных сельских территорий
Примечание. Источник – собственная разработка автора

Практическая значимость кластеризации состоит в совершенствовании управленческих решений по выводу территорий из кризиса, так как задачи по повышению уровня устойчивости и планированию перспектив развития можно решать комплексно для всех территорий, входящих в кластер. Это позволяет рационально использовать ресурсы, оптимизировать финансирование, создавать более тесные социально-экономические связи между географически близкими субъектами сельской экономики. Нахождение проблемных сельских территорий в непосредственной близости от территорий с высоким уровнем устойчивости создает возможности для использования преимуществ и успешного опыта последних, т.к. такое расположение показывает способность территории достигать высоких показателей в схожих природно-климатических условиях.

Подтвержденная исследованиями динамическая гетерогенность сельских территорий доказывает необходимость совершенствования управления с обязательным соблюдением принципов селективности и гибкости.

С целью повышения уровня устойчивости проблемных сельских территорий автором разработан ряд предложений:

1. для органов местного управления:

Вовлечение местного населения в процесс разработки и реализации локальных программ развития сельской территории. Повышение социальной активности местного населения, выраженной в том числе участием в планировании и распределении ресурсов, обеспечит более эффективное достижение поставленных целей. Кроме

того, это обусловлено необходимостью человека быть сопричастным и осознавать свою роль в обществе и экономике. Согласно с мнением Т.С. Вертинской, которая отмечает особую значимость гражданской составляющей для достижения устойчивости развития на сельских территориях [9].

Расширение диверсификации сельской экономики в районах, где преобладающей отраслью является сельское хозяйство; высокая доля выручки от реализации сельскохозяйственной продукции обуславливает некоторую степень уязвимости при воздействии негативных факторов внешней среды. По этой причине альтернативные источники дохода и занятости населения позволяют нивелировать такое воздействие и значительно уменьшить влияние фактора сезонности. Дополнительные возможности по расширению занятости сельского населения могут выражаться в изготовлении и реализации сувенирной продукции, организации местных фестивалей и ярмарок.

В качестве предложений по эффективному **вовлечению в экономику пустующих домов сельской местности** рекомендуем их использование как гостевого дома агроэкоусадьбы (при необходимости переоборудовать в соответствии с положениями Указа Президента Республики Беларусь от 4 октября 2022 г. № 351 «О развитии агроэкотуризма»). Похожая практика уже была реализована в д. Чечевицы Быховского района и д. Морочь Солигорского района [12].

Стимулирование экономической активности, в частности инновационной направленности, можно осуществить за счет внедрения практики точечных

налоговых льгот: снижение налоговой нагрузки на ограниченный период для ведения определенного вида деятельности или для некоторых юридических лиц, находящихся на проблемной сельской территории. Дальнейшие процессы кооперации, интеграции, партнерства различных субъектов сельской экономики позволят эффективно использовать ресурсы, снизить транзакционные издержки, сократить время поиска поставщиков и покупателей.

Совершенствование сбора и обработки данных по учету деятельности субъектов сельской экономики позволит объективно оценить их вклад в развитие территории и, следовательно, адаптировать механизмы эффективного функционирования и взаимодействия для данных субъектов, а также разработать конкретные рекомендации для повышения уровня устойчивости сельской территории.

2. для органов местного управления и самоуправления:

Возрождению и максимальному использованию потенциала сельских территорий могло бы посодействовать **восстановление объектов белорусского историко-культурного наследия:**

– Костел св. Антония (д. Княжицы, Могилевский р-н, Могилевская обл.) – один из первых каменных храмов в Беларуси, построенный в середине XVIII века;

– Костел св. Вероники (д. Селище, Ушачский р-н, Витебская обл.) – храм, построенный при бернардинском монастыре в 1726 году, является памятником архитектуры позднего барокко;

– Усадьба Бутовт-Андрейковичей «Богуденки» (д. Порозово, Свислочский р-н, Гродненская обл.) – старейший памятник деревянной архитектуры Беларуси с элементами барокко и классицизма, построенный в середине XIX века;

– Усадьба Малиновских (д. Череповщина, Ушачский р-н, Витебская обл.) – памятник белорусского деревянного зодчества с уникальными элементами архитектуры, построенный в 1890 году;

– Усадьба Рудницких (д. Дедино, Миорский р-н, Витебская обл.) – старинный памятник усадебно-парковой архитектуры в Беларуси, сохранившийся с начала XIX века; построен Витковским в стиле классицизма;

– Усадьба Слотвинских (д. Рованичи, Червенский р-н, Минская обл.) – уникальный комплекс, построенный на рубеже XVIII–XIX веков.

