

ВЕСТНИК БРЯНСКОЙ ГСХА

Издаётся с марта
2007 года

Выходит один раз
в два месяца

УЧРЕДИТЕЛЬ/ИЗДАТЕЛЬ:
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАР-
СТВЕННОЕ 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-rf.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 докто-
ра наук, по научным специаль-
ностям и соответствующим им отрас-
лям науки:

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки);
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки);
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (сельскохозяйственные науки);
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).

№ 3 (109)
МАЙ-ИЮНЬ 2025
СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО	
Баланс макроэлементов при возделывании мятыликовой травосмеси при различном уровне минерального питания	3
Атрошенко П.П., Белоус Н.М., Смольский Е.В.	
Оценка фенокалендарей доминантных видов вредителей столовой свеклы в фитосанитарном мониторинге	9
Сычёва И.В., Сычёв С.М., Осипов А.А., Анищенко Д.И.	
Эффективность использования торфяного субстрата при микроклональном размножении картофеля	14
Филиппова С.В., Кириллов Н.А.	
ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ	
Хромбелмин в кормлении высокопродуктивных лактирующих коров	18
Топорова И.В., Сыроватский М.В., Максимов Н.И., Иванова А.С.	
Влияние пробиотика «Битасель» в рационах перепелок несушек на морфологические и биохимические показатели крови	23
Рябов И.А., Мунгин В.В.	
Влияние применения в кормлении коров экструдированного гранулированного люпина на соматические клетки молока	28
Ярован Н.И., Федорова Т.Н., Менякина А.Г.	
Влияние кормовой добавки с гуминовыми кислотами на молочную продуктивность и качественные показатели молока	33
Артеменко К.М., Гордеева А.К.	
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	
Экспериментальные исследования процесса охлаждения гранул в вертикальной пневматической колонне охлаждения	38
Голикова А.А., Мезенов А.А.	
Температура сушильного агента при его рециркуляции в модульной сушилке аэродинамического нагрева	46
Купреенко А.И., Bezirk D.A., Isaev X.M., Panova T.V., Kupreenko O.A., Ялоза А.Г.	
Теоретическое исследование движения воздушного потока в сепараторе пневматической молотковой дробилки	54
Голиков А.И., Мезенов А.А.	
Система автоматического регулирования с замкнутым контуром регулирования	61
Козлов С.И., Бортник С.А., Кузюр В.М., Будко С.И.	
Исследование показателей качества электроэнергии сельскохозяйственного предприятия	66
Широбокова О.Е., Кисель Ю.Е., Ульянов А.А., Любкин А.А.	
Влияние спектрального состава излучения на энергоэкологичность томата	72
Ракут'ко Е.Н., Васькин А.Н.	
No 3 (109) MAY-JUNE 2025	
AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT	
The balance of macronutrients in cultivation bluegrass grass mixture with different levels of mineral nutrition	3
P.P. Atroshenko, N.M. Belous Ye.V. , Smol'sky	
Evaluation of phenocalendars of dominant table beet pest species in phytosanitary monitoring	9
I.V. Sychyova, S.M. Sychyov, A.A. Osipov, D.I. Anishchenko	
Efficiency of using peat substrate in potato micropagation	14
S.V. Filippova, N.A. Kirillov	
ANIMALS AND VETERINARY SCIENCE	
Chrombelmin in feeding of high-producing lactating cows	18
I.V. Toporova, M.V. Syrovatski, N.I. Maximov, A. S. Ivanova	
Influence of probiotic “Bitacel” in the diets of laying quails on morphological and biochemical indicators of blood	23
I.A. Ryabov, V.V. Mungin	
The effect of using extruded granulated lupine in cow feeding on somatic cells in milk	28
N.I. Yarovana, T.N. Fedorova, A.G. Menyakina	
Effect of feed additive with humic acids on milk productivity and milk quality indicators	33
K.M. Artemenko, A.K. Gordeeva	
AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES	
Experimental researches of the granule cooling process in a vertical pneumatic cooling column	38
A.A. Golikova, A.A. Mezenov	
Temperature of the drying agent during its recirculation in aerodynamic heating modular dryer	46
A.I. Kupreenko, D.A. Bezirk, H.M. Isaev, T.V. Panova, O.A. Kupreenko, A.G. Yaloza	
Theoretical research of air flow movement in the separator of a pneumatic hammer grinder	54
A.I. Golikov, A.A. Mezenov	
Automatic control system with closed control loop	61
S.I. Kozlov, S.A. Bortnik, V.M. Kuzyur, S.I. Budko	
Research of indicators of the quality of electricity of an agricultural enterprise	66
O.E. Shirobokova, Y.E. Kisiel, A.A. Ulyanov, A.A. Lyubkin	
Influence of spectral composition of radiation on the energy-ecological friendship of tomato	72
E.N. Rakut'ko, A.N. Vas'kin	

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. Исаичев – 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, профессор 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); 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. Лебедько – 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 05.06.2025.

Дата выхода в свет 24.06.2025.

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, 2025



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); 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 - 05.06.2025.

The release date is 24.06.2025.

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, 2025

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

Научная статья

УДК 633.21:631.82

БАЛАНС МАКРОЭЛЕМЕНТОВ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ
МЯТЛИКОВОЙ ТРАВОСМЕСИ ПРИ РАЗЛИЧНОМ УРОВНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ

Павел Петрович Атрошенко, Николай Максимович Белоус, Евгений Владимирович Смольский
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В период исследования 2019-2021 годов в условиях поверхностно улучшенной центральной поймы реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области на аллювиальной почве изучали действие применения минерального удобрения при возделывании сеянной мятликовой травосмеси на элементный состав и баланс элементов питания при производстве грубых кормов. Почва территории исследования аллювиальная дерновая песчаная, агрохимические свойства (pH_{KCl} , 4,8, гумус – 3,2%, P_2O_5 – 140 мг/кг и K_2O – 60 мг/кг). В результате исследований, проведенных в разных погодных условиях, установили, что элементный состав сена сеянной мятликовой травосмеси не зависел от агроклиматических условий, а зависел от количества применяемого удобрения и соотношения в нём элементов питания. Обнаружили, что применение минерального удобрения достоверно влияет на повышение содержания азота, фосфора и калия в сене вне зависимости от периода уборки. Установили, что вынос элементов питания зависел в основном от урожайности сеянной мятликовой травосмеси, а элементный состав слабо влиял. Определили, что при возделывании посевов мятликовой травосмеси при применении исследуемых видов, доз минерального удобрения с целью получения высоких урожаев при максимальном уровне химизации баланс элементов питания невозможно поддерживаться на без отрицательном уровне.

Ключевые слова: мятликовая травосмесь, элементный состав, баланс элементов питания, сено, минеральные удобрения, юго-запад Брянской области.

Для цитирования: Атрошенко П.П., Белоус Н.М., Смольский Е.В. Баланс макроэлементов при возделывании мятликовой травосмеси при различном уровне минерального питания // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 3-8.

Original article

THE BALANCE OF MACRONUTRIENTS IN CULTIVATION
BLUEGRASS GRASS MIXTURE WITH DIFFERENT LEVELS OF MINERAL NUTRITION

Pavel P. Atroshenko, Nikolai M. Belous, Yevgeny V. Smol'sky
Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. During the research period 2019-2021, in the conditions of the superficially improved central floodplain of the river Iput of the Novozybkov district of the Bryansk region, the effect of using mineral fertilizer when cultivating sown bluegrass grass mixture on the elemental composition and balance of nutrients in the production of coarse feeds was studied on alluvial soil. The soil of the research area is alluvial sod sand, agrochemical properties (pH_{KCl} , 4.8, humus - 3.2%, R_2O_5 - 140 mg/kg and K_2O - 60 mg/kg). As a result of the conducted researches in different weather conditions, the elemental composition of hay of the sown bluegrass grass mixture was found not to depend on agroclimatic conditions, but to be dependent on the amount of fertilizer used and the ratio of nutrients in it. The use of mineral fertilizer was established to have a reliable effect on the increase in nitrogen, phosphorus and potassium content in the hay regardless of the harvesting period. The removal of nutrients was found to depend mainly on the yields of the sown bluegrass grass mixture, and the elemental composition had little effect. It was determined that when cultivating crops of bluegrass grass mixture using the studied species, doses of mineral fertilizer in order to obtain high yields at the maximum level of chemization, the balance of nutrients cannot be maintained at a negative level.

Keywords: bluegrass grass mixture, elemental composition, balance of nutrients, hay, mineral fertilizers, south-west of the Bryansk region.

For citation: Atroshenko P.P., Belous N.M., Smol'sky Ye.V. The balance of macronutrients in cultivation bluegrass grass mixture with different levels of mineral nutrition // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. 3 (109): 3-8.

Введение. Главной задачей кормопроизводство является обеспечение кормами отрасли животноводства, однако повышение урожайности кормовых культур за счет применения минеральных удобрений

непременно приведет к изменению показателей почвенного (Семинченко Е.В. Баланс гумуса, элементов питания и продуктивность биологизированных севооборотов Нижнего Поволжья // Пермский аграрный вестник. 2018. № 2 (22). С. 89-91) [1,2]. Применения минерального удобрения в одной стороне возвращает элементы питания в почву, а с другой повышает урожайность и вынос элементов питания с урожаем, поэтому до сих пор нахождения равенства в поступлении и выносе питательных элементов из почвы при различных дозах применения минерального удобрения представляет несомненный интерес [3-5]. Статьи прихода складываются применения за счет минерального и органического удобрения, пожнивных и послеуборочных остатков, посевного и посадочного материала, биологической фиксации азота, выпадением азота из атмосферы с осадками. Статьи расхода складываются в основном за счет выноса элементов с товарной продукцией, а также смывом с поверхности и вымыванием в грунтовые воды, эрозионных потерь, потерь в результате газообразования [6-8].

Ведение кормопроизводства в условиях центральной поймы изменяет статьи прихода элементов питания за счет применения минерального удобрения. Качество и урожайности продукции кормопроизводства влияют на статьи расхода. Прогноз направленности изменения показателей почвенного плодородия под действием ведения кормопроизводства в зависимости от применения минерального удобрения является актуальным в современных условиях (Плотников А.М., Кабдунова Г.С. Баланс элементов питания и продуктивность зернопарового севооборота при применении минеральных удобрений // Проблемы агрохимии и экологии. 2018. № 1. С. 38-41) [9].

Цель исследования – изучить изменения элементного состава сена и баланса элементов питания при возделывании сеянной мятыликовой травосмеси в зависимости от применяемого минерального удобрения в условиях аллювиальной почвы центральной поймы.

Материалы и методы исследования. Полевые опыты по определению элементного состава сена сеянной мятыликовой травосмеси и баланса элементов питания проведены в условиях центральной поймы реки Ипуть Новозыбковского района Брянской области.

Почвенный покров полевого опыта представлен аллювиальной луговой маломощной среднегумусной песчаной на супесчаном аллювии. Агрохимические свойства почвы полевого опыта: обменная кислотность – 5,2-5,4 ед. (слабокислая); органическое вещество – 2,1-2,7 % (повышенное содержание); подвижный фосфор и калий соответственно 320-440 и 64-80 мг/кг (очень высокое и низкое содержание).

Агротехнические мероприятия поверхностного улучшения центральной поймы: дискование дернины естественного травостоя дисковой бороной в двух направлениях с последующим фрезерованием почвы, предпосевное прикатывание почвы, посев мятыликовой травосмеси (овсяница луговая – 6 кг/ га, лисохвост луговой – 5 кг/га, двукисточник тростниковый – 7 кг/ га) зернотравяной сеялкой.

Схема опыта применения минерального удобрения: 1. Контроль (без применения минерального удобрения); 2. Р60К90; 3. N90Р60К90; 4. N90Р60К120; 5. N90Р60К150; 6. Р60К120; 7. N120Р60К120; 8. N120Р60К150; 9. N120Р60К180. В качестве минерального удобрения использовали аммиачную селитру, суперфосфат двойной, калий хлористый. После возобновления вегетации применяли полную дозу фосфорного удобрения и половину азотного и калийного удобрения, после уборки первого укоса применяли половину азотного и калийного удобрения.

Учёт урожайности сена сеянной мятыликовой травосмеси определяли путем высушивания зеленой массы с 1 м² до воздушно-сухого состояния. Уборку первого укоса проводили в конце июня, второго укоса – в конце августа.

В период исследований с 2019 по 2021 годы агрометеорологические показатели характеризовались как типичные для региона. Анализ изменения агрометеорологических условий вегетационного периода исследований проводили по периодам уборки урожая.

Средняя температура воздуха вегетационного периода годов исследования составила 19,6 °C, в период от возобновления вегетации до первого укоса она составила 18,3 °C, в период от первого до второго укоса она возросла до 20,9 °C, что говорит от более лучших термических условиях в период второго укоса.

Среднее количество выпавших атмосферных осадков за вегетационный период годов исследования составило 288,2 мм, в период от возобновления вегетации до первого укоса оно составило 104,7 мм, в период от первого до второго укоса она возросла до 183,5 мм, что говорит от большей обеспеченности влагой в период второго укоса.

Различия в условиях вегетации непременно отразятся прямо в урожайности сеянной мятыликовой травосмеси, так и косвенно, по средствам эффективности применения минерального удобрения.

В центре коллективного пользования научным оборудованием Брянского ГАУ определяли элементный состав в сене мятыликовой травосмеси в соответствии с общепринятыми методиками.

Расчет баланса элементов проводили в соответствии с общепринятыми методиками (Минеев В.Г. Агрохимия: учебник. М.: Изд-во ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова, 2017. 854 с.) для перевода массы оксида минерального удобрения в элемент использовали коэффициент пересчета.

Результаты и их обсуждение. Погодные условия в период проведения исследований при возделывании мятликовой травосмеси в условиях поверхностного улучшения радиоактивно загрязненной центральной поймы не влияли на изменчивость содержания элементов питания в сене, как первого, так и второго укоса, коэффициент вариации был ниже 10%.

В среднем за годы исследования при проведении поверхностного улучшения центральной поймы и посеве мятликовой травосмеси содержание азота, фосфора и калия в сене первого и второго укоса соответственно составило 1,63, 0,23, 1,67 и 1,43, 0,23, 1,49 % сухого вещества (рис. 1).

Применение под первый укос возрастающих доз фосфорно-калийного удобрения достоверно повышает до 1,86 % содержание азота в сене, как в сравнении с контролем, так и в сравнении между дозами удобрения. Содержание фосфора и калия достоверно повышает до 0,30 и 2,03 в сравнении с контролем, наблюдали тенденцию к росту содержания фосфора и калия под действием доз удобрения, существенной разницы не обнаружили (рис. 1).

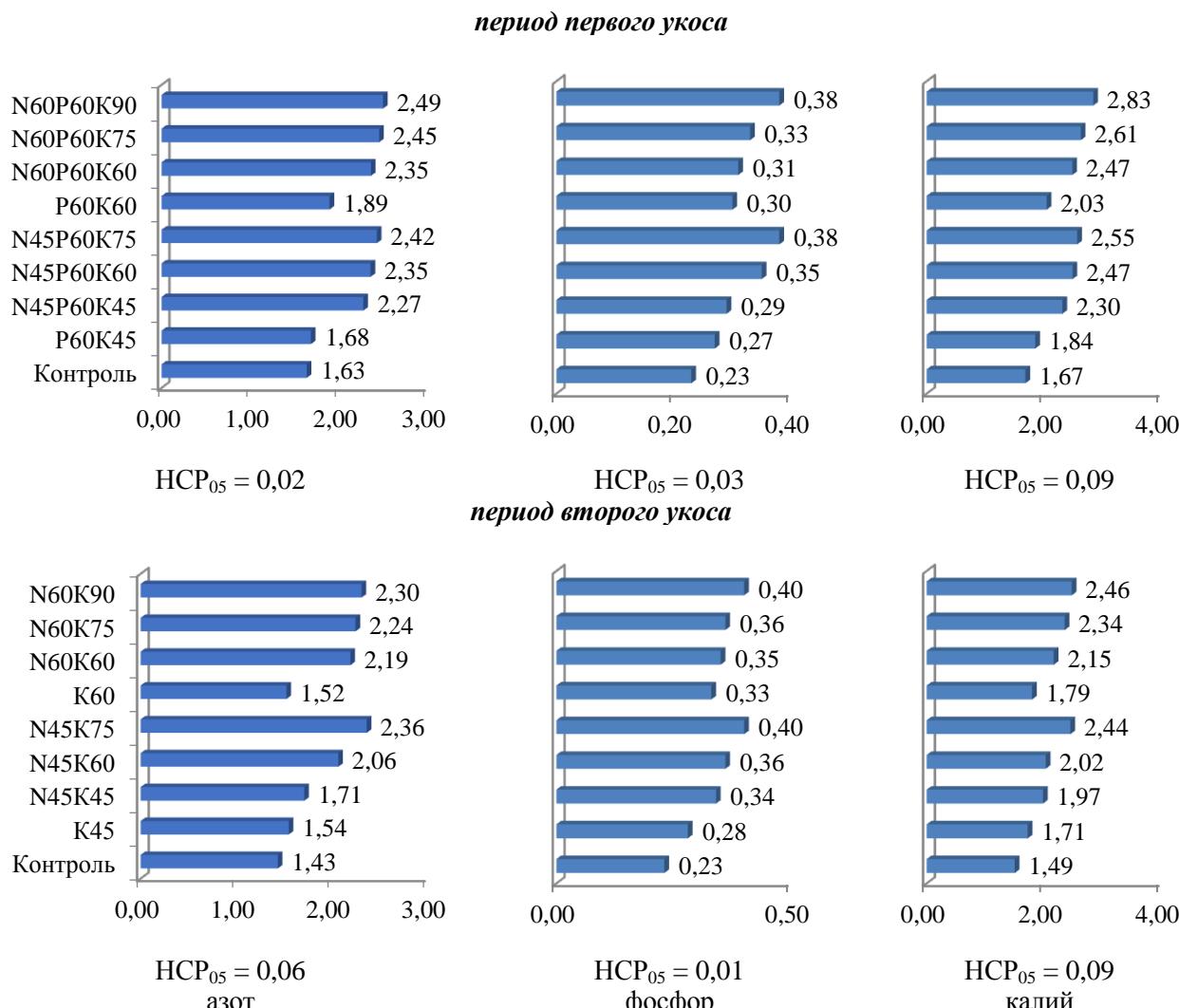


Рисунок 1 – Содержание макроэлементов в сене сеянной мятликовой травосмеси в зависимости от доз применяемого минерального удобрения, % сухого вещества

Применение под второй укос возрастающих доз калийного удобрения достоверно повышает до 1,54, 0,33, 1,79 % содержание соответственно азота, фосфора и калия в сене в сравнении с контролем. Обнаружили существенную разницу между дозами калийного удобрения в повышении содержания фосфора, в содержании азота и калия данной закономерности не наблюдали.

Применение под первый укос возрастающих доз от N45P60K45 до N60P60K60 минерального удобрения достоверно повышает содержание азота до 2,35, фосфора до 0,31 и калия до 2,47 % в сене в сравнении контролем. Выявили существенную разницу между дозами минерального удобрения в повышении содержания азота и калия, в содержании фосфора данную закономерность не наблюдали.

Применение под второй укос возрастающих доз от N45K45 до N60K60 азотно-калийного удобрения достоверно повышает содержание азота до 2,19, фосфора до 0,35 и калия до 2,15 % в сене в сравнении контролем. Выявили существенную разницу между дозами минерального удобрения в повышении содержания азота и калия, в содержании фосфора данную закономерность не наблюдали (рис. 1).

Применение под первый укос возрастающих доз калия в полном минеральном удобрении достоверно повышает содержание азота до 2,49, фосфора до 0,38 и калия до 2,83 % в сене в сравнении с контролем. Обнаружили достоверную разницу между дозами минерального удобрения в повышении содержания азота, фосфора и калия. Применение под второй укос возрастающих доз калия в азотно-калийном удобрении достоверно повышает содержание азота до 2,36, фосфора до 0,40 и калия до 2,46 % в сене в сравнении с контролем. Обнаружили достоверную разницу между дозами минерального удобрения в повышении содержания азота, фосфора и калия (рис. 1).

