

ВЕСТНИК БРЯНСКОЙ ГСХА

Издаётся с марта 2007
года

Выходит один раз
в два месяца

УЧРЕДИТЕЛЬ/ИЗДАТЕЛЬ:
ФЕДЕРАЛЬНОЕ
ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ
«БРЯНСКИЙ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
АГРАРНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»
(ФГБОУ ВО Брянский ГАУ)

Научный журнал

Журнал включен в Российский
индекс научного цитирования
(РИНЦ).

Полные тексты статей доступны на
сайте научной электронной
библиотеки eLIBRARY.RU:
<https://elibrary.ru>

Индекс журнала на сайте
«Объединенного каталога
«Пресса России»
www.pressa-rrf.ru
33361.

Журнал «Вестник Брянской ГСХА»
входит в Перечень рецензируемых
научных изданий (по состоянию на
22.05.2023), в которых должны быть
опубликованы основные научные
результаты диссертаций на
соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук, по
научным специальностям и
соответствующим им отраслям
науки:
4.1.1. Общее земледелие и
растениеводство
(сельскохозяйственные науки),
4.1.3. Агрехимия, агропочвоведение,
защита и карантин растений
(сельскохозяйственные науки),
4.2.4. Частная зоотехния, кормление,
технологии приготвления кормов и
производства продукции
животноводства
(сельскохозяйственные науки),
4.3.1. Технологии, машины и
оборудование для
агропромышленного комплекса
(технические науки).

№ 5 (105)
СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ 2024

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Эффективность производства кормов на радиоактивно-загрязненных лугах центральной поймы реки Ипуть юго-запада Центрального Нечерноземья	3
Атрошенко П.П., Шаповалов В.Ф., Милютин Е.М., Поцепай С.Н.	
От агротехники до высокоэффективных агротехнологий возделывания полевых культур /	11
Ториков В.Е., Шустов А.Ф., Мельникова О.В., Осипов А.А.	
Продуктивность озимой ржи и качество зерна в условиях радиоактивно загрязненных песчаных почв	18
Анищенко В.А., Воробьева Л.А., Смольский Е.В.	
Влияние агроклиматических условий на продолжительность вегетационного периода и хозяйственно-ценные признаки сои при возделывании в Брянской области	24
Бельченко С.А., Зайцева О.А., Сазонова И.Д., Милехина Н.В., Симонов В.Ю.	

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

Использование свекловичной вивассы в кормопроизводстве	31
Боровик Е.С., Менякина А.Г.	
Влияние разных способов применения тетрагидривита на качество спермопродукции жеребцов – производителей	36
Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Калинова А.В.	

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Методика определения остаточных размеров изношенных ножей составных лемехов компании «Лемкен»	40
Феськов С.А., Иванов Н.А., Старовойтов П.А.	
Сравнительная оценка технологий восстановления чугунных корпусных деталей сельскохозяйственной техники	44
Астанин В.К., Булыгин Н.Н., Сучков М.С.	
Условия работы, нагруженность и дефекты подшипниковых соединений сельскохозяйственной техники	48
Кузьменко И.В., Кузьменко П.И.	
Исследование показателей качества электроэнергии сельскохозяйственного предприятия	53
Безик В.А., Безик Д.А., Никитин А.М.	
Перспективы использования топливных элементов в качестве резервных источников питания	61
Филин Ю.И.	
Хранение сельскохозяйственной техники по условиям обеспечения пожарной безопасности	65
Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е., Шилин А.С., Вереzubова Н.А., Ракул Е.А.	
Вопросы оптимального учета нелинейности взаимосвязи индексов NDVI и LAI при проведении фенологических измерений развития растительности	71
Омаров М.Э., Алиева С.С.	

No 5 (105)

SEPTEMBER-OCTOBER 2024

AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT

Efficiency of feed production in radioactively contaminated meadows of the central floodplain of the south-west of the central Non-black Soil Zone	3
P.P. Atroshenko, V.F. Shapovalov, E.M. Milyutina, S.N. Potsepai	
From agricultural machinery to highly efficient agricultural technologies of field crop cultivation	11
V.E. Torikov, A.F. Shustov, O.V. Melnikova, A.A. Osipov	
Winter rye productivity and grain quality in conditions of radioactively contaminated sandy soils	18
V.A. Anishchenko, L.A. Vorob'yova, E.V. Smolsky	
Influence of agro-climatic conditions on the duration of the vegetation period and economic-valuable traits of soybeans during cultivation in the Bryansk region	24
S.A. Bel'chenko, O.A. Zaitseva, I.D. Sazonova, N.V. Milekhina, V. Yu. Simonov	

ANIMALS AND VETERINARY SCIENCE

Use of beet vinasse in feed production	31
Ye.S. Borovik, A.G. Menyakina	
Influence of different ways of tetrahydrovit application on the quality of sperm production in stallions-producers	36
L.N. Gamko, A.G. Menyakina, A.V. Kalinova	

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Method for determining the remaining dimensions of worn knives of composite plashes of the lemken company	40
S.A. Fes'kov, N.A. Ivanov, P.A. Starovoitov	
Comparative assessment of technologies for the restoration of cast-iron body parts of agricultural machinery	44
V.K. Astanin, N.N. Bulygin, M.S. Suchkov	
Working conditions, load and bearing defects connections of agricultural machinery	48
I.V. Kuzmenko, P.I. Kuzmenko	
Research of indicators of electric power quality of agricultural enterprise	53
V.A. Bezik, D.A. Bezik, A.M. Nikitin	
Prospects for the use of fuel cells as backup power sources	61
Y.I. Filin	
Storage of agricultural machinery under fire safety conditions	65
Ye.N. Khristoforov, N.Ye. Sakovich, A.S. Shilin, N.A. Verezubova, E.A. Rakul	
Questions of optimal accounting of nonlinearity of the relationship between ndvi and lai indices when conducting phenological measurements of vegetation development	71
M.E. Omarov, S.S. Aliyeva	

Главный редактор В.Е. Ториков – д. с.-х. н., проф. Брянского ГАУ (Брянская область)

Редакционный совет:

Н.М. Белоус – д-р с.-х. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); П.Н. Балабко – д-р биол. наук, профессор МГУ им. М.В. Ломоносова (г. Москва); В.В. Дьяченко – д-р с.-х. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); С.Н. Евдокименко – д-р с.-х. наук, вед. науч. сотрудник ФНЦ Садоводства (г. Москва); А.А. Завалин – акад. РАН, д-р с.-х. наук, профессор ВНИИ агрохимии им. Д.Н. Прянишникова (г. Москва); В.А. Исайчев – д-р с.-х. наук, профессор Ульяновского ГАУ им. П.А. Столыпина (г. Ульяновск); Г.П. Малявко – д-р с.-х. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); А.В. Пасынков – д-р биол. наук, глав. науч. сотрудник Агрофизического НИИ (г. Санкт-Петербург); Т.Ф. Персикова – д-р с.-х. наук, профессор Белорусской ГСХА (г. Горки); С.М. Сычев – д-р с.-х. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); В.Е. Бердышев – д-р техн. наук, профессор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (г. Москва); А.А. Бойко – д-р техн. наук, профеммор ГГТУ имени П.О. Сухого (г. Гомель); Н.Н. Дубенок – акад. РАН, д-р с.-х. наук, профессор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (г. Москва); М.Н. Ерохин – акад. РАН, д-р техн. наук, профессор РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева (г. Москва); А.М. Михальченков – д-р техн. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); Н.И. Гавриченко – д-р биол. наук, профессор Витебской ГАВМ (г. Витебск); Л.Н. Гамко – д-р с.-х. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); Л.Ю. Карпенко – д-р биол. наук, профессор Санкт-Петербургской ГАВМ (г. Санкт-Петербург); С.А. Козлов – д-р биол. наук, профессор Московской ГАВМ им. К.И. Скрябина (г. Москва); Е.Я. Лебедко – д-р с.-х. наук, профессор Брянского ГАУ (Брянская область); Л.А. Танана – д-р с.-х. наук, профессор Гродненского ГАУ (г. Гродно).

Редакторы:

А.А. Осипов – ответственный редактор;
Е.Н. Осипова – технический редактор;
Е.В. Смольский – редактор рубрики/раздела;
А.Г. Менякина – редактор рубрики/раздела;
А.И. Купреенко – редактор рубрики/раздела;
С.Н. Поцепай – корректор переводов;
А.А. Кудрина – библиограф.

ISSN 2500-2651.

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия (Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС77-28094 от 27 апреля 2007 г).

Тираж 250 экз. Подписано в печать 07.10.2024.

Дата выхода в свет 22.10.2024.

Свободная цена.

Адрес редакции и издательства: 243365 Брянская обл., Выгоничский район, с. Кокино, ул. Советская, д. 2а,
E-mail: torikov@bgsha.com.

Сайт: <https://www.bgsha.com/ru/bulletin-bgsha/>

Отпечатано в УМИКЦ ФГБОУ ВО Брянский ГАУ. 243365 Брянская обл., Выгоничский р-н, с. Кокино, ул. Советская, 2а.

© ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 2024

Editor-in-Chief: V.E. Torikov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region)

Editorial Board:

N.M. Belous – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); P.N. Balabko – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Moscow State University named after M.V. Lomonosov (Moscow); V.V. D'yachenko – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); S.N. Evdokimenko – Doctor of Agricultural Sciences of the Federal Horticultural Center for Breeding, Agrotechnology and Nursery (Moscow); A.A. Zavalin – Academician of the Russian Academy of Sciences (RAS), Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the All-Russian Research Institute of Agrochemistry named after D.N. Pryanishnikov. (Moscow); V.A. Isaichev – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Ulyanovsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin (Ulyanovsk); G.P. Malyavko - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); A.V. Pasynkov – Doctor of Biological Sciences, chief researcher of the Agrophysical Research Institute (Saint-Petersburg); T.F. Persikova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Belarusian SAA (Gorki); S.M. Sychyov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); V.E. Berdyshev – Doctor of Technical Sciences, Professor of the RSAU – MAA named after Timiryazev A.A. (Moscow); A.A. Boyko – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor of the Gomel STU named after Sukhoi P.O. (Gomel); N.N. Dubenok – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of the RSAU – MAA named after Timiryazev A.A. (Moscow); M.N. Erokhin – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor of the RSAU – MAA named after Timiryazev A.A. (Moscow); A.M. Mihal'chenkov – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); N.I. Gavrichenko – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Vitebsk SAVM (Vitebsk); L.N. Gamko – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); L.Yu. Karpenko – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Saint-Petersburg SAVM (Saint-Petersburg); S.A. Kozlov – Doctor of Biological Sciences, Professor of the Moscow SAVM named after K.I. Skryabin (Moscow); E.Ya. Lebedko – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Bryansk SAU (Bryansk Region); L.A. Tanana – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Grodno SAU (Grodno).

Editors:

A.A. Osipov – executive editor;
E.N. Osipova – technical editor;
E.V. Smol'ski – column/section editor;
A.G. Menyakina – column/section editor;
A.I. Kupreenko – column/section editor;
S.N. Potsepai – translation corrector;
A.A. Kudrina – bibliographer.

ISSN 2500-2651.

The registration certificate of mass media PI № FS77-28094 of April 27, 2007.

Circulation of 250 copies. Signed to printing - 07.10.2024.

The release date is 22.10.2024.

Free price.

Edition address: 2a Sovetskaya St., Vygonichy District, Bryansk Region, Russia, 243365

E-mail: torikov@bgsha.com.

Website: Сайт: <https://www.bgsha.com/ru/bulletin-bgsha/>

© FSBEI HE Bryansk SAU, 2024



АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT
АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И КАРАНТИН РАСТЕНИЙ
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 631.438:631.82:633.2

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА КОРМОВ НА РАДИОАКТИВНО-ЗАГРЯЗНЕННЫХ
 ЛУГАХ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ПОЙМЫ РЕКИ ИПУТЬ
 ЮГО-ЗАПАДА ЦЕНТРАЛЬНОГО НЕЧЕРНОЗЕМЬЯ**

**Павел Петрович Атрошенко, Виктор Федорович Шаповалов, Елена Михайловна Милютина,
 Светлана Николаевна Поцепай**
 ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Изучено влияние минеральных удобрений различной степени насыщенности (NPK) на урожайность естественного и сеяного травостоя многолетних мятликовых трав на радиоактивно загрязненном участке заливного луга центральной поймы реки Ипуть в Брянской области. Естественные угодья для производства зелёной массы кормов и сенажа требуют мероприятий по улучшению посредством внедрения малозатратных агрохимических приёмов и методик и заменой низкопродуктивного естественного травостоя на сеяные мятликовые энергонасыщенные травостои. Одним из агротехнических мероприятий, способствующих улучшению низкопродуктивных, мелиоративно неустроенных естественных кормовых угодий является поверхностное улучшение в комплексе с агрохимическими мероприятиями. Установлено, что самая высокая урожайность сена многолетних мятликовых трав первого и второго укосов формировалась на фоне поверхностного улучшения в варианте с применением минеральных удобрений под первый укос $N_{60}P_{60}K_{90}$ и $N_{60}K_{90}$ под второй укос. Под влиянием минеральных удобрений отмечено улучшение качественных показателей корма (сырого протеина, сырой золы, каротина). Концентрация нитратного азота в сене многолетних трав первого и второго укосов была ниже предельно допустимого уровня (1000 мг/кг). Последовательно возрастающие дозы калийного удобрения способствовали снижению удельной активности цезия-137 в урожае сена естественного и сеяного травостоя многолетних мятликовых трав ниже допустимого уровня для грубых кормов – 600 Бк/кг. Из этого следует что, химическая и агротехническая мелиорация способствовали повышению продуктивности биомассы травостоя как на лугах естественного, так и искусственного происхождения. Полученные грубые корма первого, так и второго укосов, как естественного травостоя, так и сеяной злаковой травосмеси могут быть использованы на корм сельскохозяйственных животных без ограничений.

Ключевые слова: многолетние травы, поверхностное улучшение, минеральные удобрения, урожайность, качество, цезий-137.

Для цитирования: Эффективность производства кормов на радиоактивно-загрязненных лугах центральной поймы реки Ипуть юго-запада Центрального Нечерноземья / П.П. Атрошенко, В.Ф. Шаповалов, Е.М. Милютина, С.Н. Поцепай // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 3-10.

Original article

**EFFICIENCY OF FEED PRODUCTION IN RADIOACTIVELY CONTAMINATED MEADOWS
 OF THE CENTRAL FLOODPLAIN OF THE SOUTH-WEST OF THE CENTRAL
 NON-BLACK SOIL ZONE**

Pavel P. Atroshenko, Viktor F. Shapovalov, Elena M. Milyutina, Svetlana N. Potsepai
 Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The effect of mineral fertilizers of varying degrees of saturation (NPK) on the productivity of natural and seeded herbage of perennial bluegrasses was studied in a radioactively contaminated area of a flood meadow in the central floodplain of the Iput River in the Bryansk region. Natural grasslands for the production of green mass of feeds and haylage requires improvement measures through the introduction of low-cost agrochemical methods and techniques and the replacement of low-productive natural herbage with seeded bluegrass energy-rich herbage. One of the agrotechnical measures that contributes to the improvement of low-productivity, undeveloped natural feed grasslands is surface improvement in combination with agrochemical measures. It was established that the highest hay yields of perennial bluegrasses of the first and second cuttings was formed against the background of surface improvement in the variant with the use of mineral fertilizers for the first cutting $N_{60}P_{60}K_{90}$ and $N_{60}K_{90}$ for the second cutting. Under the influence of mineral fertilizers, an improvement in the quality feed indicators (crude protein, crude ash, carotene) was noted. The concentration of nitrate nitrogen in the hay of perennial grasses from the first and second cuttings

was below the maximum permissible level (1000 mg/kg). Consistently increasing doses of potassium fertilizer contributed to a decrease in the specific activity of cesium-137 in the hay harvest of natural and seeded herbage of bluegrasses below the established sanitary and hygienic standard for roughages - 600 Bq/kg (VP 13.5.13/06-01). It follows from this that chemical and agrotechnical reclamation contributed to increasing the productivity of herbage biomass in both natural and artificial meadows. The obtained roughages from the first and second cuttings of both natural herbage and sown cereal grass mixture, can be used as feed for farm animals without restrictions.

Key words: perennial grasses, surface improvement, mineral fertilizers, yields, quality, cesium-137.

For citation: Efficiency of feed production in radioactively contaminated meadows of the central floodplain of the south-west of the central Non-black Soil Zone / P.P. Atroshenko, V.F. Shapovalov, E.M. Milyutina, S.N. Potsepai // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. 55 (105). 3-10.

В настоящий период важнейшей задачей для животноводческой отрасли АПК России является создание прочной и устойчивой кормовой базы, где основой сбалансированного кормления сельскохозяйственных животных должно быть организовано производство высокопротеиновых энергосыщенных кормов [1-4].

Естественные луга различной типологии производят достаточное количество биомассы травостоя, однако эти хозяйственные показатели колеблются по годам. Причина значительных динамических изменений в кормопроизводстве – недостаточное число элементов питания, отсутствие мелиоративных мероприятий, иногда – действие вторичных экофакторов в виде колебаний увлажнения, размножения фитофагов. Естественные угодья для производства зелёной массы кормов и сенажа требуют мероприятий по улучшению посредством внедрения малозатратных агрохимических приёмов и методик и заменой низко продуктивного естественного травостоя на сеяные мятликовые энергосыщенные травостои [5,6]. Одним из агротехнических мероприятий, способствующих улучшению низкопродуктивных, мелиоративно неустроенных естественных кормовых угодий является поверхностное улучшение в комплексе с агрохимическими мероприятиями [7, 8]. На территории Брянской области в междуречье Ипути, Десны, Болвы более 490 тыс.га лугов как кормовых угодий естественного происхождения несут следы радиоизотопного загрязнения, поэтому зелёная масса (продукция) таких угодий потенциально участвует в круговороте радионуклидов [9,10]. В биогеохимических циклах радионуклидов в системе «корм – сельскохозяйственные животные» накапливаются загрязнители по правилу кумулятивного эффекта, особенно цезий, вследствие чего продукция животноводства не отвечает нормативным показателям СанПиНов, что создает риск радиационных эффектов облучения населения [11]. В связи с вышеизложенным настоящая статья посвящена выполнению программы по мелиорации и реабилитации луговых экосистем, затрагивающих биокосное тело – почву, косвенно воздействующих на качество травостоя, делая его энергосыщенным, безопасным для содержания поллютантов [13,14,15].

Разработка теоретических основ рационального использования радиоактивно загрязнённых естественных кормовых угодий и внедрение их в практику сельскохозяйственного производства является актуальным направлением исследований на перспективу.

Цель исследований – сравнить результаты реабилитационных мероприятий на лугах естественного происхождения при проведении мелиорации и перезалужении, а также внесении минеральных удобрений.

Условия и методика исследований. Стационарный опыт, заложенный в 1994 г. в Новозыбковском районе Брянской области, включал естественные луговые угодья на участке центральной поймы р. Ипуть. Проведены мелиоративные мероприятия по полному перезалужению. Начальные характеристики почвы включали: аллювиальная дерново-оглеенная песчаная с содержанием органического вещества (по Тюрину) 3,08- 3,33 значения кислотности (рН) – 5,2-5,6, подвижного фосфора – 640-680 мг/кг и обменного калия – 165-180 мг/кг (по Кирсанову). Определение плотности загрязнения Cs 137 в начальный период изысканий – 759-867 кБк/ м². На реперных точках закладывались опыты: 1. Естественный травостой. 2. Поверхностная обработка дернины дисковой бороной БДФ-2,4 в двух направлениях под углом 90° с последующим, фрезерованием почвы фрезой ФБК – 2 в двух направлениях под углом 90°, предпосевное прикатывание почвы катками ЗКВГ – 1,5. Посев травосмеси злаковых трав проводили зернотравяной сеялкой СЗТ-3,6 в конце второй декады августа месяца. Состав злаковой травосмеси: овсяница луговая (*Festuca pratensis*) – 6 кг/га, лисохвост луговой (*Alopecurus pvarensis*) – 5 кг/га, двукосточник тростниковый (*Phalaris arundenacea*) – 7 кг/га.

Минеральные удобрения вносили в форме аммиачной селитры (34,4% N), суперфосфата двойного (48%P₂O₅), калия хлористого (56% K₂O). Азотные и калийные удобрения вносили дробно: половину расчетной дозы под первый укос, вторую половину под второй укос, фосфорные под один прием.

Схема удобрения включила следующие варианты: 1. Контроль (без удобрения); 2. P₆₀K₉₀; 3. N₉₀P₆₀K₆₀; 4. N₉₀P₆₀K₉₀; 5. N₉₀P₆₀K₁₂₀; 6. N₉₀K₁₂₀; 7. N₁₂₀P₆₀K₁₂₀; 8. N₁₂₀P₆₀K₁₅₀; 9. N₁₂₀P₆₀K₁₈₀. Повторность опыта трехкратно, площадь опытной делянки 63 м², расположение вариантов рандомизированное.

Биомассу трав учитывали методом укусов на основе сплошного поделяночного скашивания, применялась косилка Е-302; с не менее 10 реперных укусов вычислялось среднее значение биомассы травостоя. Учётные мероприятия осуществляли в соответствии с рекомендациями по мере отрастания отавной массы – в июне, в августе. Урожайность сена определяли, высушиванием зеленой массы с 1 м² до воздушно-сухого состояния и постоянного веса с последующим пересчетом на урожай сена.

Удельную активность ¹³⁷Cs для проб биомассы при камеральной обработке определяли на комплексе УСК «Гамма Плюс» с программным обеспечением «Прогресс 2000»; учитывали рекомендации по пробоподготовке и проведении измерений в растительных и почвенных образцах. Исследования проводили по общепринятым методикам (15,16), полученные данные подвергали дисперсному и корреляционному анализу с использованием программ Microsoft Excell и 7.0 Statistika 7.0 (Statsoft, Inc. США).

Результаты исследований. При исследовании воздействия комплекса мелиоративных мероприятий на продуктивность биомассы отмечено, что при первом укусе показатели были наименьшие в варианте «контроль», в том числе учитывая и контроль (при поверхностной фоновой обработке почвы), и естественные угодья (таблица 1). В контрольном варианте на естественном травостое урожайность сена первого укуса составила в среднем 1,52 т/га, а по фону поверхностной обработки почвы урожайность сена повышалась на 0,27 т/га. Внесение фосфорно-калийного удобрения P₆₀K₄₅ повышало урожайность сена первого укуса естественного травостоя на 1,57 т/га или в 2.03 раза относительно контроля. В тоже время прибавка биомассы в рассматриваемом варианте опыта (при поверхностной обработке почвы) оказалось на уровне 1,62 т/га или в 1,9 раза в сравнении с контролем. Так как калийные удобрения корректируют скорость и направления миграционных процессов, вследствие повышения количества внесённого калия (до 60 кг/га д.в.) зарегистрировано повышение продуктивности многолетнего травостоя как в лугах естественного происхождения, так и при поверхностной обработке. Внесение азота в дозе 45 кг/ га при использовании калийно-фосфорных удобрений показало эффективность приёма реабилитации в возрастании показателей биомассы травостоя (при сравнительном варианте с контролем) более чем в 2,7 раза. При этом биомасса сена при первом укусе в мятликовой травосмеси увеличилась по сравнению с контролем в 3,4 раза, прибавка контролю составляла 150%. Приём химической мелиорации – внесение калийных удобрений в возрастающих дозах (60 до 75 кг/га д.в.) – показал положительные результаты в возрастании продуктивности травостоя первого укуса многолетних трав как естественного, так и сеяного травостоев. Сравнительная характеристика эффекта влияния внесения азотных и калийных удобрений показала бóльший эффект при применении первых. Аналогичная тенденция в биологическом влиянии выявлена при применении азотных удобрений (60кг/га д.в.) в дополнении к фосфорно-калийному удобрению P₆₀K₆₀, особенно при возрастании действующих доз биогенных элементов. Самые высокие значения показателей биомассы травостоя из мятликовых трав на естественных и сеяных луговых угодьях выявлены для опыта при применении полных минеральных удобрений (соотношение N₆₀P₆₀K₉₀ N:P=1:1,5).

Таблица 1 - Показатели динамики биомассы травостоя (урожайности, т/га) при вариантах мелиоративных опытов с разными дозами удобрений и поверхностной обработке почвы

Вариант	Первый укос						
	Луга естественного происхождения						
	Динамика биомассы				Прибавка		
	2019	2020	2021	среднее	к контролю	от N	от K
Контроль	1,51	1,46	1,58	1,52	-	-	-
P ₆₀ K ₄₅	2,86	2,97	3,44	3,009	1,57	-	-
N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅	5,92	5,35	5,71	5,66	4,14	2,57	-
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	6,21	5,71	6,11	6,01	4,49	-	0,35
N ₄₅ P ₆₀ K ₇₅	6,41	6,12	6,27	6,27	4,75	-	0,61
P ₆₀ K ₄₅	3,12	2,83	3,07	3,00	1,48	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	6,23	6,50	6,54	6,42	4,90	3,42	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	6,29	6,61	6,58	6,49	4,97	-	0,07
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	6,52	6,83	6,621	6,66	5,14	-	0,24
НСР0,5, чист	0,56						
НСР 0.5 – обр, почвы	0,20						
НСР 0.5 – удобрения	0,23						

Продолжение таблицы 1

Второй укос							
Вариант	Луга естественного происхождения						
	Динамика биомассы				Прибавка		
	2019	2020	2021	среднее	к контролю	от N	от K
Контроль	0,58	0,65	0,63	0,62	-	-	-
K ₄₅	1,17	1,44	1,28	1,30	0,68	-	-
N ₄₅ K ₄₅	3,12	3,33	3,06	3,17	25,5	1,87	-
N ₄₅ K ₆₀	4,05	3,51	3,33	3,63	30,1	-	0,46
N ₄₅ K ₇₅	4,39	3,62	3,73	3,91	32,9	-	0,74
K ₆₀	1,42	1,74	1,58	1,58	0,96	-	-
N ₆₀ K ₆₀	4,93	4,28	4,16	4,29	3,67	2,71	-
N ₆₀ K ₇₅	4,56	4,49	4,35	4,47	3,85	-	0,18
N ₆₀ K ₉₀	4,93	4,70	4,63	4,75	4,13	-	0,46
НСП 0,5, част	0,43						
НСП 0.5 – обр, почвы	0,14						
НСП 0.5 – удобрения	0,30						
Первый укос							
Поверхностная обработка (дискование)							
Контроль	1,81	1,69	1,88	1,79	-	-	-
P ₆₀ K ₄₅	3,12	3,46	3,66	3,41	1,62	-	-
N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅	6,59	5,78	5,94	6,10	4,31	2,69	-
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	6,72	6,21	6,34	6,42	4,63	-	0,32
N ₄₅ P ₆₀ K ₇₅	6,93	6,41	6,61	6,65	4,86	-	0,55
P ₆₀ K ₄₅	2,97	3,66	3,99	3,54	1,75	-	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	6,86	6,14	6,43	6,48	4,69	2,94	-
N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	6,95	6,61	6,34	6,63	4,84	-	0,15
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	7,04	6,77	6,61	6,81	5,02	-	0,33
НСП0,5, чист							
НСП 0.5 – обр, почвы							
НСП 0.5 – удобрения							
Второй укос							
Поверхностная обработка (дискование)							
Контроль	0,61	0,65	0,73	0,66	-	-	-
K ₄₅	1,42	1,31	1,62	1,45	0,79	-	-
N ₄₅ K ₄₅	3,87	3,35	3,42	3,45	2,88	2,0	-
N ₄₅ K ₆₀	4,32	3,61	3,58	3,84	3,18	-	0,39
N ₄₅ K ₇₅	4,43	4,22	4,08	4,24	3,58	-	0,79
K ₆₀	1,67	1,77	1,91	1,78	1,07	-	-
N ₆₀ K ₆₀	5,22	4,34	4,25	4,37	3,71	2,59	-
N ₆₀ K ₇₅	5,46	4,53	4,35	4,78	4,12	-	0,41
N ₆₀ K ₉₀	5,88	4,65	4,77	5,10	4,44	-	0,73
НСП 0,5, част							
НСП 0.5 – обр, почвы							
НСП 0.5 – удобрения							

Эффект реабилитационных мероприятий при мелиорации и внесении различных доз минеральных удобрений при анализе динамики биомассы травостоя был аналогичным формированию урожайности трав при первом укосе. Урожайность сена второго укоса в контрольном варианте как естественного, так и сеяного травостоя практически мало различались и составляли 0,62-0,66 т/га. Под влиянием действия фосфорно- калийного удобрения в дозе P₆₀K₄₅ урожайность сена второго укоса увеличивалась на 0,68 т/га по сравнению с контролем на естественном травостое, на сеяной мятликовой травосмеси эффективность фосфорно- калийного удобрения оказалась выше. Более высокие прибавки урожая сена второго укоса относительно контроля были получены от применения азотного удобрения в дозе 45 кг/га д.в, при учёте на реперных лугах естественного происхождения, так и при поверхностной обработке почвы и формировании сеяных луговых травостоев. Прибавка урожайности сена от азотного удобрения на естественном травостое составляла 1,87 т/га, на сеяной злаковой травосмеси 2,0 т/га, или более чем в три раза в сравнении с контролем. Анализ биомассы травостоя (сена) второго укоса показал, что при увеличении калийного удобрения в составе полной минеральной подкормки уменьшаются значения биомассы при контрольных укосах на естественных лугах, так

и в сеяной мятливой смеси. При модификации лугового опыта и внесении увеличивающейся дозы азотных минеральных удобрений до 60 кг/га д.в. выявлено повышение биомассы травостоя во втором укосе. Возрастание биомассы травостоя на реперных площадках луговых сообществ естественного происхождения на 2,71 т/га, на сеяной злаковой травосмеси – на 2,59 т/га, что более чем в три раза превышает урожайность на контрольном варианте.

Увеличение калийного питания от 75 до 90 кг/га д.в. сопровождалось повышением размера биомассы травостоя лугов естественного происхождения, но эти данные были меньше, чем зарегистрированные показатели продуктивности биомассы при подкормке возрастающими дозами азота. Наибольшая продуктивность травостоя (сена) при втором контрольном укосе на лугах сеяных и естественных достигалась агротехническим приёмом при применении полного минерального удобрения в дозе N₉₀K₉₀ (соотношение N:K= 1:1.5).

Таблица 2 - Качественные характеристики фитомассы травостоя лугов различного происхождения в зависимости от мелиоративных мероприятий

Вариант	Естественный травостой				Поверхностная обработка			
	содержание в сухом веществе				содержание в сухом веществе			
	Сырой протеин, %	Сырая зола, %	Каротин мг/ кг	Нитраты, мг/ кг	Сырой протеин, %	Сырая зола, %	Каротин мг/ кг	Нитраты, мг/ кг
Первый укос								
Контроль	10,08	7,29	17,8	178	10,21	7,40	18,6	187
P ₆₀ K ₄₅	10,29	7,55	18,7	210	10,53	7,62	19,0	210
N ₄₅ P ₆₀ K ₄₅	13,96	8,49	24,4	235	14,08	8,53	25,9	231
N ₄₅ P ₆₀ K ₆₀	14,62	8,54	25,3	244	14,69	8,61	26,4	242
N ₄₅ P ₆₀ K ₇₅	14,89	8,70	26,4	249	15,13	8,74	26,9	250
P ₆₀ K ₆₀	11,60	7,57	24,1	218	11,85	8,59	25,0	216
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	14,50	8,63	27,6	254	14,72	8,67	29,7	253
N ₆₀ P ₆₀ K ₇₅	15,04	8,93	30,5	260	15,19	8,97	31,9	269
N ₆₀ P ₆₀ K ₉₀	15,24	9,36	31,9	266	15,56	9,32	32,6	274
НСП 0,5, част	0,53	0,02	3,3	7,2				
НСП0,5 – обр, почвы	0,18	0,01	1,2	2,0				
НСП 0,5 – удобрения	0,36	0,01	2,4	5,3				
Второй укос								
Контроль	8,83	7,33	15,6	243	8,93	7,38	15,9	241
K ₄₅	9,52	8,10	22,3	256	9,65	8,12	23,0	252
N ₄₅ K ₄₅	10,46	8,27	25,7	270	10,67	8,29	26,5	265
N ₄₅ K ₆₀	12,19	8,40	26,6	294	12,42	8,40	27,5	293
N ₄₅ K ₇₅	14,79	8,44	31,2	337	14,73	8,47	32,3	341
K ₆₀	9,69	8,15	23,3	358	9,76	8,18	23,9	362
N ₆₀ K ₆₀	13,66	4,41	30,7	368	13,69	8,44	31,1	366
N ₆₀ K ₇₅	13,98	8,45	31,4	372	14,00	8,48	32,6	371
N ₆₀ K ₉₀	14,44	8,47	32,3	384	14,51	5,53	33,4	383
НСП 0,5, чист	0,16	0,02	2,2	8,8				
НСП 0,5 – обр, почвы	0,05	0,01	1,1	2,9				
НСП 0,5 – удобрения	0,11	0,01	1,8	6,2				

Качественные показатели зелёного корма при контрольных укосах на лугах в опытах и контроле показали динамику в содержании ионов, веществ и элементов в зависимости от мелиоративных мероприятий. Химический анализ подтвердил улучшение качественных показателей травостоя (сена) многолетних растений (табл. 2). В среднем за годы исследований содержание сырого протеина в сене первого укоса естественного травостоя на контрольном варианте составляло 10,08%, в сене сеяной злаковой травосмеси -10,21%. При внесении совместно действующих фосфорно-калийных удобрений зарегистрировано увеличение показателей сырого протеина на сеяных и естественных лугах делянок. При применении полного минерального удобрения выявлялся значительный прирост показателей кормовых качеств сена: содержание сырого белка в сене первого контрольного укоса на лугах естественного под влиянием азотного удобрения в дозе 45 кг/мг д.в. на фоне P₆₀K₄₅ повышалось на 3,67%, а в сене сеяной злаковой травосмеси – на 3,55% по сравнению с фосфорно- калийным фоном.

На реперных площадках в опыте при возрастании вносимых доз калия (60 и 75 кг/*га д.в.) при применении полной инеральной подкормки диагностировано увеличение содержания сырого белка в травостое при первом контрольном укосе как в контроле, так и на сеяных мятликовыми травами луговых реперах. Так, содержание сырого протеина в сене первого укоса естественного травостоя в варианте $N_{45}P_{60}K_{60}$ увеличивалась по сравнению с вариантом $N_{45}P_{60}K_{45}$ на 0,66%, а по сравнению с вариантом $N_{45}P_{60}K_{75}$ на 0,93%, в сене сеяной злаковой травосмеси содержание сырого протеина увеличивалось в этих вариантах соответственно на 0,61 и 1,05% соответственно. Как и для опытов, регистрирующих количество биомассы травостоя лугов, при увеличении вносимых К и Р до 60 кг/*га д.в. повышались значения сырого белка при первом укосе естественных и сеяных мятликовыми смесями делянках: в естественном травостое относительно варианта $P_{60}K_{45}$ – на 1,31%, в сене сеяной травосмеси – на 1,32%. При полном минеральном удобрении и возрастании азота (до 60кг/га д.в.) увеличивалось содержание сырого протеина для первого контрольного укоса с 11,60 до 14,50 %, а в сене первого укоса сеяной злаковой травосмеси – с 11,85 до 14,71%. Сырой протеин возрастал и при увеличении калия в действующем веществе удобрений (варианты $N_{60}P_{60}K_{75}$ и $N_{60}P_{60}K_{90}$) для травостоя укосов на естественном травостое и сеяном лугу. При соотношении во вносимых на лугах естественного и сеяного происхождения азота и калия 1:1,5 диагностировано наибольшая концентрация сырого белка.

Во втором укосе анализ травостоя на сырой белок показало уменьшение среднего содержания сырого белка: в сене травостоя естественного луга по вариантам опыта в пределах 8,83-14,44%, в сене второго укоса сеяной злаковой травосмеси – в пределах 8,93-14,51%. Минеральные удобрения, соотношения элементов действующих веществ, оказывали аналогичное влияние на концентрацию сырого протеина в травостое лугов как естественного, так и искусственного происхождения в первом и втором контрольных укосах. Динамика содержания золы и каротина при применении минеральных удобрений показали увеличение значений концентрации в травостое лугов в первом и втором укосе независимо от их происхождения. Наименьшее значения этих показателей отмечено на контрольном варианте, наибольшее в варианте $N_{60}P_{60}K_{90}$ в первом укосе и варианте $N_{60}K_{90}$ во втором укосе как в сене естественного травостоя, так и в сене сеяной злаковой травосмеси.