Развитие физической культуры как важной социальной составляющей возможно за счет переоборудования незадействованных зданий в физкультурно-оздоровительные и спортивные центры, создание уличных спортивных площадок, увеличение количества пунктов проката спортивного инвентаря. Актуально также изучение и применение успешного опыта Гродненского региона [13].

3. для субъектов сельской экономики:

Развитие агротуризма как одного из эффективных направлений диверсификации сельской экономики обеспечивает повышение уровня самозанятости, доходов и реализацию творческого потенциала местного населения, содействует сохранению окружающей среды, природных ресурсов, памятников архитектуры и зодчества, культурно-исторических достопримечательностей, традиций. Популяризация сельского образа жизни способствует привлечению трудовых ресурсов, в т.ч. молодежи, развитию инфраструктуры, стимулирует инвестиционную активность.

Усиление взаимодействия субъектов сельской экономики. Кластерные и интеграционные структуры, социальное партнерство как инновационный подход к управлению являются неотъемлемым фактором достижения устойчивости развития на сельских территориях [11]. Рекомендуем использовать имеющийся опыт неформального взаимодействия между субъектами агротуризма и ремесленниками, показавший свою эффективность, однако не получивший должного распространения на сегодняшний день:

– «Вясёлая Хата» предлагает ремесленные изделия из керамики и глины;

– «Заповедный остров» – изделия из лозы и деревянные игрушки;

– «Звон-Гора» – льняную одежду и тканые пояса;

– «На Заречной улице» – предлагает изделия ремесленников по нескольким направлениям: резьба по дереву, соломоплетение, льняная одежда;

– «Старки» – тканые пояса и вязаные изделия;

– «Утрина» – старинные духовые инструменты, а также обереги;

– «Хутор Ёдишки» – лоскутное шитье.

Проведенные ранее исследования [10] показали, что около половины агроэкоусадоб оформлены в этническом стиле и имеют уникальный тематический интерьер, 30-35 % предоставляют отдых на сеновале и вовлекают туристов в сельскохозяйственную деятельность, а 25 % предлагают услуги по оздоровлению. Рекомендуется расширить практику создания безбарьерной среды для людей с ограниченными возможностями здоровья и маломобильных групп населения. Такие условия созданы только в 13 % агроэкоусадоб.

4. для представителей образования и научного сообщества:

Повышение уровня просвещения населения по вопросам устойчивого развития и связанными с ним аспектами будет способствовать оперативному и согласованному внедрению и соблюдению практик по рациональному использованию ресурсов, осознанному потреблению, защите окружающей среды и биоразнообразия, а также по правильной утилизации, переработке и вторичному использованию отходов.

Популяризация нематериальных ценностей, углубление интеграции институтов культуры, спорта, образования и семьи позволит возродить,

сохранять и развивать культурное наследие белорусского народа. Необходимо совершенствование работы по развитию аутентичности сельских территорий и формированию ее имиджа. Локальная программа развития должна учитывать уникальные аспекты каждой конкретной территории.

Заключение

Предложенная методика оценки устойчивого развития сельских территорий позволяет решать следующие задачи:

1) провести сравнительную оценку сельских территорий региона по отдельным частным показателям, укрупненным группам показателей устойчивого развития, либо комплексно;

2) выполнить сравнительную оценку фактических значений показателей устойчивого развития с нормативными значениями;

3) своевременно выявить ухудшение показателей в динамике и обосновать корректирующие управленческие решения на национальном, областном или местном уровнях.

Научная новизна и практическое значение предложенной методики заключаются в том, что она предоставляет инструментарий для определения уровня устойчивости и своевременной идентификации проблем сельских территорий с целью принятия компетентных управленческих решений.

В ходе исследований выдвинуты и подтверждены рабочие гипотезы:

1) о гетерогенной природе устойчивости развития сельских территорий;

2) о существовании кластеров, объединенных одним уровнем устойчивости сельских территорий (результаты апробации методики были представлены с помощью картографического метода).

В связи с тем, что методика базируется на сравнительном анализе и динамической гетерогенности, результаты ее апробации будут выражаться в перераспределении сельских территорий по уровням устойчивости, т.е. неизбежно формирование группы территорий с критическим уровнем. По этой причине применение методики актуально только для периода перехода к устойчивому развитию.

Результаты исследования могут быть использованы органами государственного управления и местного самоуправления в части оценки устойчивого развития района и разработки его стратегии. Отдельные положения и выводы могут применяться в исследованиях и мониторинге развития различных сфер жизнедеятельности сельского населения, определении потребностей в ресурсах для бизнеса.