В условиях центральной поймы, при возделывании сеянной мятыковой травосмеси главной расходной частью в балансе элементов питания является вынос питательных веществ с основной и побочной продукцией кормопроизводства. И если побочная продукция, в последствие, минерализуется, и происходит возврат элементов в почву, то основная продукция, грубые корма, выносится азот, фосфор и калий в количествах равных содержанию элементов в продукции в валовом сборе сена мятыковой травосмеси. Вынос с основной частью продукции кормопроизводства брали по данным лабораторно-аналитических исследований элементного состава сухого вещества сеянного мятыкового травостоя в различные периоды уборки при различных видах, дозах минерального удобрения и соотношения в нём элементов питания.

Общий вынос азота сеянной мятыковой травосмесью, в среднем за годы исследования, при возделывании её без применения минерального удобрения, составил 29,3 в период первого укоса и 9,5 кг/га в период второго укоса.

Наблюдали рост выноса азота с урожаем мятыковой травосмеси с ростом применения доз минерального удобрения, наибольший вынос азота сеянной мятыковой травосмесью, выявили при применении минерального удобрения в дозах N60P60K90 и N60K90 под первый и второй укосы, соответственно составил 169,5 и 117,5 кг/га.

Основным резервом поступления азота в почву служат средства химизации, в нашем эксперименте дозы азотного удобрения колебались от 90 до 120 кг/га в год, также в расчете принимали, что свободноживущие азотофиксирующие микроорганизмы образуют 10 кг/га азота в год, а 5 кг/га азота в год поступает с атмосферными осадками.

Баланс азота на контрольном варианте в условиях проведения исследований составил -21,8 и -2,0 кг/га соответственно в период уборки урожая первого и второго укосов. Применение фосфорно-калийного и калийного удобрения соответственно под первый и второй укосы увеличивают вынос азота, не компенсируя приход элемента питания. Баланс азота варьирует в зависимости от доз и периода уборки соответственно от -49,8 до -57,4 и от -14,9 до -19,6 кг/га.

Применение возрастающих доз калийного удобрения в полном минеральном и азотно-калийном удобрении соответственно в период уборки урожая первого и второго укосов, повышают урожай и содержание в нем элемента питания настолько, что не компенсируют применением азотного удобрения. Баланс азота варьирует в зависимости от доз и периода уборки соответственно от -86,0 до -102,0 и от -8,0 до -50 кг/га. Выявили, что в период первого укоса отрицательный баланс азота выше в сравнении с отрицательным балансом азота в период уборки второго укоса.

Выявили, что увеличение урожайности на первом и втором укосах ведёт к возрастанию отрицательного баланса азота (табл. 1).

Таблица 1 – Баланс элементов питания при возделывании сеянной мятыковой травосмеси в зависимости от доз применяемого минерального удобрения

Вариант	Вынос, кг/га			Поступление, кг/га			Баланс, кг/га		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
1 укос									
Контроль	29,3	4,1	30,0	7,5	0	0	-21,8	-4,1	-30,0
P60K45	57,3	9,2	62,8	7,5	26,2	37,5	-49,8	17,0	-25,3
N45P60K45	138,5	17,7	140,4	52,5	26,2	37,5	-86,0	8,5	-102,9
N45P60K60	150,9	22,5	158,9	52,5	26,2	50,0	-98,4	3,7	-108,9
N45P60K75	160,9	25,3	169,8	52,5	26,2	62,5	-108,4	0,9	-107,3
P60K60	66,9	10,6	72,0	7,5	26,2	50,0	-59,4	15,6	-22,0
N60P60K60	152,4	20,1	160,0	67,5	26,2	50,0	-84,9	6,1	-110,0
N60P60K75	162,3	21,9	173,4	67,5	26,2	62,5	-94,8	4,3	-110,9
N60P60K90	169,5	25,9	192,4	67,5	26,2	75,0	-102,0	0,3	-117,4

Продолжение таблицы 2

Вариант	Вынос, кг/га			Поступление, кг/га			Баланс, кг/га		
	N	P	K	N	P	K	N	P	K
2 укос									
Контроль	9,5	1,5	9,9	7,5	0	0,0	-2,0	-1,5	-9,9
K45	22,4	4,1	24,8	7,5	0	37,5	-14,9	-4,1	12,7
N4545	60,5	12,1	69,9	52,5	0	37,5	-8,0	-12,1	-32,4
N45K60	79,0	13,8	77,4	52,5	0	50,0	-26,5	-13,8	-27,4
N4575	104,7	17,8	108,3	52,5	0	62,5	-52,2	-17,8	-45,8
K60	27,1	5,9	31,9	7,5	0	50,0	-19,6	-5,9	18,1
N60K60	100,7	16,1	99,1	67,5	0	50,0	-33,2	-16,1	-49,1
N60K75	107,1	17,2	111,9	67,5	0	62,5	-39,6	-17,2	-49,4
N60K90	117,5	20,4	125,5	67,5	0	75,0	-50,0	-20,4	-50,5

Основной статьёй прихода фосфора в балансе элементов питания было применение фосфорного удобрения в период первого укоса (26,2 кг / га в год), в период второго укоса фосфорные удобрения не применяли.

Баланс фосфора на контрольном варианте в условиях проведения исследований составил -4,1 и -1,5 кг/га соответственно в период уборки урожая первого и второго укосов. Применение фосфорно-калийного и калийного удобрения соответственно под первый и второй укосы увеличивают вынос фосфора с урожаем, который компенсируется приход элемента питания только в период первого укоса. Баланс фосфора варьирует в зависимости от доз удобрения и периода уборки соответственно от 15,6 до 17,0 и от -4,1 до -5,9 кг/га.

Применение возрастающих доз калийного удобрения в полном минеральном и азотно-калийном удобрении соответственно в период уборки урожая первого и второго укосов, повышают урожай и вынос элемента питания, который компенсируется фосфорным удобрением только в период первого укоса. Баланс фосфора варьирует в зависимости от доз удобрения и периода уборки соответственно от 0,3 до 8,5 и от -12,1 до -20,4 кг/га (табл. 1).

Выявили, что с увеличением урожайности на первом укосе положительный баланс фосфора снижался, а на втором укосе наблюдали увеличение отрицательного баланса фосфора.

Основной статьёй прихода калия в балансе элементов питания было применение калийного удобрения в период первого и второго укосов (75-150 кг / га в год). Баланс калия на контрольном варианте в условиях проведения исследования составил -30,0 и -9,9 кг/га соответственно в период уборки урожая первого и второго укосов. Применение фосфорно-калийного и калийного удобрения соответственно под первый и второй укосы увеличивают вынос калия с урожаем, который компенсируется приход элемента питания с удобрениями только в период второго укоса. Баланс калия варьирует в зависимости от доз удобрения и периода уборки соответственно от -22,0 до -25,3 и от 12,0 до 18,1 кг/га.

Применение возрастающих доз калийного удобрения в полном минеральном и азотно-калийном удобрении соответственно в период уборки урожая первого и второго укосов, повышают урожай и вынос элемента питания, который не компенсируется калийным удобрением. Баланс калия варьирует в зависимости от доз удобрения и периода уборки соответственно от -102,7 до -117,4 и от -27,4 до -50,5 кг/га (табл. 1).

Заключение. Проведенный в разных погодных условиях полевые опыты установили, что элементный состав сена сеянной мятликовой травосмеси не зависел от агроклиматических условий, а зависел от количества применяемого удобрения и соотношения в нём элементов питания.

Обнаружили, что применение минерального удобрения существенно влияет на повышение содержания азота, фосфора и калия в сене вне зависимости от периода уборки урожая при возделывании мятликовой травосмеси на поверхности улучшенном лугу центральной поймы. Установили, что вынос элементов питания зависел в основном от урожайности сеянного мятликового травостоя, элементный состав сена на это влиял слабо.

Определили, что при возделывании посевов мятликовой травосмеси при применении исследуемых видов, доз минерального удобрения с целью получения высоких урожаев при максимальном уровне химизации баланс элементов питания невозможно поддерживаться на без отрицательном уровне.

Список источников

- Семыкин В.А., Пигорев И.Я., Никитина О.В. Баланс элементов питания и гумуса в землях сельскохозяйственного назначения Курской области // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 3. С. 6-11.

2. Привалова К.Н. Баланс основных элементов питания в многовариантных пастбищных агроэкосистемах с долголетними фитоценозами // Кормопроизводство. 2023. № 11. С. 17-20.
3. Сычев В.Г., Шафран С.А. Прогноз плодородия почв Нечерноземной зоны в зависимости от уровня применения удобрений // Плодородие. 2019. № 2. С. 22-25.
4. Васбиева М.Т., Шишков Д.Г. Влияние длительного применения азотных, фосфорных и калийных удобрений на урожайность сельскохозяйственных культур, баланс органического углерода и элементов питания // Агрохимия. 2025. № 2. С. 16-25.
5. Коваленко А.А., Забугина Т.М., Рухович О.В. Баланс питательных веществ в зернотравяном севообороте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Подмосковья // Плодородие. 2024. № 1 (136). С. 40-43.
6. Просянников Е.В. Агрохимические аспекты устойчивого земледелия // Агрохимический вестник. 2019. № 5. С. 13-17.
7. Сычев В.Г., Шафран С.А., Виноградова С.Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // Агрохимия. 2020. № 6. С. 3-13.
8. Митрофанов С.В., Серова Е.В., Орлова Н.В. Анализ влияния применения удобрений на баланс основных элементов питания и устойчивость земледелия Франции // Агрохимический вестник. 2023. № 5. С. 90-95.
9. Конова А.М., Гаврилова А.Ю. Продуктивность и баланс основных макроэлементов в севооборотах с различным насыщением минеральными удобрениями // Плодородие. 2024. № 6 (141). С. 48-51.

Информация об авторах

П.П. Атрошенко – соискатель, кафедра агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

Н.М. Белоус - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрохимии, почвоведения и экологии, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ.

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

Information about the authors

P.P. Atroshenko - Applicant, the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University.

N.M. Belous – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agrochemistry, Soil Science and Ecology, Bryansk State Agrarian University

Ye.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 plagiat. 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 23.05.2025, одобрена после рецензирования 28.05.2025, принята к публикации 30.05.2025.

The article was submitted 23.05.2025, approved after reviewing 28.05.2025, accepted for publication 30.05.2025.

© Атрошенко П.П., Белоус Н.М., Смольский Е.В.

ОБЩЕЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ И РАСТЕНИЕВОДСТВО
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 581.543:632.6/7:633.412

ОЦЕНКА ФЕНОКАЛЕНДАРЕЙ ДОМИНАНТНЫХ ВИДОВ ВРЕДИТЕЛЕЙ
СТОЛОВОЙ СВЕКЛЫ В ФИТОСАНИТАРНОМ МОНИТОРИНГЕ

Ирина Васильевна Сычёва, Сергей Михайлович Сычёв,

Алексей Андреевич Осипов, Дина Игоревна Анищенко

ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. В результате фитосанитарного мониторинга посевов свеклы столовой (сорт Бордо однолистянная, оригинал - ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства») были выявлены представители основной группы полифагов и широких олигофагов класса Insecta из отрядов и семейств - Coleoptera: Elateridae, Scarabidae, Chrysomelidae; Orthoptera: Gryllotalpidae; Lepidoptera: Pyralidae, Noctuidae; Diptera: Anthomyiida; Homoptera: Aphididae; Hemiptera: Miridae. Из класса Gastropoda: Boettgerillidae на растениях свеклы столовой были отмечены полифаги *Agriolimax agrestis* L. и *Agriolimax reticulatus* Mull. Полифаги класса Mammalia представлены двумя семействами отряда Rodentia: Muroidae и Rodentia: Cricetida. Были определены доминантные виды вредителей за два года исследований: свекловичная блошка (*Chaetocnema concinna* Marsh) и свекловичная листовая тля (*Aphis fabae* Scop.). ЭПВ свекловичной блошки (*Chaetocnema concinna* Marsh) был превышен и составил в среднем 4-5 жуков на 1 м² в фазе всходов - вилочки, при допустимом значении 1-2 жука на 1 м². ЭПВ свекловичной листовой тли (*Aphis fabae* Scop.) также был превышен и составил 27%, при допустимом значении 15-20% в фазе 3-6 пар настоящих листьев. По этим вредителям были составлены фенологические календари, что позволяет выявить периоды наибольшей вредоносности и определить периоды, в которые обработка инсектицидами будет наиболее эффективна.

Ключевые слова: столовая свекла, вредители, доминантные виды, фенокалендари.

Для цитирования: Оценка фенокалендарей доминантных видов вредителей столовой свеклы в фитосанитарном мониторинге / И.В. Сычёва, С.М. Сычёв, А.А. Осипов, Д.И. Анищенко // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 9-13.

Original article

EVALUATION OF PHENOCALENDARS OF DOMINANT TABLE BEET PEST SPECIES
IN PHYTOSANITARY MONITORING

Irina V. Sychyova, Sergey M. Sychyov, Alexey A. Osipov, Dina I. Anishchenko

Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. As a result of phytosanitary monitoring of the table beet sowings of (single-seeded Bordeaux variety, originator - Federal State Budgetary Science Institution "Federal Scientific Center for Vegetable Growing") representatives of the main group of polyphages and broad oligophages of the Insecta class were identified from orders and families - Coleoptera: Elateridae, Scarabidae, Chrysomelidae; Orthoptera: Gryllotalpidae; Lepidoptera: Pyralidae, Noctuidae; Diptera: Anthomyiida; Homoptera: Aphididae; Hemiptera: Miridae. The polyphages *Agriolimax agrestis* L. and *Agriolimax reticulatus* Mull from the class of Gastropoda: Boettgerillidae were observed on table beet plants. Mammalia class polyphages are represented by two families of the Rodentia order: Muroidae and Rodentia: Cricetida. The dominant pest species have been identified during two years of researches: beet flea (*Chaetocnema concinna* Marsh) and beet leaf aphid (*Aphis fabae* Scop.). The economic threshold of harmfulness (ETH) of the beet flea (*Chaetocnema concinna* Marsh) was exceeded and amounted on average 4-5 beetles per 1 m² in the germination phase - vine phase, with an acceptable value of 1-2 beetles per 1 m². The ETH of beet leaf aphids (*Aphis fabae* Scop.) was also exceeded and amounted 27%, with an acceptable value of 15-20% in the phase of 3-6 pairs of true leaves. The phenological calendars have been compiled for these pests, which makes it possible to identify the periods during which insecticide treatment will be most effective.

Keywords: table beet, pests, dominant species, phenocalendars.

For citation: Evaluation of phenocalendars of dominant table beet pest species in phytosanitary monitoring / I.V. Sychyova, S.M. Sychyov, A.A. Osipov, D.I. Anishchenko // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. № 3 (109). 9-13.

Введение. Фенологические календари являются неотъемлемой частью фитосанитарного мониторинга. Проблема правильного оформления фенокалендарей остается актуальной. Так как фено-

календари используются в разных областях деятельности, таких как сельское хозяйство, лесное хозяйство, заповедники, искусственные экосистемы, экотуризм и др. для наблюдения, изучения и отслеживания развития живого организма, они должны быть легко читаемы, доступны и понятны даже через определенный промежуток времени. Фенокалендари составляются ежегодно, в течение нескольких лет, что позволяет получить усредненный фенокалендарь, в котором отражены средние сроки развития живого организма (Куприянова М.К. Общая фенология как наука. Региональные эколого-географические исследования и инновационные процессы в образовании: материалы Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 2006. Ч. 3. С. 112-116) [1,2,3].

Фенологические наблюдения включают в себя фиксацию фенологических faz развития живых организмов. Календарное время наступления той или иной фенофазы называют фенодатой, а временной интервал между определенными фенодатами составляет межфазный период. Фенологические прогнозы определяют дату наступления фенологических явлений - этапов онтогенеза у вредных организмов и защищаемых растений, а также вероятный темп их смены в сложившихся экологических условиях. Их разрабатывают на период, не превышающий продолжительность одной генерации, фазы развития посева (насаждения), или календарно на срок до одного месяца. Фенологические прогнозы служат основой для определения потенциальной вредоносности отдельных видов в сложившихся экологических условиях и установления оптимальных сроков проведения защитных мер (Шульц Г.Э. Общая фенология. Л.: Наука, 1981. 188 с.) [4,5].

В сельском хозяйстве фенологические календари помогают определить время обработки пестицидами, когда это будет наиболее эффективно.

Цель исследований - провести оценку фенокалендарей доминантных видов вредителей столовой свеклы с определением ЭПВ и наибольшего периода вредоносности.

Материалы и методы исследований. Экспериментальные исследования проводили в течение 2020-2021 гг. в стационарном полевом опыте ФГБОУ ВО Брянского ГАУ. Объект исследований – посев свеклы столовой (сорт Бордо односемянная, оригинал – ФГБНУ «Федеральный научный центр овощеводства»).

Посев семян корнеплодных культур проводили в первой декаде мая 2020-2021 гг. В течение вегетационного периода проводили фенологические наблюдения, биометрические измерения и морфологическое описание растений, учет урожая. Площадь учетной делянки составляла 10 м². Повторность опыта четырехкратная, в каждой повторности исследовали по 100 растений. Почвы в районе исследования - серые, среднесуглинистые лесные почвы. Средняя толщина гумусового слоя составляет от 30 до 60 см, а содержание гумуса в верхнем слое почвы - от 2,8 до 3,21%. Содержание K₂O 15,4-17,1 - является средним, а содержание P₂O₅ 25-35 мг/100 г классифицируется как высокое. Реакция почвенного раствора слабокислая, близкая к нейтральной pH 6-6,4.

Анализируя многолетние данные агрометеорологической станции Брянского ГАУ установлено, что среднегодовая температура воздуха составляет 7,5°C, сумма активных положительных температур колеблется от 2450 до 2730°C.

Среднесуточная температура за годы исследований составила в среднем 13,2-15,2 °C и не превышала среднемноголетние значения. Сумма эффективных температур в 2020 году составила 2516,0°C, сумма осадков за вегетационный период составила 347,1 мм, в 2021 году – 2464,8°C и 351,6 мм соответственно.

Агротехника при выращивании корнеплодных культур - общепринятая в условиях юго-западной части Центрального региона РФ. Норма высева калиброванных семян столовой свёклы – 6 кг/га, схема посева – рядовой посев с междуурядьями 70 см.

Для учета вредителей использовали методики наблюдений с помощью кошения энтомологическим сачком, kleевых ловушек, а также методом желтых чашек (сосудов Мёрике). Фитосанитарный мониторинг проводили в соответствии с разработанной системой наблюдений и учетов. Наблюдение за появлением тлей осуществляли подекадно, определяли заселенность растений при подсчете среднего количества бескрылых особей на растениях по повторностям. Для оценки заселенности и поврежденности растений культуры тлей использовалась модифицированная шкала: 0 – растение не заселено тлей, листья не деформированы; 1 – на растении отмечены небольшие колонии тли (5-10 особей), незначительно деформированы листья; 2 – колонии среднего размера, (15-30 особей), растения деформированы; 3 – колонии большие (30-60 особей), растения сильно деформированы; 4 – колонии плотные (свыше 60 особей), растения сильно деформированы, черешки укорочены.

Идентификацию, изучение особей и повреждений растений проводили с использованием метода световой микроскопии с фиксацией (Микромед 3-20) (Литвинов С.С. Методика полевого опыта в овощеводстве. М.: ГНУ ВНИИО, 2011. 648 с.; Защита картофеля и овощных культур открытого

грунта / А.К. Ахатов, Ф.Б. Ганнибал, Ю.И. Мешков и др. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2013. С. 115-117).

Результаты и их обсуждение. В 2020-2021 гг. были проведены исследования динамики численности вредителей столовой свеклы. Выявлены представители основной группы полифагов и широких олигофагов класса Insecta из отрядов и семейств - Coleoptera: Elateridae, Scarabidae, Chrysomelidae; Orthoptera: Grylloidalpidae; Lepidoptera: Pyralidae, Noctuidae; Diptera: Anthomyiida; Homoptera; Aphididae; Hemiptera: Miridae. Из класса Gastropda: Boettgerillidae на растениях свеклы столовой были отмечены полифаги *Agriolimax agrestis* L. и *Agriolimax reticulatus* Mull. Полифаги класса Mammalia представлены двумя семействами отряда Rodentia: Muroidae и Rodentia: Cricetida.