Содержание азота нитритного происхождения выявлена как минимальные показатели (ниже нормативных значений) при химической мелиорации и реабилитации лугов, особенно для сеяных травостоев (ниже 1000 мг/кг).

При сравнительной характеристике удельной активности (УА) радионуклида ^{137}Cs выявлены динамические процессы, указывающие на снижение этого показателя. В травостое контрольных делянок УА ^{137}Cs – в среднем 3496 Бк/кг, при агротехнических мероприятиях наблюдалось снижение УА до 2242 Бк/кг (табл.3.). Применение калийно-фосфорного удобрения способствовало снижению УА ^{137}Cs в травостое естественных лугов первого контрольного укоса в 7,2 раза, при поверхностном улучшении в 6,2 раза относительно контрольного варианта.

Таблица 3 - Показатели удельной активности ^{137}Cs при агротехнических мероприятиях мелиорации в травостое лугов разного происхождения

Вариант	Естественный укос		Поверхностная обработка	
	Первый укос	Второй укос	Первый укос	Второй укос
Контроль	3496	3476	2242	2171
$P_{60}K_{90}$	486	436	363	341
$N_{90}P_{60}K_{90}$	1304	1015	826	784
$N_{90}P_{60}K_{120}$	746	658	265	452
$N_{90}P_{60}K_{150}$	376	342	268	253
$P_{60}K_{120}$	358	301	246	233
$N_{120}P_{60}K_{120}$	481	433	366	337
$N_{120}P_{60}K_{150}$	312	309	296	281
$N_{120}P_{60}K_{180}$	266	244	242	221
НСР0,5, общая	48	31		
НСР0,5 – обр, почвы	15	11		
НСР0,5 – удобрения	33	21		

Азотные удобрения при дозе 45 кг/га д.в. способствовали возрастанию УА ^{137}Cs в травостое лугов как естественных, так и сеяных более чем в 1,9 раза по сравнению с применением калийно-фосфорных удобрений (сравнение с фоном $P_{60}K_{45}$). Повышению доз калия с 60 до 75 кг/га д.в. уменьшали показатели УА ^{137}Cs в биомассе травостоя естественных и сеяных мятликовых лугов (сравнение с вариантом $N_{45}P_{60}K_{45}$): в 1,75-3,47 и 3,11-3,14 раза соответственно. Кормовая травосмесь

в варианте вносимого K_{75} по УА ^{137}Cs при проведении радионуклидного анализа соответствовала санитарно-гигиеническим нормативам. При внесении $P_{60}K_{60}$ отмечено уменьшение удельной активности цезия-137 в сене первого укоса естественного травостоя в сравнении с вариантом $P_{60}K_{45}$ в 1,36 раза, в сене сеяной травосмеси 1,47 раза.

Применение азотного удобрения N_{60} в составе $P_{60}K_{60}$ повышали цифры УА ^{137}Cs в травостое первого контрольного укоса на естественных лугах по сравнению с вариантом $P_{60}K_{60}$ в 1,34 раза, а в травостое сеяных лугов на делянках – в 1,47 раза.

Повышение доз калийных удобрений (от K_{75} , K_{90}) в составе $N_{60}P_{60}$ вызывало уменьшение в травостое показателей УА ^{137}Cs при сравнении с вариантом $N_{60}P_{60}K_{60}$ на естественном травостое в 1,5-1,8 раза, на фоне поверхностного улучшения в 1,4-1,5 раза. Данные по УА ^{137}Cs в сене на естественных лугах выявили показатели в 312-266 Бк/кг, в сене сеяной травосмеси – 296-242 Бк/кг (норматив – 400 Бк/кг).

УА ^{137}Cs для травостоя второго контрольного укоса регистрировалась ниже, чем для травостоя первого. Так, в контрольном варианте в сене естественного травостоя удельная активность цезия-137 составила в среднем 3476 Бк/кг, в сене сеяной злаковой травосмеси удельная активность цезия-137 была в среднем на уровне 2171 Бк/кг. Показатели УА ^{137}Cs контролируются вносимыми минеральными удобрениями: азотные удобрения способствовали возрастанию показателей УА, последовательно возрастающие дозы K – уменьшению в травостое контрольного второго укоса.

Таким образом, химическая и агротехническая мелиорация способствовали повышению продуктивности биомассы травостоя как на лугах естественного, так и искусственного происхождения. При проведении защитных мероприятий на радиоактивных лугах центральной поймы применение полного минерального удобрения $N_{60}P_{60}K_{90}$ обеспечивает формирование урожая сена первого укоса естественного травостоя в 6,66 т/га, применение полного минерального удобрения $N_{60}K_{90}$ способствует получению урожайности сена второго укоса порядка 4,75 т/га. Применение такой же системы удобрений способствует формированию урожая сена первого укоса сеяной мятликовой травосмеси на уровне 6,81 т/га, второго укоса порядка 5,10 т/га с высокими показателями качества, при удельной активности цезия-137 в корме не превышающей действующий санитарно-гигиенический норматив (ВП 13,513/06-0,1). Полученные грубые корма первого, так и второго укосов, как естественного травостоя, так и сеяной злаковой травосмеси могут быть использованы на корм сельскохозяйственных животных без ограничений.

Список источников

1. Косолапов В.М., Трофимов И.А. Проблемы и перспективы развития кормопроизводства // Кормопроизводство. 2011. № 2. С. 4-7.
2. Эффективность мероприятий по улучшению продуктивности сенокосов / Е.В. Смольский, Л.П. Харкевич, С.Ф. Чесалин и др. // Агротехнический вестник. 2015. № 5. С. 25-28.
3. Белоус Н.М., Шаповалов В.Ф., Смольский Е.В. Системы удобрений полевого и лугового кормопроизводства в условиях радиоактивного загрязнения территории // Плодородие. 2016. № 5 (92). С. 34-28.
4. Состояние и перспективы развития кормопроизводства / А.А. Кутузова, А.С. Шпаков, В.М. Косолапов и др. // Кормопроизводство. 2021. № 2. С. 3-8.
5. Влияние удобрений и агротехнологических мероприятий при производстве сена многолетних трав на пойменном лугу радиоактивного загрязнения / Л.П. Харкевич, В.Ф. Шаповалов, Е.В. Смольский и др. // Агротехнический вестник. 2017. № 3. С. 15-18.
6. Эффективность защитных мероприятий при улучшении радиоактивно загрязненных пойменных кормовых угодий в отдаленный период после аварии на ЧАЭС / Н.Н. Бокатуро, С.Н. Поцепай, Н.М. Белоус и др. // Кормопроизводство. 2018. № 2. С. 11-16.
7. Ковшова В.Н. Низкозатратные приемы поверхностного улучшения старовозрастных пастбищ и абсолютных суходолов // Кормопроизводство. 2011. № 2. С. 13-15.
8. Эффективность защитных мероприятий при возделывании многолетних трав на радиоактивно загрязненных пойменных лугах / Н.Н. Бокатуро, А.А. Справцев, С.Н. Поцепай, Н.М. Белоус // Агротехнический вестник. 2020. № 1. С. 65-70.
9. Алексахин Р.М., Лунев М.М., Техногенное загрязнение сельскохозяйственных угодий (исследование, контроль и реабилитация территорий) // Плодородие. 2011. № 3. С. 32-35.
10. Применение минеральных удобрений в условиях радиоактивно загрязненного пойменного луга / Е.В. Смольский, Н.М. Белоус, В.Ф. Шаповалов и др. // Агротехнический вестник. 2018. № 1. С. 87-96.
11. Improving The Efficiency Of Monitoring Of Natural And Seeded Forage Grasslands In The Territories Of Technogenic Pollution In The Non-Black Soil Zone Of The Russian Federation / S.N. Potsepai, L.N.

Anishchenko, S.A. Belchenko et al. // International Journal Of Control And Automation. 2020. Т. 13, № 1. С. 54-72.

12. Роль минеральных удобрений при использовании радиоактивно загрязненных лугов в качестве сенокоса / Е.В. Смольский, А.Л. Силаев, В.Е. Мамеева, К.А. Сердюкова // Вестник Курской ГСХА. 2019. № 3. С. 42-47.

13. Радиоэкологическая оценка калийных удобрений в кормопроизводстве в отдельный период после аварии на Чернобыльской АЭС / В.Ф. Чесалин, В.Ф. Шаповалов, Г.П. Малявко и др. // Плодородие. 2021. № 5. С. 90-94.

14. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта с основами статистической обработки результатов исследований. М.: Агропромиздат, 1985. 135 с.

15. Методические указания по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями. Ч. 1. М.: ВИУА, 1975. 167 с.

Информация об авторах

П. П. Атрошенко – аспирант кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

В.Ф. Шаповалов – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Е.М. Милютин – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры информатики, информационных систем и технологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

С.Н. Поцепай – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Information about the authors

P. P. Atroshenko – Postgraduate student of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University

V.F. Shapovalov – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University.

E.M. Milyutina – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Informatics, Information Systems and Technologies, Bryansk State Agrarian University.

S.N. Potsepai - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Foreign Languages, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024 .

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024 .

© Атрошенко П.П., Шаповалов В.Ф., Милютин Е.М., Поцепай С.Н.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО (СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Обзорная статья
УДК 633:631.5

ОТ АГРОТЕХНИКИ ДО ВЫСОКОЭФФЕКТИВНЫХ АГРОТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР

**Владимир Ефимович Ториков, Александр Федорович Шустов, Ольга Владимировна Мельникова,
Алексей Андреевич Осипов**
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В основе классификации агротехнологий выращивания сельскохозяйственных культур лежит целый ряд принципиальных положений. Это уровень применения элементов биологизации – севооборотов, органических удобрений, биологических и механических средств защиты, сортов и масштабы использования средств химизации. На этой основе выделяют следующие виды агротехнологий: биологические (преимущественное использование средств биологизации земледелия и ограниченное применение минеральных удобрений (NPK)₃₀₋₄₅ и пестицидов; интенсивные (полное использование возможных биологических средств и средний уровень применения минеральных удобрений (NPK)₆₀₋₉₀ и высокий - пестицидов; высокие (рассчитанные на получение потенциальной урожайности культур с применением минеральных удобрений (NPK)₁₂₀₋₁₈₀ с высокой пестицидной нагрузкой по фону использования средств биологизации с частичной заменой последних. К этим видам технологий сформулированы требования, которые должны неукоснительно выполняться применительно к условиям конкретных севооборотов, полей с учетом биологии сортов сельскохозяйственных культур. В агротехнологии на этой основе вводятся соответствующие этим требованиям приемы, способы и операции. Успешное развитие современного земледелия требует новых знаний об особенностях реализации продуктивности возделываемого сорта или гибрида. Рациональное использование почвенно-климатических условий и научно-обоснованное применения минеральных и органических удобрений, материально-технических средств и других составляющих агротехнологий должно учитываться при внедрении программированного уровня урожайности возделываемого сорта.

Ключевые слова: земледелие, агротехника, агротехнология, интенсификация, программирование, урожайность.

Для цитирования: От агротехники до высокоэффективных агротехнологий возделывания полевых культур / В.Е. Ториков, А.Ф. Шустов, О.В. Мельникова, А.А. Осипов // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 11-17.

Review article

FROM AGRICULTURAL MACHINERY TO HIGHLY EFFICIENT AGRICULTURAL TECHNOLOGIES OF FIELD CROP CULTIVATION

Vladimir E. Torikov, Alexander F. Shustov, Olga V. Mel'nikova, Alexey A. Osipov
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The classification of agricultural technologies for growing crops is based on a number of fundamental provisions. This is the level of application of the biologization elements – crop rotations, organic fertilizers, biological and mechanical means of protection, varieties and scale of use of chemicalization means. On this basis, the following types of agrotechnologies are distinguished: biological (preferential use of farming biologization means and limited use of mineral fertilizers (NPK)₃₀₋₄₅ and pesticides; intensive (full use of possible biological means and an average level of use of mineral fertilizers (NPK)₆₀₋₉₀ and high one - pesticides; high (calculated to obtain potential yields using mineral fertilizers (NPK)₁₂₀₋₁₈₀ with a high pesticide load on the background of the use of biologization agents with partial replacement of the latter. Requirements have been formulated for these types of technologies, which must be strictly fulfilled in relation to the conditions of specific crop rotations, fields, taking into account the biology of crop varieties. In agrotechnology, techniques, methods and operations corresponding to these requirements are introduced on this basis. The successful development of modern farming requires new knowledge about the specifics of realizing the productivity of the cultivated variety or hybrid. The rational use of soil and climatic conditions and the scientifically justified use of mineral and organic fertilizers, material and technical means and other components of agricultural technologies should be taken into account when introducing a programmed yields level of the cultivated variety.

Key words: farming, agricultural mashinery, agrotechnology, intensification, programming, yields.

For citation: From agricultural machinery to highly efficient agricultural technologies of field crop cultivation / V.E. Torikov, A.F. Shustov, O.V. Melnikova, A.A. Osipov // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 11-17.

Введение. В агрономической науке понятие «агротехнология» является новым. Ранее чаще всего употреблялся термин «агротехника». Применительно к производству сельскохозяйственной растениеводческой продукции его можно трактовать: «Технология производства продукции растениеводства – система мероприятий по выращиванию той или иной культуры, выполняемых на основе ее биологии и агротехнических требований в строго определенной последовательности и оптимальные сроки для получения урожайности соответствующего уровня и качества» [11].

В условиях Западной Европы интенсификация земледелия и успехи селекционной науки позволили сделать ощутимый прорыв в развитии земледелия. Академик Кирюшин В.И. считает, что главным событием в этом направлении явилось технологическая революция в области производства зерна в 70-80 годы [3].

Первая высокая технология выращивания озимой пшеницы была разработана в Бельгии в условиях влажного, мягкого климата на плодородных суглинистых почвах. Несколько позднее - в Бельгии. В Германии на землях Шлейзвинг-Гольштейн была предложена другая технология для менее благоприятных почвенно-климатических условий (более холодная зима, тяжелые и менее плодородные почвы). Технология была приспособлена к более длинному световому дню.

Вслед за бельгийской и германской технологиями появились различные их варианты: ICI (Великобритания), BASF (Германия), MVA (Бельгия) и другие. Эти технологии обеспечивают в производственных условиях урожайность озимой пшеницы 70-100 ц/га зерна. Подобная технологическая революция позволила западноевропейским странам перейти рубеж средней урожайности зерновых 50 ц/га, а пшеницы 60-70 ц/га. Освоение подобных технологий в США окончилось неудачей в связи с менее благоприятными условиями (недостаток влаги). Америка пошла по пути освоения технологии MEY (maximum economic yield) – экономически наиболее выгодной урожайности. Внедрение интенсивных западно-европейских технологий в 80 годы прошлого столетия неудачей окончилось и в России [15].

Причины этого известны: неподготовленность кадров, отсутствие в нужном объеме технических средств для эффективного использования средств химизации, относительно низкий общий уровень культуры земледелия.

Несомненно, решающее значение для освоения интенсивных технологий имеет научно-обоснованное и разумное использование минеральных удобрений и пестицидов. Опыт стран Западной Европы свидетельствует и о негативных сторонах химизации: ухудшение качества продукции вследствие загрязнения, снижение устойчивости культур к болезням, загрязнение окружающей среды и т.д. К концу прошлого столетия использование минеральных удобрений достигло почти 150 млн. т действующего вещества и продолжает расти. Центр их использования постепенно переместился в Азию (Малайзия, Египет, Япония и Китай). Это связано с демографией и обеспеченностью государств пашней. В странах Западной Европы и в перечисленных государствах Азии в расчете на одного жителя приходится от 0,05 до 0,1 га пашни, тогда как в России около 1 га. Поэтому земледелие в России должно вестись на других принципах и основе [10,11].

Сегодня перед земледелием России стоит задача резко повысить масштабы использования биоресурсов (плодосменные севообороты, расширение посевных площадей бобовых культур, увеличение объемов использования органических удобрений (навоза, компостов, зеленого удобрения, соломы, проведение комплекса агротехнических механических мер) и на этом фоне постепенно наращивать объемы внесения минеральных удобрений. Такое направление должно быть наиболее приемлемым почти для всех регионов России (за исключением сложившихся зон интенсивного использования средств химизации) и почти по всем хозяйствам областей и краев, кроме отдельных хозяйств, работающих по типу, близкому к западно-европейскому. Таких хозяйств немного – от 5 до 10 на область или край. Вот отсюда вытекает вывод о том, что совершенствование технологий выращивания сельскохозяйственных культур должно идти в направлении их биологизации на большей части пахотных угодий (80-90%) России [10].

Результаты исследований и их обсуждение. К агротехнологиям предъявляются высокие требования. Технология возделывания той или иной культуры должна соответствовать почвенно-климатическим условиям зоны, региона, севооборота и конкретного поля. Кроме того, она должна быть адаптирована к приемам выращивания. Все показатели адаптивности технологий устанавливаются экспериментально по результатам проведения многолетних полевых опытов.

Разработанная и внедряемая технология должна обеспечить высокую урожайность. Так, если говорить об увеличении производства зерна, то получив урожайность 25-30 ц/га можно обеспечить валовой сбор его в России 125-150 млн. тонн. Этого количества с избытком достаточно для продовольственных и фуражных целей и в условиях восстановления поголовья сельскохозяйственных животных до уровня 80-90 годов прошлого столетия. Такую урожайность вполне можно получить при

разумной биологизации земледелия и научно-обоснованном использовании средств химизации.

Выращенная продукция должна иметь хорошее качество. При использовании на продовольственные цели качество зерна, прежде всего, пшеницы, можно существенно повысить за счет дробного внесения азотных удобрений (поздние подкормки). Высокие качественные показатели клубней картофеля можно сохранить путем использования высокоэффективных экологически безопасных фунгицидов против фитофтороза и инсектицидов для уничтожения колорадского жука. В условиях биологизации без применения этих средств не обойтись.

Затраты энергии и средств резко увеличиваются при интенсивном использовании средств химизации. На их долю приходится 50% и более энергозатрат. Так, в технологиях с максимальным уровнем биологизации и ограниченном применении минеральных туков и пестицидов общие энергозатраты составляют 16-18 ГДж/га, в интенсивных технологиях – 24-28 ГДж и в высоких технологиях – 35-40 ГДж. Соответственно идет распределение энергозатрат в технологиях при возрастающем уровне применения средств химизации и по другим сельскохозяйственным культурам. При этом коэффициент энергетической эффективности падает, а энергосебестоимость возрастает [13].

Для характеристики экономической эффективности обычно используются такие основные показатели – себестоимость единицы продукции, чистый доход, окупаемость затрат и рентабельность. Данные по экономической эффективности положительно коррелируют с энергетической эффективностью технологий [11].

Технология должна иметь почвозащитный и природоохранный характер. Развитие эрозионных процессов на склоновых землях в регионах с достаточным и избыточным увлажнением и дефляции – в зонах с недостатком влаги и интенсивным ветровым режимом требует включения в технологии соответствующих эффективных технологических приемов: вспашки поперек склонов и по горизонталям, оставления на поверхности почвы растительных остатков, глубокого безотвального рыхления и других агроприемов [12].

Технология должна строиться на принципах биологизации. Понятие биологизации технологий не следует понимать абсолютно. Было бы ошибочно полное отрицание применения средств химизации. К основным приемам и способам биологизации следует отнести: севооборот; внесение навоза, компостов, зеленого удобрения и соломы; применение биологических средств защиты растений; механические средства борьбы с сорными растениями и др. Они должны использоваться в полной мере без замены их на средства химизации.

В ближайшем обозримом будущем развитие технологий выращивания сельскохозяйственных культур в России будет происходить на фоне невысокого (умеренного) уровня химизации. Исключения могут составить лишь некоторые регионы и хозяйства, в которых в полной мере или частично освоены западноевропейские интенсивные технологии. Такое направление развития вполне оправданно в экологическом и экономическом отношениях.

В условиях биологизации полнее можно сохранить плодородие почв, о чем свидетельствуют многочисленные результаты длительных полевых опытов. Однако это возможно в том случае, если применяются все необходимые средства биологизации. При этом плодородие даже повышается, так как снижаются темпы минерализации органического вещества почвы [16].

Разрабатываемые и внедряемые в производство индустриальные технологии должны отличаться высоким уровнем механизации. Полная механизация технологических процессов снижает затраты энергии и материальных ресурсов, удешевляет продукцию, резко возрастает производительность труда и т.д. Особенно перспективно использование комбинированных и модульных агрегатов [9].

В иерархии систем сельскохозяйственного производства любая агротехнология является сложной динамической системой, все составляющие части которой взаимозависимы и взаимообусловлены. В настоящее время использование программирования урожайности способствует оптимизации агрофитоценозов для получения максимальной продуктивности и повышения качества продукции [1,8].

Исключительно большое значение имеет блок биотических (биологических) факторов: наличие сорных растений в посевах, поражение и повреждения посевов вредными микроорганизмами, азотфиксация у бобовых растений, биологический потенциал культур и сортов.

Блок абиотических факторов, от напряженности которых в решающей степени зависит продуктивность культур, включает климатические условия (солнечная радиация, тепло, осадки), эдафические факторы (агрофизические, агрохимические свойства почвы, ее биологические показатели) и топографию (связано с рельефом местности).

Блок научно-технических факторов представлен научными принципами разработки агротехнологий, уровнем развития систем машин, энергетики и транспорта, а также агросервисом и производственной инфраструктурой [2].

Блок социальных факторов является одним из главных, так как его полная реализация позволит более полно и эффективно задействовать человеческий фактор, повысить квалификацию работников всех уровней и создать на селе достойную социальную инфраструктуру [9].

Экономический блок, прежде всего, представлен интересами сельских производителей, которые определяются ценами на продукцию, ее спросом и финансовой политикой, проводимой государством.

Несомненно, сильное воздействие на освоение технологий оказывает блок политических факторов, связанных с внутренним и внешним положением, аграрной политикой государства и развитием рыночных отношений.

Организационный блок факторов также существенен для освоения технологий, и он представлен фирмами организации труда, оплаты его, менеджментом, правовыми положениями и технологической дисциплиной.

Энергетический блок как бы дублирует экономический, но учитывая его важность на современном этапе и объективность, этому блоку следует уделять соответствующее внимание. В структуре энергозатрат по технологиям более 70% приходится на средства химизации, ГСМ и сельскохозяйственную технику. Таким образом, технологии выращивания сельскохозяйственных культур являются сложными системами и требуют разработки с использованием системного подхода [7].

В разработке современных аграрных технологий выращивания сельскохозяйственных культур имеется ряд направлений.

Первым направлением является программирование урожая, которое продолжительное время разрабатывалось академиком И.С. Шатиловым и профессором М.К. Каюмовым. Оно сводилось к расчету при помощи моделей экологически и экономически обоснованной урожайности с заданной вероятностью и к практической разработке комплекса взаимосвязанных хозяйственных и агротехнических мер [13].

Другое направление получило свое развитие в 70-80-е годы в виде моделирования продукционного процесса в агрофитоценозах. Достаточно широко известны модели Х.Г. Тооминга, Ю.К. Росса, Р.А. Полуэктова, Н.Ф. Бондаренко, Ю.В. Сеппа и др. Эти модели открывают возможность объединения знаний по различным направлениям – физиологии растений, метеорологии, агрономии в единое целое, чтобы изучить, как функционирует и меняется состояние посева во времени и как формируется его урожай. Первостепенная задача такого рода моделирования – оценка ресурсов продуктивности в разных почвенно-климатических условиях [2,4].

Третье направление связано с необходимостью осуществления определенной технологической и технической политики. Как следствие этого явилась необходимость ведения федеральных и региональных регистров технологий производства сельскохозяйственной продукции, которые представляют из себя свод типизированных базовых технологий и технологических адаптеров. Такая работа на федеральном уровне выполнена под руководством академиков Н.В. Краснощекова и В.И. Кирюшина [3]. Дело за развитием и внедрением этой работы в региональном аспекте.

Для этого необходимо проведение длительных полевых опытов комплексного характера на основе применения системного подхода.

Длительные технологические стационары должны закладываться в региональных НИИ и центрах, состоять из серии сравнимых вариантов технологий.

В качестве примера можно привести длительный стационарный опыт Брянского ГАУ, проводимый уже в течение более 40 лет [10,11,13].

При разработке схемы заложены следующие основные принципы:

- Определение ведущих звеньев технологий. Для условий юго-западных районов центра Черноземной зоны России – это севообороты, густота посевов, способы основной обработки почвы, системы использования органических и минеральных удобрений, система защиты растений и сорта. Другие агроприемы, являясь необходимыми, включаются в варианты технологий в соответствии с ведущими звеньями.

- Выбор севооборотов. В исследованиях по разработке интенсивных технологий избран плодосменный севооборот, в схему которого включены зернобобовые культуры, пшеница, картофель, ячмень, озимая тритикале, соя, кукуруза. Для условий зоны наиболее приемлемы севообороты такого вида, т.к. они максимально работают на плодородие почвы и урожайность с.-х. культур.

- Включение в полевые стационарные опыты по разработке технологических приемов основной обработки почвы, существенно различающихся по степени воздействия на агрофизические свойства почвы, по размещению органических удобрений в пахотном слое и степени их разложения, по производительности. Такими способами основной обработки являются вспашка, плоскорезная и поверхностная обработка.

- Обеспечение бездефицитного баланса гумуса в почве. Применительно к серым лесным почвам такой баланс может быть достигнут при внесении на 1 га 15 т органических удобрений. В полевых опытах Брянского ГАУ он достигнут путем внесения навоза (компоста), выращивания промежуточных культур на зеленое удобрение и непосредственного внесения соломы на удобрение.

- Система применения минеральных туков должна базироваться на методах определения норм и доз (лучше с использованием нормативов затрат минеральных удобрений в действующем веществе на 1 ц продукции), а также на локальном внесении туков. Нормы удобрений рассчитываются на планируемый уровень урожая.

- Защита растений в опыте носит интегрированный характер, основываясь на предупредительных агротехнических и биологических средствах борьбы, а ее варианты включают химические меры как дополнительные с разной степенью насыщенности.

- Густоте стояния растений следует уделять исключительное внимание как важному условию реализации продуктивности культур. В исследованиях нужно иметь две градации норм посева – полную и половинную. Это связано, прежде всего, с фонами питания и в целом с уровнем агротехники в разных вариантах.

- В полевых опытах по разработке технологий возделывания необходимо иметь их варианты без применения средств химизации, т.е. биологические технологии. Они позволяют дать ответы на вопросы, связанные с качеством растениеводческой продукции, загрязнением почвы и окружающей среды. Эти экологически безопасные технологии в опыте являются контролем.

- Все другие агротехнические приемы включаются в варианты изучаемых технологий в соответствии с основной, составленной из ведущих звеньев. Следовательно, варианты технологий различаются не по одному, а по ряду приемов, т.е. принцип единственного различия выступает в ранге технологий, что не противоречит методике полевого опыта.

- Полевые стационарные опыты подобного типа может проводиться бесконечно долго, а технологии непрерывно совершенствоваться по мере появления новых эффективных приемов и средств агротехники. Через определенные интервалы (3-5 лет) для сельскохозяйственного производства могут быть рекомендованы наиболее приемлемые усовершенствованные технологии.

Технологии возделывания сельскохозяйственных культур необходимо разрабатывать на планируемый уровень урожайности, который определяется не только степенью влаго- и теплообеспеченностью, но и хозяйственными, социальными условиями и развитием технической деятельности сельхозтоваропроизводителей [17,18].

Исследования по разработке и внедрению технологий выращивания сельскохозяйственных культур должны осуществляться по программе:

этап 1 – обобщение результатов, полученных в факториальных опытах; этап 2 – стационар по разработке и совершенствованию технологий;

этап 3 – демонстрационный севооборот (производственная оценка). После этого сельскохозяйственному производству выдается агропаспорт на достигнутый уровень урожайности. Весь цикл от разработки до внедрения технологий должен занимать не более 3-5 лет, технологических систем – одну ротацию севооборота.

Таким образом, предлагаемый системный подход к проведению исследований позволит объединить в выполнении научно-исследовательской работы усилия ученых разных специальностей, сделает исследования более эффективными, будет способствовать всесторонней оценке изменений в системе «почва – растение – воздух» и эффективному на них воздействию, ускорит процесс разработки и внедрения адаптивных технологических систем [5,14].

Современные базовые технологии возделывания полевых культур включают следующие звенья:

- *Выбор предшественника.* Он осуществляется исходя из учения о предшественниках с таким расчетом, чтобы не снижалось почвенное плодородие, а культура, выращиваемая после предшественника, не подвергалась сильному отрицательному воздействию сорняков, вредителей и болезней.

- *Основной и предпосевной обработки почвы.* Она не должна способствовать снижению гумуса в почве, а призвана обеспечить прекращение эрозионных процессов и снижение засоренности полей, ослаблению негативного влияния вредителей и болезней.

- *Удобрение.* В этом звене необходимо предусмотреть преимущественное применение органических удобрений, локальное использование расчетных норм минеральных туков.

- *Сорта* подбираются с учетом выхода на определенный уровень интенсификации выращивания, а для этого должна быть проведена предварительная их оценка по продуктивности и качеству продукции при разных уровнях использования средств химизации - минеральных удобрений и пестицидов.

цидов. В большинстве регионов России должны выращиваться сорта среднего уровня интенсивности.

- *Подготовка семян к посеву.* В процессе подготовки семян и посадочного материала должны преобладать экологически безопасные приемы и особо следует подчеркнуть целесообразность проведения протравливания и выбора технологии его проведения. При необходимости его выполнения необходимо избрать способ протравливания при загрузке семян, как это выполняется при использовании посевных комбинированных агрегатов типа «Кузбасс».

- *Посев.* В технологиях находят отражение сроки, способы, нормы высева семян и глубина их заделки в почву. Сроки посева определяются в связи с почвенно-климатическими условиями регионов, способы посева зависят от культур, нормы высева от культуры земледелия в целом, и, особенно, фона питания, а глубина заделки семян – от их крупности, гранулометрического состава почвы и влагообеспеченности.

- *Уход за посевами.* Система ухода зависит от биологии культур и особенностей технологий выращивания. Прикатывание после посева является обязательным приемом для большинства сельскохозяйственных культур. Боронование до появления всходов очень эффективно на посевах ранних яровых культур, кукурузы, ряда зернобобовых и др. Междурядные обработки в сочетании с подкормками минеральными удобрениями выполняются на посевах и посадках пропашных культур.

Защита посевов от вредителей, болезней и сорняков выполняется почти на всех сельскохозяйственных культурах. Здесь преобладают химические методы борьбы. Пестицидная нагрузка опять же зависит от уровня использования других средств биологической или механической направленности: севооборотов, сортов, обработки почвы, уровня применения минеральных удобрений и т.д.

Уборка. Сроки и способы уборки являются важнейшими составными частями технологий. В технологиях сроки и способы уборки обосновываются с учетом биологических особенностей той или иной культуры при созревании, метеорологических условиях в этот период, обеспеченности уборочными средствами. Для ускорения созревания целого ряда сельскохозяйственных культур при выращивании их на зерно или семена применяется десикация.

Заключение. Итак, урожайность любой культуры зависит от многих факторов окружающей среды и биологических особенностей возделываемого сорта. Различные сочетания и соотношение факторов внешней среды могут создавать разные условия для формирования программированного урожая. Программирование следует понимать как научный метод выбора оптимальных технологических решений с целью получения в сложившихся условиях максимально возможной урожайности на конкретном поле или участке [19].

В дальнейшем, по мере совершенствования методов программирования с использованием компьютерной техники и цифровых технологий, включающих большое число факторов, влияющих на величину и качество урожая, точность расчетов при программировании урожая, помогут скорректировать агроприемы внедряемой сортовой технологии.

Список источников

1. Дунченко Н.И., Янковская В.С., Маницкая Л.Н. Научное обоснование методологических принципов формирования качества продуктов питания. М.: ООО «Сам Полиграфист», 2022. 211 с.
2. Кадыров С.В., Федотов В.А. Инновационные агротехнологии: состояние и перспективы развития. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2019. С. 15-22.
3. Кирюшин В.И. Задачи научно-инновационного обеспечения земледелия России // Земледелие. 2018. № 3. С. 3-12.
4. Малышева Е.В., Пигорев И.Я., Долгополова Н.В. Программирование и урожайность - залог адаптивной интенсификации земледелия // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П.А. Костычева. 2021. Т. 13, № 4. С. 97-103.
5. Научные принципы и методология управления качеством и безопасностью пищевых продуктов / В.И. Трухачев, Н.И. Дунченко, С.В. Купцова и др. М.: ООО "Сам Полиграфист", 2022. 250 с.
6. О решении проблемы биоземледелия как основы развития аграрного сектора страны и задачах его геоинформационного обеспечения / А.П. Карпик, В.Б. Жарников, Ю.С. Ларионов, Т.В. Теплякова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2020. Т. 25, № 2. С. 183-197.
7. Панфилов В.А. Аграрно-пищевая технология: эффект системного комплекса // Известия КГТУ. 2014. № 35. С. 93-105.
8. Панфилов В.А., Белозеров Г.А., Андреев С.П. Аграрно-пищевые технологии как этап диалектики АПК // Аграрно-пищевые инновации. 2022. № 1 (17). С. 7-16.

9. Панфилов В.А. Диалектическое обеспечение развития технологий АПК // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2021. № 1. С. 87-98.
10. Ториков В.Е. Пути экологизации растениеводства // Новые идеи, технологии, проекты и инвестиции. Брянск, 2001.
11. Растениеводство / В.Е. Ториков, Н.М. Белоус, О.В. Мельникова, С.В. Артюхова; под общ. ред. В.Е. Торикова. СПб.: Лань, 2020. 604 с.
12. Российская технология и техника производства органической аграрной продукции / Р.С. Рахимов, Г.А. Окунев, Н.К. Мазитов и др. // Вестник Башкирского ГАУ. 2022. № 1 (61). С. 116-126.
13. Ториков В.Е. Система биологизации земледелия Нечерноземной зоны России: монография. М., 2002.
14. Ториков В.Е., Белоус Н.М., Мельникова О.В. Агрочоведение с научными основами адаптивного земледелия / под общ. ред. В.Е. Торикова. СПб.: Лань, 2020. 236 с.
15. Ториков В.Е., Мельникова О.В. Производство продукции растениеводства. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2021. 512 с.
16. Ториков В.Е., Белоус Н.М., Мельникова О.В. Агрехимические и экологические основы адаптивного земледелия. 2-е изд., стер. СПб.: Лань, 2022. 228 с.
17. Шустов А.Ф. Социальная составляющая в структуре технической деятельности как возможность контролируемого ее развития // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2021. № 11. С. 92-95.
18. Шустов А.Ф. Внутренние закономерности и социальные факторы развития технической деятельности // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. 2022. № 11. С. 79-82.
19. Якушев В.В. Структуризация агротехнологических знаний для построения онтологий в растениеводстве // Земледелие. 2022. № 7. С. 3-7.

Информация об авторах:

В.Е. Ториков - доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, torikov@bgsha.com.

А.Ф. Шустов – доктор философских наук, профессор, заведующий кафедрой философии, истории и педагогики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ/

О.В. Мельникова - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, torikova1999@mail.ru.

А.А. Осипов – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий учебно-методическим информационно-консультационным центром, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, osipovaa@bgsha.com.

Information about the authors:

V.E. Torikov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University, torikov@bgsha.com.

A.F. Shustov – Doctor of Philosophy, Professor, Head of the Department of Philosophy, History and Pedagogy, Bryansk State Agrarian University.

O.V. Mel'nikova - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University, torikova1999@mail.ru.

A.A. Osipov – Candidate of Agricultural Sciences, Head of the educational and methodological information and Consulting Center, Bryansk State Agrarian University, osipovaa@bgsha.com.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.03.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 12.03.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Ториков В.Е., Шустов А.Ф., Мельникова О.В., Осипов А.А.