Проведенная кластеризация позволила установить наличие территорий, находящихся в непосредственной близости и имеющих общие проблемы (социального, экологического и/или экономического характера). Эти результаты служат основой для разработки комплексных проектов и программ развития сельских террито-

рий, входящих в кластер, а также мероприятий, направленных на повышение их устойчивости.

Реализация выдвинутых предложений по повышению уровня устойчивости проблемных сельских территорий будет способствовать возрождению историко-культурного наследия страны, обеспечит увеличение выручки от оказания услуг, занятости сельских жителей, повышение качества жизни и оздоровление окружающей среды, инвестиционной привлекательности и туристического потока, а также вовлечению местного населения в принятие управленческих решений.

Исследования выполнены в рамках НИР «Разработка методологических основ и обоснование механизмов устойчивого развития сельских территорий» (ГПНИ «Сельскохозяйственные технологии и продовольственная безопасность», 2021-2025 годы; подпрограмма «Экономика АПК»).

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Юдицкая, С.Д. Теоретические и практические аспекты управления устойчивостью развития сельских территорий / С.Д. Юдицкая // Научные труды БГЭУ. – Минск: Колорград, 2023. – Вып. 16. – С. 553-560.

2. Юдицкая, С.Д. Сельские проблемные территории: оценка и устойчивость развития / С.Д. Юдицкая // Экономический бюллетень НИЭИ Министерства экономики Республики Беларусь. – 2022. – №11. – С. 47-54.

3. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2022. – Т. 1. – 732 с.

4. Регионы Республики Беларусь. Основные социально-экономические показатели областей, городов и районов: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2022. – Т. 2. – 588 с.

5. Регионы Республики Беларусь. Социально-экономические показатели: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – Т. 1. – 776 с.

6. Охрана окружающей среды в Республике Беларусь: статистический сборник / Национальный статистический комитет Республики Беларусь. – Минск, 2020. – 203 с.

7. Официальная статистическая информация Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.minpriroda.gov.by/ru/statistika/>. – Дата доступа: 05.02.2023.

8. Реестр земельных ресурсов / Государственный комитет по имуществу Республики Беларусь [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://gki.gov.by/ru/activity_branches-land-reestr/. – Дата доступа: 05.02.2023.

9. Вертинская, Т.С. Стратегии устойчивого развития регионов Беларуси: к вопросу о разработке новой методологии / Т.С. Вертинская // Псковский региональный журнал. – 2016. – №. 3 (27). – С. 17-30.

10. Юдицкая, С.Д. Маркетинговые исследования развития агроэкотуризма в Республике Беларусь / С.Д. Юдицкая, А.А. Сенцова // Молодые исследователи агропромышленного и лесного комплексов – регионам. Экономические и гуманитарные науки: сборник науч. трудов по результатам работы IV Междунар. молодежной науч.-практич. конференции. – Т. 1. – Ч. 2. – Вологда–Молочное: ФГБОУ ВО Вологодская ГМХА, 2019. – С.32-37.

11. Рипка, Я.В. Подходы к решению проблемы перехода к устойчивому развитию депрессивных тер-

риторий / Я.В. Рипка, А.Д. Хасанов // Стратегия устойчивого развития регионов России. – 2012. – №. 10. – С. 55-59.

12. Киселёва, М.С. Невостребованные здания нежилого фонда – перспектива для развития агроэкотуризма / М.С. Киселёва // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. ВГ Шухова. – 2018. – №. 5. – С. 45-50.

13. Обелевский, А.А. Этапы становления массовой физической культуры в Гродненском регионе / А.А. Обелевский, Н.А. Кривицкая // Беларусь у кантэксте Еўрапейскай гісторыі: асоба, грамадства, дзяржава. – 2021. – С. 318-321.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 21.07.2023

Сепаратор вибропневматический



пластин, снижающих потери годного зерна с отходами.

Предназначен для очистки зерновой массы от трудноотделимых примесей на зерноперерабатывающих предприятиях, элеваторах, комбикормовых заводах. Также может быть использован для подготовки семенного материала с целью предотвращения заражения спорыньей зерна будущего урожая на семенных станциях и в фермерских хозяйствах.

Применение в технологических линиях очистки зерна разработанного сепаратора позволит повысить эффективность очистки зерна от трудноотделимых примесей за счет системы периодического вывода фракции примесей, а также комплекта отражающих и отбойных

Основные технические данные

Производительность, т/ч до	6
Коэффициент очистки, % до	95
Площадь ситовой поверхности, м ²	3,16
Диапазон регулировки угла наклона деки, град	2-8
Амплитуда колебаний, мм	2,5-3
Расход воздуха, м ³ /ч	10000
Установленная мощность привода, кВт	2×0,18
Диапазон регулировки частоты вращения электровибраторов, мин ⁻¹	800-1650
Разрежение в рабочей камере, Па	500-700
Габаритные размеры, мм (д ш в)	2240 2100 1960
Масса сепаратора, кг, не более	510

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. Статьи публикуются на русском языке.