В данные отрядах были отмечены следующие вредители: жесткокрылые (Coleoptera): щелкун посевной тёмный (*Agriotes obscurus* L.), щелкун посевной полосатый (*Agriotes lineatus* L.), щелкун посевной малый (*Agriotes sputator* L.), майский хрущ (*Melolontha melolontha* Fabricius), свекловичная блошка (*Chaetocnema concinna* Marsham), свекловичная щитоноска (*Cassida nebulosa* L.), свекловичный долгоносик (*Bothynoderes punctiventris* Germ.), матовый мертвоеод (*Aclyraea opaca* L.); чешуекрылые (Lepidoptera): луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.), совка-гамма (*Autographa gamma* L.), озимая совка (*Scotia segetum* Schiff.), совка-ипсилон (*Agrotis epsilon* Hufnagel), совка восклицательная (*Agrotis exclamationis* L.); грызуны (Rodentia): полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas), лесная мышь (*Apodemus sylvaticus* L.), обыкновенная полевка (*Microtus arvalis* Pallas); двукрылые (Diptera): долгоножка вредная (*Tipula paludosa* Mg.), свекловичная минирующая муха (*Pegomya beta* L.); брюхоногие (Gastropda): обыкновенный слизень (*Agriolimax agrestis* L.), сетчатый слизень (*Agriolimax reticulatus* Mull); прямокрылые (Orthoptera): медведка обыкновенная (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.); равнокрылые (Homoptera): свекловичная тля (*Aphis fabae* Scop.); полужесткокрылые (Hemiptera): свекловичный клоп (*Polymerus cognatus* Fieber).

Процентное соотношение отрядов вредителей столовой свеклы при проведении фитосанитарного мониторинга в 2020-2021 гг. составило: жесткокрылые (Coleoptera) - 35%, чешуекрылые (Lepidoptera) - 22%, грызуны (Rodentia) - 13%, двукрылые (Diptera) - 9%, брюхоногие (Gastropda) - 9%, прямокрылые (Orthoptera) - 4%, равнокрылые (Homoptera) - 4%, полужесткокрылые (Hemiptera) - 4%.

Из полифагов были отмечены следующие виды класса Insecta: щелкун посевной тёмный (*Agriotes obscurus* L.), щелкун посевной полосатый (*Agriotes lineatus* L.), щелкун посевной малый (*Agriotes sputator* L.), майский хрущ (*Melolontha melolontha* Fabricius), медведка обыкновенная (*Gryllotalpa gryllotalpa* L.), луговой мотылек (*Loxostege sticticalis* L.), совка-гамма (*Autographa gamma* L.), озимая совка (*Scotia segetum* Schiff.), совка-ипсилон (*Agrotis epsilon* Hufnagel), совка восклицательная (*Agrotis exclamationis* L.), долгоножка вредная (*Tipula paludosa* Mg.), из класса Gastropda: Boettgerillidae - обыкновенный слизень (*Agriolimax agrestis* L.), сетчатый слизень (*Agriolimax reticulatus* Mull). Представители класса Mammalia полевая мышь (*Apodemus agrarius* Pallas), лесная мышь (*Apodemus sylvaticus* L.) и обыкновенная полёвка (*Microtus arvalis* Pallas) заселяли столовую свеклу в конце августа и до уборки культуры.

Из широких олигофагов различных фенологических групп отмечены свекловичная блошка (*Chaetocnema concinna* Marsham), свекловичная щитоноска (*Cassida nebulosa* L.), свекловичный долгоносик (*Bothynoderes punctiventris* Germ.), матовый мертвоеод (*Aclyraea opaca* L.), свекловичная тля (*Aphis fabae* Scop.), свекловичная минирующая муха (*Pegomya beta* L.), свекловичный клоп (*Polymerus cognatus* Fieber).

Процентное соотношение трофических групп вредителей столовой свеклы при проведении фитосанитарного мониторинга в 2020-2021 гг. составило: полифаги - 70%, широкие олигофаги - 30%. Трофическая группа полифагов наиболее многочисленна по видовой структуре, в тоже время численность видов данной группы не превышала ЭПВ по годам исследований.

В результате исследований были выявлены доминантные вредители: свекловичная блошка (*Chaetocnema concinna* Marsh) и свекловичная листовая тля (*Aphis fabae* Scop.).

ЭПВ свекловичной блошки (*Chaetocnema concinna* Marsh) был превышен и составил 4-5 жуков на 1 м² в фазе всходов – вилочки, при допустимом значении 1-2 жука на 1 м².

ЭПВ свекловичной листовой тли (*Aphis fabae* Scop.) также был превышен и составил 27%, при допустимом значении 15-20% в фазе 3-6 пар настоящих листьев. По этим вредителям были составлены фенологические календари.

По фенокалендарю развития свекловичной блошки (*Chaetocnema concinna* Marsh) (табл. 1), установлено, что в 2020 г. имаго находились в зимней диапаузе до 1-й декады апреля. Во 2-й и 3-й декаде апреля наблюдается заселение свекловичной блошкой посевов столовой свеклы. С 3-й декады мая по 1-ю декаду июня началась откладка яиц. В 1-й декаде августа появились имаго, которые затем

в 1-й декаде сентября ушли в зимнюю диапаузу. Период наибольшей вредоносности сохранялся с 1-й по 3-ю декаду мая.

В 2021 г. имаго находились в зимней диапаузе до 1-й декады апреля. Откладка яиц длилась с 1-й по 2-ю декаду июня. Отрождение личинок началось с 3-й декады июня и заканчивается во 2-й декаде июля. Период развития куколки длится с 3-й декады июля по 1-ю декаду августа. Во 2-й декаде августа появились имаго, ушедшие в сентябре в зимнюю диапаузу. Период наибольшей вредоносности отмечен со 2-й декады мая по 1-ю декаду июня.

Таблица – 1 Фенокалендарь развития свекловичной блошки (*Chaetosneta concinna* Marsh) (Брянская область, 2020-2021 гг.)

Месяц	IV			V			VI			VII			VIII			Зимовка
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2020 г.	(+)															
	+	+	+	+	+	+	+									
					●		●									
				□	□	□				—	—	—				
				—									—	—	—	
				▲	▲											(+)
2021 г.	(+)	(+)														
	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
					●		●									
				□	□	□				—	—	—				
				—									—	—	—	
				▲	▲	▲										(+)
+	- имаго	□	появление вредителя в наибольшем количестве													
●	- яйцо	▲▲▲	период вредоносности													
-	- личинка	—	период проведения обработок													
■	- куколка	(-)	зимняя диапауза													

По фенокалендарю развития свекловичной листовой тли (*Aphis fabae* Scop.) (табл. 2), установлено, что в 2020 г. диапазирующие яйца находились в зимней диапаузе до 2-й декады мая. Отрождение личинок началось с 3-й декады мая. Самки-основательницы появились в 1-й декаде июня. На развитие одного поколения в среднем уходило до 9-14 дней (до 6 поколений). В 3-й декаде августа отмечена откладка диапазирующих яиц. Период вредоносности длится с 1-й декады июня по 3-ю декаду июля.

Таблица 2 - Фенокалендарь развития свекловичная листовой тли (*Aphis fabae* Scop.) (Брянская область, 2020-2021 гг.)

Месяц	IV			V			VI			VII			VIII			Зимовка
Декада	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	
2020 г.	(●)	(●)	(●)	(●)	(●)											
					—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	● (●)	
					—											
				□	□	□	□	□	□	□	□	□				
				▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
2021 г.	(●)	(●)	(●)	(●)												
					—	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
					—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	● (●)	
					—											
				□	□	□	□	□	□	□	□	□				
				▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲				
+	- имаго	□	появление вредителя в наибольшем количестве													
●	- яйцо	▲▲▲	период вредоносности													
-	- личинка	—	период проведения обработок													
■	- куколка	(-)	зимняя диапауза													

В 2021 г. диапазирующие яйца находились в зимней диапаузе до 1-й декады мая. Отрождение личинок началось со 2-й декады мая. Самки-основательницы появились в 3-й декаде мая. На развитие одно-

го поколения в среднем уходило до 9-14 дней (до 7 поколений). Период вредоносности длится с 3-й декады мая по 2-ю декаду июля. Период вредоносности длится с 3-й декады мая по 2-ю декаду июля.

Заключение. Опираясь на данные фенологических календарей доминантных вредителей столовой свеклы, можно определить период обработки инсектицидами будет наиболее эффективна. Для свекловичной блошки (*Chaetocnema concinna* Mars) – с 1-й декады мая по 1-ю декаду июня. Период проведения обработок против свекловичной листовой тли (*Aphis fabae* Scop) – с 1-й декады мая по 1-ю декаду июля на основании результатов фитосанитарного мониторинга и ЭПВ. Фенограммы составляют ежегодно для каждого вредителя, за которым проводят наблюдения. В конце года целесообразно составление сводной фенограммы по вредителям культуры, которая наглядно показывает время появления различных вредителей на этой культуре и их смену (сукцессию) в течение вегетационного сезона.

Список источников

1. Емельянова О.Ю., Цой М.Ф., Масалова Л.И. Фенологические наблюдения как основа формирования базы данных феноспектров древесных растений // Овощи России. 2020. № 6. С. 77-84.
2. Интегрированная защита растений / Т.В. Долженко, Л.Е. Колесников, А.Г. Семенова и др. СПб.: Лань, 2023. 120 с.
3. Рекомендации по унификации фенологических наблюдений в России / А.А. Минин, А.А. Ананин, Ю.А. Буйволов и др. // Заповедная наука. 2020. Т. 5, № 4. С. 89-110.
4. Фенология: современное состояние и перспективы развития: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 175-летию Русского географического общества, 120-летию со дня рождения В.А. Батманова, 90-летию Уральского гос. пед. ун-та, 16-17 декабря 2020 г. / под ред. Ю.Р. Ивановой. Екатеринбург: УрГПУ, 2020. 324 с.
5. Энтомология: учеб. пособие / сост. И.П. Кошелевая, О.М. Касынкина. Пенза: ПГАУ, 2021. 162 с.

Информация об авторах:

И.В. Сычёва - кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, i.sychyova@mail.ru.

С.М. Сычёв - доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры агрономии, селекции и семеноводства, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, sichev_65@mail.ru.

А.А. Осипов - кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий УМИКЦ, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, osipovaa@bgsha.com.

Д.И. Анищенко – магистрант, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, dinaaniska2002@yandex.ru.

Information about the authors:

I.V. Sychyova - Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University, i.sychyova@mail.ru.

S.M. Sychyov - Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agronomy, Breeding and Seed Production, Bryansk State Agrarian University, sichev_65@mail.ru.

А.А. Osipov - Candidate of Agricultural Sciences, Bryansk State Agrarian University, osipovaa@bgsha.com.

D.I. Anishchenko – Bachelor, Bryansk State Agrarian University, dinaaniska2002@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 27.03.2025, одобрена после рецензирования 10.04.2025, принятая к публикации 17.04.2025.

The article was submitted 27.03.2025, approved after reviewing 10.04.2025, accepted for publication 17.04.2025.

© Сычёва И.В., Сычёв С.М., Осипов А.А., Анищенко Д.И.

Научная статья
УДК 622.33:635.21

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОРФЯНОГО СУБСТРАТА ПРИ МИКРОКЛОНАЛЬНОМ РАЗМНОЖЕНИИ КАРТОФЕЛЯ

¹Светлана Вениаминовна Филиппова, ²Николай Александрович Кириллов

¹ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ, Чебоксары, Россия

²ФГБОУ ВО ЧувГУ им. И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

Аннотация. Изучение влияния агрохимического состава субстрата на ростовые процессы, количество и размеры микроклубней, проведено в лабораториях Северо-Кавказского селекционно-семеноводческого центра ООО «ФАТ-АГРО» в течение 2023-2024 гг. Объектами исследования выбраны востребованные на рынке семенного картофеля сорта отечественной и зарубежной селекции: Садон, Спринтер, Ривьера, Романо, Леди Клэр, Импала, Инноватор. Микрорастения пересаживались для последующего получения микроклубней в горшки объемом 5 л, которые заполнялись 7 видами торфяного субстрата. Каждый вариант состоял из 250 горшков при четырехкратной повторности. В течение опыта производились подкормки водорастворимыми удобрениями Акварин 5, Акварин 13, Монокалий фосфат и Акварин 15 из расчета 10 г/л и 1,5 г/л в зависимости от фазы роста и развития растений. В результате опытов наибольшее количество миниклубней фракции более 20 мм с одного растения было получено при применении в качестве субстрата торфа фракции 0-10 мм. Данный торф по результатам агрохимического анализа обладает оптимальным уровнем pH и содержит все необходимые элементы питания для роста и развития растений.

Ключевые слова: картофель, микроклональное размножение, микрорастения, микроклубни, торф, элементы питания, урожайность микроклубней.

Для цитирования: Филиппова С.В., Кириллов Н.А. Эффективность использования торфяного субстрата при микроклональном размножении картофеля // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 14-17.

Original article

EFFICIENCY OF USING PEAT SUBSTRATE IN POTATO MICROPROPAGATION

¹Svetlana V. Filippova, ²Nikolay A. Kirillov

¹Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia

²Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russia

Abstract. The study of the effect of the substrate agrochemical composition on growth processes, the number and size of micro-tubers was conducted in the laboratories of the North Caucasian Breeding and Seed Production Center of “FAT-AGRO” LLC during 2023-2024. The research objects were chosen varieties of domestic and foreign selection that are in demand on the seed potato market: Sadon, Sprinter, Riviera, Romano, Lady Claire, Impala, and Innovator. The microplants were transplanted for subsequent production of micro tubers into 5-liter pots, which were filled with 7 types of peat substrate. Each variant consisted of 250 pots with a quadruple repetition. During the experiment, water-soluble fertilizers Aquarin 5, Aquarin 13, Monokalium phosphate and Aquarin 15 were applied at the rate of 10 g/l and 1.5 g/l, depending on the phase of plant growth and development. As a result of the experiments, the largest number of mini tubers of a fraction of more than 20 mm per plant was obtained when the peat of a fraction of 0-10 mm was used as a substrate. According to the results of agrochemical analysis, this peat has an optimal pH level and contains all the necessary nutrients for plant growth and development.

Keywords: potatoes, micropagation, micro plants, micro tubers, peat, nutrition elements, yields of micro tubers.

For citation: Filippova S.V., Kirillov N.A. Efficiency of using peat substrate in potato micropagation // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. № 3 (109): 14-17.

Введение. Микроклональное размножение картофеля представляет собой современный биотехнологический метод, позволяющий получать генетически идентичные растения *in vitro* [1-8;11-17]. Этот процесс основан на использовании меристематических тканей, которые обладают высокой способностью к регенерации. Метод обоснован на использовании меристематических тканей, которые обладают высокой способностью к регенерации и позволяет получать безвирусный посадочный материал с высоким потенциалом урожайности и качества клубней. Основные этапы микроклонального размножения включают: стерилизацию эксплантов, индукцию каллуса, формирование микроклубней и их укоренение. Эти этапы требуют строгого контроля условий культивирования, включая состав питательной среды, освещение и температурный режим [1-10;12-17]. Не случайно, усилия ис-

следователей сегодня направлены на совершенствование отдельных агротехнологических приемов микроклонального размножения в целях получения большего количества растений с заданными характеристиками [9-17]. Данный метод особенно актуален в сегодняшних условиях глобального изменения климата, эпидемий, болезней, угрозы гибели сортов, так как позволяет адаптироваться к быстро меняющимся условиям. На основании этого, основной задачей исследования выступила оптимизация субстрата для высадки микrorастений картофеля в горшки в целях получения микроклубней.

Материалы и методы исследования. Опыты заложены на базе Северо-Кавказского селекционно-семеноводческого центра ООО «ФАТ-АГРО» в течение 2023-2024 гг. Объектами исследований были выбраны востребованные на рынке семенного картофеля сорта отечественной и зарубежной селекции: Садон, Спринтер, Ривьера, Романо, Леди Клэр, Импала, Инноватор. Для высадки микrorастений было использовано 7 видов торфяного субстрата:

- 1) фракция 10-20 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг/м³ торфа;
- 2) фракция 10-20 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг/м³ торфа и 20% агроперлита;
- 3) фракция 0-10 мм – контроль;
- 4) фракция 0-10 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг/м³ торфа и 20 % агроперлита.
- 5) фракция 0-10 мм с добавлением 20% агроперлита.
- 6) фракция 10-20 мм с добавлением 20% агроперлита.
- 7) фракция 0-10 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг/м³ торфа

Каждый вариант включал 250 горшков с микrorастениями при четырехкратной повторности вариантов. Растения высаживались в условия защищенного грунта. Посадку микrorастений проводили 27 апреля, а уборку миниклубней – 21 июля. Перед наполнением горшков торфяной субстрат смачивался, для чего к каждому растению была подведена капельница. Подкормки производились как путем фолиарных обработок, так и fertигацией из расчета 10 г/л и 1,5 г/л, для чего были использованы водорастворимые удобрения Акварин 5, Акварин 13, Монокалий фосфат и Акварин 15 в зависимости от фазы роста и развития растений. Образцы каждого варианта торфа были направлены на агрохимический анализ в ООО «ЦСЭМ «Московский», результаты которых представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты агрохимического анализа торфяных субстратов

Наименование показателя	Единица измерений	вариант торфа						
		1 фракция 10-20 мм, + КМУС 2- 1 кг/м ³ торфа	2 фракция 10-20 мм, + ПРЛ 20%, + КМУС 2 -1 кг/м ³ торфа	3 фракция 0-10 мм	4 фракция 0-10 мм, + КМУС 2-1 кг/м ³ торфа, + ПРЛ 20%	5 фракция 0-10 мм, + ПРЛ 20%	6 фракция 10-20 мм, + ПРЛ 20%	7 фракция 0-10 мм, + КМУС-2 - 1 кг/м ³ торфа
Агрохимические показатели:								
pH солевой вытяжки	ед. pH	5,58	5,54	5,6	5,55	6,09	6,02	5,51
Гидролитическая кислотность	ммоль/100г	25,6	23,4	24,5	22,9	менее 17,1	18,8	31,3
Подвижные соединения фосфора	% сух. в-ва	0,04	0,03	0,04	0,03	0,0008	0,0008	0,05
Подвижный калий	% сух. в-ва	0,236	0,161	0,247	0,265	0,015	0,012	0,228
Массовая доля аммонийного азота	% сух. в-ва	0,25	0,16	менее 0,01	0,1	менее 0,01	менее 0,01	0,25
Массовая доля нитратного азота	мг/100г сух. в-ва	67,59	73,86	20,23	92,19	18,94	25,12	134,6 6
Массовая доля кальция	% сух. в-ва г	2,26	3,05	4,51	3,92	3,34	3,02	4,85
Массовая доля магния	% сух. в-ва г	0,2	0,15	0,38	0,23	0,19	0,18	0,27
Микроэлементы:								
Массовая доля цинка	мг/кг	9,6	9,2	24,4	7,3	5,3	5	10,5
Массовая доля железа	мг/кг	73,4	58,4	59,1	65,1	94,9	84,3	58,6
Массовая доля бора	мг/кг	более 8,0	5,5	7,5	6,5	5,3	3,5	6,8

Из представленных данных просматривается довольно высокая вариабельность концентраций элементов питания в отдельных вариантах, что в дальнейшем получило отражение в количестве и качественных показателей микроклубней картофеля.

Результаты исследований. Благодаря грамотному осуществлению начальных этапов микроклонального размножения и предварительной адаптации растений к нестерильным условиям за счет открытия культуральных сосудов за несколько дней до высадки, приживаемость растений во всех вариантах составила 100%. При этом остальные показатели (урожайность и качество) клубней характеризовались существенной разницей в зависимости от применяемого вида субстрата. В частности, наибольший интерес для картофелеводов представляют миниклубни фракции более 20 мм, так как клубни размером менее 20 мм (нестандарт) предъявляют более высокие требования к агротехнике возделывания при дальнейшем культивировании.