Научная статья

УДК 631.559:633.14:631.438

**ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ РЖИ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА
В УСЛОВИЯХ РАДИОАКТИВНО ЗАГРЯЗНЕННЫХ ПЕСЧАНЫХ ПОЧВ**¹Валерий Александрович Анищенко, ¹Людмила Алексеевна Воробьева,
²Евгений Владимирович Смольский¹Новозыбковская СХОС – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»,
Брянская область, Опытная станция, Россия²ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В результате исследований влияния изменяющихся условий окружающей среды и применения макроудобрения на экологическую реакцию озимой ржи, выраженную в количественных показателях продуктивности и качественных показателях полученной продукции растениеводства, проводимых в период 2021-2023 годов в условиях радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области. Почва опытного участка характеризуется повышенным содержанием гумуса, очень высоким подвижного фосфора, средним подвижного калия, кислотность – среднекислая. Установлена значительная роль условий окружающей среды в изменчивости урожайности зерна и незначительная - в сборе соломы озимой ржи. Наибольшая урожайность зерна озимой ржи 3,42 т/га получена в избыточно влажных условиях окружающей среды при применении макроудобрения в дозе N₉₀P₆₀K₉₀, а наибольший сбор 9,6 т/га соломы озимой ржи получен в слабо засушливых условиях при применении макроудобрения в дозе N₉₀P₆₀K₉₀. Установили незначительную роль условий среды и действия макроудобрений на изменчивость содержания белка в зерне и значительную в изменчивости показателя выхода белка. Выявили тенденцию повышения содержания белка в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения. Определили среднюю роль условий окружающей среды на изменчивость содержания нитратов в зерне озимой ржи и значительную на изменчивость содержания ¹³⁷Cs. Выявили тенденцию повышения содержания нитратов и снижения содержания ¹³⁷Cs в зерне озимой ржи под действием совершенствования технологического приёма применения макроудобрения.

Ключевые слова: озимая рожь, условия среды, продуктивность, зерно, солома, белок, макроудобрения, радиоактивное загрязнение, нитраты.

Для цитирования: Анищенко В.А., Воробьева Л.А., Смольский Е.В. Продуктивность озимой ржи и качество зерна в условиях радиоактивно загрязненных песчаных почв // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 18-23.

Original article

**WINTER RYE PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY IN CONDITIONS OF
RADIOACTIVELY CONTAMINATED SANDY SOILS**¹Valery A. Anishchenko, ¹Lyudmila A. Vorob'yova, ²Evgeny V. Smol'sky¹Novozybkov AES –the branch of FSC «All-Russia Williams Fodder Research Institute», Bryansk Region,
Experimental Station, Russia²Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. As a result of researches carried out in the period 2021-2023 in conditions of radioactively contaminated sod-podzolic sandy soils of the south-west of the Bryansk region, the impact of changing environmental conditions and the use of macro fertilizer on the ecological reaction of winter rye, expressed in quantitative indicators of productivity and qualitative indicators of the obtained crop production was discovered. The soil of the experimental plot is characterized by a high contents of humus, a very high contents of mobile phosphorus, medium contents of mobile potassium, and acidity is medium. A significant role of environmental conditions in the variability of grain yields and insignificant in the collection of winter rye straw has been established. The highest yields of winter rye grain is 3.42 t/ha obtained in excessively humid environmental conditions when using macro fertilizer at a dose of N₉₀P₆₀K₉₀, and the highest harvest of 9.6 t/ha of winter rye straw is obtained in slightly dry conditions when using macrofertilizer at a dose of N₉₀P₆₀K₉₀. An insignificant role of environmental conditions and the action of macro fertilizers on the variability of the protein content in the grain and a significant role in the variability of the protein yields indicator was established. We revealed a tendency to increase the protein content in winter rye grain under the influence of improving the technological technique for using macro fertilizer. The average role of environmental conditions on the variability of nitrate content in winter rye grain and significant on the variability of ¹³⁷Cs content was determined. A tendency to increase the contents of nitrates and reduce the contents of ¹³⁷Cs in winter rye grain under the influence of improving the technological technique for the use of macro fertilizer was revealed.

Key words: winter rye, environmental conditions, productivity, grain, straw, protein, macro fertilizers, radioactive contamination, nitrates.

For citation: Anishchenko V.A., Vorob'yova L.A., Smolsky E.V. Winter rye productivity and grain quality in conditions of radioactively contaminated sandy soils // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 18-23.

Введение. Производство продукции растениеводства происходит в постоянно изменяющихся условиях окружающей среды, которые в зависимости от биологии сельскохозяйственного растения могут быть оптимальными или лимитирующими для него, поэтому изучения реакция различных видов сельскохозяйственных культур на температурные, почвенные условия, а также к условиям влагообеспеченности необходима для подбора культур при проектировании систем земледелия [1-4].

Разработка и внедрение в производство адаптированных элементов технологий, которые в условиях радиоактивного загрязнения, низкого естественного плодородия песчаных почв обеспечивают получения высоких и стабильных урожаев основной продукции сельскохозяйственных культур и высоких показателей качества [5-8].

Цель исследований – изучить роль изменяющихся условий окружающей среды и элемента технологии возделывания озимой ржи в формировании продуктивности и качества зерна в условиях радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области.

Материалы и методы исследования. В условиях Опытной станции Новозыбковского района Брянской области РФ, расположенной в Клинцовско-Новозыбковском районе задровых равнин Новозыбковского ландшафта, изучали экологическую реакцию озимой ржи (урожайность, качественные показатели) на изменяющиеся условия внешней среды при различных дозах макроудобрения. Эксперимент проводили в период 2021-2023 годов в восьмипольном севообороте (люпин на зеленую массу – озимая рожь – картофель – овес – горох – озимая рожь – люпин на зерно – просо) на дерново-подзолистой песчаной почве, которая характеризовалась повышенным содержанием гумуса, очень высоким подвижного фосфора, средним подвижного калия, среднекислая. Плотность загрязнения ^{137}Cs территории опытного участка в период исследований – 560-700 кБк/м².

Объект исследования – озимая рожь, сорт Новозыбковская 150, предшественник люпин на зеленую массу.

Схема применения макроудобрения: 1. Контроль (без применения макроудобрения); 2. Навоз 20 т + N₆₀P₄₅K₆₀; 3. Навоз 20 т + N₉₀P₆₀K₉₀. В качестве минеральной части макроудобрений использовали аммиачную селитру, простой суперфосфат и калий хлористый, в качестве органической части – подстилочный навоз КРС. Проводили сидерацию всей массы люпина общим фоном.

По данным метеорологического поста Новозыбковской СХОС агроклиматические ресурсы контрастно различались в период исследований, 2021 год исследований был избыточно влажным, 2022 год – слабо засушливым, 2023 года – засушливым.

Агротехника в опытах при возделывании озимой ржи общепринятая для Нечерноземной зоны РФ.

Содержание сырого белка определяли пересчетом $\text{N}_{\text{общ}} \times 5,83$.

Удельную активность ^{137}Cs определяли используя УСК «Гамма плюс» с программным обеспечением «Прогресс-2000» в геометрии «Маринелли».

Статистическую обработку результатов исследования определяли методами дисперсионного и вариационного анализов.

Результаты и их обсуждение. В период исследований гидротермические условия окружающей среды контрастно различались по годам. Экологическая реакция озимой ржи, выраженная в урожайности зерна и сборе соломы, была различной, в тоже время различные дозы макроудобрений по-разному действовали на продуктивность озимой ржи в изменяющихся условиях. На контрольном варианте максимальная 1,46 т/га урожайность зерна озимой ржи была получена в избыточно влажных условиях среды, установили значительную изменчивость урожайности зерна по годам исследований под действием изменяющихся условий среды, коэффициент вариации равен 21,8 %. Максимальный 3,4 т/га сбор соломы озимой ржи получен в слабо засушливых условиях среды, установили незначительную изменчивость сбора соломы под действием изменяющихся условий среды в период исследований, коэффициент вариации равен 7,9 % (табл. 1).

Таблица 1 – Продуктивность озимой ржи в изменяющихся условиях среды, т/га

Вариант	Год исследования			V, %
	2021	2022	2023	
зерно				
Контроль	1,46	1,11	0,96	21,8
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	3,15	2,81	2,02	21,8
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	3,42	3,09	2,39	17,7
НСР ₀₅	0,14	0,18	0,20	–
солома				
Контроль	3,2	3,4	2,9	7,9
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	9,2	8,7	5,1	29,2
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	9,2	9,6	6,5	20,0
НСР ₀₅	0,4	0,6	0,6	–

Применение макроудобрения повышало урожайность зерна озимой ржи в 2,1-2,8 раза в сравнении с контрольным вариантом в зависимости от дозы макроудобрения и года исследования. Наблюдали одинаковую реакцию растений озимой ржи в изменении урожайности зерна в изменяющихся условиях при применении макроудобрения, в условиях избыточной влажности, слабо засушливых и засушливых условиях исследуемые дозы N₆₀P₄₅K₆₀ и N₉₀P₆₀K₉₀ достоверно повышали урожайность как в сравнении с контрольным вариантом, так и достоверно различались между собой в повышении урожайности зерна. Установили, что с увеличением доз макроудобрений показатель изменчивость урожайности по годам исследований снижается до среднего уровня, коэффициент вариации равен 17,7 %, это говорит о возможности с помощью элемента технологии (внесение макроудобрения) сглаживать негативные условия окружающей среды (табл. 1).

Наблюдали различную реакцию растений в сборе соломы в изменяющихся условиях при применении макроудобрения, в условиях избыточной влажности обнаружили значимую разницу в сборе соломы между исследуемыми дозами макроудобрения и контролем, разницы между дозами исследуемых макроудобрения в повышении сбора соломы не выявили. В слабо засушливых и засушливых условиях, установили достоверное повышение сбора соломы от каждой из исследуемой дозы макроудобрения, как в сравнении с контрольным вариантом, так и в сравнении между исследуемыми вариантами доз макроудобрения (табл. 1).

В период исследований средний показатель урожайности зерна и сбора соломы озимой ржи охватывает контрастный набор условий окружающей среды, поэтому показатели продуктивности сельскохозяйственной культуры отражают потенциал продуктивности территории юго-запада Брянской области при совершенствовании различных элементов технологии.

Увеличение доз макроудобрения в среднем за годы исследования достоверно повышало урожайность зерна и сбор соломы озимой ржи соответственно от 2,3 до 2,5 раз и от 2,4 до 2,6 раз в сравнении с контрольным вариантом, при этом достоверной разницы в повышении урожайности зерна и сбора соломы между дозами макроудобрений не обнаружили (табл. 2).

Таблица 2 – Агрономическая эффективность средней продуктивности озимой ржи, т/га

Вариант	Среднее	Прибавка, т/га	Окупаемость, кг / кг д.в.
зерно			
Контроль	1,18	–	–
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	2,66	1,48	8,97
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	2,97	1,79	7,44
НСР ₀₅	0,45	–	–
солома			
Контроль	3,2	–	–
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	7,6	4,4	27,1
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	8,4	5,2	21,8
НСР ₀₅	2,4	–	–

Агрономическую эффективность применения макроудобрения выражали через отношение количества прибавки урожая зерна и сбора соломы, полученной от количества макроудобрения. Выявили, что повышение доз макроудобрения снижает выход основной и побочной продукции растениеводства. Наибольшая окупаемость 1 кг д. в. макроудобрения прибавкой урожая зерна и сбора соломы озимой ржи получена при использовании дозы N₆₀P₄₅K₆₀, которая соответственно равна 8,97 и 27,1 кг на кг д.в.

В период исследований 2021-2023 годов при возделывании озимой ржи наблюдали контрастные условия окружающей среды, что отразилось на показателях качества продукции растениеводства и действии макроудобрения по их изменению.

На контрольном варианте, максимальное содержание белка 13,58 % в зерне озимой ржи и выход белка 198,3 кг/га получили в условиях избыточного увлажнения среды, наблюдали незначительную изменчивость показателя содержание белка и значительную изменчивость показателя выход белка по годам исследования, коэффициент вариации равен соответственно 2,7 и 24,3 % (табл. 3).

В период проведения исследований совершенствование технологического приёма применения макроудобрения с целью повышения содержания белка в зерне озимой ржи не имело результата, так как наблюдали только тренд к повышению содержания белка в зерне озимой ржи под действием макроудобрения, значимого повышения не обнаружили (табл. 3).

Таблица 3 – Накопление белка посевами озимой ржи в изменяющихся условиях среды

Вариант	Год исследования			Среднее	V, %
	2021	2022	2023		
содержание белка, %					
Контроль	13,58	13,35	12,88	13,27	2,7
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	13,82	13,52	13,23	13,52	2,2
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	13,99	13,81	13,29	13,70	2,7
HCP ₀₅	0,87	0,85	0,76	–	–
выход белка, кг/га					
Контроль	198,3	148,2	123,6	156,7	24,3
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	435,3	379,9	267,2	360,8	23,7
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	478,5	426,7	317,6	407,6	20,1

Установили, что совершенствование технологического приёма применения макроудобрения снижает изменчивость показателя выход белка в период исследований, коэффициент вариации снизился с 24,3 до 20,1 %. Наибольшее содержание белка 13,99 % и выход белка 478,5 кг/га получены в условиях избыточного увлажнения среды 2021 года при применении макроудобрения в дозе N₉₀P₆₀K₉₀ (табл. 3).

В среднем за годы исследования выявили тенденцию повышения содержания белка в зерне озимой ржи с 13,27 до 13,70 % и выхода белка с 156,7 до 407,6 кг/га под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения (табл. 3).

В условиях почв легкого гранулометрического состава, промывного или периодически промывного водного режима и применение несбалансированных и высоких доз азотного удобрения ведет к повышению содержания нитратов в основной продукции растениеводства. Предельно допустимой концентрацией (ПДК) нитратов в зернофураже и продуктах переработки зерна – 300 мг/кг.

Контрастные условия окружающей среды при возделывании озимой ржи, средне изменяли содержание нитратов в зерне, коэффициент вариации равен 11,0 %. Совершенствование применения макроудобрения не влияло на изменчивость содержания нитратов в зерне (табл. 4).

Таблица 4 – Накопление токсикантов в зерне озимой ржи в изменяющихся условиях среды

Вариант	Год исследования			Среднее	V, %
	2021	2022	2023		
нитраты, мг/кг					
Контроль	39	32	39	36,7	11,0
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	37	32	41	36,7	12,3
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	38	32	41	37,0	12,4
HCP ₀₅	11	5	6	–	–
¹³⁷ Cs, Бк/кг					
Контроль	20	21	29	23,3	21,1
Навоз 20 т + N ₆₀ P ₄₅ K ₆₀	14	11	13	12,7	12,1
Навоз 20 т + N ₉₀ P ₆₀ K ₉₀	12	10	10	10,7	10,8
HCP ₀₅	6	7	6	–	–

Максимальное содержание нитратов 39 мг/кг в зерне озимой ржи на контрольном варианте было получено в условиях избыточного увлажнения и засушливых условиях среды, при этом превышение ПДК не обнаружили. Обнаружили, что макроудобрения в исследуемых дозах не изменяют содержания нитратов в зерне озимой ржи вне зависимости от условий года, достоверного изменения

содержания нитратов в зерне под действием совершенствования применения макроудобрения в сравнении с контролем не выявили (табл. 4).

В среднем за годы исследования выявили тенденцию повышения содержания нитратов в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

В условиях радиоактивного загрязнения территории главным показателем использования основной продукции растениеводства в качестве продуктов питания и сырья для изготовления продуктов питания, а также в кормлении сельскохозяйственных животных является уровень содержания ^{137}Cs , допустимый уровень ^{137}Cs для зерна на пищевые цели – 60 Бк/кг, на кормовые – 180 Бк/кг.

При возделывании озимой ржи установили значительную изменчивость содержания ^{137}Cs в зерне под влиянием изменяющихся условий окружающей среды, коэффициент вариации равен 21,1 %, совершенствования технологического приёма применения макроудобрения снижало роль условий среды на накопление ^{137}Cs в зерне до среднего, коэффициент вариации равен 10,8-12,1 %.

На контрольном варианте максимальное содержание ^{137}Cs 29 Бк/кг в зерне озимой ржи было получено в засушливых условиях среды, при этом превышение допустимого уровня не обнаружили. Обнаружили, что действие макроудобрения на изменение содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи в различных условиях среды разное. В условиях избыточного увлажнения совершенствование технологического приёма применения макроудобрения имело результат только при дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, когда наблюдали достоверное снижение содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи в сравнении с контролем, при этом достоверного снижения содержания ^{137}Cs в зерне между дозами макроудобрения не обнаружили.

В слабо засушливых и засушливых условиях совершенствование технологического приёма применения макроудобрения имело положительный результат уже при дозе $\text{N}_{60}\text{P}_{45}\text{K}_{60}$, наблюдали достоверное снижения содержания ^{137}Cs в сравнении с контролем, при этом значимой разницы между дозами макроудобрений в снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи не выявили (табл. 4).

В среднем за годы исследования выявили тенденцию снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Заключение. В результате проведенных исследований по оценки значения изменяющихся условий среды и элемента технологии возделывания в формировании продуктивности озимой ржи и качества зерна в условиях радиоактивно загрязненных дерново-подзолистых песчаных почв юго-запада Брянской области установили, значительную роль условий среды в изменчивости урожайности зерна и незначительную в сборе соломы озимой ржи. Применение макроудобрения снижает роль условий среды в изменчивости урожайности зерна и повышает роль условий среды в изменчивости сбора соломы озимой ржи, поэтому возможно в не некоторой степени сгладить негативные последствия негативного действия агроклиматических условия. Наибольшая урожайность зерна озимой ржи 3,42 т/га получена в избыточно влажных условиях окружающей среды при применении макроудобрения в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$, а наибольший сбор 9,6 т/га соломы озимой ржи получен в слабо засушливых условиях при применении макроудобрения в дозе $\text{N}_{90}\text{P}_{60}\text{K}_{90}$.

Установили, что при возделывании озимой ржи роль условий среды и действия макроудобрений на изменчивость содержание белка в зерне незначительная. В тоже время обнаружили значительную роль условий среды и действия макроудобрений на изменчивость показателя выхода белка. Выявили тенденцию повышения содержания белка в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Определили среднюю роль условий окружающей среды на изменчивость содержания нитратов в зерне при возделывании озимой ржи. Выявили тенденцию повышения содержания нитратов в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Установили значительную роль условий окружающей среды на изменчивость содержания ^{137}Cs в зерне при возделывании озимой ржи. Выявили тенденцию снижения содержания ^{137}Cs в зерне озимой ржи под действием совершенствование технологического приёма применения макроудобрения.

Список источников

1. Озимые зерновые культуры на юго-западе России: учеб. пособие / В.Е. Ториков, И.Н. Белоус, С.А. Бельченко и др. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. 137 с.
2. Жученко А.А. Рожь – стратегическая культура в обеспечении продовольственной безопасности России в условиях глобального и локального изменения погодно-климатических условий. Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2009. 52 с.
3. Сысуев В.А. Комплексные научные исследования по озимой ржи – важнейшей национальной и стратегической зерновой культуре РФ // Достижения науки и техники АПК. 2012. № 6. С. 8-12.

4. Теоретические и практические аспекты возделывания озимой ржи в Брянской области: монография / С.М. Пакшина, Г.П. Малявко, И.Н. Белоус, А.Е. Кольхалина. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2017. 97 с.

5. Принципы ресурсосберегающих технологий возделывания зерновых культур в условиях юго-запада центрального региона России / О.В. Мельникова, В.Е. Ториков, В.Н. Репникова, Д.М. Мельников // Вестник Брянской ГСХА. 2022. № 2. С. 9-8.

6. Действие системы удобрений и погодных условий на урожайность озимой ржи в севообороте в условиях юго-запада Нечерноземной зоны / В.Б. Коренев, И.Н. Белоус, Л.А. Воробьева, Г.Л. Яговенко // Земледелие. 2015. № 7. С. 34-36.

7. Малявко Г.П., Белоус И.Н., Шаповалов В.Ф. Эффективность аг-рохимических средств при возделывании озимой ржи на техногенно загрязненной почве // Вестник Брянской ГСХА. 2019. № 6 (76). С. 3-8.

8. Шаповалов В.Ф. Система удобрений озимой ржи при радиоактивном загрязнении почвы // Плодородие. 2005. № 4 (25). С. 35-37.

Информация об авторах

В.А. Анищенко – аспирант, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса», ngsos-vniia@yandex.ru

Л.А. Воробьева – кандидат сельскохозяйственных наук, Новозыбковская СХОС - филиал ФНЦ «ВИК им. В. Р. Вильямса».

Е.В. Смольский – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, sev_84@mail.ru.

Information about the authors

V.A. Anishchenko – postgraduate student, Novozybkov Agricultural Experimental Station – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology, ngsos-vniia@yandex.ru.

L.A. Vorob'eva – Candidate of Agricultural Sciences, Novozybkov Agricultural Experimental Station – Branch of Federal Williams Research Center of Forage Production and Agroecology.

E.V. Smol'sky – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University, sev_84@mail.ru.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Анищенко В.А., Воробьева Л.А., Смольский Е.В.

Научная статья

УДК 633.34:631.524.84:631.527 (470.333)

ВЛИЯНИЕ АГРОКЛИМАТИЧЕСКИХ УСЛОВИЙ НА ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТЬ ВЕГЕТАЦИОННОГО ПЕРИОДА И ХОЗЯЙСТВЕННО-ЦЕННЫЕ ПРИЗНАКИ СОИ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ В БРЯНСКОЙ ОБЛАСТИ**Сергей Александрович Бельченко, Ольга Алексеевна Зайцева, Ирина Дмитриевна Сазонова, Наталья Витальевна Милехина, Виталий Юрьевич Симонов**
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Цель данных исследований – определить влияние агроклиматических условий региона на продолжительность вегетационного периода и продукционный процесс сои сортов и гибридов отечественной и иностранной селекции в Брянской области. В качестве объекта исследований взяты 18 сортов сои, внесенные в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию. Изучены особенности вегетации каждого сорта. По продолжительности вегетационного периода сорта разделены на три группы спелости: скороспелые – Вита, Лира, Лидер10, Амадея, Лиссабон, Вера; ранне-спелые – Протина, Волма, Кора, Зуша, Мезенка, Осмонь, Султана; среднеспелые – Скульптор, Припять, Пума, Сирелия, Рось. Выявлено, что в среднем с увеличением вегетационного периода увеличивалась высота растений: скороспелые – 75,8 см, раннеспелые – 77,3 см, среднеспелые – 83,0 см. Выделены 4 генотипа (22%) с низким прикреплением нижних бобов: Вера, Кора, Припять, Сирелия, 11 сортов (61 %) со средним прикреплением нижних бобов: Вита, Лира, Лидер 10, Амадея, Лиссабон, Волма, Зуша, Осмонь, Султана, Скульптор, Пума, 3 сорта (17 %) с высоким расстоянием до нижних бобов: Протина, Мезенка, Рось. Рассчитана масса 1000 семян – сорта с более крупными выполненными семенами: Султана (масса 1000 сем. 176 г), Рось (масса 1000 сем. 177 г), Лиссабон (масса 1000 сем. 162 г), Вита (масса 1000 сем. 158 г), Вера (масса 1000 сем. 158 г), Сирелия (масса 1000 сем. 158 г). Рассчитана урожайность семян – сорта с наибольшей урожайностью семян: Рось – 25,3 ц/га, Зуша – 22,8 ц/га, Скульптор – 22,2 ц/га, Припять – 22,2 ц/га, Лиссабон – 22,1 ц/га. Определён сырой протеин по методу Кьельдаля, сырой жир по Сокслету. Высокое содержание сырого протеина сформировали сорта отечественной селекции: Пума – 36,66 %, Мезенка – 35,95 %, Осмонь – 35,75 %, Вера – 35,34 %; иностранные сортообразцы: Сирелия – 39,05 %, Султана – 38,27 %, Припять – 36,17 %. Содержание сырого жира в семенах варьировало по годам и изменялось по сортам. Максимальное значение жира отмечено у генотипов: Рось – 23,78 %, Мезенка – 23,72 %, Скульптор – 23,18 %, Зуша – 22,45 %, Султана – 22,36 %.

Ключевые слова: соя, вегетационный период, урожайность и качество, сырой протеин, сырой жир.

Для цитирования: Влияние агроклиматических условий на продолжительность вегетационного периода и хозяйственно-ценные признаки сои при возделывании в Брянской области / С.А. Бельченко, О.А. Зайцева, И.Д. Сазонова и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 24-30.

Original article

INFLUENCE OF AGRO-CLIMATIC CONDITIONS ON THE DURATION OF THE VEGETATION PERIOD AND ECONOMIC-VALUABLE TRAITS OF SOYBEANS DURING CULTIVATION IN THE BRYANSK REGION**Sergey A. Bel'chenko, Ol'ga A. Zaitseva, Irina D. Sazonova, Natal'ya V. Milekhina, Vitaly Yu. Simonov**

Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The purpose of these researches is to determine the influence of the agro-climatic conditions of the region on the duration of the vegetation period and the production process of soybean varieties and hybrids of domestic and foreign breeding in the Bryansk region. 18 soybean varieties included in the Register of breeding achievements approved for use were taken as an object of researches. The peculiarities of the vegetation of each variety have been studied. According to the duration of the vegetation period, the varieties are divided into three groups of ripeness: precocious – Vita, Lira, Lider10, Amadea, Lissabon, Vera; early maturity – Protina, Volma, Kora, Zusha, Mezenka, Osmon', Sultana; middle maturity – Scul'ptor, Pripyat', Puma, Sireliya, Ros'. It was revealed that, on average, with an increase in the vegetation period, the height of plants increased: precocious – 75.8 cm, early maturity – 77.3 cm, middle maturity - 83.0 cm. 4 genotypes (22%) with low attachment of lower beans were identified: Vera, Kora, Pripyat', Sireliya, 11 varieties (61%) with medium attachment of lower beans: Vita, Lira, Leader 10, Amadea, Lissabon, Vol'ma, Zusha, Osmon', Sultana, Scul'ptor, Puma, 3 varieties (17 %) with a high distance to the lower beans: Protina, Mezenka, Ros'. The mass of 1000 seeds is calculated – varieties with larger produced seeds: Sultana (mass of 1000 seeds 176 g), Ros' (mass 1000 seeds 177 g), Lissabon (mass 1000 seeds 162 g), Vita (mass 1000 seeds 158 g), Vera (mass of 1000 seeds 158 g), Sireliya (mass 1000 seeds 158 g). The yields of seeds is calculated – varieties

with the highest seed yields: Ros' – 25.3 c/ha, Zusha – 22.8 c/ha, Scul'ptor – 22.2 c/ha, Prip'yat' – 22.2 c/ha, Lissabon – 22.1 c/ha. Crude protein was determined by the Kjeldahl's method, crude fat - by Soxhlet. The high content of crude protein was formed by varieties of domestic selection: Puma – 36.66%, Mezenka – 35.95%, Osmon' – 35.75%, Vera – 35.34%; foreign varieties: Sireliya – 39.05%, Sultana – 38.27%, Prip'yat' – 36.17%. The crude fat contents in the seeds varied both by years and by varieties. The maximum value of fat was noted in the genotypes: Ros' – 23.78%, Mezenka – 23.72%, Scul'ptor – 23.18%, Zusha – 22.45%, Sultana -22.36%.

Key words: soybeans, vegetation period, yields and quality, crude protein, crude fat.

For citation: Influence of agro-climatic conditions on the duration of the vegetation period and economic-valuable traits of soybeans during cultivation in the Bryansk region / S.A. Bel'chenko, O.A. Zaitseva, I.D. Sazonova, N.V. Milekhina, V. Yu. Simonov // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 24-30.

Введение. По данным Росстата (2023 год) в России посевная площадь под соей к 2023 году увеличилась и составила 3,6 млн. га. В 2023 году прирост урожая зерна по сравнению с прошлым 2022 годом был выше на 7,4 % [1,2].

Таким образом, в масштабах страны соя расширяет свои границы, становясь с каждым годом все больше популярной и выгодной коммерческой культурой у сельхозтоваропроизводителей [3,4,5,6].

В настоящее время в мире соя занимает одно из ведущих мест по качественным показателям среди зернобобовых культур. В ее зерне содержится сбалансированный по аминокислотному составу белок (порядка 40 %), а также до 25 % растительного жира. Поэтому соя считается ценной сельскохозяйственной культурой, востребованной на мировом рынке. Соя широко используется для кормовых, пищевых, технических, фармацевтических и медицинских целей [7-14].

Первые полевые опыты по сое в Брянской области проводились в 80-х годах XX века в Брянской ГСХА под руководством Моисеенко И.Я. Позже, в Государственный Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, были переданы сорта сои Брянская 11 и Брянская МИЯ. В настоящее время учёными Брянского государственного аграрного университета изучаются вопросы, связанные с необходимостью возделывания сортов сои северного экотипа, которые бы вызревали в почвенно-климатических условиях региона и давали стабильный высокий урожай зерна, проводится агроэкологическая оценка новых сортов. [15].

Учитывая вышеизложенное тема научных экспериментов является актуальной.

Материалы и методы. Исследования выполнены в 2021-2023 годах на опытном поле Брянского ГАУ. Объектом исследования были 18 сортов сои – русские и зарубежные, внесенные в Реестр селекционных достижений, допущенных к использованию, различных групп спелости. По продолжительности вегетационного периода, согласно классификации ФАО, сорта сои делятся на: ультраскороспелые (000) – 75-80 дней, очень скороспелые (00) – 81-90 дней, скороспелые (0) – 91-110 дней, раннеспелые (среднескороспелые) (I) – 111-120 дней, среднеспелые (II) – 121-130 дней, среднепоздние – 131-150 дней, позднеспелые – 151-160 дней, очень позднеспелые – 151-170 дней, исключительно позднеспелые – >170 дней.

Почвы опытного участка серые лесные среднесуглинистые хорошо окультуренные, с содержанием гумуса (3,66-3,79 %), подвижных форм фосфора – 300-302 мг/кг почвы и обменного калия – 261-268 мг/кг, рН=5,5-5,7. Агротехника возделывания сои общепринятая для региона. Расположение делянок систематическое, повторность трехкратная. Учётная площадь одной делянки (одного сорта) 20 м². Срок посева – первая декада мая, норма высева – 800 тыс. шт. всхожих семян на гектар. В течение вегетации сои велись фенологические учётные и наблюдения по методике Г.С. Посыпанова. Учёт урожайности семян проводили поделочно методом сплошной уборки. Определение общего азота выполнено титриметрическим методом по Кьельдалю в соответствии с ГОСТ 13496.4-2019, при пересчете на сырой протеин использовали коэффициент 6,25. При определении жира применялся экстракционный метод (ГОСТ 10857-64). Анализы были выполнены в испытательной лаборатории Центра коллективного пользования научным оборудованием ФГБОУ ВО Брянский ГАУ. Статистическая обработка экспериментальных данных проводилась по методике Б.А. Доспехова [16].

Результаты и обсуждение. В годы проведения полевых опытов природно-климатические условия радикально не отличались от среднестатистической климатической нормы (рис. 1). Сумма активных температур воздуха за период «май-сентябрь» в 2021 году составила 2278,5 °С, что на 286,3 °С ниже среднегодовалого показателя. В 2022 году его значение было также ниже нормы на 508,3 °С. 2023 год по показателю суммы активных температур был наиболее близок к климатической норме и составил 2476,0 °С, при норме 2564,8 °С.

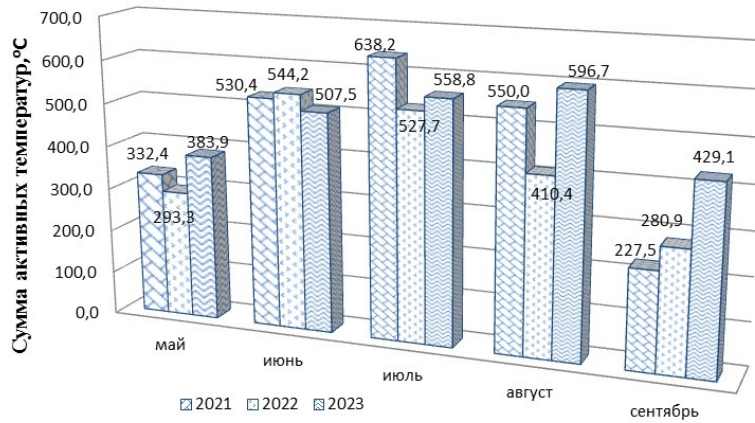


Рисунок 1 - Сумма активных температур в вегетационный период сои, 2021-2023 гг.

Таким образом, суммы активных температур достаточно для онтогенеза исследуемых сортов сои, так как этот важный показатель оказывает непосредственное влияние на её возделывание в условиях региона. По результатам многолетних наблюдений, количество осадков за вегетацию сои составило 312 мм. В 2022 и 2023 гг. их выпало в пределах нормы, в то время как в 2021 году дождливыми оказались май, июль, август и общая сумма была в два раза выше нормы. В 2022 году оптимальное количество атмосферных осадков выпало в августе в фазу «начало созревания семян». Распределение их в 2023 году более равномерное, за исключением августа (42 мм, при норме 64,0 мм). Осадки ливневого характера наблюдались во второй декаде мая, июня и в третьей декаде июля.

Температурные условия вегетационного периода сои в годы проведения опыта в среднем были незначительно выше климатической нормы: в 2021 году на 3,0 °С; в 2022 году на 2,2 °С и в 2023 на 0,5 °С. Среднесуточная температура в мае составила 14,5 °С, летние месяцы остаются тёплыми в период исследований, зато в первой декаде сентября происходит понижение температуры воздуха на 0,6 °С в сравнении с нормой. Но, во второй и третьей декаде сентября при наличии атмосферных осадков происходит увеличение средней температуры воздуха до 14,4 и 15,0 °С соответственно. Это даёт возможность получить вызревшие семена сои и убрать их в оптимальный срок.

По гидротермическому коэффициенту период вегетации в 2021-2023 годах имел различия в сравнении со среднемноголетними показателями. Гидротермический коэффициент для формирования урожая сои был более благоприятен в 2022 году – 2,0 и в 2023 году – 1,3, при этом в сентябре 2021 и 2022 годов выпало большее количество осадков, что немного увеличило фазу «созревание семян» (рис. 2).

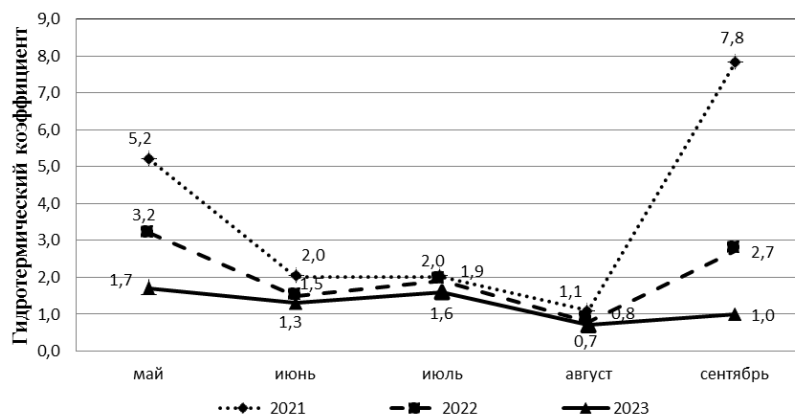


Рисунок 2 - Гидротермический коэффициент в вегетационный период сои, 2021-2023 гг.

Вегетационный период – один из основных признаков, учитывающий пригодность сорта к созреванию в определенных почвенно-климатических условиях. Различия погодных условий оказали существенное влияние на длительность вегетационного периода сои и, в этой связи, его продолжительность у одного и того же сорта могла колебаться в пределах до нескольких дней. По продолжительности вегетационного периода в условиях юго-запада Нечерноземной зоны России изучаемые сорта нами были разделены на три группы спелости: (0) скороспелые – Вита, Лира, Лидер10, Амадеа, Лиссабон, Вера; раннеспелые (I) – Протина, Волма, Кора, Зуша, Мезенка, Осмонь, Султана; средне-спелые (II) – Скульптор, Припять, Пума, Сирелия, Рось (табл. 1).

Таблица 1 - Продолжительность вегетационного периода сои, 2021-2023 гг.