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, представляемая в редакцию, 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 Cyr, 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 желательнее 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 и рисунки должны быть представлены в электронном виде в отдельных файлах формата *.tif или *.jpg с разрешением 300 dpi.

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

индекс УДК;

название статьи;

фамилию и инициалы, должность, ученую степень и звание автора (авторов) статьи;

аннотацию на русском и английском языках;

ключевые слова на русском и английском языках;

введение;

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

заключение, завершаемое 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 может быть включен 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 экспертной 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 образования, организации, предприятия, ученую 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 лицам, осуществляющим послевузовское обучение (аспирантура, докторантура, соискательство), в год завершения обучения.

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

*220012, г. Минск, пр-т Независимости, 99,
корп. 5, к. 602; 608. БГАТУ*

Система поддержки принятия решений по оптимизации структуры сырьевого конвейера для обеспечения хозяйств кормами

В составе программного комплекса имеются следующие приложения:

- расчет годовой потребности хозяйства в кормах;
 - оптимизация структур посевов кормовых культур;
 - отображение информации о заготовке, хранении и расходовании кормов;
 - расчет кормового баланса хозяйства;
 - оптимизация загрузки машинно-тракторного парка;
 - модуль работы с картографическими данными.
- Разработанный программный комплекс позволяет автоматизировать работу по планированию и производству кормов в хозяйстве.

Расчет сбалансированного суточного рациона

Новый рацион | Копировать рацион | Взять заготовку из базы | Закреть рацион | Сохранить в базу | Печать

Расчет 1

Название рациона: Рацион молочные коровы 550кг удой 14к. лактирующие нормы РБ

Группа: молочные коровы | Стадия лактации: Лактирующая

Нормы кормления: РБ | Масса животного: 550 | Удой суточный: 14

Число голов: 1 | Планируемая масса: | Удой за лактацию: |

Начало кормления: 11.05.2017 | Структура рациона: по СВ

Окончание кормления: 11.05.2017 | Отображение масс кормов: в кг. сук. в-ва

Корма	% структура	Масса СВ, кг
Сено бобовых культур, клеверное	15,4	4,000
Сенаж из злаковых культур, ежа сборная	26,9	7,000
Барда ржаная, сушеная	3,8	1,000
Зерно кукуруза	7,7	2,000
Комбикорм для выращивания и откорма КРС КР-3	46,2	12,000

Компонент	Норма	В рационе	Отклонение
Корм. ед.	18,15	17,165	-0,9848 -5,4 %
ОЗ, МДж	216	179,82	-36,183 -16,8 %
Сук. в-во, кг	22,5	26	3,5 15,6 %
Сыр. прот., г	2782,5	2111,7	-670,79 -24,1 %
Перев. прот., г	1827	1466,2	-360,82 -19,7 %
Сыр. жир, г	589,5	529,25	-60,25 -10,2 %
Сыр. клетч., г	5475	1769,4	-3705,6 -67,7 %
Крахмал, г	3220,5	5068,8	1848,3 57,4 %
Сахар, г	1215	432,81	-782,19 -64,4 %
Кальций, г	123	126,75	3,752 3,1 %
Фосфор, г	87	75,12	-11,88 -13,7 %

Корма

Включить в рацион | Исключить из рациона

(Весь список) | Зеленые | Зерно | Комбикорма | Корнеклубнеплоды | Микроэлементы | Минеральные добавки | Молочные корма | Не определена | Отходы производства | Сенаж | **Сено** | Силос | Солома

Название	Цена, р./кг.СВ	Корм. ед.	СВ, кг.	ОЗ, МДж	Сыр. прот., г.	Перев. прот., г.
Сено злаково-бобовое	0	0,38226	0,831	6,01644	81,6042	51,4389
Сено бобовых культур, клеверное	0	0,406	0,812	5,67588	110,432	68,4516
Сено бобовых культур, клеверо-тимофеечное	0	0,34486	0,802	5,46162	75,9494	49,0022
Сено бобовых культур, люцерновое	0	0,41307	0,843	6,17076	127,293	83,2884
Сено злаковое	0	0,35552	0,808	5,55904	54,944	28,28
Сено злаковых культур, ежи сборной	0	0,3348	0,837	5,36517	70,308	35,991
Сено злаковых культур, лисохвост	0	0,33374	0,814	5,50264	67,562	34,188
Сено злаковых культур, овсяницы луговой	0	40,373	0,859	6,03018	83,323	42,95