По общему выходу миниклубней с одного растения наибольший коэффициент по сортам Импала и Садон получен в варианте № 4 (фракция 0-10 мм с добавлением удобрения КМУС-2 в количестве 1 кг/м³ торфа и 20% агроперлита), а по сортам Романо, Инноватор и Ривьера – в варианте № 6 (фракция 10-20 мм с добавлением 20% агроперлита). Микrorастения сорта Леди Клэр наибольшее количество клубней сформировали в варианте с торфом (вариант 4), а у растений сорта Спринтер больше всего клубней оказалось в варианте с торфом № 7 (фракция 0-10 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг/м³ торфа).

По выходу клубней фракции более 20 мм по всем сортам, кроме Импала и Инноватор, сложилась аналогичная ситуация. По сорту Импала максимальный коэффициент фракции 20+ (5,5 шт.) кроме варианта №4 получен еще и в варианте 7 (фракция 0-10 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг), а по сорту Инноватор – по вариантам 6 (фракция 10-20 мм с добавлением 20% агроперлита) и 3 (фракция 0-10 мм).

В среднем по всем сортам наибольший выход клубней с одного растения (4,8 шт.) получен в варианте с использованием торфа №4 (фракция 0-10 мм с добавлением удобрения КМУС-2 в количестве 1 кг и 20% агроперлита). Незначительно меньший коэффициент (4,7 шт.) получен при использовании торфа, который закупался ранее (фракция 0-10 мм). При этом наибольший выход фракции размером выше 20 мм получен в варианте с использованием стандартного торфа (фракция 0-10 мм) – 3,9 шт. с одного растения. В вариантах №4 (фракция 0-10 мм с добавлением удобрения КМУС-2 в количестве 1 кг и 20% агроперлита), 7 (фракция 0-10 мм с добавлением КМУС-2 в количестве 1 кг) и 6 (фракция 10-20 мм с добавлением 20% агроперлита) количество клубней фракции 20+ оказалось одинаковым – 3,7 шт. с одного растения. Меньше всего клубней фракции более 20 мм (3,1 шт.) сформировалось в варианте №5 (фракция 0-10 мм с добавлением 20% агроперлита).

Полученные данные свидетельствуют о первосортном и самодостаточном, с точки зрения агрохимического состава, торфе, использованного в качестве основного субстрата для выращивания микrorастений картофеля. Добавление в его состав агроперлита в некоторой степени снижает концентрацию фосфора, калия, кальция, цинка, бора в субстрате или приводит к снижению их доступности для корней микrorастений.

Применение агроперлита оказывает позитивное влияние на структуру субстратов комнатных растений, черенков и рассады, делая их рыхлыми, водо- и воздухопроницаемыми и, тем самым, предохраняя корневую систему растений от перегрева и переохлаждения, слеживания и закисания. Поглощая воду в большом объеме при нечастых поливах, гранулы агроперилита медленно и постепенно отдают ее растениям, предупреждая от поражения бактериальными и грибными заболеваниями (например, черной ножкой). Данное свойство используется агрономами при выращивании растений в гидропонной культуре, при проращивания семян, для мульчирования почвы, при хранении посадочного материала (луковиц, клубнелуковиц, корневищ). Но, как показывают результаты наших исследований, применение агроперлита при выращивании микrorастений в целях получения микроклубней в небольших индивидуальных горшочках в условиях капельного орошения не приводит к ожидаемым положительным результатам с точки зрения урожайности и экономичности. Содержащиеся в составе торфа соединения калия и натрия в присутствии агроперилита могут стать причиной защелачивания почвенного раствора, что может ингибировать рост и развитие микrorастений картофеля, для которых оптимальный уровень pH находится в диапазоне 5,5-6,0. Поэтому агроперлит вполне можно заменить крупным речным песком или другими разрыхляющими материалами.

Заключение. Для получения наибольшего количества миниклубней картофеля разных сортов фракции более 20 мм с одного растения в индивидуальных горшочках следует использовать в качестве субстрата торф фракции 0-10 мм. Данный торф по результатам агрохимического анализа имеет оптимальный уровень pH и содержит все необходимые элементы питания для начального ро-

ста и развития растений. Для восполнения нехватки азота в качестве основного удобрения при сматывании торфа перед набивкой горшков для посадки микрорастений рекомендуется добавлять гранулированные азотные удобрения.

Список источников

1. Hormonal Balance During Adaptation of Potatoes in the Conditions of Salinization / B.U. Almamatov, N.M. Sultonova, F.N. Kudratov, Kh.H. Kushiev // International Journal of Genetic Engineering. 2020. № 8. Pp. 7–10.
2. Handayani, T., Gilani, S.A., Watanabe, K.N. Climatic changes and potatoes: How can we cope with the abiotic stresses? // Breeding Science. 2019. № 69 (4). Pp. 545–563.
3. Nguyen T.T., Alizadeh H., Leung D.W. Response of potato (*Solanum tuberosum* L., cv. Iwa) nodal explants to low inorganic nitrogen supply in vitro // Biocatalysis and Agricultural Biotechnology. 2021. №. 38. Pp. 102215.
4. Influence of a selenium-containing stimulant on the growth, development and yield potential of potato plants (*Solanum tuberosum*) / Ye.Ye. Yessilbekova, T.S. Khosnutdinova, X.O. Bogdanova et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2022. № 1010. Pp. 012144.
5. Методика проведения агротехнических опытов, учетов, наблюдений и анализов на картофеле / С.В. Жевора, Л.С. Федотова, В.И. Старовойтов, В.Н. Зейрук и др. М., 2019. 120 с.
6. Технологические и биологические предпосылки разработки инновационной технологии получения миниклубней картофеля / С.Н. Петухов, А.Г. Аксенов, А.В. Сибирев, А.С. Дорохов // Агротехника и энергообеспечение. 2019. № 4 (25). С. 31-41.
7. Сомова Е.Н., Маркова М.Г., Власевская Е.А. Получение микроклубней картофеля на основе оптимизации условий культивирования *in vitro* // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2021. № 22 (5). С. 682–688.
8. Терентьева Е.В., Ткаченко О.В. Получение миниклубней картофеля в летних каркасных теплицах в условиях Нижнего Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32, № 5. С. 55–58.
9. Филиппова С.В., Кириллов Н.А. Опыт получения здоровых мини-клубней картофеля с максимальной репродуктивной способностью // Аграрная Россия. 2022. № 5. С. 37–39.

Информация об авторах:

С.В. Филиппова - аспирант, ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ, nfadeeva1@yandex.ru.

Н.А. Кириллов - доктор биологических наук, профессор кафедры фармакологии, клинической фармакологии и биохимии, Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, kna27zergut@mail.ru.

Information about the authors:

S.V. Filippova - Postgraduate student, Chuvash State Agrarian University, nfadeeva1@yandex.ru.

N.A. Kirillov - Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Pharmacology, Clinical Pharmacology and Biochemistry, I.N. Ulyanov Chuvash State University, kna27zergut@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 05.02.2025, одобрена после рецензирования 26.02.2025, принята к публикации 12.03.2025.

The article was submitted 05.02.2025, approved after reviewing 26.02.2025, accepted for publication 12.03.2025.

© Филиппова С.В., Кириллов Н.А.

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ
ANIMALS AND VETERINARY SCIENCE

**ЧАСТНАЯ ЗООТЕХНИЯ, КОРМЛЕНИЕ, ТЕХНОЛОГИИ ПРИГОТОВЛЕНИЯ КОРМОВ
И ПРОИЗВОДСТВА ПРОДУКЦИИ ЖИВОТНОВОДСТВА
(СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)**

Научная статья

УДК 636.2.087.7

ХРОМБЕЛМИН В КОРМЛЕНИИ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ ЛАКТИРУЮЩИХ КОРОВ

Ирина Владимировна Топорова, Максим Викторович Сыроватский,

Никита Игоревич Максимов, Анастасия Сергеевна Иванова

ФГБОУ ВО МГАВМиБ - МВА имени К. И. Скрябина, Москва, Россия

Аннотация. В данной работе изучено влияние хелатной добавки микроэлементов Хромбелмин на молочную продуктивность, качественный состав молока и воспроизводительную функцию высокопродуктивных коров в первую фазу лактации (90 суток после отела). Исследование проводилось на двух группах коров, сформированных по принципу пар-аналогов. Опытная группа животных получала Хромбелмин в дозировке 12 мл на голову в сутки в дополнение к основному рациону, тогда как контрольная группа получала основной рацион без добавок. Анализ полученных данных показал, что использование Хромбелмина способствует увеличению удоя на 18,0%, повышению массовой доли жира в молоке на 0,44% и содержания белка на 0,34% по сравнению с контрольной группой. Улучшение показателей молочной продуктивности сопровождалось положительным влиянием на репродуктивную функцию животных. В частности, выход телят в опытной группе оказался на 20% выше, чем в контроле, а продолжительность межотельного периода сократилась с 459 до 389 дней. В ходе эксперимента было отмечено снижение сервис-периода со 174 до 104 дней, что указывает на ускорение восстановления репродуктивных функций коров. Экономическая оценка эффективности применения Хромбелмина продемонстрировала значительное увеличение прибыли от реализации молока. В опытной группе доход на одну корову за период исследования увеличился на 11,8 тыс. руб., а рентабельность производства в группе, получавшей добавку, превысила показатели контрольной группы в 1,5 раза. Следовательно, включение Хромбелмина в рационы лактирующих коров в первые 90 дней лактации способствует повышению молочной продуктивности, улучшению химического состава молока, ускорению воспроизводительных процессов и увеличению экономической эффективности молочного производства.

Ключевые слова: кормление, лактирующие коровы, рацион, хромбелмин, удой, молочный жир, молочный белок.

Для цитирования: Хромбелмин в кормлении высокопродуктивных лактирующих коров / И.В. Топорова, М.В. Сыроватский, Н.И. Максимов, А.С. Иванова // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 18-22.

Original article

CHROMBELMIN IN FEEDING OF HIGH-PRODUCING LACTATING COWS

Irina V. Toporova, Maksim V. Syrovatski, Nikita I. Maximov, Anastasiya S. Ivanova

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

Abstract. This study examines the effect of the chelated trace mineral supplement Chrombelmin on milk productivity, milk quality composition, and reproductive function in high-yielding cows during the first phase of lactation (90 days after calving). The experiment was conducted on two groups of cows, formed using the pair-analogue method. The experimental group received Chrombelmin at a dosage of 12 ml per head per day in addition to the basic diet, while the control group was fed the basic diet without supplements. Analysis of the obtained data showed that the use of Chrombelmin led to an 18.0% increase in milk yield, a 0.44% increase in milk fat content, and a 0.34% rise in protein content compared to the control group. The improvement in milk production was accompanied by a positive impact on the reproductive function of the cows. In particular, the calf yield in the experimental group was 20% higher than in the control group, and the duration of the intercalving period was reduced from 459 to 389 days. Additionally, the service period decreased from 174 to 104 days, indicating an accelerated recovery of reproductive functions. The economic evaluation of Chrombelmin application demonstrated a significant increase in profitability from milk sales. In the experimental group, revenue per cow over the study period increased by 11.8 thousand rubles, and the

profitability of production in the group receiving the supplement exceeded the indicators of the control group by 1.5 times. Therefore, the inclusion of Chrombelmin in the diets of lactating cows during the first 90 days of lactation contributes to increased milk productivity, improving the chemical composition of milk, accelerating reproductive processes and increasing the economic efficiency of dairy production.

Keywords: feeding, lactating cows, diet, Chrombelmin, milk yield, milk fat, milk protein.

For citation: Chrombelmin in feeding of high-producing lactating cows / I.V. Toporova, M.V. Syrovatski, N.I. Maximov, A. S. Ivanova // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. 3 (109): 18-22.

Введение. Современное молочное животноводство ориентировано на повышение продуктивности коров, одновременно обеспечивая их физиологическое благополучие и репродуктивное здоровье. Высокая интенсивность молокообразования сопровождается значительными метаболическими нагрузками, что требует тщательного подбора и балансировки кормового рациона. Дефицит ключевых микроэлементов, в частности хрома, способен нарушать обменные процессы, снижать удой, ухудшать показатели воспроизводства и повышать предрасположенность животных к метаболическим заболеваниям [1, 2].

Одним из перспективных решений является использование органических хелатных форм микроэлементов, таких как Хромбелмин, обладающий высокой биодоступностью. Хром, входящий в его состав, играет значительную роль в регуляции углеводно-липидного обмена, участвует в процессах энергобеспечения организма, способствует повышению чувствительности тканей к инсулину, снижению уровня стресса и улучшению адаптационных механизмов коров в условиях высокой продуктивности [3,4]. Добавление этой минеральной добавки в кормовой рацион способствует росту молочной продуктивности, улучшению химического состава молока и укреплению иммунной защиты животных [5,6].

Актуальность исследования эффективности Хромбелмина обусловлена необходимостью разработки рациональных стратегий кормления, направленных на минимизацию стресса, оптимизацию метаболических процессов и повышение экономической эффективности молочного производства [7,8]. Применение хелатных микроэлементов в животноводстве соответствует современным тенденциям экологически устойчивого ведения хозяйства и научно обоснованного питания сельскохозяйственных животных [9].

Интенсивное производство молока требует точного удовлетворения потребностей организма животных в макро- и микроэлементах, среди которых хром занимает ключевую позицию. Он участвует в регуляции углеводного обмена, поддерживает нормальный уровень глюкозы в крови, предотвращает развитие кетоза и жировой инфильтрации печени [10-12]. Научные исследования подтверждают, что дополнительное введение хрома в рацион способствует укреплению иммунной системы, снижению физиологического стресса и увеличению надоев, что делает его применение целесообразным с точки зрения поддержания здоровья и продуктивности молочного скота [13,14].

Целью настоящего исследования являлось определение влияния органической формы микроэлементов на молочную продуктивность и репродуктивные функции высокопродуктивных коров в начальный период лактации (первые 90 суток после отела).

Материал и методика исследований. Для проведения исследования было сформировано две группы дойных коров по принципу пар-аналогов: контрольная (I) и опытная (II). При распределении животных учитывались такие параметры, как возраст, уровень удоя, состав молока и другие физиологические показатели, влияющие на продуктивность. В каждую группу включили по 10 голов, обеспечив сопоставимость условий содержания.

Согласно экспериментальному плану, все коровы получали стандартный рацион, применяемый в хозяйстве. Отличительной особенностью кормления опытной группы стало добавление в комбикорм органической минеральной добавки Хромбелмин, содержащей хелатные формы микроэлементов. Суточная норма ввода препарата составляла 12 мл на голову, а его распределение осуществлялось методом ступенчатого смешивания. Общая продолжительность исследования составила 90 суток, в течение которых регулярно фиксировались показатели молочной продуктивности, химического состава молока и репродуктивных функций.

Статистическая обработка полученных данных выполнялась с применением программного обеспечения Microsoft Excel («Статистика»). Результаты представлены в виде средних значений (M) и их стандартных ошибок (m), что позволило обеспечить объективную оценку влияния кормовой добавки на продуктивные и физиологические показатели животных.

Результаты исследований и их обсуждение. Молочная продуктивность. Спустя 30 дней с начала введения Хромбелмина в рацион удой коров опытной группы превысил соответствующий показатель контрольной группы на 24%. Однако с увеличением продолжительности эксперимента раз-

ница между группами несколько сократилась, и к 90-му дню удой коров, получавших добавку, оставался на 18% выше по сравнению с контролем (табл. 1).

Таблица 1 - Молочная продуктивность коров, кг

Показатель	Группа		% к контролю
	I-контрольная	II-опытная	
	M±m	M±m	
Поголовье в группе	10	10	100
Среднесуточный убой натурального молока			
Опытный период:			
Через 30 дней скармливания	22,95±1,62	28,45±1,32**	124,00
Через 60 дней скармливания	25,80±1,27	29,20±1,19	113,00
Через 90 дней скармливания	22,35±0,89	26,28±1,46*	118,00
В среднем за опытный период	23,70±1,26	27,98±1,32***	118,00
В пересчете на жирность 3,4%	24,48±0,91	30,75±1,35	126,00

Примечание: *P<0,05; **P<0,01; ***P<0,001.

Анализ удоя с учетом базисной жирности молока выявил аналогичную тенденцию. В контрольной группе среднесуточная продуктивность составила 24,48 кг, тогда как в опытной группе она была на 18,0% выше, достигнув 30,75 кг.

В ходе эксперимента также зафиксировано положительное влияние Хромбелмина на химический состав молока. Уже спустя 30 дней содержания животных на обогащенном рационе отмечено увеличение содержания жира на 0,13%, а белка – на 0,43 процентных пункта по сравнению с контрольными значениями (табл. 2).

Таблица 2 - Влияние Хромбелмина на содержание массовой доли жира и белка в молоке

Показатель	Группа		% к контролю
	I-контрольная	II-опытная	
	M±m	M±m	
Поголовье в группе	10	10	100
Содержание массовой доли жира в молоке, % (n=10)			
30 дней скармливания	4,54±0,46	4,67±0,25	103,00
60 дней скармливания	4,02±0,13	4,60±0,23*	114,00
90 дней скармливания	4,09±0,14	4,72±0,28	115,00
В среднем за период	4,22±0,24	4,66±0,25*	110,00
Содержание массовой доли белка в молоке, % (n=10)			
30 дней скармливания	3,11±0,10	3,54±0,18	114,00
60 дней скармливания	3,09±0,09	3,23±0,11	105,00
90 дней скармливания	3,21±0,06	3,68±0,15**	115,00
В среднем за период	3,14±0,08	3,48±0,15***	111,00

Примечание: *P<0,05; **P=0,01; *** P<0,01 по отношению к контролю в соответствующий период опыта.

Этот показатель оставался стабильным на протяжении всего исследования. В среднем за весь период содержание жира в молоке у коров из опытной группы составило 4,66%, что на 0,44 п.п. выше контрольного уровня (4,22%). Содержание белка увеличилось до 3,48%, что на 0,34 п.п. превышает аналогичный показатель в контрольной группе (табл. 2).

Воспроизводительная функция Основными показателями, используемыми для оценки репродуктивной функции животных, стали продолжительность межотельного периода и выход телят на 100 голов. У коров в группе, получавшей Хромбелмин, отмечено увеличение выхода телят на 20% по сравнению с контрольными показателями. Средняя продолжительность межотельного периода у лактирующих коров контрольной группы составила 459 дней, тогда как в опытной группе этот показатель был сокращен до 389 дней. Длительность сервис-периода также уменьшилась: с 174 до 104 дней, что свидетельствует о более быстром восстановлении репродуктивных функций у животных, получавших добавку.

Экономические показатели. Для определения экономической эффективности использования Хромбелмина в рационе лактирующих коров в первую фазу лактации проведен анализ рентабельности производства молока стандартной жирности, без учета содержания белка и жира. В соответствии с технологическим процессом, после охлаждения на ферме молоко поступает на собственный молокоперерабатывающий завод, где его средняя закупочная цена за отчетный период составила 32,63 рубля за литр. Далее готовая молочная продукция распространяется через торговые сети (табл. 3).

Таблица 3 - Экономическая эффективность скармливания Хромбелмина лактирующим коровам в первую фазу лактации (90 дней)

Показатель	Группа	
	контрольная	опытная
Продолжительность опытного периода, дней	90	90
Поголовье дойных коров, голов	10	10
Удой натурального молока, кг на 1 голову	23,70	27,98
Содержание жира, %	4,22	4,66
Содержание белка, %	3,14	3,48
Удой в расчете на группу коров, кг	21330,00	25182,00
Цена реализации 1 кг молока, руб.	32,63	32,63
Стоимость реализованного молока в целом по группе, руб.	695997,90	821688,66
Количество кормодней	900	900
Стоимость кормодня, руб. на 1 голову	240,64	244,24
± к контролю		+3,60
Стоимость затраченных кормов в целом по группе, руб.	216576,00	219816,00
Общие затраты на производство молока в целом по группе (корма 45%), руб.	481280,00	488480,00
Прибыль от реализации молока за опытный период в целом по группе, руб.	214717,90	333208,66
Прибыль за опытный период в расчете на 1 голову, руб.	21471,79	33320,87
± к контролю, руб.		+11849,08
%	100	155,2
Рентабельность производства молока за учетный период, %*	44,6	68,2

Примечание: * Без учета затрат в предшествующий период на выращивание

Анализ экономических данных показал, что расходы на кормление коров в опытной группе оказались на 1,5% выше, чем в контрольной. Однако применение Хромбелмина способствовало росту рентабельности молочного производства, увеличив этот показатель на 23,6% по сравнению с контрольной группой.