№ п/п	Сорт	Вегетационный период, дни			
		2021 г.	2022 г.	2023 г.	среднее значение
Скороспелые					
1.	Вита	101	100	103	101
2.	Лира	104	103	105	104
3.	Лидер 10	107	110	106	108
4.	Амадеа	109	106	112	109
5.	Лиссабон	109	110	109	109
6.	Вера	111	110	110	110
НСР ₀₅		4,43	4,86	4,18	-
Раннеспелые					
7.	Протина	110	110	112	111
8.	Волма	112	114	111	112
9.	Кора	112	112	113	112
10.	Зуша	113	113	114	113
11.	Мезенка	114	113	116	114
12.	Осмонь	115	115	118	116
13.	Султана	118	118	116	117
НСР ₀₅		3,25	3,80	3,14	-
Среднеспелые					
14.	Скульптор	121	120	123	121
15.	Припять	122	124	121	122
16.	Пума	120	120	125	122
17.	Сирелия	126	127	128	127
18.	Рось	128	128	130	129
НСР ₀₅		5,49	5,82	5,13	-

Сорта сои различались по продолжительности вегетации. В среднем, период «всходы-созревание семян» скороспелой группы составил 100-112 дней. Наиболее ранним из них оказался сорт Вита с полудетерминантным типом роста (вегетационный период 101 день, $V=5,305\%$). К раннеспелым сортам в условиях региона с вегетацией, равной 111-120 дням, были отнесены четыре генотипа отечественной селекции – Кора (112 дней), Зуша (113 дней), Мезенка (114 дней), Осмонь (116 дней) и три сорта зарубежной селекции – белорусский Волма (112 дней) и французские Протина (111 дней), Султана (117 дней). Следует отметить, что при расчете коэффициента вариации очень низкую изменчивость проявили генотипы по всем трем группам спелости ($V=1,394-5,551\%$). Самый продолжительный вегетационный период был у среднеспелых индетерминантных сортов французской и белорусской селекции – Сирелия и Рось. Он составил в среднем 127-129 дней. Отдельные элементы структуры урожая растений сои в годы проведения опыта представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Количественные и качественные показатели сои (среднее за 2021-2023 гг.)

№ п/п	Сорт	Высота растения, см	Расстояние до нижнего боба, см	Масса 1000 семян, г	Урожайность, ц/га	Сырой протеин, %	Сырой жир, %
Скороспелые							
1.	Вита	83	13,8	158	21,4	31,90	19,33
2.	Лира	76	10,1	141	17,2	29,73	19,79
3.	Лидер 10	74	10,6	146	20,1	29,65	21,15
4.	Амадеа	78	10,3	152	16,3	32,29	19,71
5.	Лиссабон	69	12,7	162	22,1	30,84	20,29
6.	Вера	75	9,3	158	21,6	35,34	20,54
НСР ₀₅		3,0	1,6	7,5	1,9	2,9	1,2
Раннеспелые							
7.	Протина	79	14,1	137	18,9	33,67	17,57
8.	Волма	68	10,8	129	17,7	35,60	20,73
9.	Кора	79	9,9	150	18,3	34,07	20,25
10.	Зуша	79	10,1	148	22,8	34,59	22,45
11.	Мезенка	80	14,7	138	20,0	35,95	23,72
12.	Осмонь	77	11,7	127	19,7	35,75	20,48
13.	Султана	79	11,0	176	20,7	38,27	22,36
НСР ₀₅		3,4	2,0	7,1	2,0	3,2	1,8

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Сорт	Высота растения, см	Расстояние до нижнего боба, см	Масса 1000 семян, г	Урожайность, ц/га	Сырой протеин, %	Сырой жир, %
Среднеспелые							
14.	Скульптор	80	10,1	146	22,2	33,90	23,18
15.	Припять	76	9,6	150	22,2	36,17	21,98
16.	Пума	70	11,3	146	19,9	36,66	20,67
17.	Сирелия	68	9,7	158	18,5	39,05	20,89
18.	Рось	121	14,8	177	25,3	31,24	23,78
НСР ₀₅		3,8	1,3	7,6	2,1	3,6	2,1

С учётом сложившихся метеорологических условий в посевах наблюдалось изменение высоты растений по сортам и по годам. Погодные условия в это время были контрастными. У большинства сортов отмечалось увеличение высоты растений. В среднем, высота растений сои скороспелых сортов составила 75,8 см. В раннеспелой группе сорта Протина, Кора, Зуша и Султана имели одинаковый средний показатель высоты растений – 79 см. В общем по группе он составил 77,3 см. Среднеспелые имели высоту растений, равную в среднем 83,0 см.

Из группы с вегетационным периодом, равным 121-130 дней выделился сорт, созданный компанией СОЯ-СЕВЕР КО – Рось, вегетация которого составила 128 дней. В целом, высота растений сортов, отнесенных нами в группу среднеспелых, варьировала от 68 до 121 см. В среднем по группе она составила 83 см.

Расстояние до нижнего первого боба у сои – важный признак, от которого зависит качественная уборка семян. За три года исследований выделены 4 генотипа (22%) с более низким прикреплением нижних бобов: Вера (9,3 см), Кора (9,9 см), Припять (9,6 см), Сирелия (9,7 см); 11 сортов (61 %) со средним прикреплением нижних бобов: Вита (13,8 см), Лира (10,1 см), Лидер 10 (10,6 см), Амадеа (10,3 см), Лиссабон (12,7 см), Волма (10,8 см), Зуша (10,1 см), Осмонь (11,7 см), Султана (11,0 см), Скульптор (10,1 см), Пума (11,3 см) и 3 сорта (17 %) с более высоким расстоянием до нижних бобов: Протина (14,1 см), Мезенка (14,7 см), Рось (14,8 см).

Масса 1000 семян – один из основных элементов структуры урожая сои, от которого зависит продуктивность растений. В среднем, за годы изучения сортов по вышеуказанному показателю, следует выделить следующие: Вита (m_{1000} семян = 158 г), Лиссабон (m_{1000} семян = 162 г), Вера (m_{1000} семян = 158 г), Султана (m_{1000} семян = 176 г), Сирелия (m_{1000} семян = 158 г), Рось (m_{1000} семян = 177 г). Минимальное значение массы 1000 семян имел сорт Осмонь – 127 г. В целом, можно сказать, что гидротермический режим в период проведения исследований благоприятно воздействовал на фазы роста и развития сои, в том числе на фазы «бобообразование» и «созревание семян».

Главным свойством сортов является урожайность, так как является результатом проявления их биологических признаков и свойств в конкретных почвенно-климатических условиях. Максимальная урожайность семян у изучаемых сортов получена в 2023 году. Это связано с увеличением суммы активных температур, в сравнении с прошлыми годами. У среднеспелых образцов урожайность выше, так как вегетационный период длиннее. Растение сои тратит больше времени на формирование листового аппарата, на закладку генеративных органов и формирование семян. И как результат – большее количество бобов на растении, семян в бобе (продуктивность) и выше сбор семян с единицы площади (урожайность). Таким образом, можно сделать вывод о том, что среднеспелые сорта сои при оптимальных гидротермических условиях региона более урожайные. В среднем, за годы изучения, выделены сорта с наибольшей урожайностью семян: Рось – 25,3 ц/га, Зуша – 22,8 ц/га, Скульптор – 22,2 ц/га, Припять – 22,2 ц/га, Лиссабон – 22,1 ц/га.

Качественные показатели, наряду с продуктивностью, определяют хозяйственную ценность сортов. Результаты проведённых анализов на содержание в семенах сои сырого протеина и сырого жира представлены в табл. 2.

В среднем за годы исследований высокое содержание сырого протеина имели сорта отечественной селекции: Пума (36,66 %), Мезенка (35,95 %), Осмонь (35,75 %), Вера (35,34 %). Из иностранных образцов по содержанию протеина выделились два французских: Сирелия (39,05 %), Султана (38,27 %) и белорусский урожайный сорт Припять (36,17 %).

Содержание сырого жира в семенах изменялось как по годам, так и по сортам. Наибольшее его содержание было у всех сортообразцов в 2021 году, когда осадков в начале вегетации сои выпало почти в два раза больше, чем в 2022 и 2023 годах. Содержание жира в 2022 году по сортам всех групп спелости превышало показатели 2023 года на 0,80-0,85 %.

В среднем за годы исследований максимальное значение жира было отмечено у следующих генотипов: Рось (23,78 %), Мезенка (23,72 %), Скульптор (23,18 %), Зуша (22,45 %), Султана (22,36 %).

Следует отметить, что у сортов сои Краснодарского края: Вита, Лира, Кора, Пума и сортов белорусской селекции: Волма, Припять и Рось с увеличением вегетационного периода повышалось содержание сырого протеина и сырого жира.

Выводы. По продолжительности вегетационного периода в условиях региона сорта разделены на три группы спелости: скороспелые – Вита, Лира, Лидер10, Амадеа, Лиссабон, Вера; раннеспелые – Протина, Волма, Кора, Зуша, Мезенка, Осмонь, Султана; среднеспелые – Скульптор, Припять, Пума, Сирелия, Рось.

В среднем по группам спелости с увеличением вегетационного периода увеличивалась высота растений: скороспелые – 75,8 см, раннеспелые – 77,3 см, среднеспелые – 83,0 см.

Выделены 4 сорта (22%) с низким прикреплением первых бобов: Вера, Кора, Припять, Сирелия, 11 сортов (61 %) со средним прикреплением нижних бобов: Вита, Лира, Лидер 10, Амадеа, Лиссабон, Волма, Зуша, Осмонь, Султана, Скульптор, Пума, 3 сорта (17 %) с высоким расстоянием до нижних бобов: Протина, Мезенка, Рось.

Выделены сорта с более крупными выполненными семенами: Султана (масса1000 сем. 176 г), Рось (масса1000 сем. 177 г), Лиссабон (масса1000 сем. 162 г), Вита (масса1000 сем. 158 г), Вера (масса1000 сем. 158 г), Сирелия (масса1000 сем. 158 г).

Выделены сорта с наибольшей урожайностью семян: Рось – 25,3 ц/га, Зуша – 22,8 ц/га, Скульптор – 22,2 ц/га, Припять – 22,2 ц/га, Лиссабон – 22,1 ц/га.

В агроклиматических условиях региона высокое содержание сырого протеина сформировали сорта отечественной селекции: Пума – 36,66 %, Мезенка – 35,95 %, Осмонь – 35,75 %, Вера – 35,34 %. Из иностранных образцов по содержанию протеина выделились два французских: Сирелия – 39,05 %, Султана – 38,27 %, Припять – 36,17 %.

Содержание сырого жира в семенах варьировало по годам и изменялось по сортам. Наибольшее его содержание было у всех сортообразцов в 2021 году, когда осадков в начале вегетации сои выпало почти в два раза больше, чем в 2022 и 2023 годах. Максимальное значение жира отмечено у следующих генотипов: Рось (23,78 %), Мезенка (23,72 %), Скульптор (23,18 %), Зуша (22,45 %), Султана (22,36 %).

Список источников

1. Валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур по Российской Федерации: ежегодные бюллетени Федеральной службы государственной статистики (Росстат) [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/>.

2. Сравнительная оценка зерновой продуктивности и адаптивности сортов сои в агроклиматических условиях Брянской области / О.А. Зайцева, С.А. Бельченко, А.В. Дронов и др. // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 4 (44). С. 40-48.

3. Головина Е.В., Леухина О.В., Леухина Т.В. Влияние погодных условий на формирование хозяйственно ценных признаков у сортов сои различной селекции // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 2 (42). С. 24-32.

4. Иванова И.Ю., Фадеев А.А. Влияние погодных условий на урожайность сои в условиях Волго-Вятского региона // Зернобобовые и крупяные культуры. 2020. № 4 (36).

5. Акулов А.С., Васильчиков А.Г. Разработка элементов технологии возделывания новых сортов сои на основе использования внекорневых подкормок органоминеральными микроудобрениями и ЖКУ // Зернобобовые и крупяные культуры. 2022. № 4 (44). С. 58-63.

6. Корсунова М.Н., Леплявченко Л.П., Онищенко Л.М. Определение содержания белка и жира в семенах сои на фоне микроудобрений // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2020. № 2-3. С. 11-12.

7. Шабалдас О.Г., Пимонов К.И., Зайцев Н.И. Реакция сортов сои различных групп спелости на абиотические факторы в условиях восточной зоны Краснодарского края // Аграрный научный журнал. 2021. № 10. С. 67–72.

8. Козлов А.А., Романов Б.В., Сеферова И.В. Вегетационный период и основные морфометрические признаки коллекционного материала сои в условиях Приазовья // Аграрный вестник Урала. 2022. № 4 (219). С. 14-25.

9. Галиченко А.П., Фокина Е.М. Влияние метеорологических условий на формирование урожайности сортов сои селекции ВНИИ сои // Аграрный вестник Урала. 2022. № 7 (222). С. 16-25.

10. Есаулко А.Н., Шабалдас О.Г., Пимонов К.И. Урожайность и качество зерна сои, выращиваемой в почвенно-климатических условиях Ставропольской возвышенности // Вестник АПК Ставрополья. 2021. № 4 (44). С. 27-31.

11. Синеговская В.Т., Очкурова В.В., Синеговский М.О. Содержание белка и жира в семенах сортов сои различного генетического происхождения // Российская сельскохозяйственная наука. 2020. № 5. С. 15-19.

12. Храмой В.К., Сихарулидзе Т.Д., Рахимова О.В. Белковая продуктивность раннеспелых сортов сои в условиях Калужской области // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 1. С. 79-88.

13. Агроекологическое испытание и совершенствование технологии возделывания сортов сои / О.А. Зайцева, С.А. Бельченко, А.В. Дронов и др. // Вестник Курской ГСХА. 2022. № 8. С. 14-21.

14. Соя северного экотипа в интенсивном земледелии: монография / В.Е. Ториков, А.В. Дронов, И.Я. Моисеенко, О.А. Зайцева. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. 284 с.

15. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований): учебник для студентов высших сельскохозяйственных учебных заведений по агрономическим специальностям. 6-е изд., стер., перепеч. с 5-го изд. 1985 г. М.: Альянс, 2011. 350 с.

Информация об авторах:

С.А. Бельченко - доктор сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, sabel032@rambler.ru.

О.А. Зайцева - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

И.Д. Сазонова - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Н.В. Милехина - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

В.Ю. Симонов - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор института экономики и агробизнеса, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

Information about the authors:

S.A. Bel'chenko - Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, Bryansk State Agrarian University, sabel032@rambler.ru.

O.A. Zaitseva - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University.

I.D. Sazonova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University.

N.V. Milekhina - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University.

V.Yu. Simonov - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Economics and Agribusiness, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.07.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 15.07.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Бельченко С.А., Зайцева О.А., Сазонова И.Д., Милехина Н.В., Симонов В.Ю.

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ
ANIMALS AND VETERINARY SCIENCE
ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИЯ, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ
И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья
 УДК 636.085

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕКЛОВИЧНОЙ ВИНАССЫ В КОРМОПРОИЗВОДСТВЕ

Евгений Сергеевич Боровик, Анна Георгиевна Менякина
 ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Установлено, что при увеличении скорости производства гранулированных кормов снижается их прочность, поэтому корма с потенциально низкой способностью к гананулированию вынуждены производить при гораздо более низкой производительности, от номинальной мощности оборудования. Решению этой проблемы может способствовать ввод винассы. В статье рассмотрены различные преимущества и ограничения использования свекловичной винассы в составе гранулированных полнорационных комбикормов для сельскохозяйственной птицы. Предложен способ увеличения прочности гранулы, при одновременном снижении энергозатрат на процесс гранулирования посредством ввода побочного продукта дрожжевого производства. Ввод винассы в корма ПК 1-2р Кладковский, для родительского стада бройлеров, снизил затраты энергии, но прочность гранулы, при разной производительности пресс-гранулятора 13;14;15;16 т./час оставалась высокой в диапазоне 97,0 – 97,3%. Добавление жидкой добавки в марку корма 5-1 Рост, для цыплят-бройлеров, привело к снижению затрат электроэнергии и к значительному увеличению прочности гранулы на 1,1 и 1,3 % PDI. Включение добавки в марку корма ПК 5-2 Рост снизило затраты электроэнергии на гранулирование при производительности пресс-гранулятора 13-15 т./час, но не повлияло на прочность гранулы. При увеличении производительности до 16; 17; 18 т./час отмечено снижение энергозатрат и значительное увеличение прочности гранулы на 0,5; 1,3 и 1,4 % PDI. Доказано, что ввод винассы в марки корма с низкой прочностью позволяют добиться повышения производительности линии гранулирования без потери прочности гранулы и со снижением энергозатрат на производство кормов.

Ключевые слова: свекловичная винасса, грануляция, потребление энергии, прочность гранулы.

Для цитирования: Боровик Е.С., Менякина А.Г. Использование свекловичной винассы в кормопроизводстве // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 31-35.

Original article

USE OF BEET VINASSE IN FEED PRODUCTION

Yevgeny S. Borovik, Anna G. Menyakina
 Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. It has been found that when the production rate of granulated feeds increases, their strength decreases, therefore feeds with potentially low gananulability are forced to be produced at much lower productivity, from the nominal capacity of the equipment. The introduction of vinasse can help solve this problem. The article discusses various advantages and limitations of using beet vinasse as part of granulated complete combined feeds for poultry. A method of increasing granule strength, while reducing energy consumption for the granulation process by introducing a by-product of yeast production is proposed. The introduction of vinasse into the feeds of PK 1-2r Kladkovy for the parent stock of broilers reduced energy costs, but the strength of the granules with different capacity of the press-granulator 13;14;15;16 t/hour remained high in the range 97,0 - 97,3%. The addition of a liquid additive to the feed brand 5-1 Rost, for broiler chickens, led to a reduction in electricity costs and a significant increase in granule strength by 1.1 and 1.3% PDI. The inclusion of an additive in the feed brand PK 5-2 Rost reduced the electricity costs for granulation at a capacity of the press-granulator of 13-15 tons /hour, but did not affect the strength of the granule. When the production rate was increased to 16; 17; 18 tonnes/hour, a reduction in energy costs and a significant increase in granule strength by 0.5; 1.3 and 1.4 % PDI were observed. The introduction of vinasse into feed brands with low strength was proved to allow increasing the productivity of the granulation line without loss of granule strength and with reduction in energy costs for the feed production.

Key words: beet vinasse, granulation, energy consumption, granule strength.

For citation: Borovik Ye.S., Menyakina A.G. Use of beet vinasse in feed production // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 31-35.

Введение. Промышленное птицеводство самая наукоемкая и динамичная отрасль АПК, эффективное ведение отрасли определяется ее рентабельностью. Большим резервом ресурсосбережения

является рациональное использование кормов, доля затрат на которые в структуре себестоимости яиц и мяса птицы занимает 40 - 75 %.

Использование нетрадиционных кормов один из доступных путей укрепления кормовой базы птицеводства. В современных условиях количество и ассортимент пищевых продуктов растет, благодаря интенсивному развитию технологий производства, что способствует появлению большого объема побочных продуктов, которые при определенных условиях могут стать компонентами кормов, для сельскохозяйственных животных [1].

Одним из перспективных компонентов корма является побочный продукт выращивания дрожжей. Субстратом для получения необходимого количества биомассы пищевых дрожжей является питательная среда, которую готовят из свекловичной мелассы с добавлением источников небелкового азота. После достижения определенной концентрации дрожжевой массы в питательной среде, дрожжи сепарируются и отправляются в дальнейшее производство, а оставшаяся технологическая жидкость, содержащая комплекс питательных, минеральных и биологически активных веществ, проходит технологию переработки с целью стабилизации, для получения стандартизированного кормового средства винасса (барда из свекловичной мелассы). Которая используется в качестве дополнительного компонента в кормопроизводстве.

Питательность винассы во многом зависит от ее влажности. Усредненные значения питательности приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Показатели питательности свекловичной винассы

Питательные вещества	Свекловичная винасса
Обменная энергия, ккал/кг	800,00
Сухое вещество, %	58,00
Влажность, %	42,00
Сырой протеин, %	19,50
Сырой жир, %	0,30
Сырая клетчатка, %	1,00
Сырая зола, %	15,50
Спирторастворимые сахара, %	2,00
Кальций, %	0,60
Фосфор, %	0,10
Магний, %	0,20
Калий, %	8,00
Сера, %	0,70
Натрий, %	1,30
Хлор, %	4,50
Железо, мг/кг	255,00
Марганец, мг/кг	80,00
Цинк, мг/кг	179,00
Медь, мг/кг	39,00
pH	6,50
Глутаминовая кислота, %	9,65
Лизин, %	0,32
Метионин, %	0,06
Цистин, %	0,12
Триптоф, %	0,16
Треонин, %	0,14
Триптофан, %	0,16
Гистидин, %	0,10
Аргинин, %	0,17
Валин, %	0,40
Изолейцин, %	0,54
Лейцин, %	0,52
Массовая доля бетаина, %	11,00
Вит, А, МЕ/кг	333,00
Вит, D3, МЕ/кг	2061,00
Вит, Е, мг/кг	1,00

По данным авторов β-винассу (побочный продукт, получаемый из свекловичной патоки) можно использовать в рационе перепелов в качестве альтернативного ингредиента корма, который

удовлетворит потребности животного в питательных веществах, увеличит количества *Lactobacillus spp.* в кишечнике и тем самым окажет положительное влияние на пищеварительную систему [2,3,4,5].

Другой группой исследователей было установлено, что толщина скорлупы, как и показатель упругой деформации яичной скорлупы значительно улучшились после ввода β-винассы в корма [6].

В исследованиях по вводу винассы в рацион КРС было установлено, что оптимизация переваривания в рубце приводит к повышению молочной продуктивности, валового удоя молока на 7,1% и увеличению валового удоя молочного жира на 7,1% ($p < 0,05$) [2].

Из лимитирующих факторов использования винассы в кормопроизводстве стоит отметить высокую влажность продукта и необходимость установки специализированного оборудования по вводу жидких ингредиентов. При некачественном или чрезмерном вводе винассы в смеситель скорость гранулирования может быть существенно снижена или полностью остановлена из-за излишней влаги, приводящей к «закатке» прессы. Поэтому жидкость следует подавать после окончания дозирования компонентов корма в смеситель и прохождения сухого смешивания, но перед подачей жиров, для предотвращения негативных последствий изоляции частичек жиром. Распыление жидкости, должно обеспечить равномерное распределение в смешиваемом объеме корма и не допустить неравномерного намочения и налипания на внутренних элементах смесителя. Подача подогретой жидкости предпочтительна, т.к. она имеет меньшее поверхностное натяжение, лучше распределяется и увлажняет кормовую массу.

При правильном использовании винассы набранная влага хороший проводник тепла, для пропаривания частичек корма в кормовой массе. Теория и практика показывают положительный эффект увлажнения кормосмеси на процесс кондиционирования. Для этого можно подавать до 3% жидкости в смеситель, но необходимо учитывать ввод всех жидкостей (вода, органические кислоты, гидроксид аналог метионина, лизин, холин хлорид жидкий и пр.).

Целью наших исследований явилось – изучение разного процента ввода винассы на показатели прочности гранулы и энергозатраты производимого комбикорма.

Материал и методика исследований. Материалом исследований явилась винасса, объектом - комбикорма разной рецептуры.

Изучаемые показатели – затраты электроэнергии на производство комбикорма кВт/ч., прочность гранулы PDI, % на приборе Holmen NHP 200, гранулометрический состав остаток на ситах Ø 5; 3 мм и проход сита Ø 2мм.

Оборудование фирмы Ottevanger Milling Engineers. Первая линия диаметр отверстий матрицы пресс-гранулятора 3,5 мм, вторая с матрицей 4,0 мм.

В зависимости от состава рецепта, производительность и энергозатраты пресс-гранулятора могут значительно изменяться, для достижения большей прочности гранулы и снижения энергозатрат было предложено использовать отходы дрожжевого производства.

Для практической проверки и оцифровки данного предложения были составлены рецепты трех разных марок с вводом винассы и без нее. Ввод жира в смеситель был одинаковый.

Результаты исследований и их обсуждение.

Корма производились поочередно на одной линии, с использованием аналогичных режимов и производительности с отбором проб корма и измерением энергозатрат при производстве.

Результаты измерений представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Влияние ввода винассы на показатели прочности гранулы и энергозатраты

Марка корма	Номер производственной линии	Гранула, мм	Производительность т./час	Процент ввода жира и масла в смеситель, %	Ввод винассы, %	Затраты на производство кВт / т, к.к.	Гранулометрия			прочность гранулы PDI, %
							остаток на сите Ø 5мм, %	остаток на сите Ø 3мм, %	проход сита Ø 2мм, %	
ПК 1-2р Кладковый	2	4,0	13	0,3	-	5,27	9,1	75,1	2,6	97,3
			13	0,3	0,67	4,94	10,9	71,5	2,8	97,0
			14	0,3	-	4,60	9,2	75,8	2,2	97,0
			14	0,3	0,67	4,86	9,3	72,5	2,3	96,9
			15	0,3	-	4,80	9,1	69,0	3,3	97,0
			15	0,3	0,67	4,62	10,2	71,0	3,0	97,0
			16	0,3	-	4,52	7,6	76,3	2,6	97,0
			16	0,3	0,67	4,31	9,2	71,3	2,3	97,2

Продолжение таблицы 2

Марка корма	Номер производственной линии	Гранула, мм	Производительность т./час	Процент ввода жира и масла в смеситель, %	Ввод винассы, %	Затраты на производство кВт / т, к.к.	Гранулометрия			прочность гранулы PDI, %
							остаток на сите Ø 5мм, %	остаток на сите Ø 3мм, %	проход сита Ø 2мм, %	
ПК 5-1 Рост	1	3,5	15	1,6	-	4,27	-	97,1	2,0	96,8
			15	1,6	0,38	4,23	-	97,8	2,2	97,9
			17	1,6	-	4,18	-	97,3	2,0	96,5
			17	1,6	0,38	4,14	-	97,4	2,0	97,8
ПК 5-2 Рост	1	3,5	13	1,0	-	5,12	-	96,6	1,9	96,9
			13	1,0	0,38	4,71	-	97,3	1,1	97,0
			15	1,0	-	4,57	-	96,5	1,6	96,7
			15	1,0	0,38	4,36	-	96,5	2,1	96,9
			16	1,0	-	4,29	-	96,4	2,1	96,7
			16	1,0	0,38	4,20	-	96,6	2,1	97,2
			17	1,3	-	4,16	-	96,3	1,8	95,9
			17	1,3	0,38	4,10	-	96,5	2,1	97,2
			18	1,6	-	4,04	-	95,9	2,0	95,7
			18	1,6	0,38	3,87	-	94,7	2,2	97,1

При вводе винассы в марку корма ПК 1-2р Кладковый, для родительского стада бройлеров, затраты энергии снижались, а прочность гранулы практически не менялись на разной производительности гранулятора.

Ввод жидкости в марку корма ПК 5-1 Рост, для цыплят-бройлеров, привел к снижению затрат электроэнергии и к ощутимому увеличению прочности гранулы на 1,1 и 1,3 % PDI.

Добавление винассы в марку ПК 5-2 Рост снизило затраты электроэнергии на гранулирование, но не повлияло на прочность гранулы при производительности пресс-гранулятора 13-15 т./час. Однако при 16; 17; 18 т./час зафиксировано снижение энергозатрат и значительное увеличение прочности гранулы на 0,5; 1,3 и 1,4 % PDI (на приборе Holmen NHP 200).

Следует отметить ряд побочных эффектов при вводе барда из свекловичной мелассы:

- снижения стоимости корма;
- снижение количества пылевидной фракции корма, за счет увеличения прочности гранулы, и тем самым увеличение производственных показателей ЦБ;
- снижение энергозатрат, процесса гранулирования, свидетельствует об уменьшении трения и как следствие увеличения ресурса матрицы и роликов гранулятора.

Заключение. Эффект от ввода винассы на марках с низкой прочностью значительный и чем выше производительность, тем ощутимее разница в прочности. На марках с высокой прочностью и низкой производительностью эффект не очевиден из-за и так высокой базы.

Из выше приведенных данных можно сделать вывод о целесообразности использования винассы в составе гранулированных комбикормов.

Использование винассы, с целью снижения энергозатрат на процесс гранулирования и увеличение прочности гранулы является перспективным подходом, хотя и имеет ограничения по количеству ввода. Данные о благоприятных последствиях ввода на показатели продуктивности птицы весьма значительные. В целях более глубокого изучения использования винассы в кормах птицы, необходимо проведение дальнейших исследований, для оценки влияния на кур-несушек родительского стада и продуктивность цыплят-бройлеров.

Список источников

1. Коняев Н.В., Трубников В.Н. Тенденции развития комбикормового производства // Вестник Курской ГСХА. 2022. № 9. С. 140-146.
2. Оценка эффективности влияния кормового средства «Винасса» на показатели молочной продуктивности и переваримости питательных веществ рациона / Н.П. Буряков, М.А. Бурякова, И.К. Медведев и др. // Зоотехния. 2024. № 7. С. 10-14.
3. ÇETİN İsmail. Yumurtacı Bildiricin Rasyonlarında Beta Vinas Kullanımının Performans, Yumurta Verimi ve Yumurta Kalitesi Üzerine Etkil / İsmail ÇETİNİ, Derya YEŞİLBAĞ, Ş. Şule CENGİZ // Journal of Anatolian Environmental and Animal Sciences. 2021. Vol. 6, No 1. P. 106-111.

4. Прокофьева А.А., Быков А.В., Кван О.В. Белковые отходы как альтернативные источники белка в рационе // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106, № 2. С. 112-126.
5. Potential utilization of dairy industries by-products and wastes through microbial processes: a critical review / Taner Sar, Sharareh Harirchi, Mohaddaseh Ramezani et al. // Science of The Total Environment. 2022. Vol. 810. P. 1-18.
6. Effects of Beta Vinasse Supplementation on Performance, Meat Quality and Ilio-Caecal Microflora in Quail Rations / I. Cetin, D. Yesilbag, S.S. Cengiz, E. Cetin, M. Sarpasar // Journal of the Hellenic Veterinary Medical Society. 2022. Vol. 73, N 4. P. 4847-4852.

Информация об авторах:

Е.С. Боровик – кандидат сельскохозяйственных наук, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

А.Г. Менякина - доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой кормления животных, частной зоотехнии и переработки продуктов животноводства, профессор, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, menyakina77@yandex.ru.

Information about the authors:

E.S. Borovik - Candidate of Agricultural Sciences, Bryansk State Agrarian University

A.G. Menyakina - Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Animal Feeding, Private Animal Science and Processing of Animal Products, Bryansk State Agrarian University, menyakina77@yandex.ru.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Боровик Е.С., Менякина А.Г.

Научная статья
УДК 619:615.2:636.1

ВЛИЯНИЕ РАЗНЫХ СПОСОБОВ ПРИМЕНЕНИЯ ТЕТРАГИДРОВИТА НА КАЧЕСТВО СПЕРМОПРОДУКЦИИ ЖЕРЕБЦОВ – ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ

Леонид Никифорович Гамко, Анна Георгиевна Менякина, Анна Витальевна Калинова
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Комплексная витаминная добавка – тетрагидровит, введенная жеребцам – производителям двумя способами перорально постоянно и внутримышечно еженедельно при одинаковом составе рациона, в который включали сено разнотравное, зерно овса, отруби пшеничные, жмых подсолнечниковый и соль лизунец повлияла на качественные показатели спермопродукции. Установлено, что подвижность спермиев, полученных от жеребцов третьей группы, получавших тетрагидровит внутримышечно достоверно выше контрольного показателя на 15,4%. Качественные показатели свежей спермы жеребцов – производителей опытных групп оказывают, что подвижность спермиев во второй опытной группе на 0,14 и в третьей группе на 0,76 балла больше в сравнении с контрольной группой. Выживаемость спермы жеребцов – производителей в опытных группах к 32 – 40 дням опыта во второй опытной группе составила 158 – 165 часов при $t 4^{\circ}\text{C}$, и в третьей группе 130 – 145 часа. Показатель выживаемости спермиев у жеребцов производителей в обеих опытных группах повышался, во второй, где давали комплексную витаминную добавку перорально в количестве 20 мл в сутки на голову был больше на 48,34 %, и в третьей группе, где такую же дозу вводили внутримышечно еженедельно больше на 31,4 в сравнении с контрольной группой. Замечена тенденция к повышению количества патологических спермиев в опытных группах к концу периодов исследований по отношению к контролю. Полное восстановление качественных показателей свежеразбавленной спермы приходилось к концу исследований.

Ключевые слова: жеребцы – производители, спермопродукция, рацион, подвижность, выживаемость, тетрагидровит.

Для цитирования: Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Калинова А.В. Влияние разных способов применения тетрагидровита на качество спермопродукции жеребцов – производителей // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 36-39.

Original article

INFLUENCE OF DIFFERENT WAYS OF TETRAHYDROVIT APPLICATION ON QUALITY OF SPERM PRODUCTION IN STALLIONS-PRODUCERS

Leonid Nikiforovich Gamko, Anna Georgievna Menyakina, Anna Vital'yevna Kalinova
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. Administered to stallions-producers in two ways orally continuously and intramuscularly weekly with the same diet composition, which included grass hay, oats grain, wheat bran, sunflower cake and salt-lick, a complex vitamin additive – tetrahydrovit affected the quality indicators of sperm production. The sperm motility obtained from the third group of stallions was found to be reliably above the control indicator by 15.4%. The qualitative indicators of fresh sperm from stallions-producers of the experimental groups show that the sperm motility in the second experimental group is 0.14 and in the third group is 0.76 points higher compared to the control group. The sperm survival rate of stallions-producers in the experimental groups by 32-40 days of the experiment in the second experimental group was 158-165 hours at $t 4^{\circ}\text{C}$, and in the third group 130-145 hours. The sperm survival rate of stallions-producers increased in both experimental groups, in the second one, where a complex vitamin additive was given orally in the amount of 20 ml per day/head, it was 48.34% higher, and in the third group, where the same dose was administered intramuscularly weekly, it was by 31.4 % more compared to the control group. There was a tendency to increase the number of pathological sperm in the experimental groups by the end of the study periods in relation to the control. The complete restoration of the qualitative indicators of freshly diluted sperm occurred towards the end of the researches.

Key words: stallions-producers, sperm production, diet, mobility, survival, tetrahydrovit.

For citation: Gamko L.N., Menyakina A.G., Kalinova A.V. Influence of different ways of tetrahydrovit application on the quality of sperm production in stallions-producers // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 36-39.

Введение. Элементом передовой технологии в отрасли коневодства является применение искусственного осеменения племенных конематок. Этот способ ведения хозяйственной деятельности в сельскохозяйственной организации позволяет сократить число жеребцов в 5 – 6 раз и таким путем повысить удельный вес производителей высокого качества, снизить расходы на их содержание, кро-

ме того создается возможность использовать привозное семя от жеребцов производителей, принадлежащих государственным племенным предприятиям, что намного расширяет возможность совершенствования стада [1,2,3]. На основные качественные показатели спермопродукции жеребцов – производителей помимо условий кормления, моциона и различных профилактических мероприятий оказывает влияние включение биологически активных добавок в их рационы [4-11].

Целью исследований явилось изучение разных способов применения тетрагидровита на качественные показатели спермы жеребцов – производителей.

Материал и методы исследований. На базе «Всероссийского научно – исследовательского института коневодства» в Рязанской области был проведен научно-хозяйственный опыта по схеме (табл. 1).

Таблица 1 - Схема научно - хозяйственного опыта на жеребцах-производителях

Группа	Количество подопытных животных, гол.	Условия получения тетрагидровита
I - контрольная	4	Основной рацион (ОР)
II - опытная	4	ОР+ тетрагидровит в дозировке 20 мл перорально в сутки на голову
III - опытная	4	ОР+ тетрагидровита еженедельно в дозировке 20 мл внутримышечно

Объектом исследования явилась комплексная витаминная добавка, в состав которой входит: Ретинол витамин А – 25000 МЕ, Холекальциферол (Витамин Д₃ – 5000 МЕ, Токоферол ацетат (витамин Е– 25 мг, аскорбиновая кислота (витамин С – 500 мг). Подопытные животные всех трех групп содержались в одинаковых условиях. Содержание жеребцов – производителей - денниковое. Рационы кормления всех трех групп жеребцов – производителей были сбалансированы по питательности и минеральным веществам согласно нормам кормления для лошадей [4] и приведены в таблице 2.

Таблица 2 - Рацион кормления жеребцов – производителей

Корма	Дача в сутки на голову, кг	
Сено разнотравное	10	
Овес	3	
Отруби пшеничные	1	
Жмых подсолнечный	1	
Соль (лизунец)	без ограничения	
	фактическое содержание	норма
Обменная энергия, мДж	109,0	104,6
Сухое вещество, кг	12,55	12,5
Сырой протеин, г	1713	1670
Переваримый протеин, г	1068	470
Сырая клетчатка, г	2866	2000
Кальций, г	88,4	62
Фосфор, г	43,7	44
Магний, г	26	12
Железо, г	2678	1000
Медь, мг	79,3	106
Цинк, мг	569,4	400
Кобальт, мг	5,14	6,25
Марганец, г	554,4	500
Каротин, мг	308	125
Витамин А, тыс. МЕ	15	50
Витамин Д, тыс. МЕ	1,5+инсоляция	6,0
Витамин Е, мг	544	437

В 1 кг сухого вещества рациона содержалось 11,5 МДж обменной энергии и переваримого протеина 85 г, минеральная часть рациона была обеспечена за счет кормов, входящих в состав рациона.