Выводы. Добавление в рацион дойных коров в начальный период лактации органоминеральной добавки Хромбелмин в дозе 12 мл на голову в сутки привело к увеличению удоя на 18,0%, достигнув в опытной группе 27,98 кг, тогда как у коров контрольной группы этот показатель составил 23,70 кг.

Применение Хромбелмина в течение первых 90 дней лактации способствовало росту массовой доли жира в молоке на 10,0% и увеличению содержания белка на 11,0% по сравнению с контрольной группой.

Включение данной добавки положительно повлияло на репродуктивные показатели коров: выход телят в опытной группе оказался на 20% выше контрольного уровня, а сервис-период сократился на 70 дней, что указывает на ускоренное восстановление репродуктивной функции животных.

Список источников

1. Зырянова Н.А. Минеральные вещества (кобальт, селен, фтор) в кормлении молочных коров // Актуальные вопросы ветеринарной медицины: образование, наука, практика: сб. материалов Всерос. (нац.) конф., посвящ. 30-летию образования ветеринарного факультета, Тюмень, 15 мая 2022 г. Тюмень: Гос. аграр. ун-т Сев. Зауралья, 2022. С. 389–395.
2. Эффективность применения витаминно-минеральной кормовой добавки в кормлении высокопродуктивного скота молочного направления продуктивности / Н.П. Буряков, М.А. Бурякова, А.Ю. Загарин, Д.Е. Алешин // Зоотехния. 2022. № 1. С. 7-12.
3. Крупин Е.О., Шакиров Ш.К. Изменения отдельных диагностических маркеров углеводного, липидного и минерального обмена веществ у дойных коров, обусловленные кормлением // Аграрная наука. 2023. № 2. С. 30-34.
4. Алейникова Ю.Н. Обогащение минерального состава крови стельных сухостойных коров при использовании комплексного йодоселено содержащего профилактического препарата "Йодис - вет" // Животноводство и ветеринарная медицина. 2022. № 1 (44). С. 20-23.
5. Jones D., Smith P. Chromium in Dairy Cattle Nutrition: A Review // Journal of Dairy Science. 2021. Vol. 104. P. 2150-2165.
6. Brown K., Williams R. Metabolic Stress and Chromium Supplementation in High-Yielding Cows // Animal Nutrition. 2022. Vol. 8. P. 100-112.
7. Буряков Н.П., Хардик И.В. О сбалансированности рационов для молочного скота // Комби-корма. 2021. № 3. С. 42-46.

8. García M., López J. Effect of Organic Chromium on Dairy Cows Performance // Livestock Science. 2023. Vol. 250. P. 55-63.
9. Müller H. Einfluss von Chrom auf die Milchproduktion // Deutsche Tierernährung. 2022. Bd. 57. P. 110-123.
10. Oliveira C., Santos F. The Role of Micronutrients in Dairy Cattle // Brazilian Journal of Animal Science. 2021. Vol. 50. P. 75-89.
11. Wang Y., Zhang X. Chromium Supplementation in Dairy Cows: Benefits and Challenges // Asian-Australasian Journal of Animal Sciences. 2020. Vol. 33. P. 1403-1411.
12. Dupont G., Leroy F. Métabolisme et nutrition des vaches laitières // Revue Française d'Agronomie. 2021. Vol. 82. P. 47-61.
13. Kim H., Lee S. Stress Reduction in Dairy Cows with Chromium-Enriched Diets // Journal of Veterinary Science. 2022. Vol. 19. P. 88-102.
14. Martens S., Fischer K. Chromium and Insulin Sensitivity in Dairy Cattle // European Journal of Animal Science. 2023. Vol. 60. P. 200-214.
15. Pacheco D., Fernandez R. Strategies for Reducing Metabolic Disorders in Dairy Cows // Journal of Agricultural Research. 2022. Vol. 98. P. 35-49.

Информация об авторах:

И.В. Топорова – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры кормления и кормопроизводства, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, ivtoporova@yandex.ru.

М.В. Сыроватский – кандидат сельскохозяйственных наук; доцент, доцент кафедры кормления и кормопроизводства, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, mSyrovatskiy@mail.ru.

Н.И. Максимов – доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры кормления и кормопроизводства, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, Kit4862@mail.ru.

А.С. Иванова – студент 2 курса факультета зоотехнологий и агробизнеса, ФГБОУ ВО МГАВМиБ – МВА имени К.И. Скрябина, anastasii02.28@mail.ru.

Information about the authors:

I.V. Toporova – Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Feeding and Feed Management, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin, ivtoporova@yandex.ru.

M.V. Syrovatski – Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Feeding and Feed Management, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin, mSyrovatskiy@mail.ru.

N.I Maximov – Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Feeding and Feed Management, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin, Kit4862@mail.ru.

A.S. Ivanova – 2nd year student at the Faculty of Zootechnologies and Agribusiness, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MVA named after K.I. Skryabin, anastasii02.28@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 05.02.2025, одобрена после рецензирования 03.03.2025, принята к публикации 21.05.2025..

The article was submitted 05.02.2025, approved after reviewing 03.03.2025, accepted for publication 21.05.2025.

© Топорова И.В., Сыроватский М.В., Максимов Н.И., Иванова А.С.

Научная статья

УДК 636.52/.58.087.7:612.1

**ВЛИЯНИЕ ПРОБИОТИКА «БИТАЦЕЛ» В РАЦИОНАХ ПЕРЕПЕЛОК НЕСУШЕК
НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ КРОВИ**

Иван Александрович Рябов, Владимир Викторович Мунгин

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет,
Республика Мордовия, Саранск, Россия

Аннотация. В данной статье анализируется влияние пробиотика на морфологические и биохимические характеристики крови перепелов, а также его значимость для здоровья и продуктивности этих птиц. Пробиотики, которые представляют собой живые микроорганизмы, способны оказывать положительное воздействие на кишечную микрофлору при правильном применении. Это, в свою очередь, приводит к улучшению метаболических процессов и общего состояния здоровья перепелов. В рамках эксперимента, проведенного в ветеринарной клинике Аграрного института, была проанализирована кровь перепелов, разделенных на контрольную и две опытные группы, получавшие пробиотик «Битацел» в различных дозировках. Результаты исследования продемонстрировали, что добавление пробиотика в рацион перепелов вызвало значительные изменения в составе их крови. В частности, в первой опытной группе уровень гемоглобина увеличился на 5,38% по сравнению с контрольной группой. Примечательно, что использование пробиотика не привело к негативным последствиям для здоровья птиц, и большинство наблюдаемых изменений оставались в пределах физиологической нормы. Кроме того, анализ показал, что уровень глюкозы во второй опытной группе оказался выше на 10,3% и 12,3% относительно контрольной и первой группы соответственно. Эти данные могут свидетельствовать о положительном воздействии пробиотика на углеводный обмен, что открывает новые перспективы для улучшения здоровья и продуктивности перепелов [1]. Однако также наблюдались различия в активности ферментов, таких как аспартатаминотрансфераза и аланинаминотрансфераза, что свидетельствует о возможных нарушениях в обмене веществ. Таким образом, результаты исследования подчеркивают важность пробиотиков для оптимизации здоровья и продуктивности перепелов.

Ключевые слова: пробиотик, кровь, здоровье, рацион, перепела

Для цитирования: Рябов И.А., Мунгин В.В. Влияние пробиотика «Битацел» в рационах перепелок несушек на морфологические и биохимические показатели крови // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 23-27.

Original article

**INFLUENCE OF PROBIOTIC “BITACEL” IN THE DIETS OF LAYING QUAILS
ON MORPHOLOGICAL AND BIOCHEMICAL INDICATORS OF BLOOD**

Ivan A. Ryabov, Vladimir V. Mungin

National Research Mordovia State University, Saransk, Republic of Mordovia, Russia

Abstract. This article analyzes the effect of probiotics on the morphological and biochemical characteristics of quail blood, as well as its significance for the health and productivity of these birds. The probiotics, which are living microorganisms, can have a positive effect on the intestinal microflora when used correctly. This, in turn, leads to an improvement in the metabolic processes and overall health of quails. As part of an experiment conducted at the veterinary clinic of the Agrarian Institute, the blood of quails divided into a control group and two experimental groups that received the probiotic "Bitacel" in various dosages was analyzed. The results of the research demonstrated that the addition of probiotics to the quail diet caused significant changes in the composition of their blood. In particular, in the first experimental group, the hemoglobin level increased by 5,38% compared to the control group. It is noteworthy that the use of probiotics did not lead to negative consequences for the health of birds, and most of the observed changes remained within the physiological norm. In addition, the analysis showed that the glucose level in the second experimental group was higher by 10,3% and 12,3% compared to the control and the first group, respectively. These data may indicate a positive effect of the probiotic on carbohydrate metabolism, which opens up new prospects for improving the health and productivity of quails [1]. However, there were also differences in the activity of enzymes such as aspartate aminotransferase and alanine aminotransferase, which indicates possible metabolic disorders. Thus, the results of the research emphasize the importance of probiotics for optimizing the health and productivity of quails.

Keywords: probiotic, blood, health, diet, quails.

For citation: Ryabov I.A., Mungin V.V. Influence of probiotic “Bitacel” in the diets of laying quails on morphological and biochemical indicators of blood // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. 3 (109): 23-27.

Введение. Пробиотики - это живые микроорганизмы, которые при правильном использовании в адекватных дозах оказывают благоприятное воздействие на здоровье животных и птиц. В последние годы их применение в животноводстве, особенно в птицеводстве, стало объектом интенсивных исследований. Пробиотики способствуют формированию сбалансированной кишечной микрофлоры, характеризующейся увеличением разнообразия полезных бактерий и подавлением роста патогенных микроорганизмов, что, в свою очередь, может существенно влиять на метаболизм и общее состояние здоровья птиц [2, 3].

По данным научных исследований, пробиотики способны изменять как морфологические, так и биохимические характеристики крови. Например, они могут повышать уровень гемоглобина, количество эритроцитов и лейкоцитов, а также активировать иммунные реакции, что крайне важно для поддержания здоровья птицы. Увеличение числа полезных микроорганизмов в кишечнике может улучшить усвоение питательных веществ, что отражается на составе и качестве крови.

Исследования крови позволяют выявить возможные заболевания и патологии в организме птицы, а также судить о динамике изменений в процессе исследования. Кровь, как динамичная система, поддерживает стабильность своего состава, что делает морфологический анализ особенно значимым в ветеринарной практике и зоотехнии.

Исследование морфологических и биохимических характеристик крови предоставляет исчерпывающую информацию о физиологическом состоянии птицы. Кровь, играющая ключевую роль в жизненных процессах организма, является важнейшим компонентом, позволяющим оценить его функционирование. Анализ помогает выявить как нормальные, так и отклоняющиеся от нормы состояния. Это, в свою очередь, способствует более точной диагностике и эффективному управлению здоровьем животных. [4, 5, 6, 7].

Таким образом, существует прямая связь между применением пробиотиков и изменениями в показателях крови. Оптимизация состава кишечной микрофлоры, что включает увеличение количества полезных микроорганизмов и снижение патогенных видов, может значительно повысить эффективность метаболических процессов, что сказывается на морфологических и биохимических показателях крови, отражая улучшение общего состояния организма. Это подчеркивает значимость пробиотиков как средства для поддержания здоровья и продуктивности птиц.

Материалы и методы. Экспериментальная часть работы проводилась в условиях ветеринарной клиники Аграрного института ФГБОУ «МГУ им. Н.П. Огарева». С целью изучения характера действия пробиотика и контроля за состоянием здоровья перепелок была исследована кровь, которая отбиралась от трех голов с каждой группы в возрасте 106 дней, после шестичасовой голодной выдержкой перед забоем птицы, так как образцы крови для анализа были взяты в процессе забоя.

Контрольная группа перепелов получала базовый рацион без добавления пробиотика. В первой опытной группе к основному корму был добавлен пробиотик «Битацел» в дозировке 0,2% от массы комбикорма, тогда как во второй группе его количество возросло до 0,3% (табл. 1).

Таблица 1 – Схема опыта

Группа	Количество перепелок несушек, голов	Продолжительность выращивания, дней	Особенности кормления перепелов
Контрольная	25	106	Основной рацион
Первая опытная	25	106	ОР+пробиотик «Битацел» 0,2% от массы комбикорма
Вторая опытная	25	106	ОР +пробиотик «Битацел» 0,3% от массы комбикорма

Все биохимические исследования сыворотки крови проводились в лаборатории Государственного учреждения «Мордовская республиканская ветеринарная лаборатория», расположенной в городе Саранске, с использованием полуавтоматического биохимического анализатора BS-3000M.

Результаты исследований и их обсуждение. В ходе роста перепелов происходят важные биологические трансформации, которые, в сочетании с высокой скоростью обмена веществ и активным набором массы, существенно влияют на состав их крови и сыворотки. С учетом этих факторов, образцы крови и ее сыворотки для анализов были собраны у взрослых особей непосредственно перед забоем, что обеспечивает более точную информацию о физиологическом состоянии птиц [8].

Сравнительный анализ биохимических показателей крови контрольной и экспериментальных групп перепелов демонстрирует, что введение пробиотика в рацион птицы вносит определенные изменения в метаболические процессы. Хотя влияние пробиотика на большинство биохимических параметров не является критическим и их колебания находятся в пределах физиологической нормы, все

же можно выделить определенные тенденции, опираясь на наиболее выраженные изменения в биохимическом профиле крови [1].

Введение добавки «Битацил» в комбикорм привело к изменениям как в морфологических, так и в биохимических показателях крови перепёлок. Результаты морфологического анализа крови всех исследуемых групп представлены на рисунке 1.

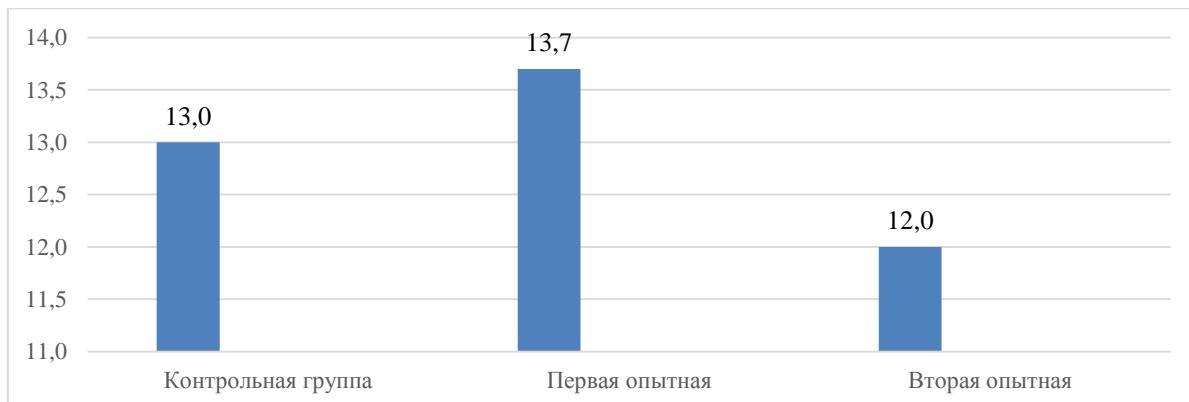


Рисунок 1 – Динамика уровня гемоглобина в исследуемых группах, г/%

Уровень гемоглобина в образцах крови перепелов первой опытной группы достиг $13,7 \pm 0,88$ г/%, что на 5,38% выше, чем в контрольной группе ($13,0 \pm 0,58$ г/%). Напротив, во второй опытной группе гемоглобин составил $12,0 \pm 0,58$ г/%, что на 7,69% ниже контрольных значений ($13,0 \pm 0,58$ г/%).

Основная задача биохимического анализа заключается в детальном исследовании уровня ферментов и клеточных компонентов в крови перепелов, что позволяет получить ценную информацию о здоровье их внутренних органов. Данные, собранные в ходе исследования, представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Биохимические показатели крови перепелов

Биохимические и морфологические показатели	Ед. измер	Пределы колебаний	Результат		
			Контрольная группа	Первая опытная	Вторая опытная
Аспартатаминотрансфераза (АСТ)	Ед./л	100,00-330,00	$204,30 \pm 2,73$	$230,30 \pm 26,89$	$159,30 \pm 8,95^*$
Аланинаминотрансфераза (АЛТ)	Ед./л	5,00-50,00	$22,70 \pm 3,38$	$12,30 \pm 1,86$	$16,67 \pm 3,71$
Холестерин	Ммоль/л	2,60-7,80	$4,20 \pm 0,15$	$3,97 \pm 0,23$	$3,63 \pm 0,09^*$
Общий белок	г/л	30,00-60,00	$42,73 \pm 1,98$	$39,50 \pm 2,21$	$37,70 \pm 0,32$
Глюкоза	Ммоль/л	11,00-27,50	$13,23 \pm 0,58$	$13,00 \pm 0,64$	$14,60 \pm 0,26$
Фосфор	Ммоль/л	0,64-1,45	$1,79 \pm 0,13$	$2,25 \pm 0,11$	$1,94 \pm 0,14$
Кальций	Ммоль/л	2,00-4,50	$4,68 \pm 0,37$	$4,44 \pm 0,28$	$4,78 \pm 0,62$
α -Амилаза	Ед./л	100,00-450,00	$233,67 \pm 17,42$	$183,60 \pm 15,02$	$404,67 \pm 97,25$
Мочевина	Ммоль/л	1,50-7,50	$2,20 \pm 0,25$	$1,88 \pm 0,16$	$2,37 \pm 0,23$

Примечание: * $P < 0,05$ относительно контрольной группы

Что касается уровня белка в сыворотке крови, он в значительной степени отражает состояние белкового обмена в организме перепелов. Введение добавки «Битацил» в дозировках 0,2% и 0,3% от массы комбикорма продемонстрировало неоднозначные результаты в отношении белкового обмена в ходе эксперимента. У птиц первой группы уровень общего белка оказался на 7,6% ниже, чем у контрольной группы, в то время как во второй опытной группе данный показатель уменьшился на 11,8%, однако все же оставался в рамках норм для данного вида.

Что касается концентрации глюкозы в крови, то у перепелов второй опытной группы она была выше на 10,3% по сравнению с контрольной группой и на 12,3% по сравнению с первой группой. Все полученные значения находились в пределах референсного диапазона. Повышение уровня глюкозы может свидетельствовать о улучшении энергетического статуса птиц и положительном влиянии добавки на углеводный обмен. Анализ активности аспартатаминотрансферазы (АСТ) показал, что первая опытная группа демонстрировала повышенные значения по сравнению с другими группами, что может свидетельствовать о нарушениях в азотном обмене. Уровень АСТ был значительно ниже во второй опытной группе и составил $159,3 \pm 8,95$ ($P < 0,05$).

В ходе проведенного исследования были выявлены разнообразные воздействия добавки на уровень активности аланинаминотрансферазы (АЛТ). У птиц контрольной группы этот показатель достиг 22,7 ед./л, что на 84,6% превышает значения, зафиксированные в первой опытной группе, и на 36,3% выше, чем у второй группы. Эти результаты подчеркивают влияние добавки на метаболические процессы, что может иметь важные последствия для здоровья и продуктивности птиц.

Отмечены изменения в фосфорно-кальциевом соотношении. При норме 3,1:1, в контрольной группе данный показатель составил 2,61:1, в первой опытной группе – 1,97:1, а во второй опытной группе – 2,46:1. Концентрация кальция в исследуемых группах оставалась относительно стабильной, в то время как уровень фосфора в опытных группах продемонстрировал незначительное увеличение (в среднем на 0,3-0,5 ммоль/л по сравнению с контрольной). Хотя данное увеличение уровня фосфора может быть частично обусловлено голодной выдержкой перед убоем.