Анализ кормов и добавок проводили на инфракрасном анализаторе DS – 2500 фирмы «Foss» (Швеция) в Рязанской областной ветеринарной лаборатории. В опыте сперму от жеребцов – производителей забирали дважды в неделю на искусственную вагину по общепринятой методике, в соответствии с «Инструкцией по искусственному осеменению кобыл и трансплантации эмбрионов лошадей». Жеребец делал садку на кобылу с явно выраженной половой охотой. Случной манеж перед взятием спермы облучали бактерицидными лампами в течение 2 часов. После получения спермы оцени-

вали эякулят по объему, концентрации, подвижности спермиев (в баллах), целостности мембран (%), наличию патологии клеток (%) с помощью микроскопа «Olympus» и системы видеофиксации. Концентрацию спермиев в эякуляте определяли в счетной камере Горяева. Целостность мембран у заморожено – оттаянной спермы также определяли с помощью эозиновой окраски.

Результаты и их обсуждение. Анализ рациона кормления жеребцов – производителей показал, что он по уровню содержания обменной энергии соответствует общепринятым нормам за счет скармливаемых качественных кормов, витаминная питательность рациона в опытных группах обеспечивается за счет добавки тетрагидровита с помощью разных способов ее доставки в организм жеребцам – производителям. Качественные показатели свежей спермы при применении тетрагидровита у жеребцов – производителей приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Показатели свежей спермы жеребцов – производителей при применении тетрагидровита перорально и внутримышечно

Промежуточные периоды взятия спермы, дни	Показатель								
	подвижность, баллы			выживаемость, часы при 4 °С			патологические спермии %		
	группа			группа			группа		
	I - К	II - О	III - О	I - К	II - О	III - О	I - К	II - О	III - О
6	4,75±0,2	5±0,2	6±0,1	120±8	170±9	156±8	16±2,8	20±2,9	24±2,7
14	4,5±0,1	4,8±0,2	5,4±0,1	110±6	160±8	145±7	19±2,5	17±2,4	23±2,5
20	5,5±0,2	5,5±0,1	5,4±0,1	110±9	160±9	145±10	16±2,1	20±2,0	22±2,2
26	5±0,1	5±0,1	6±0,2	92±10	142±11	125±12	19±2,0	23±2,3	29±2,4
32	5±0,1	5,2±0,2	5,4±0,2	100±12	158±10	130±11	24±3,6	29±3,8	32±3,6
40	4,9 ±0,2	5,0 ±0,1	6,0 ±0,1	112 ±11	165 ±12	145 ±11	23 ±4,2	30 ±4,1	35 ±4,0
в среднем	4,94±0,15	5,08±0,15	5,70±0,13	107,3±9,3	159,2±9,8	114,0±9,8	19,5±2,9	23,0±3,4	27,5±2,9

Примечание: К – контроль, О – опытная

Анализ данной таблицы показывает, что использование тетрагидровита жеребцам – производителям перорально положительно сказалось на качественных показателях спермопродукции. Данные за период, характеризующие качество спермы жеребцов-производителей показаны в таблице 4.

Таблица 4 - Некоторые показатели качества спермы жеребцов – производителей при разных способах введения тетрагидровита за период опыта

Группа	Показатель		
	подвижность, баллы	выживаемость, часы при 4 °С	патологические спермии, %
I - контрольная	4,94±0,15	107,3±9,3	19,5±2,9
II - опытная	5,08±0,15	159,2±9,8*	23,2±3,1
% к контролю	102,3	48,34	3,7
III - опытная	5,7±0,13*	141,0±9,8	27,5±2,9
% к контролю	115,4	31,4	8,0

Примечание: *P<0,05

Нами установлено, что подвижность спермиев опытных групп была больше во второй группе на 0,14 и в третьей на 0,76 балла (P<0,05). Выживаемость во второй опытной группе, где ежедневно перорально давали комплексную витаминную добавку тетрагидровит была достоверно больше на 48,34%. Введение жеребцам – производителям 20 мл тетрагидровита внутримышечно еженедельно указало на тенденцию к увеличению патологических спермиев (на 8% больше), однако их выживаемость превышала данный контрольный показатель.

Заключение. Установлено, что подвижность спермиев, полученных от жеребцов третьей группы, получавших тетрагидровит внутримышечно достоверно выше контрольного показателя на 15,4%. Показатель выживаемости спермиев у жеребцов производителей в обеих опытных группах повышался, во второй, где давали комплексную витаминную добавку перорально в количестве 20 мл в сутки на голову был больше на 48,34 %, и в третьей группе, где такую же дозу вводили внутримышечно еженедельно больше на 31,4 в сравнении с контрольной группы.

Список источников

1. Калашников Р.В., Калашников В.В. Коневодство в новой экономике России // Коневодство и конный спорт. 2018. № 4. С. 4-7.

2. Conservation of genetic resources in horse breeding and major structural damages of sperm during semen cryopreservation in stallions / М.М. Atroshchenko, Е.Е. Bragina, А.М. Zaitsev et al. // Nature Conservation Research. 2019. Vol. 4, No. S2. P. 78-82.
3. Оценка подвижности сперматозоидов жеребцов методом CASA / М.М. Атрощенко, Е.В. Никиткина, В.В. Калашников и др. // Коневодство и конный спорт. 2018. № 6. С. 30-32.
4. Физиологические показатели спортивных лошадей при скармливании препарата "Иппосорб" / С.Е. Яковлева, В.В. Черненко, Г.Ф. Бовкун и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2019. № 5 (75). С. 61-65.
5. Влияние схемы скармливания витаминно-пробиотического препарата лошадям на морфологический состав крови / Е.В. Крапивина, С.Е. Яковлева, В.В. Черненко и др. // Зоотехния. 2021. № 3. С. 21-25.
6. Влияние микрофлоры воздуха конюшен на клиническое состояние лошадей / С.И. Шепелев, С.Е. Яковлева, В.В. Черненко и др. // Коневодство и конный спорт. 2019. № 5. С. 24-25.
7. Динамика качественных показателей спермы жеребцов в смежных поколениях (использован материал из биоресурсной коллекции "Криобанк генетических ресурсов" ФГБНУ "ВНИИ коневодства") / В.А. Науменкова, В.В. Калашников, А.М. Зайцев и др. // Коневодство и конный спорт. 2018. № 2. С. 32-34.
8. Яковлева С.Е., Шепелев С.И., Лемеш Е.А. Использование витаминно-минеральных комплексов в кормлении молодняка лошадей // Аграрный научный журнал. 2023. № 3. С. 96-102.
9. Яковлева С.Е., Шепелев С.И., Гармалита Н.С. Выращивание молодняка лошадей с применением различных витаминно-минеральных комплексов // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 2 (96). С. 44-50.
10. Маркин С.С., Зиновьева С.А., Козлов С.А. Некоторые особенности метаболизма лошадей при разном режиме двигательной активности // Иппология и ветеринария. 2020. № 3 (37). С. 52-59.
11. Зиновьева С.А., Козлов С.А., Маркин С.С. Стрессовые факторы разнообразной природы при содержании и эксплуатации лошадей // Иппология и ветеринария. 2024. № 2 (52). С. 55-64.

Информация об авторах:

Л.Н. Гамко - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры кормления животных, частной зоотехнии и переработки продуктов животноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

А.Г. Менякина - доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой кормления животных, частной зоотехнии и переработки продуктов животноводства, профессор, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, menyakina77@yandex.ru.

А.В. Калинова – аспирант кафедры кормления животных, частной зоотехнии и переработки продуктов животноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors:

L.N. Gamko - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Animal Feeding, Private Animal Husbandry and Processing of Animal Products, Bryansk State Agrarian University.

A.G. Menyakina - Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Animal Feeding, Private Animal Science and Processing of Animal Products, Bryansk State Agrarian University, menyakina77@yandex.ru.

A.V. Kalinova - Postgraduate student of the Department of Animal Feeding, Private Animal Husbandry and Animal Products Processing, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024 .

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024 .

© Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Калинова А.В.

**АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES
ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ АГРОПРОМЫШЛЕННОГО КОМПЛЕКСА
(ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ)**

Научная статья
УДК 631.312.021.3

**МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОСТАТОЧНЫХ РАЗМЕРОВ ИЗНОШЕННЫХ НОЖЕЙ
СОСТАВНЫХ ЛЕМЕХОВ КОМПАНИИ «ЛЕМКЕН»**

Сергей Александрович Феськов, Никита Андреевич Иванов, Павел Александрович Старовойтов
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Как показывает практика, все чаще Российские сельскохозяйственные производители переходят на технику зарубежного производства. Это обусловлено возможностью качественно проводить полевые работы, а качество работ на прямую зависит от исполнительных органов почвообрабатывающих орудий. Так же такие орудия повышают производительность всех работ в целом, что позитивно сказывается на общей тенденции развития агропромышленного комплекса. Однако увеличенный ресурс деталей зарубежного производства, по сравнению с отечественным, не в полной мере компенсируется ввиду сильного повышения их стоимости. Безусловно, такая ценовая политика диктуется наложенными санкциями на нашу страну. Выходом из сложившейся ситуации является разработка технологий восстановления и упрочнения рабочих органов почвообрабатывающих орудий. Однако же отсутствие необходимых знаний об специфике износа лемехов затрудняет разработку такой технологии. Так же в открытом информационном поле отсутствуют сведения о ремонтпригодности и предельных износах лемехов. Поэтому в представленных материалах содержатся сведения о предельном состоянии лемехов компании «Lemken», дано значение остаточной ширины конструктивного элемента, которая позволяет выполнять восстановительные работы. Остаточная ширина является определяющим критерием жесткости всего изделия. Не соблюдение этого параметра приводит к появлению дефекта – изгиба восстановленного изделия. Проведены исследования показывающие, что более 70% деталей пригодны к дальнейшему восстановлению. Так же проведенный анализ износов ножей лемехов позволил установить три ремонтные группы. К первой группе относятся детали с размерами от 88 – 96 мм (40 % деталей); вторая - 98 - 103мм (16% деталей); третья - 98 - 103 мм (16% деталей.) В качестве метода восстановления возможно применить метод терм упрочнённых-компенсирующих элементов.

Ключевые слова: составные лемеха, износы, восстановление, упрочнение, импортозамещение, утилизированные материалы, ресурс, технология реновации.

Для цитирования: Феськов С.А., Иванов Н.А., Старовойтов П.А. Методика определения остаточных размеров изношенных ножей составных лемехов компании «Лемкен» // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 40-43.

Original article

**METHODOLOGY FOR DETERMINING REMAINING DIMENSIONS OF
WORN-OUT KNIVES OF LEMKEN COMPOUND PLOUGHSHARES**

Sergey A. Fes'kov, Nikita A. Ivanov, Pavel A. Starovoitov
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. As practice shows, Russian agricultural producers are increasingly switching to foreign-made equipment. This is due to the ability to carry out high-quality field work, and the quality of work depends directly on the executive bodies of soil tillage implements. Such tools also increase productivity of all the kinds of work as a whole, which has a positive effect on the general trend of development of the agro-industrial complex. However, increased service life of foreign-made parts, compared to domestic ones, is not fully compensated due to the strong increase in their cost. Of course, this pricing policy is dictated by the sanctions imposed on our country. The way out of this situation is to develop technologies for restoring and strengthening of soil tillage implements working bodies. However, the lack of necessary knowledge about the specifics of ploughshare wear makes it difficult to develop such technology. Also in the open information field there is no information about repairability and wear limits of ploughshares. Therefore, the presented materials contain information about the limiting state of Lemken ploughshares, and the value of the remaining width of the structural element, which allows restoration work to be carried out. The remaining width is a determining criterion for the rigidity of the entire product. Failure to comply with this parameter leads to the appearance of a defect-bending of the restored product. The researches have been conducted showing that

more than 70% of parts are suitable for further restoration. Also, the analysis of plowshare knife wear allowed establishing three repair groups. The first group includes parts with dimensions from 88 – 96 mm (40% of parts); second - 98 - 103mm (16% of parts); third - 98 - 103 mm (16% of parts.) As a method of restoration it is possible to apply the method of thermally hardened-compensating elements.

Key words: compound ploughshares, wear, restoration, hardening, import substitution, recycled materials, resource, renovation technology.

For citation: Fes'kov S.A., Ivanov N.A., Starovoitov P.A. Method for determining the remaining dimensions of worn knives of composite plashes of the Lemken company // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 40-43.

Введение. Среди известных (брендовых) производителей сельскохозяйственной техники существует несколько флагманских компаний, к которым относится фирма “Лемкен”, имеющая давнюю историю и традиции высокого качества [1, 2]. Компании более 230-лет и она является лидером производства сельскохозяйственной техники в Европе и за ее пределами. Она выпускает большой ассортимент почвообрабатывающих орудий, применяемых на территории РФ. Широкое применение таких плугов привело к необходимости поддержания их в работоспособном состоянии. Прежде всего, внимание инженерных служб сельскохозяйственного производства России обращено на увеличение долговечности плужных лемехов, так как эти детали определяют работоспособное состояние агрегата в целом [3, 4]. Увеличение долговечности может быть достигнуто за счёт восстановления изношенных лемехов, а для разработки технологий повышения ресурса и восстановления необходимо изучить специфику износа таких деталей [5, 6]. В материал публикации представлены исследования, посвященные разработке методики определения остаточных размеров изношенных ножей составных лемехов компании “Лемкен”. Изделие данной фирмы являются наиболее распространенными в сельскохозяйственном производстве РФ. Необходимость разработки методики определения остаточных размеров диктуется еще одним существенным фактором, таким как введение санкций, зарубежными государствами в отношении нашей страны. Полученные данные в дальнейшем будут способствовать разработке технологии восстановления и упрочнения таких деталей.

Цель исследований. Разработка методики определения остаточных размеров изношенных ножей составных лемехов компании «Лемкен»

Материалы. Инструмент. Оборудование. Методика. Изучение остаточных линейных размеров ножей компании “Лемкен” осуществлялось после окончания полевых работ. Стоит отметить, что эти размеры являются основополагающими при определении работоспособности деталей [7]. Лемеха использовались на супесчаных почвах, плуг агрегатировался с «Кировец К-703МА». Опытные детали контролировались по остаточной ширине ($h1, h2, h3$). Стоит отметить, что так же измерялась и остаточная толщина t_i . Для изучения t_i выбирались точки на детали (рис. 1б). Так же еще одним критерием для изучения износа служила длина от крепежного отверстия до носка лемеха (l).

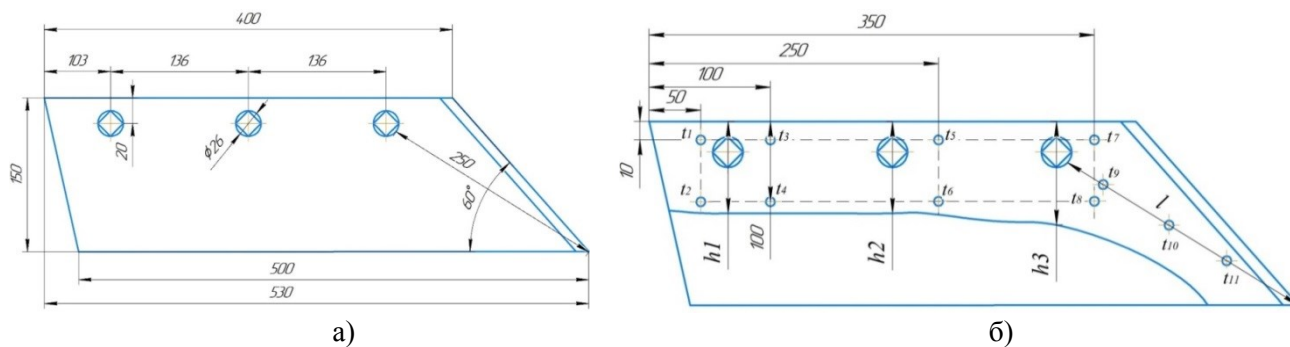


Рисунок 1 – Изучаемая деталь (а - чертеж ; б – схема измерения ножа)

Износ присущий лемеху продемонстрирован на рисунке 1б (кривая линия). Измерения износа детали производилось при помощи штангенциркуль ШЦ 300 - 0,1.

Для обработки полученных значений износов использовался программный продукт Microsoft – Excel.

Результаты исследований. Изучение износов ножей лемехов по толщине, проводившейся в одиннадцати точках, дал понять, что максимальные значения соответствуют 9 мм, в то время минимальное равно 5. Полученные значения толщин дают сделать выводы о возможности дальнейшего использования остова [8].

В качестве критерия надежности стыковки долота с лемехом можно принять длину от начала крепления лемеха до его носовой части (l). l находится в диапазоне от 170 до 210 мм и можно сделать

вывод, что остаточный длины будет достаточно для надежного сопряжения двух деталей, учитывая, что номинальное значение равно 250 мм. Исходя из выше сказанного, можно сделать вывод, что по критерию остаточной длины лемеха пригодны к восстановлению.

Критерий ремонтпригодности напрямую непосредственно зависит от толщины детали, так как она регламентирует жесткость изделия в целом. Стоит отметить, что ремонт детали с использованием термоупрочнённых компенсирующих элементов (ТКЭ) невозможен при низком коэффициенте жесткости, так как это увеличивает вероятность деформации изделия и нарушает стабильность размеров. В процессе выполнения сварочных работ есть вероятность возникновения остаточных напряжений. В данном случае на рисунке 2 показан яркий пример последствия возникновения остаточных напряжений в виде изгиба. Появление такого дефекта отрицательно сказывается на возможности эксплуатации данной детали. Она перестает отвечать агротехническим требованиям, а следовательно, не может быть использована в работе.



Рисунок 2 – Деформация лемеха после восстановления из-за наличия остаточных напряжений

По критерию жесткости восстановленного изделия непосредственно зависит от наличия остаточных напряжений в остове детали. Исходя из этого, возникновение остаточных напряжений регламентируется непосредственно размерами режущее-лезвийной части, технологией сварочных работ и параметрами ТКЭ. Таким образом, прежде чем восстанавливать лемеха, следует по критерию жесткости отсортировать поступившие на восстановления детали.

Как показала практика, теоретически определить наличие остаточных напряжений, возникающих вследствие выполнения сварочных работ, практически невозможно. Это обусловлено наличием множества факторов, влияющих на конечный результат.

Поэтому при нахождении оптимального размера остаточной ширины остова, при которой исключается возможность возникновения изгиба, использовались практические наработки инженерного персонала технического сервиса, а также собственный опыт автора.

В процессе изучения износа, было выявлено, что максимальный износ находится в этой области и он будет главным критерием при определении толщины ТКЭ.

Экспериментально было установлено, что при остаточной ширине равной менее 88 мм, имеет место деформация восстановленной детали, проявляющаяся в виде изгиба. Таким образом, часть лемехов, а именно 28% не представляется возможным восстановить, так как они не выдерживают критерий жесткости.

Проведенный анализ износов ножей лемехов позволил выявить детали пригодные к восстановлению, и разбить их на три ремонтные группы (рис. 3). К первой группе относятся детали с размерами от 88 – 96 мм (40 % деталей); вторая - 98 – 103 мм (16% деталей); третья - 98 - 103 мм (16% деталей.)

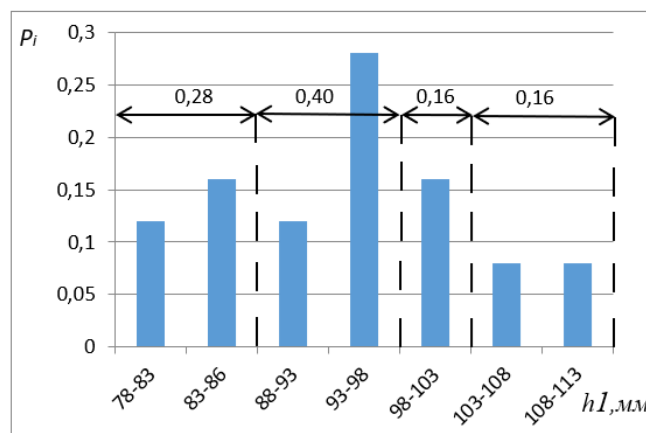


Рисунок 3 – Графическое отображение h в сечении h_1

Выводы. 1. По критерию предельное состояние лемехов компании «Lemken» определено значение остаточной ширины, составляющее 88 мм.

2. Исследованиями показано, что более 70% деталей пригодны к дальнейшему восстановлению.

Список источников

1. Разновидности конструкции плужных лемехов / А.М. Михальченков, В.М. Кузюр, Г.И. Феськова, В.С. Барнась // Труды инженерно-технологического факультета: сб. многолетних исследований, проводимых кафедрой технического сервиса Брянского ГАУ. Брянск, 2024. С. 44-52.
2. Караваев М.А. Факторы, влияющие на изнашивание рабочих органов почвообрабатывающих машин // Наука без границ. 2021. № 8 (60). С. 4-9..
3. Михальченков А.М., Феськов С.А. Критический анализ технологий упрочняющей реновации плужных лемехов // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. II междунар. науч.-практ. конф. Брянск, 2023. С. 39-43.
4. Михальченков А.М., Феськов С.А. Критический анализ технологий упрочняющей реновации плужных лемехов // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. II междунар. науч.-практ. конф. Брянск, 2023. С. 39-43.
5. Прогнозирование остаточного ресурса долот плугов компании "лемкен" и размерные группы деталей, пригодных к эксплуатации / А.М. Михальченков, Ю.И. Филин, С.А. Феськов, М.А. Михальченкова // Технология металлов. 2023. № 12. С. 40-45.
6. Михальченков А.М., Феськов С.А. Повышение долговечности деталей рабочих органов почвообрабатывающих орудий импортного производства (опыт Брянского ГАУ) // Вестник Брянской ГСХА. 2023. № 2 (96). С. 62-68.
7. Михальченков А.М., Гуцан А.А., Гапонова В.Е. Повышение износостойкости и межремонтного ресурса плужных лемехов совмещенным способом восстановления и упрочнения // Технология металлов. 2023. № 1. С. 44-48.
8. Повышение ресурса и стойкости к абразивному изнашиванию долот лемехов наплавкой электродами с борсодержащей обмазкой / В.Ф. Аулов, В.П. Лялякин, А.М. Михальченков и др. // Сварочное производство. 2019. № 7. С. 28-31.
9. Михальченков А.М., Феськов С.А., Кожухова Н.Ю. Восстановление ножей лемехов компании "лемкен" методом термоупрочненных компенсирующих элементов // Технический сервис машин. 2023. Т. 61, № 1 (150). С. 84-92.
10. Михальченков А.М., Гуцан А.А., Гапонова В.Е. Повышение износостойкости и межремонтного ресурса плужных лемехов совмещенным способом восстановления и упрочнения // Технология металлов. 2023. № 1. С. 44-48.

Информация об авторах:

С.А. Феськов – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, feskovwork@gmail.com.

Н.А. Иванов – студент инженерно-технологического института, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

П.А. Старовойтов – студент инженерно-технологического института, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors:

S.A. Fes'kov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Bryansk State Agrarian University, feskovwork@gmail.com.

N.A. Ivanov - student of the Institute of Engineering and Technology, Bryansk State Agrarian University.

P.A. Starovoitov - student of the Institute of Engineering and Technology, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 09.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024 .

The article was submitted 09.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024 .

© Феськов С.А., Иванов Н.А., Старовойтов П.А.

Научная статья
УДК 621.791.925

СРАВНИТЕЛЬНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНОЛОГИЙ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ЧУГУННЫХ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Владимир Константинович Астанин, Николай Николаевич Булыгин, Максим Сергеевич Сучков
ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, Воронежская область, Воронеж, Россия

Аннотация. При ремонте чугунных деталей в основном используются технологии электродуговой и газовой сварки. После сварки изменяется структура чугуна, при этом образуются твердые включения, которые являются концентраторами напряжений, а полностью получаемые швы имеют высокую твердость и плохо обрабатываются режущим инструментом. В процессе работы детали по этим включениям будут проходить разрушения, трещины по границам упомянутых твердых включений, разрушения при малых вибрационных и ударных нагрузках. Для устранения дефектов необходимо использовать технологии, которые позволят избежать высоких температур при восстановлении и не переплавлять металл детали, соответственно, обеспечить полную сохранность структуры металла детали и его первоначальные свойства (твердость и прочность). Нами проведена сравнительная оценка технологий восстановления корпусных чугунных деталей сельскохозяйственной техники на предмет проявления белого чугуна в соединении, а также на сохранность металла детали при термических воздействиях. В проведенных оценках технологий восстановления выявлено, что технологии сварки имеют высокие температуры нагрева и переплавляют металл в месте соединения присадочного материала с основным, а полученные швы имеют высокую твердость и вследствие высокотемпературного нагрева прошло полное изменение первоначальной структуры чугуна. При использовании предлагаемой технологии газотермического плакирования порошковыми материалами такие виды дефектов отсутствуют, так как температура нагрева чугуна ниже точки его плавления и температура нанесения порошкового материала ниже температуры начала перекристаллизации чугуна. Кроме того выявлены недостатки электродуговой и газовой сварки чугуна, а также определены преимущества технологии газотермического плакирования порошковыми самофлюсующимися материалами.

Ключевые слова: сварка чугуна, плакирование, порошковые материалы, переплавление, чугунные детали, соединения, белый чугун.

Для цитирования: Астанин В.К., Булыгин Н.Н., Сучков М.С. Сравнительная оценка технологий восстановления чугунных корпусных деталей сельскохозяйственной техники // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 44-47.

Original article

COMPARATIVE EVALUATION OF TECHNOLOGIES FOR RESTORING CAST- IRON BODY PARTS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Vladimir K. Astanin, Nikolay N. Bulygin, Maxim S. Suchkov
Voronezh State Agrarian University, Voronezh region, Voronezh, Russia

Abstract. When repairing cast- iron parts, electric arc and gas welding technologies are mainly used. After welding, the structure of cast iron changes, while solid inclusions are formed, which are stress concentrators, and the fully obtained seams have high hardness and are poorly processed with a cutting tool. During the operation of the part, these inclusions will undergo destruction, cracks along the boundaries of the mentioned solid inclusions, destruction under low vibration and shock loads. To eliminate defects, it is necessary to use technologies that will avoid high temperatures during restoration and not melt the metal of the part, respectively, to ensure the complete preservation of the structure of the metal of the part and its original properties (hardness and strength). We have carried out a comparative assessment of technologies for the restoration of cast iron body parts of agricultural machinery for the manifestation of white cast iron in the joint, as well as for the safety of the metal of the part under thermal influences. In the conducted assessments of recovery technologies, it was revealed that welding technologies have high heating temperatures and melt the metal at the junction of the filler material with the main one, and the resulting seams have high hardness and, due to high-temperature heating, a complete change in the original structure of cast iron has taken place. When using the proposed technology of gas-thermal cladding with powder materials, such types of defects are absent, since the heating temperature of cast iron is below its melting point and the application temperature of the powder material is below the temperature of the beginning of recrystallization of cast iron. In addition, the disadvantages of electric arc and gas welding of cast iron have been identified, as well as the advantages of the technology of gas-thermal cladding with powder self-fluxing materials.

Key words: cast-iron welding, cladding, powder materials, remelting, cast-iron parts, joints, white cast-iron.

For citation: Astanin V.K., Bulygin N.N., Suchkov M.S. Comparative assessment of technologies for the restoration of cast-iron body parts of agricultural machinery // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 44-47.

Введение. При ремонте чугунных деталей в основном используется технология электродуговой сварки [1]. Получаемые сварные швы имеют высокую твердость по отношению к чугуну детали. При нагревании чугуна электрической дугой, у которой температура местного нагрева поверхности 1450...1600 °С, возникает переплавление чугуна выше критической температуры 1147 °С и при быстром охлаждении (охлаждение на воздухе) углерод переходит в цементит (карбид железа) [2]. После сварки изменяется структура чугуна: образуются твердые включения, которые являются концентраторами напряжений.

Следующей широко используемой технологией является газовая сварка чугунов [3], у которой источником тепла является смесь кислорода с горючим газом (ацетилен, пропан-бутан). Характер нагрева и соединения чугуна детали с присадочным металлом по температурному режиму сопоставим с нагревом электродуговой сваркой, но формирует большую площадь нагрева поверхности.

Рассмотренные виды сварок имеют схожие недостатки: местное поверхностное переплавление металла, а также в металле сварного шва появляются включения белого чугуна с высокой твердостью.

Для ремонта необходимо использовать технологии, которые позволят избежать высоких температур при восстановлении и не переплавлять металл детали, соответственно, обеспечить полную сохранность структуры металла детали и его первоначальные свойства (твердость и прочность). Одной из них будем считать технологию газотермического плакирования порошковыми самофлюсующимися материалами [4]. Известно, что плакирование это процесс нанесения на поверхность деталей защитных покрытий с термомеханической связью металлов.

Цель работы - провести сравнительную оценку технологий восстановления корпусных чугунных деталей сельскохозяйственной техники.

Материалы и методы исследования. Для оценки соединений восстановили три дефекта на передней чугунной крышке двигателя Д-240 демонтированного с трактора МТЗ-80. Выполнили разделку дефектов с использованием УШМ по известному [5] виду V-разделки кромок для электродуговой сварки, но чугун прорезан не полностью (рис. 1).

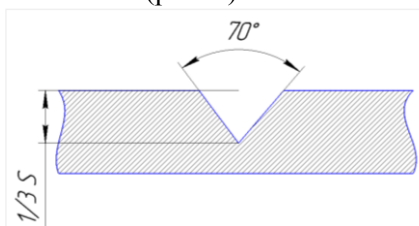


Рисунок 1 – схема разделки кромок фрагмента

После разделки приступали к электродуговой сварке электродами по чугуну марки SELLER GM CAST-1-d с основным покрытием. Приняли диаметр электрода 3 мм, сварочный ток 80А. При этом контролировали температуру чугуна в процессе сварки оптическим инфракрасным пирометром DT9862, а также затрачиваемое время секундомером. По окончании полученный шов зачищали.

На втором дефекте проводили газовую сварку проволокой СВ08Г2С. Применяли газы: ацетилен с давлением 0,05 МПа и кислород 0,4 МПа наконечник №3. Далее прогревали полость разделки восстановительной зоной науглероживающего пламени до жидко блестящего цвета поверхности, далее провели соединение, при этом контролировали температуру и время.

На третьем дефекте проводили газотермическое плакирование порошковыми самофлюсующимися материалами. Выбрали порошковый материал ПР-НС2Р2 на основе никеля сопоставимый твердости чугуна НВ 248, с температурой образования жидкой фазы 1065 °С, твердость покрытия НВ 245-255, размер фракции порошкового материала 40 -100 мкм.

Наплавочной горелкой ГН-2 прогревали локальную зону боковой поверхности разделки до температуры 900...1000 °С (мокрого блеска поверхности). В этот момент включали подачу порошкового материала. Порошок, проходя через инжектор и трубку горелки, в ядре пламени переходил в жидкую фазу с твердыми включениями и потоком горящих газов переносился на разогретую поверхность. Процесс соединения чугуна детали с порошком в жидкой фазе контролировался визуально по характеру растекания жидкого валика по поверхности детали [6]. Если он слитный, то температура поверхности достаточна, если валик фрагментировался на несколько капель, то температура не достаточна. Чем выше поднималась температура локального прогрева детали, тем большие термические влияния приходились на деталь.

После восстановления дефектов возник интерес проверить соединения на предмет твердых включений и на наличие проявления частиц белого чугуна и их воздействия на первоначальную

структуру. Для этого изготовили микрошлифы путем шлифования и полировки, протравили места соединений раствором спирта с 4%-ной концентрированной азотной кислотой.

Результаты и их обсуждение. По данным температур и времени (табл. 1), полученных при экспериментальных измерениях, построили график зависимости температуры по времени.

Таблица 1 - Результаты измерений температур и времени используемых технологий восстановления

Операции	Температура измерений, °С			Время, с.
	электродуговая сварка	холодная газовая сварка	газотермическое плакирование	
Начальные условия	22	22	22	0
Предварительный прогрев	1480	1452	980	25
Процесс восстановления	1	1532	896	50
	2	1494	913	75
	3	1509	899	100
Охлаждение	1	758	576	160
	2	474	394	220
	3	235	206	280

При выполнении газовой сварки и газотермического плакирования проводился предварительный прогрев металла, а для электродуговой сварки в графе предварительного прогрева принято среднее значение интервала температур, так как при начале сварки электрическая дуга прогревает металл до необходимой температуры за доли секунды.

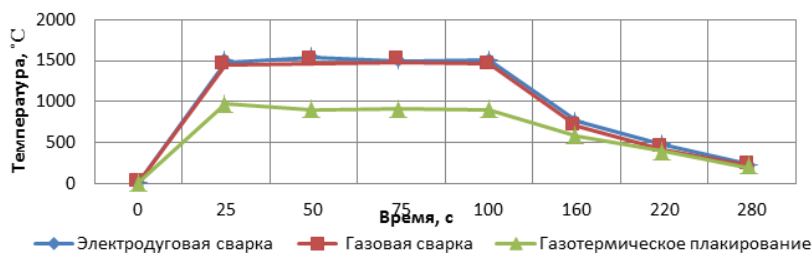


Рисунок 2 – график сравнения изменения температуры по времени рассматриваемых технологий восстановления

Анализируя полученные кривые графика (рис. 2) можно полагать, что тепловые процессы газовой и электродуговой сварок имеют более высокие температуры при соединении, по отношению к технологии газотермического плакирования порошковыми материалами.

Для сравнительной оценки технологий восстановления корпусных чугунных деталей провели исследования на микроскопе на предмет изменения структуры и на проявления частичек белого чугуна.

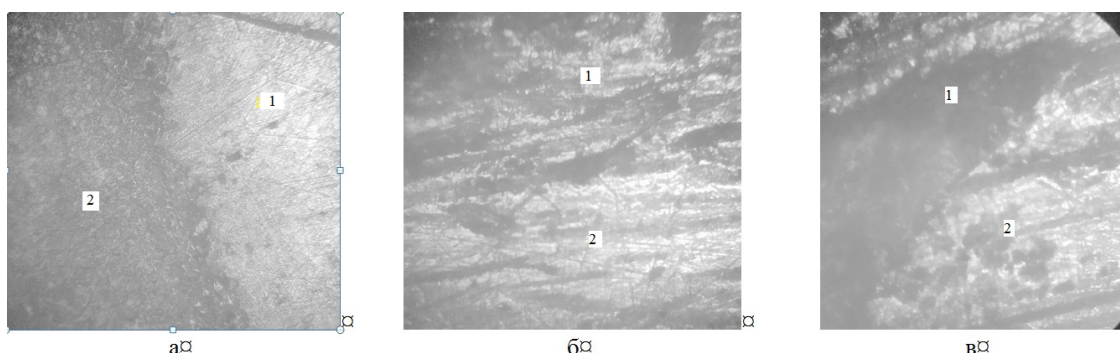


Рисунок 3 – Сравнительная оценка соединений чугуна с присадочным металлом:

а – соединение газотермическим плакированием порошковым материалом ПП–НС2Р2,

б – соединение электродуговой сваркой электродом SELLER GM CAST-1-d с основным покрытием,

в – соединение газовой сваркой проволокой СВ08Г2С

По виду составляющих структуры чугуна после восстановления можно судить о качестве соединения (рис. 3 а) при использовании предлагаемой технологии газотермического плакирования: чугун 2 детали имеет структуру без изменений. В месте соединения чугуна 2 и порошкового материала 1 видима явная граница металлов. Структура чугуна в месте соединения осталась неизменной.

При электродуговой сварке (рис. 3. б) чугун 2 образца детали имеет измененную структуру, переходящую в стадию белого чугуна, а также в месте соединения присутствует разнородная струк-

тура 1 по составляющим. У газовой сварки (рис. 3 в) структуры сопоставимы также как и у электродуговой, но из-за большой площади нагрева структурные неопределенности располагаются по большей площади.

Заключение. В результате сравнительного анализа технологий восстановления чугунных деталей выявлено, что при использовании технологий газовой и электродуговой сварок чугуна происходит расплавление металла, уничтожается поверхностная первоначальная структура чугуна вследствие высоких температур и резкого охлаждения, что приводит к необходимости последующей термической обработки детали и не гарантирует предотвращение образования трещин в шве и около шовной зоне.

При использовании технологии газотермического плакирования порошковыми самофлюсующимися материалами на основе никеля таких проявлений не наблюдается, так как температура местного нагрева чугуна ниже критической температуры и равняется температуре образования жидкой фазы в порошковом материале. При таких температурах поверхность изделия остается твердой, соединение проходит термодиффузией твердого чугуна с жидкой фазой (включающей твердые частицы) порошкового материала.

Технология газотермического плакирования порошковыми самофлюсующимися материалами позволяет сохранить структуру металла детали и его первоначальные свойства (твердость и прочность), обеспечить полноценный ресурс и необходимые свойства чугунных деталей.

Список источников

1. Королев А.Г., Чернова Т.Г. Технологические возможности перспективных методов сварки деталей из серого чугуна // Электронный журнал: наука, техника и образование. 2021. № 2 (33). С. 5-15.
2. Никишкина А.Б., Булычев В.В. Совершенствование технологии ремонтной сварки чугуна // Машиностроение: инновационные аспекты развития: материалы VI междунар. науч.-практ. конф. СПб, 2023. С. 66-68.
3. Крупин К.В., Токарев А.С. Методы сварки серого чугуна и сравнение сварки роботом и человеком // Наука ГТИ НИЯУ МИФИ – 2023: сб. науч. тр. Трехгорный, 2023. С. 53-60.
4. Никишкина А.Б., Булычев В.В. Совершенствование технологии электродуговой сварки и наплавки автомобильных деталей из чугунов // Современные автомобильные материалы и технологии (САМИТ-2023): сб. науч. ст. 15-й междунар. науч.-техн. конф. Курск, 2023. С. 154-156.
5. Никишкина А.Б., Булычев В.В. Ремонтный способ сварки чугуна с предварительной проковкой // Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса: материалы Всерос. науч.-техн. конф. Курск, 2023. С. 156-159.
6. Юрьева В.А., Локотков И.И., Гловин Н.А. К вопросу выбора электродов для холодной сварки чугуна // Студент-Наука: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Воронеж, 2022. С. 211-214.

Информация об авторах:

В.К. Астанин - доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, astaniv_vk@mail.ru.

Н.Н. Булыгин - кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, bulnik2791@gmail.com.

М.С. Сучков - аспирант кафедры эксплуатации транспортных и технологических машин, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, max.suchkov2015@yandex.ru.

Information about the authors:

V. K. Astanin – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University, astaniv_vk@mail.ru.

N. N. Bulygin – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University, bulnik2791@gmail.com.

M. S. Suchkov - Postgraduate student of the Department of Operation of Transport and Technological Machines, Voronezh State Agrarian University, max.suchkov2015@yandex.ru.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 31.05.2024; одобрена после рецензирования 25.07.2024, принята к публикации 30.07.2024 .

The article was submitted 31.05.2024; approved after reviewing 25.07.2024; accepted for publication 30.07.2024 .

© Астанин В.К., Булыгин Н.Н., Сучков М.С.

Научная статья
УДК 621.822.6:631.3

УСЛОВИЯ РАБОТЫ, НАГРУЖЕННОСТЬ И ДЕФЕКТЫ ПОДШИПНИКОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Игорь Владимирович Кузьменко, Павел Игоревич Кузьменко
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В материалах статьи представлен анализ условий работы, нагруженности и возникающих дефектов подшипниковых сопряжений для дальнейшего проведения исследований по разработке направлений совершенствования технологий изготовления новых деталей и технологий восстановления изношенных деталей. Технические средства аграрного производства эксплуатируются в очень жестких условиях: повышенной влажности, в контакте с абразивными веществами, при воздействии солей, кислот и т.д. Одними из самых уязвимых мест техники являются подшипниковые сопряжения, обеспечивающие движение деталей вращения, которые порой определяют возможность выполнения конкретной технологической операции. Зачастую частицы субстанций агрессивных сред, преодолевая защитные уплотнительные детали, проникают непосредственно к деталям подшипникового соединения и во внутреннюю часть самого подшипника качения. При этом смазочный материал теряет свои свойства и превращается в эмульсию или, смешиваясь с абразивом превращается в пластическую пасту. Инородные частицы попадают в зону взаимодействия подшипника и его опорной поверхности. Это приводит к значительным износам посадочных поверхностей корпусных деталей, нарушая установленные конструкторами допуски посадки подшипника. При этом оси валов, опирающиеся на подшипники, смещаются, а детали, которые на них размещены (шкивы, зубчатые шестерни, муфты и т.д.) либо начинают работать некорректно, либо из-за перекоса, разрушаются частично или полностью. Второй вид критического изнашивания посадочных поверхностей - фреттинг-коррозия. Этот вид износа проявляется из-за динамического нагружения подшипниковых узлов. Начальный этап – срезание при сборке сопряжения микровыступов шероховатости поверхности. Эти частицы под действием вибраций из-за невозможности покинуть зону контакта создают значительное локальное давление, создавая зоны усталостных выкрашиваний участков поверхности. Кроме того, частицы образуют оксиды, которые ещё более плотно запирают в сопряжении фреттинг-частицы.

Ключевые слова: дефекты подшипниковых сопряжений, износы посадочных поверхностей подшипников, нарушение посадок сопрягаемых деталей, фреттинг-коррозия.

Для цитирования: Кузьменко И.В., Кузьменко П.И. Условия работы, нагруженность и дефекты подшипниковых соединений сельскохозяйственной техники // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 48-52.

Original article

WORKING CONDITIONS, LOAD AND DEFECTS OF BEARING CONNECTIONS OF AGRICULTURAL MACHINERY

Igor' V. Kuz'menko, Pavel I. Kuz'menko
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The materials of the article present an analysis of working conditions, loading and emerging defects of bearing joints for further researches on the development of directions for improving manufacturing technologies for new parts and technologies for restoring worn parts. Technical means of agricultural production are used in very harsh conditions: high humidity, in contact with abrasive substances, under the influence of salts, acids, etc. One of the most vulnerable points of machinery are bearing couplings, which ensure the movement of rotating parts, which sometimes determine the possibility of performing a specific technological operation. Often, particles of substances of aggressive environments, overcoming protective sealing parts, penetrate directly to the parts of the bearing joint and into the inner part of the rolling bearing itself. In this case, the lubricant loses its properties and turns into an emulsion or, when mixed with an abrasive, turns into a plastic paste. Foreign particles enter the zone of interaction between the bearing and its support surface. This leads to significant wear on the seating surfaces of the body parts, violating the bearing seating tolerances established by the designers. In this case, the shaft axes resting on the bearings are displaced, and the parts that are placed on them (pulleys, gears, couplings, etc.) either begin to work incorrectly, or due to misalignment, they are partially or completely destroyed. The second type of critical wear of the landing surfaces is fretting corrosion. This type of wear is manifested due to the dynamic loading of bearing assemblies. The initial stage is cutting off the interface of micro-steps of surface roughness during assembly.

These particles, under the influence of vibrations, due to the inability to leave the contact zone, create significant local pressure, making zones of fatigue crumbling of surface areas. In addition, the particles form oxides, which lock the fretting particles even more tightly in the coupling.

Key words: defects in bearing couplings, wear of bearing mounting surfaces, violation of the fit of mating parts, fretting corrosion.

For citation: Kuzmenko I.V., Kuzmenko P.I. Working conditions, load and bearing defects connections of agricultural machinery // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). С. 48-52.

Введение. Работоспособность и продолжительность эксплуатации соединений подшипниковых опор в значительной степени зависит от условий их работы: динамики нагрузок, влажностно-температурных факторов окружающей среды, уровня технического обслуживания, качества выполняемых работ по эксплуатации и обслуживанию со стороны персонала. Аграрное производство очень сильно зависит от изменений окружающей среды и погодных условий, поэтому и использование техники в сельском хозяйстве отличается от других отраслей промышленности. Технические единицы подвергаются воздействию пыли, переменной влажности, значительным изменениям температур, влиянию органических кислот и газов их соединений, радиации солнца, ветра и осадков. К примеру, на машины, обеспечивающие технологические процессы в животноводстве, в состав которых входят подшипниковые сопряжения, воздействуют постоянно изменяющаяся температура и влажность. При значительных перепадах этих факторов на внутренних площадях корпусных деталей происходит конденсация влаги. При работе подшипникового узла, эта влага попадает в смазочные материалы, разжижает их, образует эмульсии, нарушая эффективность смазки нагруженного узла из-за нестабильности её физико-механических свойств и химического состава [1,2].

Цель исследования. Анализ возникновения дефектов подшипниковых соединений и их причин для определения технических и технологических решений, рекомендуемых производственным организациям для модернизации технологий изготовления новых деталей и разработки технологических процессов восстановления деталей с износом.

Раскрытие цели. В сельскохозяйственных машинах, имеющих детали вращения, опирающиеся на подшипниковые соединения, зачастую происходит взаимодействие элементов подшипникового узла и, в первую очередь его уплотнений, с веществами и влажными смесями почв, остатков кормов, химических средств защиты растений и удобрений. Под воздействием таких субстанций защитные уплотнительные элементы подвергаются критическим изменениям теряют эластичность, становятся хрупкими, что приводит к проникновению к подшипникам влаги и абразивных частиц. При этом развиваются процессы вымывания смазочных материалов подшипников, образования очагов коррозии и, как следствие, интенсивное изнашивание всех частей подшипникового сопряжения [1,2].

Движение воздуха, вызванное вращением деталей машин, например, барабанов и вентиляторов комбайнов, ножей различных машин для измельчения сырья способствуют перемещению частиц пыли и проникновению её через зазоры уплотнительных элементов в подшипниковый узел. Пыль вместе с абразивными частицами оседает на всех частях подшипников: сепараторе, шариках (роликах) и их беговых дорожках. Перемешивание пыли с пластической смазкой приводит к образованию массы пастообразной субстанции, которая ведёт к значительному износу всех контактирующих частей подшипника. Результат – осевое перемещение подшипника [2,3,4].

Достаточно большое количество подшипниковых сопряжений не проходят дефектовку из-за износа посадочных поверхностей. Исследования многих учёных установили количество непригодных из-за этой причины к дальнейшей эксплуатации подшипниковых узлов: 5...10 %. Выбраковывание изношенных деталей производится для предотвращения во время эксплуатации вибрационных нагрузок из-за отклонения осей вращения валов и интенсивного износа размещаемых на этих валах деталей. Всё это ведёт к серьёзному уменьшению ресурса подшипниковых соединений, валов, шестерен, зубчатых колёс и т.д. Зачастую смена изношенного подшипника на новый происходит без использования специального инструмента и оборудования неквалифицированными работниками. К тому же, практически никогда не производятся измерительные действия по отношению к посадочным поверхностям. Последующий результат несложно предсказать: снижение долговечности соединения, а в некоторых случаях и невозможность восстановления его работоспособности.

Во время работы механизмов машин выделяют поломки подшипниковых сопряжений постоянные и внезапные. Работоспособность узла механизма при этом утрачивается. Для того чтобы восстановить работоспособность необходимы немалые трудовые и материальные затраты из-за большого количества работ по разборке и сборке машин, выполнению замены подшипников и, если потребуется, и других деталей к которым иногда относятся и корпусные детали [2,5,6].

Публикации результатов научных исследований устанавливают наличие развития при взаимодействии трущихся поверхностей окислительного и абразивного износа и усталостного выкрашивания. Эти износы способствуют изменению геометрических размеров и из-за этого увеличению технологических зазоров [5,6]. Для ремонта техники в аграрном секторе производства ежегодно требуется около ста миллионов подшипников [6]. На ресурс этих подшипников оказывают значительное влияние условия их работы: динамические нагрузки, силовое воздействие на опорные поверхности, постоянство химического состава и физических свойств смазочных материалов и содержанием в них частиц, оказывающих абразивное воздействие.

Установка подшипника в корпусную деталь создаёт напряжение в зоне контакта и приводит к деформированию поверхностей. Между посадочной поверхностью корпуса и кольцом подшипника контакт неравномерен, а его зона составляет не более 15...20 % от полной площади поверхностей. В связи с этим, и действующая на кольцо нагрузка тоже будет неравномерной. Это приводит к возникновению различных размеров радиальных деформаций. Как следствие – беговая дорожка подшипника изменяет свою форму. Даже предположение отсутствия неточности размещения относительно друг друга соединяемых деталей не может отрицать вероятности частичного срезания и деформации поверхностного слоя посадочной поверхности корпуса. Срезанный металл, в свою очередь, будет перемещён кольцом подшипника в торцевую часть, создавая неточность сопряжения в виде перекоса кольца подшипника [5,6,7].

Очень много исследователей считают нарушение посадки основной причиной отказа подшипниковых сопряжений. В связи с износом поверхностей сопряжения, неподвижность установки наружного кольца подшипника нарушается. Наибольшие величины изменения размеров посадочных поверхностей имеют широкий диапазон, однако значения средних показателей разнятся незначительно [4,6,7]. Определить характер отклонения размеров посадочных поверхностей от номинальных значений возможно с помощью микрометрических измерений. При их проведении учитывались макроотклонения геометрии: допуска профиля продольного сечения, круглости и торцевого биения. Корпуса подшипников с размерами, выходящими за допустимый диапазон, выбраковывались. Измерениям подверглись 72 корпуса, выбраковано из них 8,3% (6 штук). Аналитика результатов замеров посадочных поверхностей проводилась по данным измерений 66 корпусов. Математическая обработка статистических результатов проведена по методике Артемьева Ю.Н. В итоге были получены такие показатели [11]:

- среднеквадратическое отклонение $\sigma = 0,051$ мм;
- доверительные границы $\bar{t}_\alpha^a = 0,054$ мм; $\bar{t}_\alpha^b = 0,074$ мм;
- средневзвешенное значение износа $\bar{i} = 0,064$ мм;
- коэффициент вариации $v = 0,8$;
- показатели надёжности подчиняются закону Вейбула.

Изношенные посадочные поверхности – причина возрастания вибраций, изменяющегося крутящего момента, увеличения динамических нагрузок. Эти факторы уменьшают ресурс использования не только конкретной подшипниковой опоры, зубчатых колёс и валов, но и всего узла или механизма, в состав которых входит это подшипниковое сопряжение.

Для того чтобы обеспечить повышение долговечности неподвижных сопряжений необходимо знать механизмы влияния разных факторов на изменение износа подшипниковых посадочных поверхностей. При этом в плоскостях реального контакта микровыступы деформируются пластически, размеры отверстий корпусов изменяются из-за релаксации внутренних напряжений во время работы, деформируются отверстия посадочные из-за гидродинамики жидкой смазки в сопряжениях. Как считают многие учёные (Уотерхауз Р.Б., Голего Н.Л., Алябьев А.Я., Курчаткин В.В. и др.) основным видом износа посадочных поверхностей корпусных деталей является фреттинг-коррозия, происходящая как следствие динамического нагружения деталей, работающих в сопряжении [8,9,10]. Фреттинг-коррозия появляется из-за воздействия вибраций, динамического нагружения, скручивания и изгибающих нагрузок соединений. Этот процесс приводит к разрушению поверхностей сопрягаемых деталей из-за относительного знакопеременного перемещения с высокой частотой и очень малой амплитудой. Продукты износа фреттинг-коррозии и коррозии различны. Фреттинг-коррозия может развиваться и без доступа кислорода: в вакууме и среде инертных газов. Она является результатом действия различных физико-химических процессов в зоне контактирования металлических поверхностей: абразивного разрушения, схватывания, усталостных процессов с окислением и коррозией. Процесс разрушения взаимодействующих поверхностей, как указывается в работах Голего Н.Л., Алябьева А.Я., Шевеля В.В., является результатом химического и механического воздействий, которые между собой связаны [8,9,11].

Механический фактор является первичным на начальном этапе развития фреттинг-коррозии, способствуя интенсивному разрушению деталей соединения. Дальнейшее развитие процесса приводит к появлению химического фактора из-за активности в зоне трения процессов коррозии. Исследование продуктов процесса позволило определить стадии фреттинг-коррозии:

- на первой стадии поверхность контакта упрочняется, происходит периодическая текучесть поверхности слоёв сопряженных деталей. При взаимодействии подшипника и посадочной поверхности корпуса выступы фактического контакта пластически взаимодействуют. При этом из-за усталостных явлений разрушившиеся выступающие части образуют начальные продукты разрушения;

- вторая стадия характеризуется накоплением усталостных повреждений. Изнашивание развивается довольно медленно. Износ идёт из-за разрушения оксидных плёнок на поверхности взаимодействия. Продукты изнашивания по объёму больше, чем объём разрушенного металла. Ограничение возможности удаления их от поверхностей трения создаёт значительные локальные давления;

- во время третьей стадии зоны повреждения окончательно разрушаются из-за развития усталостных и коррозионных процессов. По составу продукты разрушения мало отличаются от продуктов второй стадии, однако, они более дисперсны.

Скорость разрушения напрямую зависит от значения шероховатости поверхностей. Развитие фреттинг-коррозии протекает медленнее на поверхностях с более качественной обработкой [8,9].

Образовавшиеся оксиды по объёму и твердости в 2-4 раза превышают показатели металлических поверхностей. Значительные давления на поверхности возникают в местах скопления этих оксидов. Объёмы поверхности металла по глубине окисляются неравномерно, а площади контакта покрыты характерными зонами повреждений. При этом повреждённые поверхности по виду очень похожи на подвергшиеся коррозии. Большое количество факторов, влияющих на процесс разрушения поверхностей контакта и сложность протекания фреттинг-коррозии делают затруднительной работу над способами борьбы с ней. Котиным А.В. предложены методы защиты поверхностей от фреттинг-коррозии [10]:

- уменьшение, а лучше исключение относительного движения деталей неподвижных сопряжений;

- в зону контакта не должен проникать кислород, или его проникновение необходимо минимизировать;

- одна из деталей должна иметь меньшую твёрдость относительно второй;

- поверхности деталей должны иметь малые значения шероховатости;

- удельное давление в зоне контакта необходимо уменьшать;

- относительное движение деталей должно быть перенесено в промежуточную среду.

Заключение. Таким образом, определены дефекты подшипниковых соединений, возникающих во время работы, и указаны их причины. Исследования механизмов и причин появления дефектов помогут определить направления совершенствования технологии изготовления деталей для предприятий-изготовителей и разработать технологии восстановления изношенных деталей.

Список источников

1. Ляхов Е.Ю. Исследование процессов восстановления посадочных мест подшипников автомобилей с помощью полимерных композитных материалов: дис. ... канд. техн. наук. М., 2021. 149 с.
2. Сидоров В.А., Сотников А.Л. Эксплуатация подшипников качения: монография. М.: Инфа-Инженерия, 2022. 136 с.
3. Нестеров С.А. Восстановление посадочных мест подшипников качения электроискровой обработкой // Технологии металлов. 2017. № 1 (8). С. 91.
4. Шиловский В.Н., Питухин А.В., Костюкевич В.М. Сервисное обслуживание и ремонт машин и оборудования: учеб. пособие. СПб.: Лань, 2019. 240 с.
5. Ерохин М.Н., Манаенков А.П. Восстановление фреттинг-изношенных поверхностей подшипниковых узлов композиционными покрытиями // Механизация и электрификация. 1995. № 9-10. С. 28.
6. Кононенко А.С., Соловьёва А.А. Применение полимерных материалов при восстановлении посадочных поверхностей валов под подшипника качения // Инновационная наука. 2017. № 04-3. С. 80.
7. Шорин В.А., Смогунов В.В., Кочитков Д.В. Методы защиты поверхностей деталей от фреттинга [Электронный ресурс] // Современные научные исследования и инновации. 2016. № 2.
8. Фреттинг-коррозия (логические модели формирования повреждений) / В.П. Горбатов, А. Дубар, С.О. Иванов, и др. // Вестник МЭИ. 2017. № 2. С. 27-31.
9. Котин А.В. Восстановление точности размерных цепей сборочных единиц применением жестких компенсаторов износа: дис. ... д-ра техн. наук. Саранск, 1998. 335 с.

10. Кузьменко И.В., Самусенко В.И. Причины возникновения дефектов посадочных мест под подшипника качения // Сельский механизатор. 2019. № 1.

11. ГОСТ 3325-85 Поля допусков и технические требования к посадочным поверхностям валов и корпусов. Посадки. М.: Издательство стандартов, 1988. 103 с.

Информация об авторах

И.В. Кузьменко – кандидат технических наук, доцент кафедры технических систем в агробизнесе, природообустройстве и дорожном строительстве, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

П.И. Кузьменко – магистрант, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors

I.V. Kuz'menko – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, Environmental Management and Road Construction, Bryansk State Agrarian University.

P.I. Kuz'menko – master's student, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17.09.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Кузьменко И.В., Кузьменко П.И.

Научная статья
УДК 621.31:631.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Валерий Александрович Безик, Дмитрий Александрович Безик, Антон Михайлович Никитин
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Важной задачей при электроснабжении сельскохозяйственных потребителей является снижение технико-экономических затрат от потерь электроэнергии в распределительных сетях. Изменения характеристик напряжения электропитания в точке передачи электрической энергии пользователю электрической сети, относящихся к частоте, значениям, форме напряжения и симметрии напряжений в трехфазных системах электроснабжения, подразделяют на две категории — продолжительные изменения характеристик напряжения и случайные события. Продолжительные изменения характеристик напряжения электропитания представляют собой длительные отклонения характеристик напряжения от номинальных значений и обусловлены, в основном, изменениями нагрузки или влиянием нелинейных нагрузок. Случайные события представляют собой внезапные и значительные изменения формы напряжения, приводящие к отклонению его параметров от номинальных. Данные изменения напряжения, как правило, вызываются непредсказуемыми событиями. В настоящее время мероприятия направленные на повышение качества электроэнергии в распределительных сетях являются не всегда эффективными, а в некоторых случаях приносят вред. Предлагаемые технические средства и мероприятия не позволяют в достаточной степени снизить потери электрической энергии в электрических сетях сельскохозяйственных предприятий, в результате чего не получается достичь необходимого уровня надежности и качества электрической энергии. При применении технических средств направленных на снижение потерь электрической энергии не учитывается тот факт, что сами технические средства оказывают негативное влияние на электрическую сеть и тем самым дополнительно увеличивают общие потери. В статье приведены результаты измерений основных показателей качества электроэнергии и сделаны предложения по их улучшению.

Ключевые слова: электроснабжение, потери электроэнергии, качество электрической энергии, несимметрия, гармонические колебания, симметрия напряжения, отклонение напряжения, допустимые значения.

Для цитирования: Безик В.А., Безик Д.А., Никитин А.М. Исследование показателей качества электроэнергии сельскохозяйственного предприятия // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 53-60.

Original article

RESEARCH OF INDICATORS OF ELECTRIC POWER QUALITY OF AGRICULTURAL ENTERPRISE

Valery A. Bezik, Dmitry A. Bezik, Anton M. Nikitin
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. An important task in the power supply of agricultural consumers is to reduce the technical and economic costs of electricity losses in distribution networks. Changes in the characteristics of the power supply voltage at the point of transmission of electric energy to the user of the electric network, related to frequency, values, voltage shape and voltage symmetry in three-phase power supply systems, are divided into two categories - prolonged changes in voltage characteristics and random events. Long-term changes in the characteristics of the power supply voltage represent long-term deviations of the voltage characteristics from the nominal values and are mainly due to load changes or the influence of nonlinear loads. The random events are sudden and significant changes in the shape of the voltage, leading to a deviation of its parameters from the nominal ones. These voltage changes are usually caused by unpredictable events. Currently, measures aimed at improving the quality of electricity in distribution networks are not always effective, and in some cases they are harmful. The proposed technical means and measures do not sufficiently reduce the loss of electrical energy in the electrical networks of agricultural enterprises, as a result of which it is not possible to achieve the required level of reliability and quality of electrical energy. When using technical means aimed at reducing electrical energy losses, the fact that the technical means themselves have a negative impact on the electrical network and thereby further increase the total losses is not taken into account. The article presents the results of measurements of the main indicators of electricity quality, and the suggestions are made for their improvement.

Key word: power supply, loss of electricity, quality of electrical energy, asymmetry, harmonic oscillations, voltage symmetry, voltage deviation, permissible values.

For citation: Bezik V.A., Bezik D.A., Nikitin A.M. Research of indicators of electric power quality of agricultural enterprise // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 53-60.

Введение. Важной комплексной задачей при электроснабжении сельского хозяйства для системы электроснабжения является снижение технико-экономических затрат. Одним из способов достижения данной задачи является процесс повышения надежности и качества системы электроснабжения в целом. Для достижения поставленной цели важны мероприятия направленные на снижение потерь и ещё немаловажным является рациональное использование полученной из распределительной сети эклектической энергии [1,2].

Многими учеными изучаются проблемы связанные с отклонением основных качественных показателей электроэнергии от нормы, а так же снижения надежности существующих электрических сетей и новых проектируемых электрических сетей. Несмотря на вышесказанное, вопросы, связанные с повышением надежности и качества электрической энергии рассмотрены не в полном объеме [1-9]. Проанализировав применяемые в настоящее время технические средства и мероприятия направленные на повышения надежности и качества электроснабжения сельскохозяйственных предприятий можно сделать вывод, что большая часть данных технические средств и мероприятий являются трудоемкими и экономически затратными. Предлагаемые технические средств и мероприятия не позволяют в достаточной степени снизить потери электрической энергии в электрических сетях сельскохозяйственных предприятий, в результате чего не получается достичь необходимого уровня надежности и качества электрической энергии. Предлагаемые технические средства и мероприятия для распределительных сетей напряжением 0,4 кВ выбираются по величине токовой нагрузки сельскохозяйственного предприятия. При применении технические средств направленных на снижение потерь электрической энергии не учитывается тот факт, что сами технические средства оказывают негативное влияние на электрическую сеть и дополнительно увеличивают общие потери.

Таким образом, окончательный выбор мероприятий может быть сделан только на основании исследований показателей качества электроэнергии. Для этого правилами технической эксплуатации электроустановок рекомендуется проведение измерений качества электрической энергии не реже 1 раза в 2 года (ПТЭЭП, п.1.2.6).

Цель исследования. Поэтому целью работы было исследование электрических сетей АПХ «ОХОТНО» с разработкой более эффективных технических средств и мероприятий, направленных на повышение уровня надежности и показателей качества электрической энергии в рассматриваемых сетях.

Методика исследований. Измерение основных параметров распределительной сети, было произведено в разных точках сети исследуемого предприятия АПХ «ОХОТНО» в соответствии с требованиями ГОСТ 33073-2014 и ГОСТ 30804.4.30-2013 [1,2].

Измерение и оценка показателей качества электроэнергии производилась в точки с напряжением 10 кВ и в точке с напряжением 0,4 кВ с помощью прибора марки CIRCUTOR S.A.AR6. Измерения показателей качества электроэнергии проводились при настройках прибора по следующим основным параметрам: тип системы – четырехпроводная с тремя фазами; запись данных с интервалом в пять секунд. Значение номинального напряжения в рассматриваемой сети составляет 380 В. Измерительный прибор CIRCUTOR, настроен на измерение основных параметров энергетической системы: фазные и линейные значение напряжения в сети - $U_1, U_2, U_3, U_{12}, U_{23}, U_{13}$ (В); силы тока - I_1, I_2, I_3 (А);, напряжения и тока в нулевом проводнике; небаланса нулевой и обратной последовательности - k_0, k_2 (%); мощностного коэффициента – $\cos\varphi$; перенапряжения, провала и прерывания напряжения.

Результаты измерения и их обсуждение.

Отклонение частоты. Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц. Для этого показателя установлены следующие нормы: отклонение частоты в синхронизированных системах электроснабжения не должно превышать $\pm 0,2$ Гц в течение 95 % времени интервала в одну неделю и $\pm 0,4$ Гц в течение 100 % времени интервала в одну неделю. Результаты измерений частоты на исследуемом объекте находится в пределах ГОСТа (рис. 1).

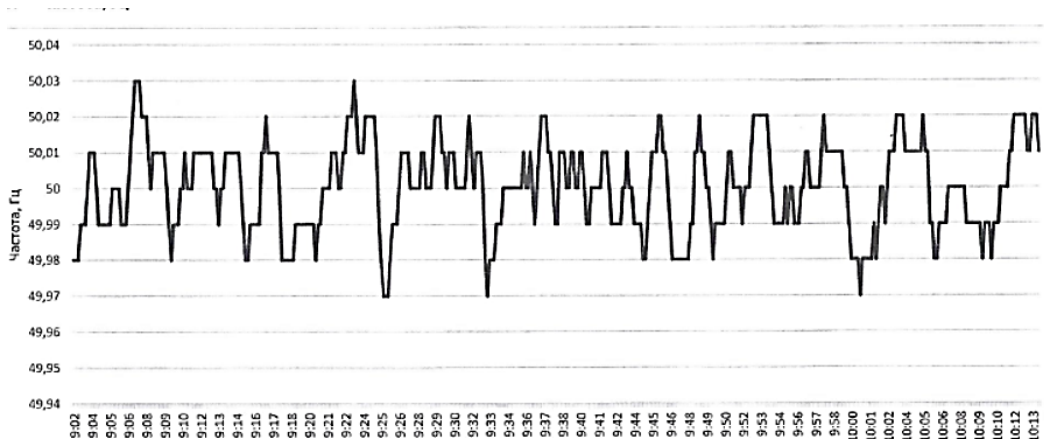


Рисунок 1 - График результатов измерений частоты

Отклонения напряжения. Отклонение напряжения характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения. Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения δU_u на выводах приемников электрической энергии равны соответственно $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 32144-2013 [3]. По полученным данным с помощью измерительного прибора CIRCUTOR можно сделать следующий вывод: в сети 0,4 кВ в некоторых случаях уровень напряжения выходит за допустимые пределы, что является недопустимым (рис. 2, 3).

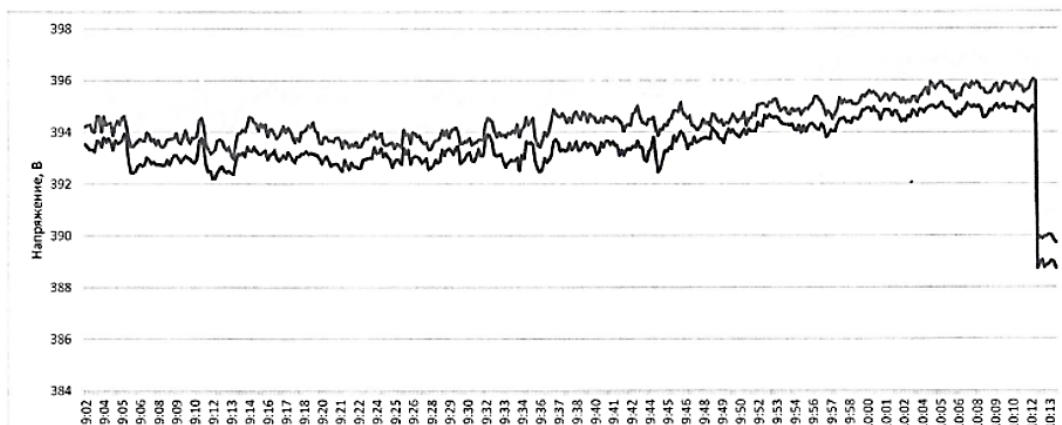


Рисунок 2 - Величина отклонения напряжения по фазам

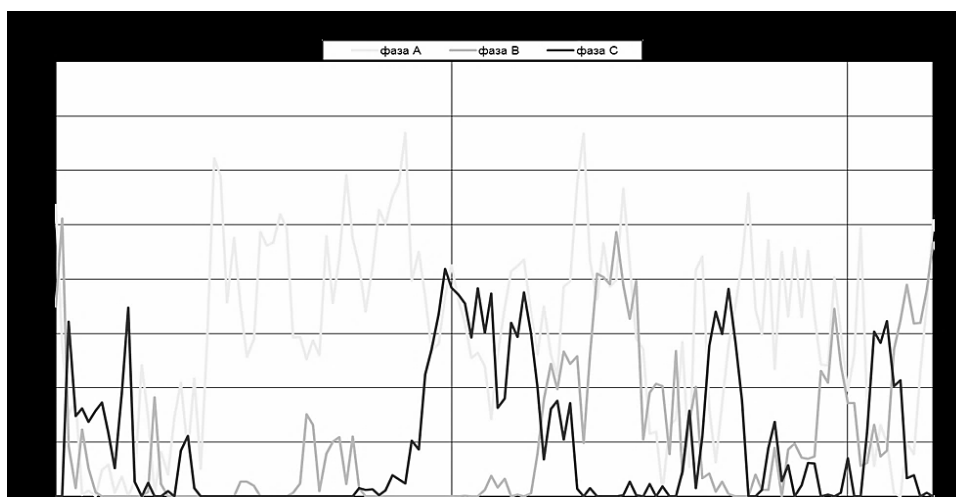


Рисунок 3 - Положительные отклонения напряжений в фазах

Колебания напряжения и фликер. Показателями качества электроэнергии, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера Pst , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера Plt . Исходя из полученных данных кратковременная и длительная доза фликера периодически выходила за рамки допустимых значений (рисунок 4 и 5).

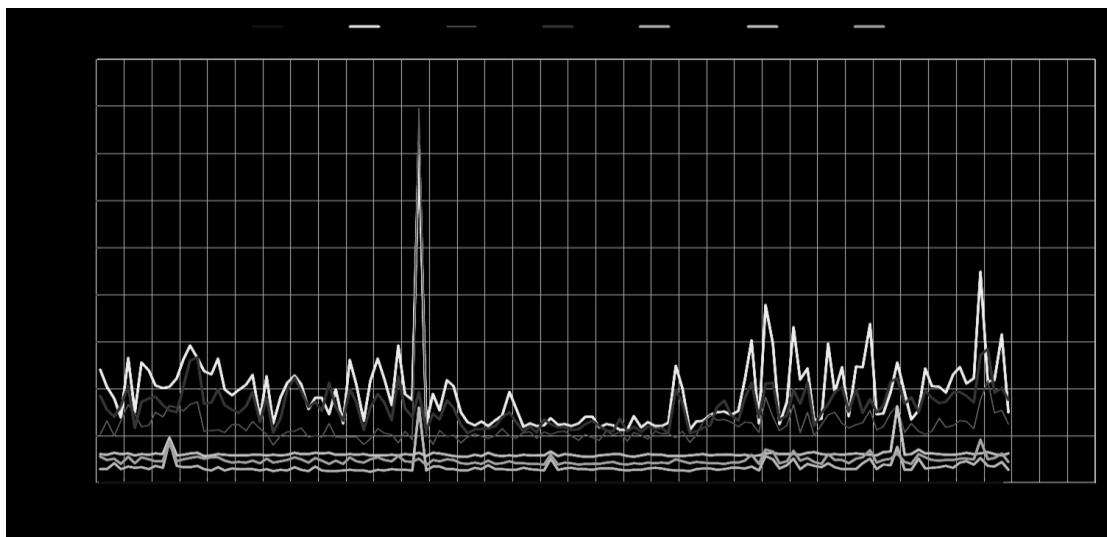


Рисунок 4 - График измеренных значений кратковременного значения дозы фликера

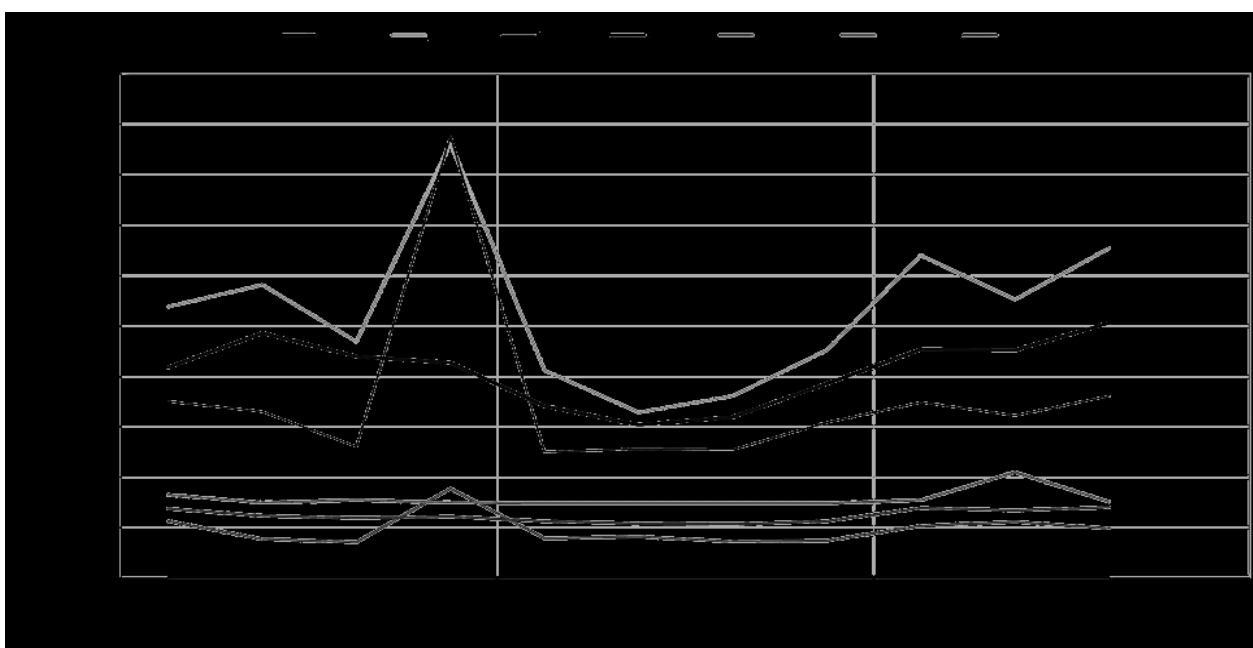


Рисунок 5 - График измеренных значений длительного значения дозы фликера

Несинусоидальность величины напряжения. Показателями КЭ, относящимися к гармоническим составляющим напряжения являются: значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения до 40-го порядка и значение суммарного коэффициента гармонических составляющих напряжения.