Показатели α -амилазы в крови перепелов продемонстрировали, что в контрольной группе уровень составил $233,67 \pm 17,42$ Ед./л. В первой опытной группе с добавлением пробиотика «Битацел» в дозе 0,2% уровень α -амилазы снизился до $183,6 \pm 15,02$ Ед./л, что может свидетельствовать о более эффективном усвоении углеводов и снижении потребности в их расщеплении. В то же время, во второй опытной группе с дозой 0,3% уровень α -амилазы значительно возрос до $404,67 \pm 97,25$ Ед./л, что может указывать на активизацию метаболических процессов.

Показатели мочевины в крови перепелов показали, что в контрольной группе уровень составил $2,2 \pm 0,25$ ммоль/л. В первой опытной группе с 0,2% пробиотика он снизился до $1,88 \pm 0,16$ ммоль/л, что может говорить о более эффективном усвоении питательных веществ. Во второй опытной группе с 0,3% пробиотика уровень мочевины возрос до $2,37 \pm 0,23$ ммоль/л.

Показатели холестерина в крови перепелов также продемонстрировали интересные результаты. В контрольной группе уровень холестерина составил $4,2 \pm 0,15$ ммоль/л. В первой опытной группе с добавлением пробиотика он снизился до $3,97 \pm 0,23$ ммоль/л ($P > 0,05$), во второй опытной группе с 0,3% пробиотика уровень холестерина снизился до $3,63 \pm 0,09$ ммоль/л, ($P < 0,05$) что может говорить лишь о тенденции к снижению уровня холестерина, а не о доказанном положительном влиянии пробиотиков на липидный обмен.

Заключение. Воздействие пробиотика «Битацел» на биохимические показатели крови перепелов было незначительное, и все изменения находились в пределах нормы. Но были выявлены некоторые тенденции, свидетельствующие о потенциально благотворном воздействии пробиотика на морфологические и биохимические показатели. Проведенное исследование показало, что пробиотик имеет тенденцию к снижению уровня холестерина, но влияние на белковый обмен и ферментативную активность требует более детального анализа.

Динамика улучшения здоровья и продуктивности перепелов отражает ключевую роль пробиотиков в птицеводстве. Эти данные могут потенциально быть использованы в качестве модели для последующего исследования и применения пробиотиков в корме птиц, потенциально увеличивающим их здоровье и продуктивность. Важно продолжать изучение механизмов действия пробиотиков и их долгосрочных эффектов на популяцию птиц.

Список источников

- Постраш И.Ю., Скворцова Е.Г., Мостофина А.В. Биохимические показатели крови перепелов в зависимости от применения пробиотиков // Многофункциональное адаптивное кормопроизводство: сб. науч. тр., Ярославль, 04–06 мая 2022 года. Вып. 27 (75). М.: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение дополнительного профессионального образования "Российская академия кадрового обеспечения агропромышленного комплекса", 2022. С. 163-168.
- Влияние «Генезис авес» на яичную продуктивность перепелок несушек / Н.И. Гибалкина, И.А. Рябов, Д.С. Акимов, Ю.В. Федюнина // Известия Дагестанского ГАУ. 2023. № 18. С. 105-108.
- Влияние пробиотика нового поколения «Генезис Авес» на рост молодняка кур-несушек / В.В. Мунгин, Н.И. Гибалкина, В.М. Василькин, И.С. Силантьева // Аграрный научный журнал. 2021. № 4. С. 45-47.
- Джамбулатова К.Д. Состояние обмена веществ у цыплят-бройлеров на фоне применения пробиотиков // Известия Оренбургского ГАУ. 2023. № 1 (99). С. 245-248.
- Показатели морфологического и биохимического состава крови и перекисного окисления липидов перепелов при добавках разных доз антиоксиданта / Р.Б. Темираев, Д.З. Кудухова, В.С. Гаппоева и др. // Известия Горского ГАУ. 2022. Т. 59-1. С. 132-139.
- Ядрищенская О.А., Селина Т.В. Использование биологически активной добавки в рационе перепелов // Научное обеспечение животноводства Сибири: материалы VIII междунар. науч.-практ.

конф., Красноярск, 16–17 мая 2024 года. Красноярск: Красноярский научный центр СО РАН, 2024. С. 337-341.

7. Zadeh Z.S., Kheiri F., Fanghani M. Productive performance, egg related indices, blood profiles and interferon- γ gene expression of laying Japanese quails fed on *Tenebrio molitor* larva meal as a replacement for fish meal // Italian J. Anim. Sci. 2020. Vol. 19, № 1. P. 274-281.

8. Усманова Д.М., Сквородин Е.Н. Влияние кормовой добавки Диронакс на рост и развитие пепелей // Вестник Башкирского ГАУ. 2023. № 3 (67). С. 55-65.

Информация об авторах:

В.В. Мунгин – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры зоотехнии им. профессора С.А. Лапшина с курсом промышленного свиноводства, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева» munginv@mail.ru.

И.А. Рябов – аспирант, кафедры зоотехнии им. профессора С.А. Лапшина с курсом промышленного свиноводства, ФГБОУ ВО «МГУ им. Н.П. Огарева», vanorabov23@mail.ru.

Information about the authors:

V.V. Mungin – Doctor of Agricultural Sciences, Professor Department of Animal Science named after. Professor S.A. Lapshina with a course on industrial pig breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “MSU named after. N.P. Ogarev”munginv@mail.ru:

I.A. Ryabov – Graduate student Department of Animal Science named after. Professor S.A. Lapshina with a course on industrial pig breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “MSU named after. N.P. Ogarev”, vanorabov23@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 05.02.2025, одобрена после рецензирования 28.03.2025, принята к публикации 11.05.2025.

The article was submitted 05.02.2025, approved after reviewing 28.03.2025, accepted for publication 11.05.2025.

© Мунгин В.В., Рябов И.А.

Научная статья
УДК 636.22/.28.086.3

**ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ В КОРМЛЕНИИ КОРОВ
ЭКСТРУДИРОВАННОГО ГРАНУЛИРОВАННОГО ЛЮПИНА
НА СОМАТИЧЕСКИЕ КЛЕТКИ МОЛОКА**

¹Наталья Ивановна Ярован, ¹Татьяна Николаевна Федорова, ²Анна Георгиевна Менякина

¹ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, Орловская область, Орёл, Россия

²ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Соматические клетки также входят в состав тканей молочных проходов и альвеол, которые участвуют в секреции молока. Они включены в цилиндрический, плоский и кубический эпителий молочной железы. В соответствии с новым отечественным регламентом на качество молока и молочной продукции количество соматических клеток не должно превышать 200 тыс./см³. В данной статье изучали количественное содержание соматических клеток при использовании в кормлении дополнительно к основному рациону экструдированного гранулированного люпина белого в количестве 2000 г. на голову дополнительно к основному рациону хозяйства. Наименьшее содержание соматических клеток наблюдается к 30 дню эксперимента во всех группах коров с разными днями лактации. Для оптимального использования люпина в качестве основного источника белка в рационах высокопродуктивных жвачных животных его необходимо обрабатывать для снижения разлагаемости рубца путем экструзии, которая вызывает денатурацию белков, что снижает растворимость белка и, таким образом, снижает способность белка в кормах разлагаться в жевательной резинке. Благодаря такому способу большая часть высвобождаемых аминокислот всасывается в кровь и используется в синтезе белков молока, а свободные жирные кислоты обеспечивают достаточный уровень усвоемой энергии. Эксперимент выявил, что на 10 день кормления показатели улучшились: суточный удой увеличился на 23,1 %, жирномолочность увеличилась на 54,5 %. На 20 день относительно начала кормления показатели суточного удоя увеличились на 38,5 %, жирномолочности - на 68,2 %. К концу эксперимента на 30 день кормления экструдированным гранулированным люпином белым показатели суточного удоя увеличились на 44,5 %, жирномолочности - на 70,2 %.

Ключевые слова: лактация, голштинская порода, соматические клетки лейкоциты, экструзия, экструдированный люпин, стресс, протеин, суточный удой, жирномолочность.

Для цитирования: Ярован Н.И., Федорова Т.Н., Менякина А.Г. Влияние применения в кормлении коров экструдированного гранулированного люпина на соматические клетки молока // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 28-32.

Original article

**THE EFFECT OF USING EXTRUDED GRANULATED LUPINE IN COW FEEDING
ON SOMATIC CELLS IN MILK**

¹Natal'ya I. Yarovan, ¹Tat'yana N. Fedorova, ²Anna G. Menyakina

¹Orel State Agrarian University, Orel Region, Orel, Russia

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. Somatic cells are also part of the tissues of the milk ducts and alveoli, which are involved in milk secretion. They are included in the cylindrical, flat and cubic epithelium of the mammary gland. In accordance with the new domestic regulations on the quality of milk and dairy products, the number of somatic cells should not exceed 200 thousand / cm³. In this article, we studied the quantitative contents of somatic cells when using extruded granulated white lupine in addition to the main diet in feeding in the amount of 2000 g per head in addition to the main diet of the farm. The lowest contents of somatic cells is observed by the 30th day of the experiment in all groups of cows with different days of lactation. For optimal use of lupine as a primary protein source in diets of high-yielding ruminants, it must be processed to reduce rumen degradability by extrusion, which causes protein denaturation, which reduces protein solubility and thus reduces the ability of the protein in the feeds to degrade in the chewing gum. This method ensures that most of the released amino acids are absorbed into the blood and used in the synthesis of milk proteins, and free fatty acids provide sufficient levels of digestible energy. The experiment showed that on the 10th day of feeding, the indicators had improved: daily milk yield increased by 37.5%, and milk fat contents increased by 12.2%. On the 20th day relative to the start of feeding, the indicators of daily milk yield increased by 74.5%, and milk fat contents by 21.9%. By the end of the experiment, on the 30th day of feeding with extruded granulated white lupine, the daily milk yield increased by 44.5%, and the milk fat contents increased by 70.2%.

Keywords: lactation, Holstein breed, somatic cells, leukocytes, extrusion, extruded lupine, stress, protein, daily milk yield, milk fat contents.

For citation: Yarovan N.I., Fedorova T.N., Menyakina A.G. The effect of using extruded granulated lupine in cow feeding on somatic cells in milk // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. № 3 (109): 28-32.

Введение. Важнейшим требованием для использования молока в пищевой промышленности является его высокое качество, при этом молоко должно быть не только высокопитательным, но и безопасным. В связи с этим молоко низкого качества, не соответствующее определенным стандартам по санитарно-гигиеническим требованиям, может вызвать ряд заболеваний у потребителя и нанести экономический ущерб производителю и перерабатывающему предприятию [1,2].

Качество молока определяется воздействием целого ряда факторов. Анализируя качество молока, зачастую определяют показатели чистоты, кислотность, плотность, бактериальную обсемененность, жирномолочность, белковомолочность. Однако, упускаются из вида соматические клетки (СОМО), высокое содержание которых способствует изменению химического состава молока, физических и биологических свойств и даже делают непригодными для использования в производстве молочных продуктах, в частности, сыроварения [3,4,5].

К соматическим клеткам относятся клетки, составляющие тело многоклеточных организмов и не принимающие участия в половом размножении. Таким образом, это все клетки, кроме гамет.

Соматические клетки также входят в состав тканей молочных проходов и альвеол, которые участвуют в секреции молока. Они включены в цилиндрический, плоский и кубический эпителий молочной железы. Даже у здоровой коровы идет постоянное отторжение соматических клеток от секреторной части вымени, поэтому их постоянно обнаруживают в молоке. Кроме соматических клеток в молоке выявляется наличие защитных клеток крови (лейкоцитов, то есть белых кровяных телец), способных мобилизовать защиту организма от проникших возбудителей инфекции в вымя.

В молоке здоровых животных содержание соматических клеток, по мнению разных авторов неоднозначно, то есть, нет единого мнения. Разброс показателей СОМО у разных авторов составляет от 100 тыс./см³ до 300 тыс./см³. По требованиям международной молочной федерации молоко считается хорошим при содержании СОМО не более 500 тыс. единиц в см³. В соответствии с новым отечественным регламентом на качество молока и молочной продукции количество СОМО не должно превышать 200 тыс./см³, тогда как в старом разрешалось не превышать 500 тыс./см³. [6].

Цель исследования: качественное и количественное определение содержания соматических клеток в молоке коров голштинской породы при использовании экструдированного гранулированного люпина белого (ЭкГЛ) дополнительно к основному рациону хозяйства.

Материалы и методы. Эксперимент проводили на опытной станции «Стрелецкое», Орловской области, д. Истомино. Анализировали молоко голштинских коров, содержащихся в условиях промышленного комплекса. В качестве объектов исследования были сформированы по принципу пар - аналогов две группы коров 2-й лактации по 10 голов в каждой, в молоке которых изучали количественное содержание соматических клеток. Коровам первой группы (контрольная) давали основной корм хозяйства (OP), второй группы (опытной) скармливали дополнительно к основному рациону, экструдированный гранулированный люпин белый (ЭкГЛ). Схема исследований представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Схема кормления исследуемых коров

Наименование групп	Количество коров, гол.	Рацион кормления
Контрольная	10	OP-основной рацион хозяйства
Опытная	10	OP+ЭкГЛ-экструдированный, гранулированный люпин белый в количестве 2000 г. на голову, дополнительно к основному рациону хозяйства один раз в день.

Содержание коров было привязным. Исследования проводили в зимний стойловый период (ноябрь, декабрь 2024 года), молоко исследовали от коров с 60 по 210 дни лактации. Анализ молока проводили через каждые 10 дней от начала эксперимента, для чего проводили контрольные дойки с отбором средних проб молока в течение месяца. Жирномолочность и СОМО определяли на приборе «Лактан».

Результаты исследования. При предварительном анализе соматических клеток в молоке нами было установлено их высокое содержание, равное 480 тыс./см³, что потребовало изыскания средства и разработки способа его использования для снижения количества СОМО и улучшения качества молока в целом.

Одним из достоинств люпина, как источника белка для животных, является его высокая урожайность, адаптированность к бедным, бесплодным почвам с низкими значениями рН, при выращивании не требует большого количества азотных удобрений, дешевле других культур, хорошо хранится, имея прочную оболочку. Люпин используют в кормовых рационах для животных разных видов. Несмотря на то, что, люпин содержит до 35% сырого протеина, он хорошо разлагается в рубце (до 80%). Соевый жмых содержит сырого протеина 40%, а разлагаемого в рубце белка – 78%. Этот факт говорит о невозможности использования люпина в большом количестве в рационе жвачных животных, в связи с этим для оптимального использования люпина, как источника белка для высокоудойных коров, необходимо искать способы обработки его, снижающие его разлагаемость в рубце. Экструдированный гранулированный люпин белый сорта «Мичуринский» имеет богатый химический состав, способствующий нормализации метаболических процессов и физиологических функций [7-11].

В нашем эксперименте мы использовали процесс экструзии, путем измельчения зерна люпина белого в зернодробилке, увлажнение и пропускание продукта через одношnekовый экструдер модель ЭКТУ 28.93.13.001–21520712–2017, при максимальной температуре, которая достигала 116°C. Полученный экструдированный продукт загранулировали в грануляторе с выходной ячейкой диаметром 4мм.

Таким образом, увеличивается количество рубцового неразлагаемого белка, обеспечивающее большее количество аминокислот для всасывания. Благодаря такому способу большая часть вы свобождаемых аминокислот всасывается в кровь и используется в синтезе белков молока [12-16].

На рисунке 1 представлен процесс получения исходного продукта, экструдированного и гранулированного люпина белого.



Рисунок 1 - Экструдированный гранулированный люпин белый (ЭкГЛб)

В результате эксперимента выявлено наименьшее содержание соматических клеток молока в группе коров, получивших дополнительно к основному рациону хозяйства экструдированный гранулированный люпин белый (рис. 2).

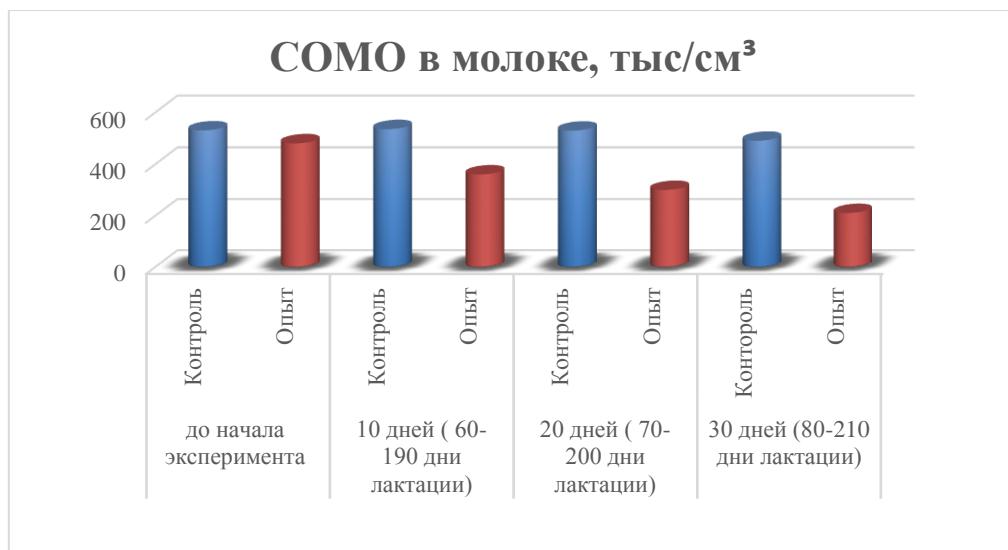


Рисунок 2 - СМО в молоке коров голштинской породы при кормлении экструдированным гранулированным люпином белым дополнительно к основному рациону хозяйства

Анализируя данные рисунка 2 видно, что при исследовании, проводимом на коровах разных дней лактации с использованием в кормлении дополнительно к основному рациону экструдированного гранулированного люпина белого, прослеживается постепенное снижение содержания соматических клеток, то есть через каждые 10 дней. А наименьшее содержание СМО наблюдается к 30

дню эксперимента во всех группах коров с разными днями лактации. Меньше всего СОМО установлено к 30 дню в период 80–210 день лактации.

Содержание СОМО в молоке 480 тыс./см³ и более приводит к снижению суточного удоя и содержания жира (рис 3).

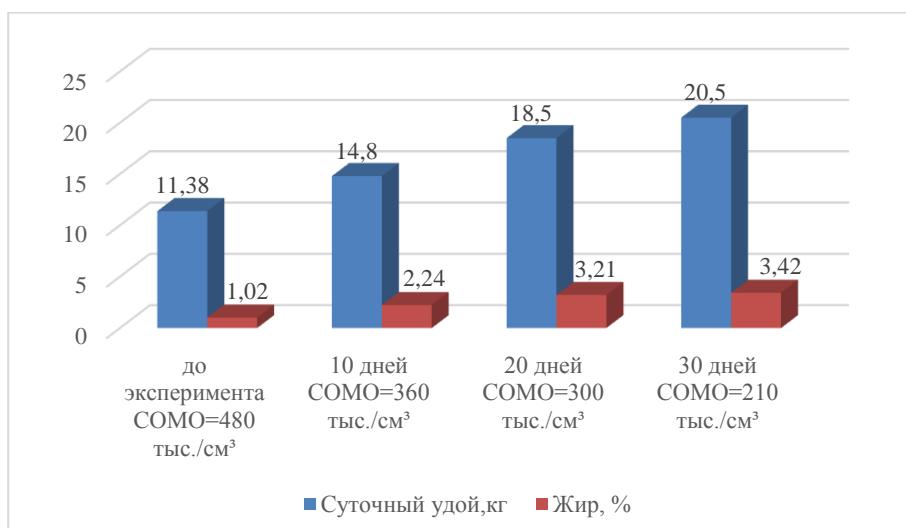


Рисунок 3 - Влияние кормления экструдированным гранулированным люпином белым на показатели суточного удоя и жирномолочность при разных показателях СОМО в молоке коров (480–210 тыс./см³) в разные дни лактации относительно начала кормления

Анализ показателей, полученных в эксперименте, выявил, что до кормления лактирующих коров экструдированным гранулированным люпином белым дополнительно к основному рациону в количестве 2000 г. на голову при высоком СОМО (480 тыс./см³) показатели суточного удоя и жирномолочность были очень низкими. В ходе кормления экструдированным гранулированным люпином белым показатели СОМО постепенно снижались, а суточный удой и жирномолочность повышались.