По результатам анализа коэффициентов гармонических составляющих напряжения все значения суммарных коэффициентов гармонических составляющих напряжения K_U , а так же значения коэффициентов гармонических составляющих напряжения $K_{U(n)}$ не превышают значений установленных в ГОСТ 32144-2013 [3]. Результаты измерений гармонических колебаний для нечетных гармоник сводим в таблицу 1 и на рисунке 6.

Таблица 1 - Величина отклонений гармонических колебаний.

Номер исследуемой гармоники	Допустимое значение, %	Фаза А, %	Фаза В, %	Фаза С, %	Нейтральный провод, %	Примечание
3	5	0	0	0	0	Не превышает
5	6	5,1	5	5	0	Не превышает
7	5	3,5	3	3,2	0	Не превышает
9	1,5	0	0,5	0	0	Не превышает
11	3,5	4	4,1	4,5	0	Превышает
13	3	2,9	2,5	3	0	Превышает
15	0,3	0	0,5	0	0	Превышает

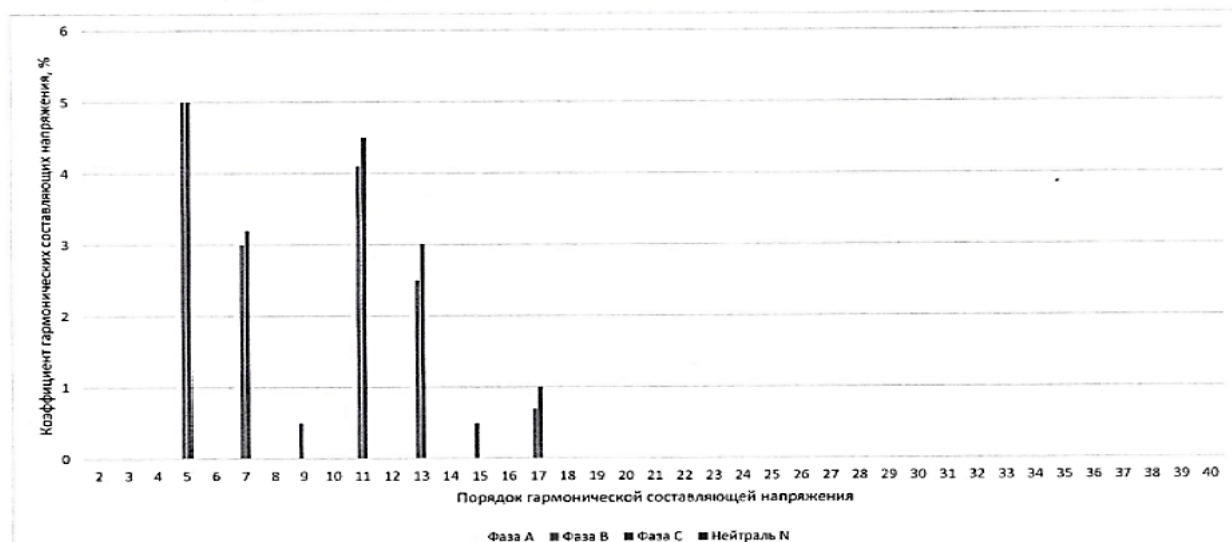


Рисунок 6 - Спектральный анализ гармоник фазных напряжений

Несимметрия систем с трехфазным напряжением. Основными показателями качества электроэнергии, относящимися к несимметрии напряжений в трехфазных системах, являются коэффициент несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и коэффициент несимметрии напряжений по нулевой последовательности K_{0U} .

Согласно нормам качества электроэнергии ГОСТ 32144-2013, значения коэффициентов несимметрии напряжений по обратной последовательности K_{2U} и несимметрии напряжений по нулевой K_{0U} последовательности, усредненные в интервале времени 10 мин, не должны превышать 2 % в течение 95 % времени интервала в одну неделю, и не должны превышать 4 % в течение 100 % времени интервала в одну неделю. По расчетным данным, определены отклонения от норм ГОСТ 32144-2013 (рис. 7). Из выше сказанного можно сделать вывод о том, что энергетическая система исследуемого объекта нуждается в ряде мероприятий позволяющих уменьшить или полностью убрать из энергосистемы несимметрию.

Одной из основных проблем возникновения несимметрии в трехфазной сети является ненормированное распределение потребителей электроэнергии по фазам распределительной сети и использование устройств с несимметричными характеристиками. Из-за несимметрии снижается энергоэффективность устройств компенсации и регулирования параметров распределительной сети, сокращается срок службы и мощность электродвигателей, систем освещения и другой электротехнической аппаратуры [5-8].

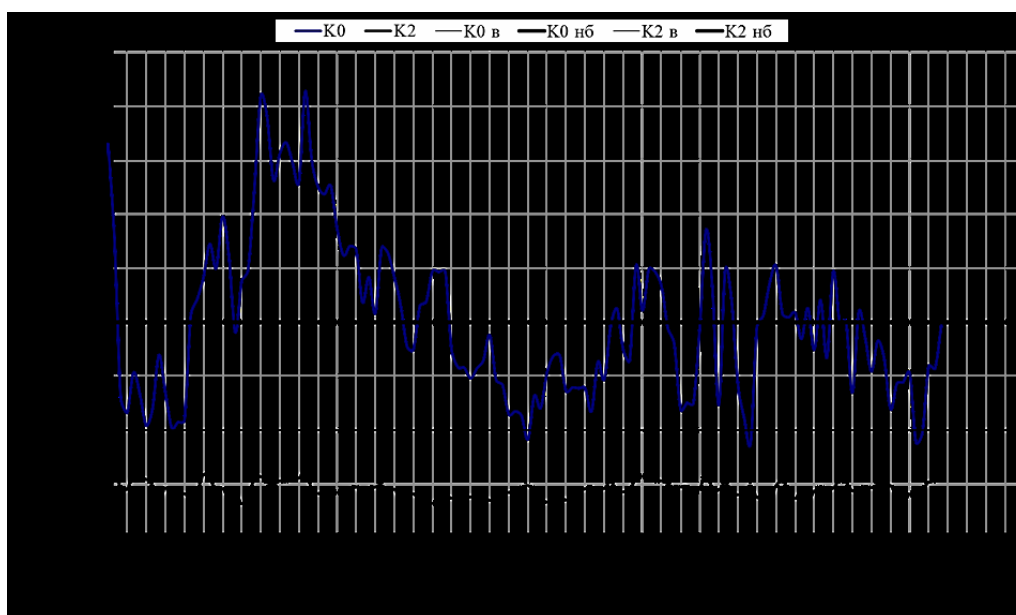


Рисунок 7 - График несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности

Несимметрия напряжений по нулевой и обратной последовательности отрицательно влияет на релейную защиту и автоматику, что может привести к выходу из строя энергетической аппаратуры, и в результате чего, могут возникнуть аварийные ситуации.

Перенапряжения и провалы напряжения. В соответствии с требованиями нормативных документов провал напряжения рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью. Длительность провала напряжения может быть до 1 мин. Длительность перенапряжения может быть до 1 мин.

По результатам измерений уровень провалов напряжения и перенапряжений находится в допустимых пределах согласно ГОСТ 32144-2013.

Мероприятия, направленные на повышение качества электроэнергии в распределительных сетях рассматриваемого предприятия. По полученным данным, качества электроэнергии, исследуемого предприятия были обнаружены отклонения от норм. Особенно актуальными являются отклонения норм качества электроэнергии связанные с отклонением гармонических колебаний, отклонения величины напряжения, отклонения величины фликера и несимметрия.

Мероприятий направленных на решение данных отклонения от норм качества электроэнергии в настоящее время достаточно много, но наиболее подходящим к данному предприятию будет являться применение устройства симметрирования трехфазных четырехпроводных сетей с нулевым проводником. Данное устройство содержит три конденсатора соединенные «звездой», лучи которой подключаются к питающей сети пофазно и катушку индуктивности, подключенную между точкой соединения конденсаторов и нулевым проводником. Устройство не имеет возможности регулирования, что не дает возможности точной настройки под необходимые параметры, поэтому применение данного устройства будет неэффективным. Для повышения качества электроэнергии в распределительных четырехпроводных сетях и снижения несимметрии необходимо использовать устройства симметрирования с возможностью регулирования параметров.

Предлагается устройство (рис. 8), с функцией автоматического регулирования и управления основными параметрами за счет использования релейной аппаратуры и устройств автоматики [5]. Данное устройство состоит из следующих основных элементов: индуктивного элемента и емкостных элементов, а также автоматическое регулирование, работающее на основании величины тока в нулевом проводе.

Устройство состоит из двух ступеней регулирования мощности. Первая ступень устройства регулирования мощности состоит из емкостей $C1, C3, C5$ и части витков катушки индуктивности L до дополнительного вывода к контактам $KM2$. Вторая ступень устройства регулирования мощности состоит из емкостей $C2, C4, C6$ и всего количества витков катушки индуктивности L .

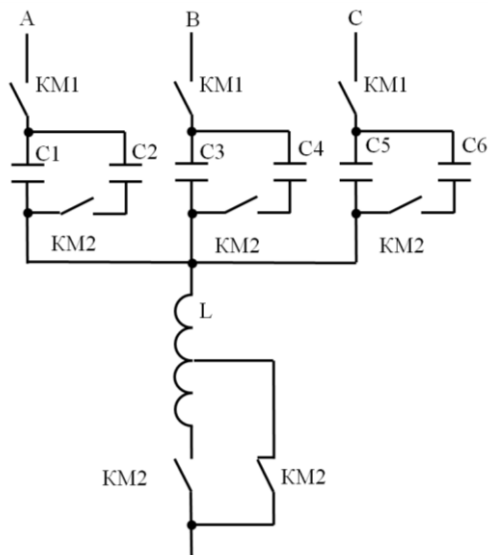


Рисунок 8 - Устройство симметрирования трехфазных четырехпроводных сетей с нулевым проводником

Рассчитаем основные параметры устройства симметрирования трехфазных четырехпроводных сетей с нулевым проводником для исследуемой распределительной сети 0,4 кВ. Условиями для расчета является измеренное максимальное значение тока нулевого проводника $I_{\max.N} = 23,17$ А за период времени t в течении которого проводились исследования. Значения токов в фазах $I_A=10,76$ А, $I_B=9,5$ А, $I_C=34,8$ А.

Рассчитаем среднее значение тока:

$$I_{\text{ср}} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} = \frac{10,76 + 9,5 + 34,8}{3} = 18,35 \text{ А} \quad (1)$$

Рассчитаем мощность фазы симметрирующего устройства:

$$S_{\Phi} = 3 \cdot U_{\Phi} \cdot I_{cp} = 3 \cdot 328 \cdot 18,35 = 18059,68 \text{ ВА} = 18,05 \text{ кВА} \quad (2)$$

Значения коэффициентов мощности в распределительной сети выбираем $\cos \varphi_n = 0,8$ и $\cos \varphi_k = 0,95$, соответственно значения $\sin \varphi_n = 0,6$ и $\sin \varphi_k = 0,312$. Рассчитаем необходимую мощность емкостных элементов по формуле:

$$Q_C = S_{\Phi} \cdot (\sin \varphi_n - \sin \varphi_k) = 18,05 \cdot (0,6 - 0,312) = 5,19 \text{ кВАр} \quad (3)$$

Тогда мощность одной конденсаторной батареи будет равна:

$$Q_{C1} = Q_C / 3 = 5,19 / 3 = 1,73 \text{ кВАр} \quad (4)$$

Рассчитаем сопротивление емкостной батареи и катушки индуктивности:

$$X_{C1} = \frac{U_{\Phi}^2}{Q_{C1}} = \frac{238^2}{3938} = 39,4 \text{ Ом} \quad X_L = \frac{X_C}{3} = \frac{39,4}{3} = 13,3 \text{ Ом} \quad (5)$$

Определим ток нулевой последовательности в исследуемой сети:

$$I_{0*} = K_{0i} / 2, \quad (6)$$

Следовательно, при максимально допустимом значении коэффициента тока нулевой последовательности $K_{0i} = 0,45$, ток нулевой последовательности будет равен:

$$I_0 = K_{0i} \cdot I_{cp} / 2 = 0,45 \cdot 18,35 / 2 = 4,12 \text{ А}, \quad (7)$$

Тогда определим мощность катушки индуктивности:

$$Q_L = U_L \cdot I_0 = 3 \cdot X_L \cdot I_0^2 = 3 \cdot 13,3 \cdot 4,12^2 = 677,27 \text{ Вар} = 0,677 \text{ кВАр} \quad (8)$$

Рассчитаем величину индуктивности катушки индуктивности:

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{13,3}{3,14} = 0,0424 \text{ Гн}. \quad (9)$$

Тогда сумма установленной мощности всех элементов составит:

$$S_y = 3 Q_{C1} + Q_{Lmax} = 3 \cdot 1,73 + 0,677 = 5,86 \text{ кВАр}. \quad (10)$$

Из расчетов, индуктивность катушки составляет $L=0,0424$ Гн, а общая емкость батареи составляет $S_y = 5,86$ кВАр. С учетом простоты конструкции предлагаемого устройства, низкой стоимости и его эффективности срок окупаемости будет небольшим. Данное устройство может найти широкое применение в распределительных сетях 10/0,4 кВ для повышения показателей качества электроэнергии и снижения потерь в распределительных сетях, а соответственно к экономии энергоресурсов.

Заключение. Экспериментальное исследование показателей качества электроэнергии на сельскохозяйственном предприятии выявили наличие ряда проблем в системе электроснабжения: превышение допустимых значений высших гармоник напряжения и тока, недопустимое длительное отклонение напряжения, несимметрия напряжения и тока.

Наиболее эффективным способом повышения показателей качества электроэнергии на сельскохозяйственном предприятии является установка для выравнивания симметрии фаз с возможностью автоматического регулирования мощностью данного устройства, для оптимальной настройки под конкретную распределительную сеть. Расчеты, проводимые по измеренным данным на примере исследуемой электрической сети, показали высокую эффективность предлагаемого устройства для наиболее влияющего режима несимметрии напряжений и токов на качество электроэнергии.

Список источников

1. ГОСТ 33073-2014. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Контроль и мониторинг качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". Введ. 08-12-2014 № 1948-ст.
2. ГОСТ 30804.4.30-2013 (IEC 61000-4-30:2008). Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Методы измерений показателей качества электрической энергии. Введ. 2014-01-01.
3. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. Введ. 22-07-2013. № 400-ст.
4. Бирюлин В.И., Куделина Д.В. Качество электрической энергии и управление им: учеб. пособие для студентов, обучающихся по направлениям подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и 13.04.02 «Электроэнергетика и электротехника», а также для специалистов, занимающихся проектированием и эксплуатацией систем электроснабжения. Вологда: ООО "Изд-во "Инфра-Инженерия", 2024. 104 с.
5. Парсентьев О.С. Качество электрической энергии: учеб. пособие. Луганск: НПК Перспектива, 2024. 306 с.
6. Чижма С.Н. Качество электрической энергии и параметры режимов электроэнергетических систем: учеб.-метод. пособие. Калининград: Балтийский федеральный ун-т им. Иммануила Канта, 2022. 68 с.

7. Охотников М.Н., Плехов А.С., Сидоров М.В. Передача и качество электрической энергии. Нижний Новгород: Нижегородский государственный техн. унт. им. Р.Е. Алексеева, 2019. 153 с.
8. Макашева С.И., Пинчуков П.С. Качество электрической энергии: мониторинг, прогноз, управление / Дальневосточный государственный ун-т путей сообщения, кафедра «Системы электро-снабжения». Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2020. 114 с.
9. Наумов И.В., Лещинская Т.Б. Электроснабжение сельского хозяйства: учеб. М.: ТРАНСЛОГ, 2015.
10. Повышение качества электрической энергии в АПК применением трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток / М.А. Прищепов, И.В. Протосовицкий, В.М. Збродыга, А.И. Зеленкевич // Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 65-летию агроэнергетического факультета и 100-летию И.Ф. Кудрявцева, Минск, 21–22 декабря 2022 года. Мн.: Белорусский государственный аграрный техн. ун-т, 2022. С. 17-23.
11. Туев Д.Д. Проблемы качества электрической энергии // E-Scio. 2022. № 10 (73). С. 285-289.
12. Структура времени определения источника искажений показателей качества электрической энергии и программно-аппаратный комплекс для его сокращения / М.В. Бородин, А.В. Виноградов, А.В. Букреев, А.А. Панфилов // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2021. Т. 23, № 6. С. 29-41.

Информация об авторах:

В.А. Безик – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой автоматике, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Д.А. Безик – кандидат технических наук, доцент, директор института энергетики и природопользования, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

А.М. Никитин - кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors:

V.A. Bezik - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University.

D.A. Bezik - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Director of the Institute of Energy and Environmental Management, Bryansk State Agrarian University.

A.M. Nikitin - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 17.06.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024 .

The article was submitted 17.06.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024 .

© Безик В.А., Безик Д.А., Никитин А.М.

Научная статья
УДК 621.313.12

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОПЛИВНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В КАЧЕСТВЕ РЕЗЕРВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ

Юрий Игоревич Филин

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Без стабильного электроснабжения потребителей невозможно представить жизнь современного общества. Работа, досуг, экономическое, социальное и физическое благополучие зависят от достаточного и бесперебойного энергоснабжения. Для этих целей обычно используют дизельные генераторные установки или аккумуляторные батареи. В последнее время все чаще внедряют систему резервного питания, основанную на топливных элементах, которая ранее рассматривалась как технология будущего, но уже сейчас является крайне перспективной и активно развивающейся во всем мире. Системы питания на топливных элементах - это альтернативная технология энергоснабжения. Топливные элементы преобразуют химическую энергию топлива в электричество посредством химической реакции положительно заряженных ионов водорода с кислородом или другим окислителем. Перспективы использования в промышленности – это питание потребителей, которым требуется многочасовое резервное электроснабжение с целью избежать долгосрочных перебоев в подаче электроэнергии. Стабильность и долговечность источников питания, основанных на топливных элементах, являются свойствами, которые делают их наиболее пригодными для длительного использования в качестве резервных источников питания в сравнении с аккумуляторными батареями и дизель-генераторами. Топливные элементы практически не нуждаются в техническом обслуживании, а их состояние может контролироваться удаленно. Источники питания, основанные на топливных элементах, сохраняют свою работоспособность в широком диапазоне температур. Системы на основе топливных элементов для резервного электроснабжения обеспечивают повышенную надежность сети, экологическую выгоду и экономичную эксплуатацию по сравнению с существующими технологиями, которые основаны на аккумуляторных батареях и использовании дизельного топлива.

Ключевые слова: топливный элемент, резервный источник питания, дизельный генератор, аккумулятор.

Для цитирования: Филин Ю.И. Перспективы использования топливных элементов в качестве резервных источников питания // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 61-64.

Original article

PROSPECTS FOR USING FUEL CELLS AS BACKUP POWER SOURCES

Yuri I. Filin

Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. It is impossible to imagine the life of modern society without a stable supply of electricity to consumers. Work, leisure, economic, social and physical well-being depend on sufficient and uninterrupted energy supply. Diesel generators or storage batteries are usually used for these purposes. Recently, a backup power system based on fuel elements has been increasingly introduced, which was previously considered as a technology of the future, but is already extremely promising and actively developing all over the world. Fuel cell power systems are an alternative energy supply technology. Fuel cells convert the chemical energy of fuel into electricity through the chemical reaction of positively charged hydrogen ions with oxygen or another oxidizer. The prospects for use in industry are the supply of consumers who require many hours of backup power supply in order to avoid long-term interruptions in the supply of electricity. The stability and durability of fuel cell-based power supplies are the properties that make them most suitable for long-term use as backup power sources in comparison with rechargeable batteries and diesel generators. Fuel cells practically do not need maintenance, and their condition can be monitored remotely. Fuel cell-based power supplies maintain their operability over a wide temperature range. Fuel cell-based systems for backup power supply provide increased network reliability, environmental benefits and economical operation compared to existing technologies that are based on accumulative batteries and the use of diesel fuel.

Keywords: fuel cell, backup power source, diesel generator, battery.

For citation: Filin Y.I. Prospects for the use of fuel cells as backup power sources // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 61-64.

Введение. Постановка задачи. Использование топливных элементов ранее рассматривалось как технология будущего для применения в различных отраслях промышленности [1]. Однако в настоящее время она достигла «зрелости» и является прямым конкурентом аккумуляторных батарей и дизельных генераторов, которые активно используются в качестве резервных источников питания в

электроснабжении [2] (рис. 1). Топливные элементы имеют более длительный срок службы, особенно в режиме «ожидания» эксплуатации и не требуют технического обслуживания, а также менее чувствительны к перепадам температур [3].



Рисунок 1 – Источники питания: а - свинцово-кислотная батарея; б - топливный элемент; в – дизельный генератор

Целью данной работы является рассмотрение перспектив и возможностей применения топливных элементов в качестве источников резервного питания а также сравнение их с характеристиками аккумуляторных батарей и генераторов.

Общие сведения. Топливные элементы преобразуют химическую энергию топлива в электричество посредством химической реакции положительно заряженных ионов водорода с кислородом или другим окислителем. Они отличаются от аккумуляторов тем, что для поддержания химической реакции им требуется постоянный источник топлива и кислород или воздух (рисунок 2).

Все топливные элементы состоят из анода, катода и электролита, который позволяет положительно заряженным ионам водорода (или протонам) перемещаться между двумя сторонами топливного элемента (рисунок 2). Анод и катод содержат катализаторы, которые заставляют топливо проходить реакции окисления, в результате которых образуются положительно заряженные ионы водорода и электроны. Ионы водорода после реакции проходят через электролит. В то же время электроны проходят от анода к катоду через внешнюю цепь, вырабатывая электричество постоянного тока. На катоде ионы водорода, электроны и кислород вступают в реакцию с образованием воды.

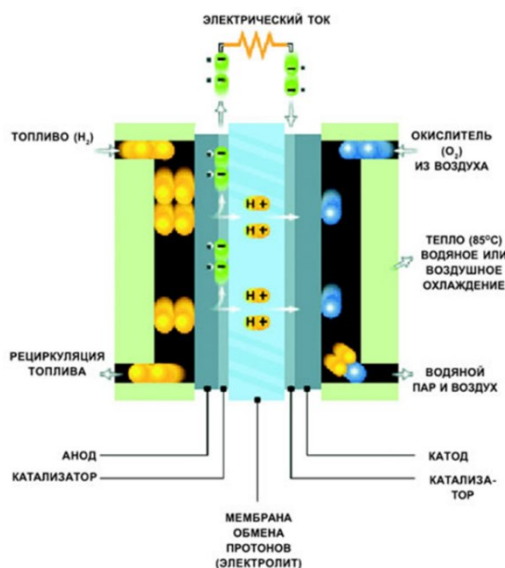


Рисунок 2 – Схема топливного элемента

Сравнительные характеристики топливных элементов, аккумуляторов и дизельных генераторов. Топливные элементы являются источниками питания постоянного тока похожими на аккумуляторные батареи [4]. Существенное отличие заключается в том, что топливо хранится вне топливного элемента и, как правило, в виде сжатого газообразного водорода или в виде гидрида металла.

Они могут производить энергию до тех пор, пока в баках есть топливо. Заряжаются просто «засыпкой» баков необходимым топливом. В этом смысле топливные элементы напоминают дизельные генераторы. Мощность системы зависит от размера хранилища газа (бака).

Долговечность. Топливные элементы обладают отличной долговечностью как в эксплуатации, так и в режиме ожидания (долговечность в режиме ожидания обычно является наиболее важным параметром). Например, ожидаемый срок службы систем полимерных электролитических топливных элементов компании Cellkraft превышает 20 000 часов работы, что примерно в два раза больше, чем типичные источники питания [5].

По сравнению с батареями в электрохимически активной части топливных элементов отсутствует химическая деградация [6], поэтому срок службы систем в режиме ожидания практически не ограничен.

Накопитель энергии в виде сжатого водорода практически не имеет «саморазряда». При использовании максимально допустимой скорости утечки ($6 \text{ см}^3/\text{ч}$) 50% «саморазряда» заняло бы 95 лет. Эти значения можно сравнить с показателями свинцово-кислотных аккумуляторов, которые из-за присущей им химической нестабильности имеют срок службы менее десяти лет даже в оптимальных условиях (температура окружающей среды 20°C или менее). При более высокой температуре скорость деградации значительно ускоряется. Дизельные генераторы при надлежащем техническом обслуживании могут достигать более 30 лет совместного срока службы, включая до 5000 часов активной работы [7].

Техническое обслуживание. Резервные источники питания на топливных элементах не нуждаются в техническом обслуживании. В свою очередь батареи также практически не требуют ТО, однако есть необходимость иногда их подзаряжать для поддержания уровня заряда батарей из-за саморазряда. Дизельные генераторы имеют наибольшие потребности в техническом обслуживании, которое включает в себя проверку уровня масла в картере, уровня охлаждающей жидкости, загрязненности воздушного фильтра, состояния и натяжения приводных ремней, запуск двигателя установки, прогрев его до необходимого теплового значения, проверка основных параметров работы на холостом режиме, замена масла и масляного фильтра, топливных и воздушного фильтров.

Надёжность. Из-за небольшого, реального опыта использования топливных элементов имеются ограниченные, но многообещающие данные о надежности. Как в топливных элементах, так и в батареях элементы соединены последовательно. Это означает, что самые слабые ячейки влияют на производительность и надежность. Однако блоки топливных элементов могут работать, даже если некоторые элементы не обеспечивают нормативов напряжения. Еще одним положительным фактором является то, что топливо в топливных элементах не хранится в объеме элемента, поэтому не может возникнуть «несбалансированная» выработка электроэнергии. Надежность топливных элементов также зависит от многих инженерных решений: материалов для прокладок, выбора насосов и так далее. Другим важным фактором надежности является то, насколько хорошо система топливных элементов собрана и установлена. В отличие от этого, аккумуляторы не нуждаются в сложной установке. Надежность аккумуляторов в основном определяется их возрастом, которая со временем снижается ввиду уменьшения их пропускной способности. Так же емкость батарей в значительной степени зависит от воздействия температуры.

Дизельные генераторы представляют собой сложные системы, для запуска которых требуется значительное количество электроэнергии. Запуск является единственным наиболее важным элементом для обеспечения надежности дизельных генераторов, особенно в холодных условиях. При надлежащем техническом обслуживании дизельные генераторы обладают относительно высокой надежностью [8].

Контроль за техническим состоянием. Технические данные систем топливных элементов могут контролироваться удаленно. В свою очередь, следить за состоянием аккумуляторов значительно сложнее. Энергетическую емкость можно измерить, разрядив и зарядив аккумулятор, но в реальных условиях это используется не часто. Обычно аккумулятор просто заменяется через определенный промежуток времени. Неполнота данных о состоянии батарей, связанных с пропускной способностью, снижают надежность и увеличивают затраты. Чтобы обеспечить высокую надежность, батареи заменяются задолго до того, как могут возникнуть проблемы.

В дизель-генераторах их состояние, а также накопленное топливо, как и в топливных элементах, могут быть легко измерены.

Термостойкость. Топливные элементы требуют охлаждения, поскольку они работают и производят электроэнергию. При правильной системе охлаждения система топливных элементов может работать при высоких температурах окружающей среды (до 50°C). Охлаждение системы топливных элементов, как правило, реализуется с помощью радиатора. В режиме ожидания охлаждение не требуется и система топливных элементов может выдерживать очень высокие температуры окружающей среды. Деградации не ожидается даже при температуре окружающей среды до 75°C . Дизельные гене-

раторы также хорошо работают при высоких температурах окружающей среды, если подобрана необходимая система охлаждения.

Правильно спроектированные и эксплуатируемые системы топливных элементов могут выдерживать очень низкие температуры и, соответственно, без проблем запускаться (например, работоспособность системы Cellkraft начинается с -33°C). В минусовых условиях не происходит снижения энергетической мощности или потери электроэнергии. Емкость аккумуляторных батарей и выработка энергии значительно снижается при низких температурах. Дизельные генераторы должны постоянно нагреваться электрическим отоплением, чтобы быть готовыми к запуску в холодных условиях.

Выводы: 1. Стабильность и долговечность источников питания, основанных на топливных элементах, являются свойствами, которые делают их наиболее пригодными для длительного использования в качестве резервных источников питания в сравнении с аккумуляторными батареями и дизельными генераторами.

2. Топливные элементы практически не нуждаются в техническом обслуживании, а их состояние может контролироваться удаленно.

3. Источники питания, основанные на топливных элементах, сохраняют свою работоспособность в широком диапазоне температур (от -33 до $+50^{\circ}\text{C}$).

Список источников

1. Топливные элементы. Устройство, виды, принцип действия топливных элементов / А.А. Кусамин, С.А. Осмоловский, В.А. Черкашин и др. // Экономика и социум. 2022. № 5-1 (96). С. 1049-1055.

2. Усков А.Е. Выбор оптимального резервного источника электроснабжения // Сельский механизатор. 2022. № 1. С. 36-38.

3. Никишин Т.П., Денисов Е.С., Адьютантов Н.А. Релаксационные процессы батарей твердополимерных водородных топливных элементов и оценка их диагностических свойств // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2020. № 7. С. 1-12.

4. Копылова Е.А., Безик В.А. Особенности применения возобновляемых источников энергии // Современные тенденции развития аграрной науки: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. С. 248-252.

5. Сравнительный анализ различных видов топливных элементов [Электронный ресурс]. - Режим доступа: URL: <http://www.cleandex.ru/articles/2015/08/08/fuelcell-comparative> (дата обращения: 01.03.2023).

6. Доброго К.В., Бладыко Ю.В. Моделирование аккумуляторных батарей и их сборок с учетом деградации параметров // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021. Т. 64, № 1. С. 27-39.

7. Моделирование динамических режимов систем электроснабжения с резервными дизельными генераторами / Ю.Н. Булатов, А.В. Крюков, В.Х. Нгуен, З.Х. Чан // Актуальные вопросы аграрной науки. 2020. № 34. С. 38-48.

8. Кирдищев Д.В. Применение метода последовательного анализа при выявлении дефектов топливной аппаратуры дизеля // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 4 (49). С. 12-17.

Информация об авторе:

Ю.И. Филин – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the author:

Yu.I. Filin - Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer at the Department of Electric Power Engineering and Electrical Technologies, Bryansk State Agrarian University

Автор несет ответственность за свою работу, представленные данные и плагиат.

The author is responsible for his work, submitted data and plagiarism.

Статья поступила в редакцию 20.03.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024.

The article was submitted 20.03.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024.

© Филин Ю.И.

Научная статья
УДК 631.3:614.841.2.001.5

ХРАНЕНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ ПО УСЛОВИЯМ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ

¹Евгений Николаевич Христофоров, ¹Наталья Евгениевна Сакович,
¹Андрей Сергеевич Шилин, ²Наталья Афанасьевна Вerezубова, ¹Елена Анатольевна Ракул
¹ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия
²ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Москва, Россия

Аннотация. В статье выполнен анализ статистики обеспечения безопасности транспортно – производственных процессов в сельскохозяйственном производстве Брянской области. Исследованы причины пожаров транспортных средств и сельскохозяйственной техники, связанные с нарушением правил эксплуатации, обслуживания и ремонта машин, неисправностей и отказов технических систем: топливной, масляной, гидравлической, системы охлаждения и других, нарушением мер пожарной безопасности обслуживающим персоналом, природных явлений, конструктивно производственных недостатков машин и техники, нарушения правил пожарной безопасности при хранении техники на стоянках, пожарной безопасности перевозимых сельскохозяйственных грузов, поджогами. В случае пожара наносится большой вред сельхозпроизводителям из-за уничтожения посевов сельскохозяйственных культур, из-за уменьшения количества техники продления срока уборки, снижения урожайности, выхода из строя дорогой техники, травмирования и гибели людей, экономический ущерб от пожаров составляет сотни миллионов рублей, пожары происходят в любое время года, днем и ночью, в выходные и рабочие дни. Учитывая, что в сельской местности пожарно – спасательные части находятся вдали от сельскохозяйственных предприятий, выполняющих сельскохозяйственные работы в отдаленных районах, пожар, по последствиям, может быть уничтожающим, а виды, конструкция сельскохозяйственной техники, накладывают дополнительные требования к пожарной безопасности, когда потушить пожар одной лишь водой не удастся. Особую пожарную опасность представляет применяемая сельскохозяйственная техника, находящаяся и сосредоточенная на хранении на открытой стоянке, закрытом ангаре, когда расстояние между стоящей рядом техникой минимальное. Выполнены теоретические исследования возникновения пожаров техники на стоянке, исследованы методы расчета безопасного хранения техники, основным из них является метод Эрланга в соответствии с которым, определена метода эффективности работы стоянки хранения сельскохозяйственной техники. Повысить пожарную безопасность сельскохозяйственной техники при хранении, в первую очередь, – это обеспечить безопасную площадь хранения, безопасный проезд, обеспечить безопасное расстояние между рядом стоящими машинами. Разработана методика расчета размеров площади для открытой, безопасной в пожарном отношении, стоянки сельскохозяйственной техники, в качестве примера брали наиболее габаритную технику – зерноуборочный комбайн акционерного общества «Брянсксельхозмаш».

Ключевые слова: сельскохозяйственное производство, транспортно – производственный процесс, сельскохозяйственная техника, транспортное средство, безопасность, пожар, причины пожаров, мероприятия по улучшению пожарной обстановки.

Для цитирования: Хранение сельскохозяйственной техники по условиям обеспечения пожарной безопасности / Е.Н. Христофоров, Н.Е. Сакович, А.С. Шилин и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 65-70.

Original article

STORAGE OF AGRICULTURAL MACHINERY UNDER FIRE SAFETY CONDITIONS

¹Yevgeny N. Khristoforov, ¹Nataliya Ye. Sakovich, ¹Andrey S. Shilin,
²Natal'ya A. Verezubova, ¹Elena A. Rakul

¹Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

²Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology –
MVA named after K.I. Skryabin, Moscow, Russia

Abstract. The analysis of statistics on ensuring safety of transport and production processes in agricultural production in the Bryansk region was carried out in the article. The causes of fires of vehicles and agricultural machinery associated with violation of the rules for the operation, maintenance and repair of machines, malfunctions and failures of technical systems: fuel, oil, hydraulic, cooling systems and others, violation of fire safety measures by service personnel, natural phenomena, structurally production deficiencies of machines and equipment, violation of fire safety rules when storing equipment in parking lots, fire safety of transported agricultural cargo, arson have been investigated. In the event of a fire, great harm is caused to agricultural producers due to the destruction of agricultural crops, due to a reduction in the amount of

equipment, an extension of the harvesting period, a decrease in yields, failure of expensive equipment, injuries and deaths of people, the economic damage from fires amounts to hundreds of millions of rubles, fires occur at any time of the year, day and night, on weekends and working days. Considering that in rural areas fire and rescue units are located far from agricultural enterprises performing agricultural work in remote areas, a fire, in terms of consequences, can be devastating, and the types and design of agricultural machinery impose additional requirements for fire safety when it is not possible to extinguish a fire with water alone. The agricultural machinery used, located and concentrated in storage in an open parking lot, closed hangar, when the distance between the adjacent machinery is minimal, poses a special fire hazard. Theoretical researches of the occurrence of fires of machinery in the parking lot have been carried out, methods for calculating the safe storage of machinery have been studied, the main one being the Erlang method, according to which the method of efficiency of the parking lot for storing agricultural machinery has been determined. To increase the fire safety of agricultural machinery during storage, first of all, is to ensure a safe storage area, safe passage, and ensure a safe distance between nearby vehicles. A methodology has been developed for calculating the size of the area for open, fire-safe parking of agricultural machinery, as an example, the most oversized equipment was taken - a combine harvester of the joint-stock company Bryanskselkhoz mash.