На 10 день кормления показатели улучшились: суточный удой увеличился на 23,1 %, жирномолочность увеличилась на 54,5 %.

На 20 день относительно начала кормления показатели суточного удоя увеличились на 38,5 %, жирномолочности - на 68,2 %.

К концу эксперимента на 30 день кормления экструдированным гранулированным люпином белым показатели суточного удоя увеличились на 44,5 %, жирномолочности - на 70,2 %.

Вывод. Проведенный эксперимент по использованию дополнительно к основному рациону экструдированного гранулированного люпина белого в количестве 2000 г. на голову, показал его положительный эффект, заключающийся в улучшении здоровья исследуемых коров, снижении соматических клеток в молоке, увеличении суточного удоя и жирномолочности.

Список источников

- Гамко Л.Н., Менякина А.Г., Подольников В.Е. Стратегия кормления лактирующих коров в период раздоя в условиях сельскохозяйственных предприятий // Вестник Брянской ГСХА. 2021. № 3 (85). С. 21-26.
- Рациональное кормление - основа метаболического благополучия крупного рогатого скота / А.А. Ксенофонтова, Н.П. Буряков, Д.А. Ксенофонтов и др. // Кормопроизводство. 2023. № 8. С. 40-44.
- Соколова О.В. Только комплексный анализ молока может гарантировать качество и безопасность молочной продукции // Переработка молока. 2023. № 10 (288). С. 52-54.
- Сычева О.В. Перспективы и проблемы контроля качества молока по новому ГОСТу Р 13264–2001 // Вестник СевКавГТУ. Сер. Продовольствие. 2003. № 1 (6). С. 5.
- Смоленцев С.Ю., Иванов И.С., Хардина Е.В. Основные направления повышения качества молока (обзор) // Вестник Марийского государственного университета. Сер. Сельскохозяйственные науки. Экономические науки. 2024. Т. 10, № 3(39). С. 244-255.
- Шидловская В.П. Органолептические свойства молока и молочных продуктов: справ. М.: Коллос, 2000. 280 с.
- Сергеева М.А. Сравнительный анализ использования дезинфицирующих средств для обработки вымени коров // Ветеринария сельскохозяйственных животных. 2016. № 3. С. 58–62.

8. Использование люпина в качестве источника белка в кормлении животных: геномные инструменты и селекционные подходы / Э.М. Абрахам, И. Ганопулос, П. Мадесис и др. // Int. J. Mol. Sci. 2019. № 20. 851 с.
9. Оценка бобовых (*Vicia faba*) и люпина (*Lupinus albus*) стерня и семена для овец // S.Afr. J. Anim. Sci. 2020. № 22. С. 170–173.
10. Усвоемость питательных веществ и способность к разложению на месте альтернативы источникам белка из соевого шрота для овец / К. Загоракис, Д. Лиамадис, К. Милис // Мелкое жвачное животное. 2015. № 124. С. 38–44.
11. Дейкстра Дж., Форбс Дж.М., Франс, Дж. Количественные аспекты пищеварения и метаболизма жвачных животных. 2-е изд. CAB International, Уоллингфорд, Великобритания, 2005.
12. White C.L., Staines V.E. Обзор пищевой ценности люпина для молочных коров // Agric. Res. 2007. № 58. С. 185–202.
13. Влияние использования термически обработанных люпинов вместо соевого и рапсового шротов в общих смешанных рационах на микробиологический выход *in vitro* и продуктивность молочных коров / Дж. Богун, Х. Клут, М. Булаг и др. // Физиология. 2008. № 92. С. 694–704.
14. Чанг Ю.К., Ванг С.С. Достижения в технологии экструзии: аквакультура / корма и пищевые продукты для животных: материалы междунар. симп. по кормам для животных и аквакультуры с использованием технологии экструзии и междунар. семинара по передовой технологии экструзии в пищевых продуктах, 9–14 марта, Сан-Паулу, Бразилия: Изд-во Technomic Publishing Company, Ланкастер, Пенсильвания, 1999.
15. Svhuis B., Uhlen, A.K., Harstad O. Влияние структуры гранул крахмала, сопутствующих компонентов и обработки на пищевую ценность зернового крахмала: обзор // Животные. Подпитывайте науку и технологии. 2005. № 122. С. 303–320.
16. Баркьези-Феррари С., Анрике Р. Способность сухого вещества и сырого протеина из очищенного от кожуры люпина разлагаться в рубце и экструдированного рапсового шрота // Chil. J. Agr. 2011. Res. 71. С. 430–436.

Информация об авторах:

Н.И. Ярован - доктор биологических наук профессор, заведующий кафедрой биотехнологии и химии имени профессора Н.Е Павловской, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, n.yarovan@yandex.ru.

Т.Н. Федорова - аспирант, ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, tatyana-fedor2014@yandex.ru.

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

Information about the authors:

N.I. Yarovan - Doctor of Biological Sciences Professor, Head of the Department of Biotechnology and Chemistry named after Professor N.E. Pavlovskaya, Orel State Agrarian University, n.yarovan@yandex.ru.

T.N. Fedorova - applicant, Orel State Agrarian University, tatyana-fedor2014@yandex.ru.

A.G. Menyakina - Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Animal Feeding, Private Animal Husbandry and Animal Products Processing, 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 17.05.2025, одобрена после рецензирования 21.05.2025, принята к публикации 30.05.2025.

The article was submitted 17.05.2025, approved after reviewing 21.05.2025, accepted for publication 30.05.2025.

© Ярован Н.И., Федорова Т.Н., Менякина А.Г.

Научная статья
УДК 636.22/.28.034

ВЛИЯНИЕ КОРМОВОЙ ДОБАВКИ С ГУМИНОВЫМИ КИСЛОТАМИ НА МОЛОЧНУЮ ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВЕННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ МОЛОКА

Кристина Михайловна Артеменко, Анастасия Калистратовна Гордеева
ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, Иркутская область, Иркутск, Россия

Аннотация. В настоящем исследовании рассматривается влияние кормовой добавки «Биатис с гуминовыми кислотами» на молочную продуктивность коров в период лактации в условиях Иркутской области. Исследования проводили в СПК «Окинский», Зиминского района. В ходе эксперимента было подобрано две группы коров (по 10 голов в каждой) с учетом пар-аналогов черно-пестрой породы с высокой долей кровности по голштинам. Животные обеих групп находились в одинаковых производственных условиях, получали одинаковый рацион кормления. Во время проведения эксперимента ухудшения физиологического состояния животных не наблюдалось, об этом свидетельствуют клинические показатели. В результате скармливания кормовой добавки с гуминовыми кислотами среднесуточный удой коров опытной группы на конец исследования составил 15,58 кг молока, что выше, чем в контрольной группе на 0,96 кг (6,16 %), а общая разница в объеме полученного молока за весь экспериментальный период достигла 594,2 кг (4,3 %). Кроме этого, отмечалось изменение показателей массовой доли жира (МДЖ) и массовой доли белка (МДБ), так в опытной группе коров на конец опыта МДЖ увеличилась на 1,5 %, а массовая доля белка на 2,4 % по сравнению с контролем. Затраты на кормовую добавку на все поголовье и на весь период опыта составили 6750,0 рублей. Экономический эффект от применения кормовой добавки с гуминовыми кислотами на все поголовье составил 19989,0 рублей, в том числе на 1 голову 1998,9 рубля.

Ключевые слова: коровы, рацион, кормовая добавка, гуминовые кислоты, молочная продуктивность.

Для цитирования: Артеменко К.М., Гордеева А.К. Влияние кормовой добавки с гуминовыми кислотами на молочную продуктивность и качественные показатели молока // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 33-37.

Original article

EFFECT OF FEED ADDITIVE WITH HUMIC ACIDS ON MILK PRODUCTIVITY AND MILK QUALITY INDICATORS

Kristina M. Artemenko, Anastasiya K. Gordeeva

Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, Irkutsk region, Irkutsk, Russia

Abstract. The present research examines the effect of the feed additive "Biatis with humic acids" on the milk productivity of cows during lactation in the Irkutsk region. The research was conducted in the APC "Okinsky", Ziminsky district. During the experiment, two groups of cows (10 heads each) were selected, taking into account the pairs of analogues of the black-and-white breed with a high proportion of Holstein blood. The animals of both groups were in the same production conditions and received the same feeding diet. During the experiment, there was no deterioration in the physiological state of the animals, as evidenced by clinical indicators. As a result of feeding a feed additive with humic acids, the average daily milk yield of cows in the experimental group at the end of the study was 15.58 kg of milk, which is 0.96 kg (6.16%) higher than in the control group, and the total difference in the volume of milk received during the entire experimental period reached 594.2 kg (4.3%). In addition, there was a change in the indicators of the mass fraction of fat (MFF) and the mass fraction of protein (MFP), so in the experimental group of cows at the end of the experiment, MFF increased by 1.5%, and the mass fraction of protein by 2.4% compared with the control. The cost of the feed additive for the entire livestock and for the entire period of the experiment amounted to 6750.0 rubles. The economic effect of the use of feed additives with humic acids on the entire livestock amounted to 19989.0 rubles, including 1998.9 rubles per head.

Keywords: cows, diet, feed additive, humic acids, milk productivity.

For citation: Artemenko K.M., Gordeeva A.K. Effect of feed additive with humic acids on milk productivity and milk quality indicators // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. № 3 (109): 33-37.

На продуктивность крупного рогатого скота прямое влияние оказывает конверсия корма. Конверсия, или коэффициент конверсии корма – это отношение количества затраченного корма к единице

полученной продукции (например, к 1 кг привеса, 1 л молока и т. д.). Из этого следует, что меньший коэффициент конверсии свидетельствует о высоком качестве кормов, используемые на производстве. Чем меньше коэффициент конверсии, тем меньше корма необходимо затратить на производство животноводческой продукции (Безруков С.А., Гордеева А.К., Сверлова Н.Б. Влияние оптимизированных рационов кормления с включением минеральной добавки на мясную продуктивность бычков // Вестник ИрГСХА. 2018. № 86. С. 142-149; Безуглова О.С., Зинченко В.Е. Применение гуминовых препаратов в животноводстве (обзор) // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30, № 2. С. 89-93) [1-3].

Для уменьшения конверсии корма используются различные кормовые добавки, в наших исследованиях была использована кормовая добавка на основе компонентов природного происхождения «Биатис с гуминовыми кислотами». Концентрат состоит из таких природных компонентов как: вытяжка гуминовых кислот из бурого угля, полидиметилдиаллиламмоний хлористый, йодид калия, оказывающие сорбирующее действие. Гуминовые кислоты способны создавать защитную пленку на слизистой оболочке кишечника животных, что помогает снижать или даже полностью блокировать усвоение токсинов, возникающих в результате инфекции или при скармливании кормов плохого качества, кроме этого, нормализуют микрофлору желудочно-кишечного тракта, что в целом положительно сказывается на молочной продуктивности дойных коров (Гордеева А.К., Носырева Ю.Н. Энергетическое питание коров по физиологическим периодам в условиях Иркутской области // Проблемы устойчивого развития регионального АПК: материалы науч.-практ. конф., 06–09 февраля 2006 года. Иркутск: Изд-во ИрГСХА, 2006. С. 26-29; Кот А.Н., Радчиков В.Ф., Гурин В.К. Использование минеральных добавок из местных источников сырья в составе комбикормов для телят // Научно-технический бюллетень института биотехнологии ветпрепаратов и кормовых добавок. 2010. Вып. 11, № 2-3. С. 140-143) [4-5].

Цель исследования: изучить влияние кормовой добавки «Биатис с гуминовыми кислотами» на показатели молочной продуктивности коров и экономическую эффективность ее использования.

Исследования проводили в СПК «Окинский» на молочнотоварной ферме «Мордино», Зиминского района Иркутской области. Материалом для исследования послужила добавка «Биатис с гуминовыми кислотами» производимая в ООО УК «Константа» Саратовская область (ГОСТ9268 - 2015).

В ходе эксперимента было подобрано две группы (по 10 голов в каждой) коров черно-пестрой породы (голштинизированных) с учетом пар-аналогов. Скармливание кормовой добавки проводилось в подготовительный период (в течение двух дней) и в течение основного периода, который длился 90 дней в количестве 3 г на 100 кг живого веса животного начиная со 2-го месяца лактации. Кормовую добавку вносили в готовую кормовую смесь вручную 2 раза сутки во время утреннего и вечернего кормления.

При формировании групп, учитывались такие показатели, как живая масса животных, кровность по голштинам составила более 85 %, возраст в отелях, уровень молочной продуктивности и физиологическое состояние. Животные двух исследуемых групп до и во время эксперимента находились в одинаковых условиях. В течение исследования условия содержания и кормления животных не изменились.

В период проведения эксперимента у подопытных животных измеряли: температуру тела (с помощью электронного термометра), пульс, частоту дыхания данные представлены в таблице 1. Учет молочной продуктивности проводили ежедневно. Пробы для анализа молока от каждого доения собирали в одну емкость и затем отбирались пропорционально доле суточного удоя в стаканчики, имеющие номера. Исследование проб молока проводилось на анализаторе молока «Эксперт профи».

Таблица 1 – Клинические показатели исследуемых животных

Группы	Температура тела, °C	Частота ударов пульса / мин.	Частота дыхательных движений / мин
Контрольная	38,36±0,15	69,7 ± 1,14	26,6±0,66
Опытная	38,28±0,16	70,1 ± 1,4	26,9±0,52
Норма	37,5 – 39,0	50 – 80	15 – 30

Проанализировав таблицу 1, можно сделать вывод, что все клинические показатели у исследуемых групп находились в пределах нормы, что говорит о здоровом состоянии животных. Рацион кормления лактирующих коров приведен в таблице 2.

Таблица 2 – Рацион кормления коров

Показатели	Норма	Сено злаково-бобовое	Солома овсяная	Силос кукурузный	Ячмень	Овес	Итого	Баланс (+/-)
Кол-во, кг	-	3,5	1	32	3	2	-	-
ЭКЕ	13,7	2,3	0,5	7,4	3,5	1,8	15,5	+1,8
ОЭ, мДж.	137	22,8	5,4	73,6	35,4	18,4	155,6	+18,6
СВ, кг	14,9	2,9	0,8	8	2,7	1,7	16,1	+1,2
СП, г	1780	318,5	39	800	462	216	1835,5	+55,5
ПП, г	1185	178,5	17	448	333	158	1134	-50,5
СЖ, г	385	73,5	17	320	45	80	535,5	+150,5
СК, г	4030	829,5	324	2400	90	194	3837	-192,5
Сахар, г	1000	101,5	4	292	45	50	492,5	-507,5
Соль, г				По норме				
Кальций, г	81	19,6	3,4	44,8	1,2	3,0	72	-9
Фосфор, г	57	4,6	1,0	12,8	9	6,8	34,2	-22,8
Магний, г	23	4,9	1,1	16	6,9	2,4	31,3	+8,3
Калий, г	89	47,5	13,8	94,2	5,0	10,0	169,3	+80,3
Сера, г	29	4,9	1,7	12,8	-	2,8	22,2	-6,8
Железо, мг	930	581	141	1952	0,3	82	2756	+1826
Медь, мг	105	7,4	2,9	32	24,9	9,8	77	-28
Цинк, мг	695	74,2	26	185,6	93,6	45	424,4	-270,6
Марганец, мг	695	164,8	90	128	127,5	113	623,3	-71,7
Кобальт, мг	7,8	0,7	0,7	-	0,3	0,2	1,9	-5,9
Йод, мг	9,5	1,1	0,4	3,2	-	0,04	4,8	-4,7
Карот., мг	520	73,5	2,0	640	-	4	719,5	+199,5
Вит. Д, МЕ	11,6	1,1	0,01	1,6	-	-	2,7	-8,9
Вит. Е, Мг	465	273	-	1472	-	-	1745	+1280

Исследование питательной ценности рациона коров в период лактации показывает, что расход ЭКЕ на 1 кг молока составляет 1,1, расход СВ на 100 кг живой массы – 3,2 кг, расход ПП на 1 ЭКЕ – 73,2, расход концентратов на 1 кг молока – 0,4 кг. Содержание клетчатки в СВ рациона – 23,8 (при норме для дойных коров продуктивностью от 11 до 20 кг - 27- 24%), содержание жира в % от СВ рациона – 3,3 (нормой отношения в рационах считается 2,5 – 3), сахаро-протеиновое отношение составляет 0,5, отношение Са:Р – 2:1. Тип кормления – силосно-концентратный

Анализ данных о молочной продуктивности коров, отобранных в опытной и контрольной группах, позволяет прийти к выводам, что кормовая добавка «Биатис с гуминовыми кислотами» оказалас положительное влияние на молочную продуктивность коров опытной группы (табл. 3).

Таблица 3 – Показатели молочной продуктивности коров

Показатели	Контрольная группа		Опытная группа	
	на начало опыта	на конец опыта	на начало опыта	на конец опыта
Среднесуточный удой, кг	13,93±0,4	14,07±0,2	14,08±0,31	15,58±0,34**
Кол-во надоенного молока за период опыта, кг		13048,8±67,0		13643,0±85,5
Массовая доля жира, %	3,78±0,02	3,79±0,04	3,79±0,03	3,85±0,03
Массовая доля белка, %	3,26±0,01	3,27±0,01	3,27±0,06	3,50±0,1

Из данных таблицы 3 следует, что среднесуточный удой у коров опытной группы по окончании опыта составил 15,58 кг молока, что выше, чем в контрольной группе на 1,51 кг (10,7%). В целом при анализе количества надоенного молока за весь период опыта разница составила 594,2 кг (5,4 %). В результате исследования были выявлены изменения в показателях массовой доли жира и белка. В экспериментальной группе коров к окончанию опытов массовая доля жира возросла на 1,5 %, в то время как массовая доля белка увеличилась на 7,0 % по сравнению с контрольной группой.

По итогам проведенного эксперимента была рассчитана эффективность использования кормовой добавки, содержащей гуминовые кислоты (табл. 4).

Таблица 3 – Экономическая эффективность

Показатели	Группа	
	контрольная	опытная
Кол-во животных, голов	10	10
Продолжительность опыта, дней	90	90
Среднесуточный удой коров на начало опыта, кг	13,93	14,08
Среднесуточный удой коров на конец опыта, кг	14,07	15,58
Стоимость рациона на 1 голову, руб.	194,91	194,91
Норма расхода концентратра «Биатис с гуминовыми кислотами» на 1 голову, г	-	16
Расход концентратра «Биатис с гуминовыми кислотами» на 1 голову за период эксперимента, г	-	1440
Расход концентратра «Биатис с гуминовыми кислотами» на все поголовье опытной группы за период эксперимента, г	-	14400
Общая стоимость «Биатис с гуминовыми кислотами» за период опыта на все поголовье, руб.	-	6750,00
Общее количество молока за период эксперимента, кг	13048,8	13643,0
Дополнительный выход продукции опытной группы, кг	-	594,2
Цена реализации 1 кг продукции, руб.	45,00	45,00
Доход от реализации основной продукции, руб.	587196,00	613935,0 0
Дополнительный доход от реализации продукции опытной группы, руб.	-	26739,00
Экономическая эффективность от применения концентратра «Биатис с гуминовыми кислотами», руб.	-	19989,00
в том числе на 1 голову, руб.	-	1998,9

Проанализировав таблицу экономической эффективности, можно сделать вывод, что кормовая добавка «Биатис с гуминовыми кислотами» оказала положительное влияние на молочную продуктивность коров. Затраты на кормовую добавку составили 6750,0 рублей на все поголовье и на весь период опыта. Экономический эффект от применения добавки на все поголовье составил 19989,00 рублей, в том числе на 1 голову 1998,9 руб.