Key words: agricultural production, transport and production process, agricultural machinery, vehicle, safety, fire, causes of fires, measures to improve the fire situation.

For citation: Storage of agricultural machinery under fire safety conditions / Ye.N. Khristoforov, N.Ye. Sakovich, A.S. Shilin, N.A. Verezubova, E.A. Rakul // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 65-70.

Введение. Ежегодно на полях Брянской области пахут, сеют, убирают и перевозят сельскохозяйственные грузы сотни тысяч сельскохозяйственной техники и транспортных средств. Динамика наличия тракторов и комбайнов в Брянском регионе за период 2019 – 2022 годы, представлена в таблице 1 [1].

Таблица 1 – Наличие сельскохозяйственной техники в регионе

Виды сельскохозяйственной техники	2019	2020	2021	2022	2022 в % к 2021
Тракторы	3142	3013	2999	2829	94,3
Тракторы, на которых смонтированы землеройные, мелиоративные и другие машины	240	244	249	231	92,8
Тракторные прицепы	1250	1183	1152	1093	94,9
Комбайны: зерноуборочные	516	495	470	443	94,3
кормоуборочные	231	221	203	192	94,6
льноуборочные	12	12	11	2	18,2
картофелеуборочные	90	75	87	94	108,0

В 2022 году было сельскохозяйственными предприятиями, фермерами в Брянской области было приобретено 86 тракторов, из них 25 отечественного производства (89,6%, к 2021 году), комбайны зерноуборочные 41 (16 отечественных), комбайны кормоуборочные 14 (1 отечественный). В 2022 году списано, по различным причинам – тракторов 29 (47,7% от закупленных), комбайны зерноуборочные 13 (31,7%), комбайны кормоуборочные 4 (28,6%). Причинами списания сельскохозяйственной техники стали не только выработка ресурса, но и повреждение техники в результате пожаров, которые в агропромышленном производстве являются одной из самых опасных угроз. В случае пожара наносится большой вред сельхозпроизводителям из-за уничтожения посевов сельскохозяйственных культур, из-за уменьшения количества техники продления срока уборки, снижения урожайности, выхода из строя дорогой техники, травмирования и гибели людей, экономический ущерб от пожаров составляет сотни миллионов рублей, пожары происходят в любое время года, днем и ночью, в выходные и рабочие дни. Особую пожарную опасность представляет применяемая сельскохозяйственная техника, находящаяся и сосредоточенная на хранении на открытой стоянке, закрытом ангаре, когда расстояние между стоящей рядом техникой минимальное [1,3].

Примеры хранения техники на открытой и закрытой площадке изображены на рисунке 1 [7].



Рисунок 1 - Способы закрытого и открытого хранения техники:
а – положительная сторона; *б* – отрицательная сторона;

Чтобы обеспечить безопасность хранения сельскохозяйственной техники на стоянках, с точки зрения обеспечения пожарной безопасности, необходимо выполнять следующие рекомендации, рисунок 2 [2,4,5,6].



Рисунок 2 – Рекомендации для безопасного хранения техники

Учитывая, что в сельской местности пожарно – спасательные части находятся вдали от сельскохозяйственных предприятий, выполняющих сельскохозяйственные работы в отдаленных районах, пожар, по последствиям, может быть уничтожающим, а виды, конструкция сельскохозяйственной техники, накладывают дополнительные требования к пожарной безопасности, когда потушить пожар одной лишь водой не удастся [4,5,6].

Материал и методы. В настоящее время в Российской Федерации действует большое количество нормативных документов по обеспечению пожарной безопасности при хранении транспортных средств, однако конкретно для сельскохозяйственной техники, в частности габаритных размеров между машинами, таких документов недостаточно. Например, в сборнике «Пожары и пожарная безопасность в 2021 г» в разделе «Распределение показателей обстановки...по видам транспортных средств» трактора и сельскохозяйственная техника входит в графу «Прочие транспортные средства» совместно с воздушными, речными и морскими судами и другими. В ГОСТ 33062 – 2014, «Дороги автомобильные ...» размеры есть геометрические параметры парковочных мест легковых и грузовых автомобилей, автобусов для тракторов и мобильных энергетических средств параметров нет [5,6].

В таблице 2 приведены последствия пожаров в сельской местности Брянской области за период с 2018 – 2022 годы, в таблице 3 последствия пожаров для сельскохозяйственной техники [1,3,11].

Таблица 2 – Последствия пожаров в сельской местности Брянской области

Последствия/Годы	2018	2019	2020	2021	2022
Всего, пожаров	763	2733	2565	2131	1488
Прямой ущерб, тыс. руб	101052	166784	3057764	151717	144898
Кол- во погибших людей, чел	72	59	51	41	48

Таблица 3 – Последствия пожаров для сельскохозяйственной техники

Последствия/годы	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Уничтожено	76	42	76	43	75	55	46	38
Повреждено	171	149	128	170	127	117	111	114

Если учесть, что 2022 году в сельскохозяйственном производстве Брянского региона в наличии было 4884 единицы сельскохозяйственной техники, то убыло из-за списания, в том числе из-за последствий пожаров, 198 единиц техники, около 5%, что существенно для сельского хозяйства региона.

На развитие пожара на стоянке, последствия для сельскохозяйственной техники, влияют многие факторы, отдельные из них представлены на рисунке 4 [3,5,6,8,9,10,11].

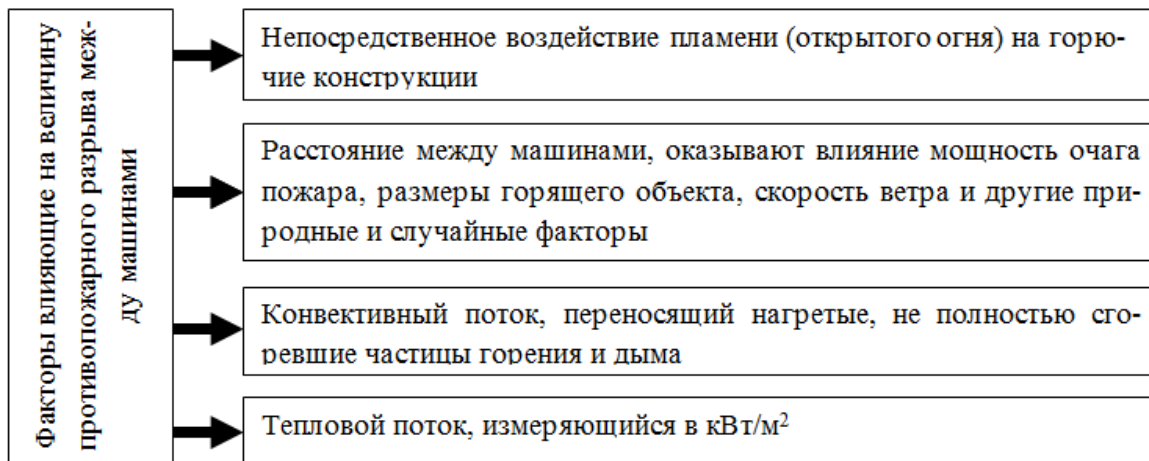


Рисунок 4 - Факторы, влияющие на последствия пожаров на стоянке сельскохозяйственной техники

Повысить пожарную безопасность сельскохозяйственной техники при хранении, в первую очередь, – это обеспечить безопасную площадь хранения, безопасный проезд, обеспечить безопасное расстояние между рядом стоящими машинами.

Результаты исследования. Обсуждение. Предлагаем методику расчета размеров площади для открытой, безопасной в пожарном отношении, стоянки сельскохозяйственной техники.

В качестве примера возьмем наиболее габаритную технику – зерноуборочный комбайн марки КЗС – 812 «Десна – Полесье GS812» акционерного общества «Брянсксельхозмаш», рисунок 5 [3,5,6,8,9,10,11].

Для модели комбайна «Десна – Полесье GS812» габаритные размеры равны: в рабочем положении длина 11200 мм, ширина 7600 мм, высота 4500 мм, в транспортном положении 18100/3900/4000. Радиус разворота 8900 мм. Колея управляющих ведущих колес 3150/2870 мм, размеры жатки 3000/5500/2400 (рис. 5).



Рисунок 5 - Общий вид зерноуборочного комбайна «Десна – Полесье GS812»

Размеры площади для открытой стоянки сельскохозяйственной техники определим по выражению [11].

$$F_x = f_o \cdot A_C \cdot K_{п.а.}$$

где f_o – площадь, по габаритным размерам, единицы комбайна в плане, m^2 .

$$f_o = 11200 \times 7600 = 85,1 \text{ м}^2$$

A_C – число мест, для стоянки комбайнов;

$K_{П.А.}$ – коэффициент плотности размещения комбайнов на стоянке.

Величина $K_{П.А.}$ зависит от способа размещения сельскохозяйственной техники на стоянке хранения, $K_{П.А.} = 2,5 \dots 3$.

Схема расстановки сельскохозяйственной техники на стоянке хранения представлена на рисунке 6 [5,6,9,11].

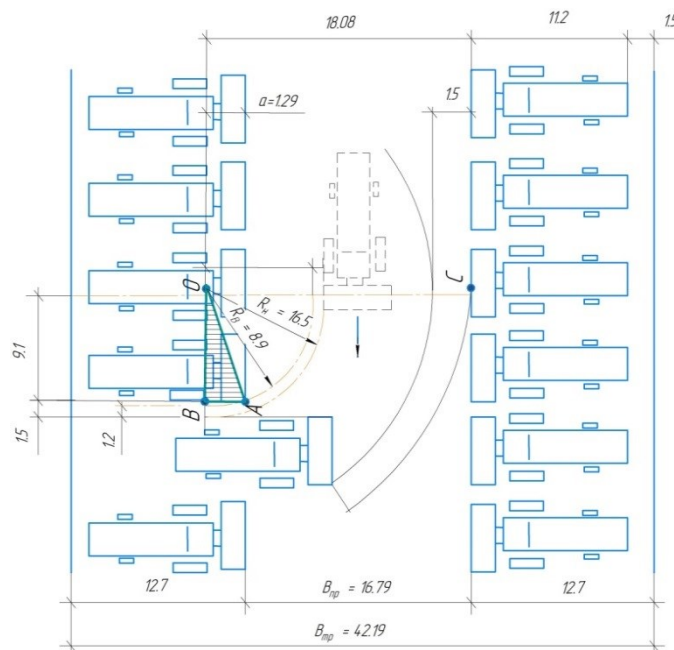


Рисунок 6 – Определение требуемой ширины стоянки для зерноуборочных комбайнов:

$B_{ТР}$ – требуемая ширина стоянки, м; $B_{ПР}$ – ширина проезда, м; R_B – внутренний радиус поворота, $R_B = 8,9$ м; R_H – внешний (наружный) радиус поворота, $R_H = 16,5$ м.

Требуемая ширина стоянки для зерноуборочного комбайна определим по формуле

$$B_{ПР} = OC - a$$

$$OC = R_H + 1,5 = 16,5 + 1,5 = 18,0 \text{ м}$$

$$OA = R_B - 1,2 = 8,9 - 1,2 = 7,7 \text{ м}$$

$$OB = R_B - 2,0 = 8,9 - 2,0 = 6,9 \text{ м}$$

$$a = AB = \sqrt{OA^2 - OB^2} = \sqrt{7,7^2 - 6,9^2} = 1,29 \text{ м}$$

$$B_{ПР} = OC - 1,29 = 18,0 - 1,29 = 16,79 \text{ м}$$

$$B_{ПР} = 18,0 - 1,29 = 16,71 \text{ м}$$

$$B_{ТР} = 2 \times 12,7 + B_{ПР} = 2 \times 12,7 + 16,79 = 42,19 \text{ м}$$

Для стоянки хранения 10 комбайнов необходима площадь равная

$$F_X = f_o \cdot A_C \cdot K_{П.А.} = 85,1 \times 10 \times 2,5 = 2127,5 \text{ м}^2$$

Выводы. 1. Профилактика пожаров в сельскохозяйственном производстве является комплексной задачей, требующей постоянного внимания и контроля.

2. Предложенные мероприятия по повышению пожарной безопасности позволяют снизить риски чрезвычайных ситуаций при хранении, эксплуатации и ремонте сельскохозяйственной техники.

Список источников

1. Брянская область. 2023: стат. сб. / Брянскстат. Брянск, 2023. 516 с.
2. Волошено А.А., Андреев А.О., Козлов А.А. Расчетная модель и информационный комплекс оценки опасности пожаров в зданиях и сооружениях // Вестник СПб ун-та ГПС МЧС России. 2022.

№ 3. С. 68–72.

3. Пожары и пожарная безопасность в 2022 году: стат. сб. Балашиха, 2023. 114 с.
4. ГОСТ 12.1.044-89. Пожаровзрывоопасность веществ и материалов. Номенклатура показателей и методы их определения. М.: Изд-во стандартов, 1989. 92 с.
5. ГОСТ 12.1.004-91. Пожарная безопасность. Общие требования. М.: Изд-во стандартов, 1992. 78 с.
6. ГОСТ 7751-2009. Техника используемая в сельском хозяйстве. Правила хранения.
7. О расчете вероятности эффективной работы технических средств по обеспечению пожарной безопасности при определении расчетных величин пожарного риска на производственных объектах / П.И. Зыков, Н.А. Контарь, С.В. Субачев, А.А. Субачева // Техносферная безопасность. 2021. № 4 (33). С. 66–71.
8. Карькин И.Н. Моделирование защиты людей и оборудования от теплового потока пожара на территории производственных объектов / И.Н. Карькин, Н.А. Контарь, С.В. Субачев, А.А. Субачева // Техносферная безопасность. 2019. № 2 (23). С. 103–108.
9. СП 4.13130.2013. Системы противопожарной защиты. Ограничение распространения пожара на объектах защиты. Требования к объёмно-планировочным и конструктивным решениям [Электронный ресурс]. – Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200101593>.
10. Технический регламент о требованиях пожарной безопасности [Электронный ресурс]: федер. закон от 22 июля 2008 г. № 123-ФЗ (в ред. от 3 июля 2016 г.). – Режим доступа: URL: <http://docs.cntd.ru/document/902111644>.
11. Юферев С.С., Медведев М.С. Совершенствование способов хранения техники для предприятий сельскохозяйственного назначения // Эпоха науки. 2022. № 29. С. 52–56.

Информация об авторах:

Е.Н. Христофоров – доктор технических наук, профессор кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Н.Е.Сакович - доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ

А.С. Шилин – аспирант, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Н.А. Вerezубова - доцент кафедры экономики и цифровых технологий в АПК, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина.

Е.А. Ракул – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Information about the authors:

Ye.N. Khristoforov - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Life Safety and Environmental Engineering, Bryansk State Agrarian University.

N. Ye. Sakovich - Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Life Safety and Environmental Engineering, Bryansk State Agrarian University.

A.S. Shilin - Postgraduate Student, Bryansk State Agrarian University.

N.A. Verezubova - Associate Professor of the Department of Economics and Digital Technologies in Agriculture, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology – MVA named after K.I. Skryabin.

E.A. Rakul – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25.04.2024; одобрена после рецензирования 25.09.2024, принята к публикации 30.09.2024 .

The article was submitted 25.04.2024; approved after reviewing 25.09.2024; accepted for publication 30.09.2024 .

© Христофоров Е.Н., Сакович Н.Е., Шилин А.С., Вerezубова Н.А., Ракул Е.А.

Научная статья
УДК 581.543

ВОПРОСЫ ОПТИМАЛЬНОГО УЧЕТА НЕЛИНЕЙНОСТИ ВЗАИМОСВЯЗИ ИНДЕКСОВ NDVI И LAI ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ФЕНОЛОГИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИЙ РАЗВИТИЯ РАСТИТЕЛЬНОСТИ

Мерадж Эльдар оглы Омаров, Севда Салман гызы Алиева
Национальное Аэрокосмическое Агентство, г. Баку,

Аннотация. Общеизвестные индексы NDVI и LAI являются важными элементами науки о развитии растений и окончательный выбор одного из этих индексов практически невозможен. Следовательно, актуальным оказывается разработка методик позволяющих однозначный переход от одного из этих индексов в другой. Известные формулы такого перехода позволяют лишь частично решить этот вопрос. Не одна из известных к настоящему времени таких формул, не содержит информацию о погрешности нелинейности характеристики $L = f(NDVI)$. Являются ли эти формулы оптимальными в смысле достижения минимума среднеинтегральной модельной погрешности возникающей из-за нелинейного отношения между LAI и NDVI при общепринятом представлении о линейности LAI в отношении степени развития растительности, не ясно. С учетом вышесказанного в настоящей статье формулируется и решается задача о получении оптимальной взаимосвязи LAI и NDVI, при которой достигается минимум интегральной меры разницы между этими индексами. Проанализирована проблема оптимального учета нелинейности индекса NDVI по сравнению со значениями индекса LAI. Для интегральной оценки и минимизации такого различия в указанных индексах в интегральном смысле введено на рассмотрение функция корректирования нелинейности NDVI и с применением метода безусловной вариационной оптимизации найдено условие при которой указанная разность достигает минимума. Согласно решению оптимизационной задачи при постоянстве интеграла функции взаимосвязи $NDVI = NDVI(LAI)$ коррекция функции $NDVI(LAI)$ в виде возведения этой функции в степень k ($k < 1$) может привести к минимизации интеграла разницы $[LAI - NDVI(LAI)]^k$ в интервале $LAI = (0 \div LAI_{max})$.

Ключевые слова: вегетационные индексы, нелинейность, растительность, фенология, оптимизация, оптический световой поток, дистанционное зондирование, эффект насыщения

Для цитирования: Омаров М.Э., Алиева С.С. Вопросы оптимального учета нелинейности взаимосвязи индексов NDVI и LAI при проведении фенологических измерений развития растительности // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 5 (105). С. 71-74.

Original article

QUESTIONS OF OPTIMAL ACCOUNTING OF NONLINEARITY OF THE RELATIONSHIP BETWEEN NDVI AND LAI INDICES WHEN CONDUCTING PHENOLOGICAL MEASUREMENTS OF VEGETATION DEVELOPMENT

Meradzh E. Omarov, Sevda S. Alieva

National Aerospace Agency, Baku, Republic of Azerbaijan

Abstract. The well-known NDVI and LAI indices are important elements of plant development science and the final choice of one of these indices is practically impossible. Therefore, the development of methods that allow an unambiguous transition from one of these indices to another is relevant. The well-known formulas of such a transition allow only partially solving this issue. Not one of the currently known such formulas does not contain information about the error of the nonlinearity of the characteristic $L=f(NDVI)$. It is not clear whether these formulas are optimal in the sense of achieving a minimum of the average integral model error arising from the nonlinear relationship between LAI and NDVI with the generally accepted idea of LAI linearity with respect to the degree of vegetation development. Taking into account the above, this article formulates and solves the problem of obtaining the optimal relationship between LAI and NDVI, in which a minimum integral measure of the difference between these indices is achieved. The problem of optimal accounting for the nonlinearity of the NDVI index in comparison with the values of the LAI index is analyzed. For an integral assessment and minimization of such a difference in the specified indices in the integral sense, the NDVI nonlinearity correction function was introduced and, using the method of unconditional variational optimization, a condition was found under which the specified difference reaches a minimum. According to the solution of the optimization problem, with the integral of the relationship function $NDVI=NDVI(LAI)$ constant, correction of the $NDVI(LAI)$ function in the form of raising this function to the power of k ($k<1$) can lead to minimizing the integral of the difference $[LAI - [NDVI(LAI)] ^k]$ in the interval $LAI=(0 \div [LAI] _max)$.

Key words: vegetation indices, nonlinearity, vegetation, phenology, optimization, optical luminous flux, remote sensing, saturation effect.

For citation: Omarov M.E., Aliyeva S.S. Questions of optimal accounting of nonlinearity of the relationship between ndvi and lai indices when conducting phenological measurements of vegetation development// Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2024. №5 (105). 71-74.

Введение. Хорошо известно, что исследование фенологического развития растительности осуществляется с использованием в основном индекса листовой площади [1-3]. Выбор LAI в качестве основного индекса для проведения фенологических исследований объясняется нелинейностью функции зависимости NDVI от LAI, что известно в качестве «эффекта насыщения» NDVI при больших значениях LAI [4-6].

Вместе с тем, методологии измерения состояния растений с использованием как индекса LAI, так и индекса NDVI хорошо отработаны и судя по масштабу использования этих индексов, окончательный отказ от какого-либо из этих индексов не предвидится.

Вкратце отметим методику измерения индекса LAI и известные соотношения между LAI и NDVI для различных групп растительности. Как отмечается в работе [7], метод оптических радиационных измерений LAI был впервые предложен Монси и Саки в 1953-м году. Этот метод основывался на уравнении Бера-Ламберта. Согласно этому методу крона растительности рассматривается как однородная мутная среда, в которой оптический световой поток поглощается пропорционально оптической толщине. Такой подход к измерению LAI позволило получить следующее выражение для вычисления этого индекса

$$LAI = -\frac{1}{d \ln\left(\frac{I}{I_0}\right)} \tag{1}$$

где I_0 -оптический поток, попадающий на крону растительности; I -оптический поток, зарегистрированный измерителем на уровне земли в качестве потока, прошедшего через крону растительности; d -коэффициент экстинкции, или ослабления.

В общем случае d определяется по формуле [7]

$$d = \frac{G(\theta, \alpha)}{\cos \theta} \tag{2}$$

где G - функция распределения угла листьев, θ и α - угол азимута листьев.

Вместе с тем, как отмечается в работе [8], для оценки LAI дистанционными методами используются два подхода:

1. Статистическая подход, где используется корреляция между LAI и другими вегетационными индексами [9,10]
2. Физический подход, где используются биофизические модели, в которых учитывается отражение оптической радиации от кроны растительности [11,12].

Каждое из этих подходов имеет свои плюсы и минусы. Статистический подход позволяет достичь конкретных формул, однако полученные здесь результаты оказываются очень чувствительными различным показателям конкретной местности и условиям. Физический подход позволяет учесть биофизические особенности растительности, однако в то же время страдает от несовершенства используемых методов дистанционного зондирования [13,14]. В различной литературе приводятся достаточно устоявшиеся формулы регрессионной взаимосвязи между NDVI и LAI (табл. 1) [15-17].

Таблица 1

Тип растительности	Уравнение	[Л]
Сельское хозяйство	$LAI = -2.5 \ln(1.2 - 2NDVI)$	[15]
Пастбище	$LAI = 0.21 \exp\left(\frac{NDVI}{0.264}\right)$	[15]
Смешанный лес	$LAI = \left(0.52 \left(\frac{NDVI + 1}{1 - NDVI}\right)\right)^{1.715}$	[16]
Хвойный лес	$LAI = 0.65 \exp\left(\frac{NDVI}{0.34}\right)$	[17]

Вместе с тем, как было отмечено выше, индексы NDVI и LAI являются незаменимыми атрибутами науки о развитии растений и полный отказ от одного из этих индексов практически невозможен. В таких условиях становится актуальной разработка методик позволяющих однозначный переход от одного из этих индексов в другой. Казалось бы, формулы, приведенные в таблице 1 позволяют частично решить этот вопрос. Однако, на самом деле это, не так. Не одна из формул, приведенных в таблице 1 не содержит информацию о погрешности нелинейности характеристики $L = f(NDVI)$. Являются ли эти формулы оптимальными в смысле достижения минимума среднеинтегральной модельной погрешности возникающей из-за нелинейного отношения между LAI и NDVI при общепринятом представлении о линейности LAI в отношении степени развития растительности, не ясно. С учетом вышесказанного в настоящей статье формулируется и решается задача о получении оптимальной взаимосвязи LAI и NDVI, при которой достигается минимум интегральной меры разницы между этими индексами.

Материалы и методы. Для оценки разности NDVI от LAI введем на рассмотрение функцию связи между NDVI и LAI, т.е.

$$NDVI = NDVI(LAI) \quad (3)$$

Разницу между LAI и NDVI(LAI) будем исследовать с учетом необходимости корректировки эффекта насыщения NDVI при больших значениях LAI.

Отметим, что эффект «насыщения NDVI» при больших значениях LAI хорошо изучен [18] и здесь подробно не рассматривается. Для учета эффекта насыщения будем рассматривать скорректированную версию функции $NDVI(LAI)$ в виде

$$NDVI(LAI)_{кор} = kNDVI(LAI) \quad (4)$$

где k - коэффициент коррекции.

Интегральную величину отклонения $NDVI(LAI)$ от линейной функции $kLAI$ определим по выражению

$$\Delta_{ин} = \int_0^{LAI_m} [LAI - kNDVI(LAI)] dLAI \quad (5)$$

Следует определить такой вид функции $NDVI(LAI)$ при которой $\Delta_{ин}$ достиг бы минимальной величины. Для решения оптимизационной задачи (5) необходимо задать некоторое ограничительное условие, применительно к известной функции $NDVI(LAI)$.

Указанное ограничительное условие определим в виде

$$\int_0^{LAI_m} NDVI(LAI) dLAI = C; C = const \quad (6)$$

С учетом выражений (5) и (6) составим задачу безусловной вариационной оптимизации, целевой функционал F_0 которой формируется в следующем виде

$$F_0 = \int_0^{LAI_m} [LAI - kNDVI(LAI)]^2 dLAI + \lambda \left[\int_0^{LAI_m} NDVI(LAI) dLAI - C \right] \quad (7)$$

где λ - множитель Лагранжа.

Решение оптимизационной задачи (7) с учетом [19] ищем по условию

$$\frac{d\{[LAI - kNDVI(LAI)]^2 + \lambda NDVI(LAI)\}}{dNDVI(LAI)} = 0 \quad (8)$$

Из условия (8) получим:

$$2[LAI - kNDVI(LAI)](-k) + \lambda = 0 \quad (9)$$

Из выражения (9) получаем

$$NDVI(LAI) = \frac{LAI - \lambda/2k}{k} \quad (10)$$

Для определения значения λ воспользуемся выражениями (6) и (10). Имеем

$$\int_0^{LAI_{max}} \frac{LAI - \lambda/2k}{k} dLAI = C \quad (11)$$

Из выражения (11) получаем

$$\lambda = \frac{2k^2}{LAI_{max}} \left(\frac{LAI_{max}^2}{2k} - C \right) \quad (12)$$

С учетом выражений (12) и (10) находим

$$NDVI(LAI) = \frac{LAI}{k} - \frac{1}{LAI_{max}} \left(\frac{LAI_{max}^2}{2k} - C \right) \quad (13)$$

Из выражения (13) находим следующую формулу для вычисления k .

$$k = \frac{2LAI - 1}{2NDVI(LAI) - C/LAI_{max}}$$

Например, при $LAI=10$; $NDVI(LAI)=0,5$; $C=2$; $LAI_{max}=15$ получим $k \approx 22$.

Обсуждение. Таким образом, отмечено особая важность индексов LAI и NDVI не только для фенологической науки о растительности, но и для науки дистанционного зондирования растительных полей. Рассматривается нерешенная проблема оптимального учета нелинейности индекса NDVI по сравнению со значениями индекса LAI. Для интегральной оценки и минимизации такого различия в указанных индексах в интегральном смысле введено на рассмотрение функция корректирования нелинейности NDVI и с применением метода безусловной вариационной оптимизации найдено условие при которой указанная разность достигает минимума.

Заключение и выводы. Сформулирована и решена задача оптимальной коррекции взаимосвязи вегетационных индексов NDVI и LAI с учетом эффекта насыщения NDVI.

1. Согласно решению оптимизационной задачи при постоянстве интеграла функции взаимосвязи $NDVI = NDVI(LAI)$ коррекция функции $NDVI(LAI)$ в виде умножения этой функции в коэффициент k и возведение разницы $(LAI - NDVI(LAI))$ в квадрат может привести к минимизации интеграла разницы $[LAI - kNDVI(LAI)]^2$ в интервале $LAI = (0 \div LAI_{max})$.

Список источников

1. The response of vegetation to regional climate change on the Tibetan plateau based on remote sensing products and the dynamic global vegetation model / M. Deng, X. Meng, Y. Lu, Z. Li et al. // *Remote sens.* 2022. Vol. 14. Pp. 3337.
2. Helman D. Land surface phenology: what do we really see from space? // *Sci. Total Environ.* 2018. Pp. 665-673.
3. Climatic anomaly and its impact on vegetation phenology carbon sequestration and water-use efficiency at a humid temperate forest / C. Zheng, X. Tang, Q. Gu et al. // *J. Hydrol.* 2018. Vol. 565. Pp. 150-159.
4. Gao R. Features extraction from the LAI2200C plant canopy analyzer. <https://doi.org/10.4211/hs.6d0c4a14289742d0951ba5ab9eca7dc0>.
5. Gao R., Zeng R. Detecting agricultural drainage ditch system in low relief land: a heterogeneous filtering approach // *AGU Fall Meet Abstr.* 2019.
6. Gao R., Nassar A., Aboutalebi M. Grapevine leaf area index estimation with machine learning and unmanned aerial vehicle information // *AGU Fall Meet Abstr.* 2020.
7. Breda N.J. Ground-based measurements of leaf area index: a review of methods, instruments and current controversies // *Journal of experimental botany.* 2003. Vol. 54, No. 392. Pp. 2403-2417.
8. Evaluating the potential of GeoEye data in retrieving LAI at watershed scale / M. Aquilino, A. Novelli, E. Tarantino et al. // *Remote Sens. of Agriculture.* 2014.
9. Chen J.M., Cihlar J. Retrieving leaf area index of boreal conifer forests using landsat TM images // *Remote sensing of environment.* 1996. Pp. 153-162.
10. Myneni R., Nemani R.R., Running S.W. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models // *IEEE transactions and geoscience and remote sensing.* 1997. Vol. 35.
11. Price J.C. Estimating leaf area index from satellite data // *Geoscience and remote sensing. IEEE Transactions on* 1993. Pp. 727-734.
12. Investigation of a model inversion technique to estimate canopy biophysical variables from spectral and directional reflectance data / M. Weiss, F. Baret, R. Myneni, A. Pragnere // *Agronomie.* 2000. Vol. 20. Pp. 3-22.
13. Extraction of vegetation biophysical parameters by inversion of the PROSPECT+SAIL models on sugar beet canopy reflectance data. Application to TM and AVIRIS sensors / S. Jacquemoud, F. Baret, B. Andrieu et al. // *Remote Sens. of environment.* 1995. Pp. 163-172.
14. Algorithm for global leaf area index retrieval using satellite imagery / F. Deng, M. Chen, S. Plummer, J. Pisek // *Geoscience and remote sensing. IEEE Transactions.* 2006. Pp. 2219-2229.
15. PROSPECT+SAIL models: A review of use for vegetation characterization / S. Jacquemoud, W. Verhoef, F. Baret, C. Bacour et al. // *Remote sensing of environment.* 2009.
16. Nemani R.R., Running S.W. Testing a theoretical climate-soil-leaf area hydrologic equilibrium of forests using satellite data and ecosystem simulation // *Agricultural and forest meteorology.* 1989. Pp. 245-260.
17. Peterson D.L., Spanner M.A., Running S.W. Relationship of thematic mapper simulator data to leaf area index of temperate coniferous forests // *Remote sens. of environment.* 1987. Pp. 323-341.
18. The use of the normalized difference vegetation index (NDVI) to assess land degradation at multiple scales: a review of the current status, future trends, and practical considerations / G.T. Yengoh, D. Dent, L. Olson, E. Anna // *Lund University center for sustainability studies and the scientific and technical advisory panel of the global environment facility.*
19. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1974. 432 с.

Информация об авторах:

М.Э. Омаров – докторант, Национальное Аэрокосмическое Агентство.

С.С. Алиева – кандидат технических наук, Национальное Аэрокосмическое Агентство.

Information about the authors:

M.E. Omarov – Doctoral student, National Aerospace Agency.

S.S. Alieva – Candidate of Technical Sciences, National Aerospace Agency.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors are responsible for their work and the data provided. All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and are equally responsible for plagiarism. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 31.05.2024; одобрена после рецензирования 25.07.2024, принята к публикации 30.07.2024.

The article was submitted 31.05.2024; approved after reviewing 25.07.2024; accepted for publication 30.07.2024.

© Омаров М.Э., Алиева С.С.

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРОВ

Научный журнал «Вестник Брянской ГСХА» публикует результаты завершенных оригинальных, теоретических и методических исследований, обзорные статьи, представляющие интерес для специалистов в различных областях сельскохозяйственной науки и практики.

ОБЩИЕ ТРЕБОВАНИЯ К ОФОРМЛЕНИЮ РУКОПИСЕЙ

Тексты статей представляются только в программе Microsoft Word. Формат страницы А4, поля по 2 см, шрифт Times New Roman 12, межстрочный интервал 1,0. Выравнивание по ширине с установкой переносов, отступ в начале абзаца 1,25. Объем статьи не менее 4 и не более 10 страниц, включая аннотацию, литературу, таблицы, графики, рисунки и подписи под рисунками. Размер каждого рисунка и таблицы не должен превышать одной страницы формата А4. Статьи большего объема могут быть опубликованы в исключительных случаях по решению редакционной коллегии.

СТРУКТУРА СТАТЬИ

1) УДК (в верхнем левом углу); 2) название статьи (на русском языке заглавными буквами); Ф.И.О. полностью, 3) полное название учреждения и почтовый адрес (строчными буквами по центру, отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; 4) аннотация и ключевые слова на русском языке, 5) название статьи (на английском языке заглавными буквами); Ф.И.О. полностью, 6) полное название учреждения и почтовый адрес (на английском языке строчными буквами по центру, отметить арабскими цифрами соответствие фамилий авторов учреждениям, в которых они работают; 7) аннотация и ключевые слова на английском языке; 8) статья; 9) список источников, информация об авторах (на русском и английском языках, с указанием инициалов и фамилии авторов, ученой степени, звания, места работы, e-mail).

Экспериментальная статья должна включать следующие разделы: введение, материалы и методы, результаты и их обсуждение, выводы, список источников.

Требования к составлению аннотации. Оформляется согласно ГОСТ 7.0.7-2021. Рекомендуемый объем 1000-2000 знаков (200-250 слов). В аннотации не повторяется название статьи. Аннотация не разбивается на абзацы. Структура аннотации кратко отражает структуру работы. Вводная часть минимальна. Место исследования уточняется до области (края). Изложение результатов содержит фактографию, обоснованные выводы, рекомендации и т.п. Допускается введение сокращений в пределах аннотации (понятие из 2-3 слов заменяется на аббревиатуру из соответствующего количества букв, в 1-й раз дается полностью, сокращение - в скобках, далее используется только сокращение). Избегайте использования вводных слов и оборотов. Числительные, если не являются первым словом, передаются цифрами. Нельзя использовать аббревиатуры и сложные элементы форматирования (например, верхние и нижние индексы). Категорически не допускаются вставки через меню «Символ», знак разрыва строки, знак мягкого переноса, автоматический перенос слов. Перевод аннотации на английский язык. Недопустимо использование машинного перевода. Вместо десятичной запятой используется точка. Все русские аббревиатуры передаются в расшифрованном виде, если у них нет устойчивых аналогов в англ. яз. (допускается: WTO-WTO, FAO-FAO и т.п.).

Библиографический список нумеруется в порядке упоминания ссылок в тексте. Ссылки помещают квадратные скобки. Библиографический список оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5 – 2008 для затекстовых ссылок. В библиографический список рекомендуется включать наиболее современные источники, которые не старше 5 лет от момента проведения исследования. Допускается доля самоцитирования не более 20% и цитирования работ сотрудников учреждения, где выполнена работа не более 30%.

Все рукописи, представляемые для публикации в журнале, проходят рецензирование (экспертную оценку) и проверку информационной системой на наличие неправомерных заимствований.

Статьи (1 экземпляр в печатном виде и на электронном носителе) следует направлять по адресу 243365 Брянская обл., Выгоничский р-он., с. Кокино, ул. Советская, 2а, Брянский ГАУ, главному редактору Торикову В.Е. или E-mail: osirovaa@bgsha.com с указанием темы «статья в журнале Вестник Брянской ГСХА». Также направляется сопроводительное письмо, оформленное на бланке соответствующего учреждения с рекомендацией к публикации, если предоставляемые материалы являются результатом работы, выполненной в этой организации. При отправке по E-mail представлять печатный экземпляр необязательно. Так же можно отправить по E-mail отсканированный вариант рецензии. С аспирантов плата за публикацию рукописей не взимается.