Заключение. Проведённые исследования по изучению влияния кормовой добавки «Биатис с гуминовыми кислотами» на молочную продуктивность лактирующих коров показали достоверное повышение молочной продуктивности у животных опытной группы. Отмечается повышение среднесуточных удоев, а также показателей массовой доли жира и массовой доли белка. Во время эксперимента ухудшения физиологического состояния животных не наблюдалось.

Список источников

1. Артеменко К.М., Гордеева А.К. Влияние кормовой добавки «Биатис с гуминовыми кислотами» на молочную продуктивность коров // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всерос. студ. науч.-практ. конф., Иркутск, 17–18 февраля 2022 года. В IV т. п. Молодежный: Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2022. С. 16-19.
2. Михалева Е.В., Гамко Л.Н., Менякина А.Г. Кормовая добавка на основе гуминовых кислот в рационах дойных коров // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 2 (102). С. 46-49.
3. Молочная продуктивность, морфо-биохимические показатели крови дойных коров при скрривании соевой патоки и пробиотической добавки «Бацел-м» / А.М. Щеглов, Л.Н. Гамко, А.Г. Менякина, В.Е. Подольников // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 6 (106). С. 45-48.
4. Морозова А.И., Сверлова Н.Б. влияние кормовой добавки «Ковелос Энергия» на молочную продуктивность новотельных коров // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Иркутск, 05–06 марта 2020 года. Т. IV. п. Молодежный: Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2020. С. 71-77.
5. Уваровская С.А., Сверлова Н.Б. Влияние пробиотика «Биоксимин КОУ» на прирост живой массы телят симментальской породы // Научные исследования студентов в решении актуальных проблем АПК: материалы Всерос. науч.-практ. конф., Иркутск, 05–06 марта 2020 года. Т. IV. п. Молодежный: Иркутский ГАУ им. А.А. Ежевского, 2020. С. 116-123.

Информация об авторах:

К.М. Артеменко – аспирантка, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, akmrussia2001@mail.ru.

А.К. Гордеева – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующая кафедрой кормления, селекции и частной зоотехнии, ФГБОУ ВО Иркутский ГАУ, nastay.gordeeva@mail.ru.

Information about the authors:

K.M. Artemenko - Graduate student, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, akmrussia2001@mail.ru

A.K. Gordeeva - Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Department of Feeding, Breeding and Private Animal Science, Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky, nastay.gordeeva@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 plagiat. 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 21.01.2025, одобрена после рецензирования 30.01.2025, принята к публикации 26.03.2025.

The article was submitted 21.01.2025, approved after reviewing 30.01.2025, accepted for publication 26.03.2025.

© Артеменко К.М., Гордеева А.К.

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

Научная статья
УДК 636.085.62

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ОХЛАЖДЕНИЯ ГРАНУЛ
В ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ КОЛОННЕ ОХЛАЖДЕНИЯ

Анастасия Алексеевна Голикова, Артем Анатольевич Мезенов
ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирская область, Новосибирск, Россия

Аннотация. В статье рассматриваются методы и оборудование для охлаждения гранулированных комбикормов. Определены ключевые характеристики продукта после охлаждения, такие как температура гранулы, уровень влажности внутри гранулы и её прочность. Для каждого параметра установлены нормативные значения. Содержание влаги в грануле не должно превышать 10%, а температура охлаждённой гранулы должна составлять 20–25 градусов Цельсия. Были проанализированы и систематизированы основные типы устройств для охлаждения гранул. Выявлены недостатки охлаждающих колонн, такие как высокое потребление энергии, большие габариты, использование большого количества металла и неравномерное охлаждение гранул по всему объёму. Чтобы решить вышеперечисленные проблемы, мы провели анализ современных исследований и конструкций колонн охлаждения. На основе этого анализа была предложена новая конструкция - вертикальная пневматическая колонна с винтовым рабочим органом. Для создания математической модели процесса охлаждения гранул в вертикальной пневматической колонне мы определили основные факторы, которые влияют на этот процесс, а также уровни их изменения: 1. Количество витков винтового рабочего органа: 3, 4 и 5 витков; 2. Скорость воздушного потока: 20, 22,5 и 25 м/с; 3. Удельная подача материала: 108, 198 и 288 кг/ч. Эти факторы были выбраны с учётом их влияния на процесс охлаждения гранул и обеспечения рациональных условий для проведения эксперимента. Была сконструирована экспериментальная установка, включающая в себя корпус, входной и выходной патрубки, а также три типа винтовых рабочих органов. Кроме того, в установку входят лазерный пиromетр, приёмный бункер с заслонкой, электродвигатель и частотный преобразователь. В результате экспериментальных исследований получена математическая модель процесса охлаждения в исходных переменных. Определены рациональные значения конструктивно-режимных технологических параметров колонны охлаждения: 1) количество витков 4,55; 2) подача материала 0,025 кг/с; 3) скорость воздушного потока 20,77 м/с.

Ключевые слова: вертикальная пневматическая колонна охлаждения, винтовой рабочий орган, количество витков шнека, скорость воздушного потока, подача материала, пиromетр, математическая модель процесса охлаждения, рациональные параметры, полнофакторный эксперимент.

Для цитирования: Голикова А.А., Мезенов А.А. Экспериментальные исследования процесса охлаждения гранул в вертикальной пневматической колонне охлаждения // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 38-45.

Original article

EXPERIMENTAL RESEARCHES OF THE GRANULE COOLING PROCESS IN
A VERTICAL PNEUMATIC COOLING COLUMN

Anastasiya A. Golikova, Artyom A. Mezenov
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk Region, Novosibirsk, Russia

Abstract. The article discusses methods and equipment for cooling granular combined feeds. The key characteristics of the product after cooling, such as the temperature of the granule, the moisture level inside the granule and its strength, have been determined. Standard values are set for each parameter. The moisture contents in the granule should not exceed 10%, and the temperature of the cooled granule should be 20–25 degrees Celsius. The main types of granule cooling devices were analyzed and systematized. The disadvantages of cooling columns, such as high energy consumption, large dimensions, the use of large amounts of metal and uneven cooling of granules throughout the volume, have been identified. To solve the above problems, we conducted an analysis of modern researches and designs of cooling columns. Based on this analysis, a new design was proposed - a vertical pneumatic column with a screw working body. To create a

mathematical model of the granule cooling process in a vertical pneumatic column, we identified the main factors that affect this process, as well as the levels of their change: 1. The number of turns of the screw working body: 3, 4 and 5 turns; 2. Air flow velocity: 20, 22.5 and 25 m/s; 3. Specific material feed: 108, 198 and 288 kg/h. These factors were chosen taking into account their influence on the cooling process of the granules and ensuring rational conditions for the experiment. An experimental installation was constructed, which includes a housing, inlet and outlet pipes, as well as three types of screw working bodies. In addition, the installation includes a laser pyrometer, a receiving hopper with a flap, an electric motor and a frequency converter. As a result of experimental researches, a mathematical model of the cooling process was obtained in the initial variables. The rational values of the design-mode technological parameters of the cooling column are determined: 1) the number of turns is 4.55; 2) the material feed is 0.025 kg/s; 3) the air flow velocity is 20.77 m/s.

Keywords: vertical pneumatic cooling column, screw working body, number of screw turns, air flow velocity, material feed, pyrometer, mathematical model of the cooling process, rational parameters, full-scale experiment.

For citation: Golikova A.A., Mezenov A.A. Experimental researches of the granule cooling process in a vertical pneumatic cooling column / Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. № 3 (109): 38-45.

Введение. В процессе изготовления гранулированных комбикормов исходный материал подвергается воздействию высокого давления и горячего пара. В результате образуются гранулы, температура которых превышает точку кипения воды. Это приводит к активному испарению влаги, сохранившейся внутри гранул [1]. Для сохранения качества готовой продукции необходимо обеспечить эффективное отведение паров. Содержание влаги в гранулированных комбикормах должно соответствовать ГОСТ Р 51899-2002 «Комбикорма гранулированные. Общие технические условия» для разных видов и половозрастных групп животных:

- для кроликов, нутрий, лошадей, крупного рогатого скота - не более 14,0%;
- для птицы, рыбы, поросят-сосунов - не более 13,5%;
- для непродуктивных животных - не более 12,0%;
- для остальных видов и половозрастных групп животных - не более 14,5%.

После выхода с матрицы гранулятора гранулы имеют высокую температуру, которая находится в диапазоне от 80 до 120 градусов по Цельсию, и мягкую структуру. Чтобы гранулы не рассыпались и сохраняли свою форму, необходимо удалить лишнюю влагу и снизить температуру до требуемого уровня.

На агропромышленных предприятиях для охлаждения гранул используются специальные устройства - колонны охлаждения. Существует несколько основных типов таких устройств: вертикальные, ротационные и барабанные [2,3,4].

По проведенным исследованиям существующих конструкций колонн охлаждения и выяснили, что процесс охлаждения у всех типов устройств энергозатратный: до 20 кВт у вертикальных колонн и до 5 кВт у ротационных и барабанных [5]. Существующие конструкции имеют ряд недостатков: они механически воздействуют на продукт, а также не обеспечивают равномерное охлаждение гранул по всему объёму. Это приводит к повышенной крошимости и, как следствие, к браку готовой продукции. Устройства для охлаждения гранул работают по принципу медленного испарения тепла и влаги из центральной части. Согласно установленным нормам, температура охлаждённых гранул не должна превышать температуру окружающей среды более чем на пять градусов. Анализ существующих методов и технологий охлаждения гранулированных комбикормов выявил необходимость совершенствования конструкций колонн. Важно, чтобы увеличение времени пребывания продукта в колонне происходило без повышения металлоёмкости и энергозатрат (Мигачев Н.А., Горшков В.В. Исследование аэродинамических свойств гранулированных кормов в процессе сепарирования и охлаждения // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: сб. науч. тр. Рязань, 2002. № 6. С. 72-74) [6,7].

Решением вышеописанных проблем является движение воздушно-зернового потока по винтовому рабочему органу. В результате происходит равномерное охлаждение всего объема продукта, а также снижение крошимости гранул до установленных норм температуры и влажности. Предлагается конструкция вертикальной пневматической колонны охлаждения с винтовым рабочим органом [8].

Для более глубокого понимания и обоснования рациональных конструктивно-технологических параметров процесса охлаждения гранулированных комбикормов необходимо изучить влияние взаимодействия таких факторов как: количество витков винтового рабочего органа, скорость воздушного потока и подача материала на конечную температуру гранулы.

Целью исследования является определение рациональных параметров процесса охлаждения гранулированных комбикормов в вертикальной пневматической колонне охлаждения.

Задачи исследования:

1. Получение математической модели процесса охлаждения гранул на основе результатов экспериментальных исследований;

2. Определение рациональных параметров процесса охлаждения гранул в вертикальной пневматической колонне охлаждения.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования является вертикальная пневматическая колонна охлаждения, оснащённая винтовым рабочим органом. Основными методами исследования выбраны экспериментальный и теоретический.

Для подтверждения основных теоретических положений исследования и выявления рациональных параметров процесса охлаждения гранулированных комбикормов в этой колонне были проведены экспериментальные исследования. Программа этих исследований включала в себя несколько ключевых этапов:

1. Анализ влияния различных факторов на процесс охлаждения гранул в колонне.

2. Выбор оптимального плана проведения многофакторного эксперимента с установлением уровней и интервалов варьирования исследуемых параметров.

3. Разработка экспериментальной установки для лабораторных исследований, которая позволит эффективно охладить гранулы.

4. Определение рациональных технологических параметров колонны охлаждения гранул.

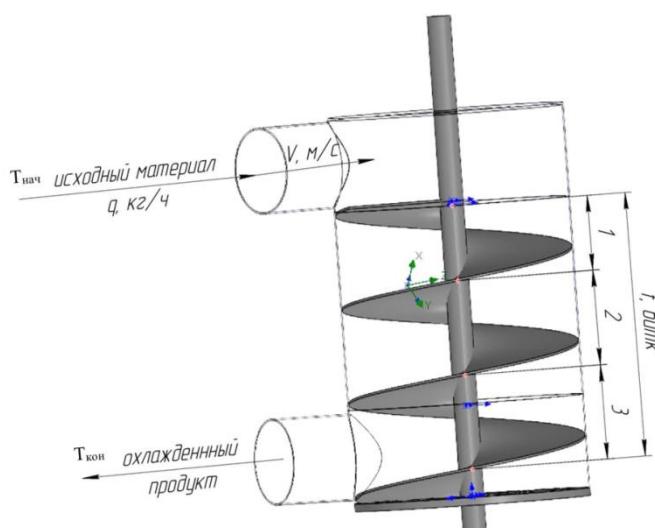


Рисунок 1 - Факторы, влияющие на процесс охлаждения в колонне

В общем виде математическая модель пневматической колонны охлаждения может быть представлена в виде функции с большим количеством переменных, которые влияют на эффективность процесса охлаждения.

Выходным параметром, т.е. откликом системы является конечная температура гранул $T_{кон}$. Проведя анализ литературы и результаты лабораторных исследований, мы определили наиболее важные факторы, которые влияют на процесс охлаждения (рис.1):

- количество витков рабочего органа, t ;
- скорость воздушного потока, V ;
- подача материала, q .

Уровни факторов эксперимента приведены в таблице 1.

Таблица 1 - Уровни факторов экспериментов

Факторы	Условные обозначения	Код	Уровни факторов			Интервал варьирования
			-1	0	+1	
Количество витков рабочего органа, t	t	X_1	3	4	5	1
Скорость воздушного потока, V м/с	V	X_2	20	22,5	25	2,25
Подача материала, q кг/ч	q	X_3	108	198	288	90

Для того чтобы определить нужную область исследований, а также количество экспериментов, необходимых для поиска рациональных параметров и режимов охлаждения гранул, были применены методы планирования и анализа результатов экспериментов. Эти методы позволяют проводить

исследования с высокой точностью, исключая заведомо неэффективные и неудобные режимы, что способствует экономии ресурсов и времени.

Для обработки результатов экспериментальных исследований и определения рациональных конструктивно-технологических параметров процесса охлаждения в колонне выбран полином первого порядка, который имеет вид (1):

$$Y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + b_3 x_3 + b_{12} x_1 x_2 + b_{13} x_1 x_3 + b_{23} x_2 x_3 + b_{123} x_1 x_2 x_3 \quad (1)$$

где $b_0, b_1, b_2, b_3, b_{12}, b_{13}, b_{23}, b_{123}$ – коэффициенты уравнения регрессии.

Пневматическая колонна охлаждения состоит из входного патрубка, корпуса со встроенным шнеком и выходного патрубка. Также в конструкцию входит электродвигатель с вентилятором и частотный преобразователь для регулировки скорости воздушного потока (рис. 2).

Принцип работы экспериментальной колонны охлаждения основан на движении воздушного потока с гранулами по спиральным лопастям шнека. Тёплый воздух выходит через отверстия в отводящей трубе и поднимается вверх. Охлаждённые гранулы выводятся через выходной патрубок. Для контроля скорости воздушного потока используется частотный преобразователь, подключённый к вентилятору. Измерение скорости воздушного потока осуществляется при помощи системы измерения скорости. Шиберная заслонка, изменяя своё положение, регулирует подачу исходного материала. Условия проведения экспериментальных исследований: температура окружающей среды 23°C и начальная температура гранул $T_{\text{нач}} = 80\text{-}90^{\circ}\text{C}$.

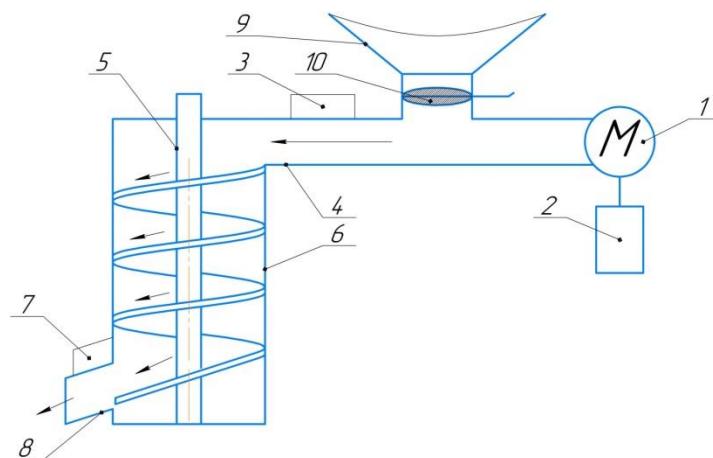


Рисунок 2 – Схема экспериментальной установки колонны охлаждения гранул:

- 1 – вентилятор; 2 – частотный преобразователь; 3 – система считывания скорости воздуха на входном патрубке; 4 – входной патрубок; 5 – винтовой рабочий орган; 6 – корпус колонны охлаждения; 7 – система считывания скорости воздуха на выходном патрубке; 8 – выходной патрубок; 9 – приемный бункер; 10 – шиберная заслонка

В качестве рабочих органов разработаны и изготовлены 3 вида шнеков: 1) шнек с 3 витками высотой 376 мм и диаметром 300 мм; 2) шнек с 4 витками высотой 376 мм и диаметром 300 мм; 3) шнек с 5 витками высотой 376 мм и диаметром 300 мм (рис. 3).

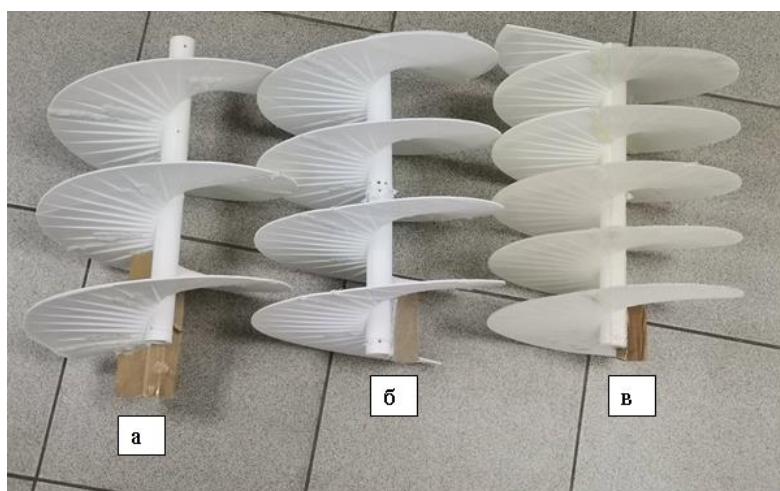


Рисунок 3 - Винтовые рабочие органы: а – 3 витка; б – 4 витка; в – 5 витков

Измерение конечной температуры гранулы проводилось с использованием пирометра Optis MS (рис. 4).



Рисунок 4 - Пирометр Optis MS

Технические характеристики пирометра указана в таблице 2.

Таблица 2 - Технические характеристики анемометра Testo 405i.

Параметр	Значение
Измеряемая температура	от -32 до +420 °C
Рабочая температура	от 0 до +50 °C
Точность	± 1 град./±1%
Принцип измерения	инфракрасный

Результаты исследований. На основе поставленных задач в статье, проведены экспериментальные исследования вертикальной пневматической колонны охлаждения, режим которой обеспечивал охлаждение гранул до температуры окружающей среды +5°C, а также сохранение целостности гранул.

На основе проведённых экспериментальных исследований процесса охлаждения гранул в вертикальной пневматической колонне с учётом выбранных факторов и их уровней варьирования были получены следующие результаты (табл. 3).

Таблица 3 - Результаты экспериментальных исследований

№ опыта	X ₁	X ₂	X ₃	Y ₁	Y ₂	Y ₃	\bar{Y}	S ² (Y _u)
1	-1	-1	-1	27,4	27,8	27,5	27,56	0,0434
2	-1	-1	+1	26,8	26,4	27,2	26,8	0,16
3	-1	+1	-1	27,0	28,0	27,4	27,46	0,2534
4	-1	+1	+1	28,4	28,8	28,0	28,4	0,16
5	+1	-1	-1	24,0	24,4	24,4	24,26	0,0534
6	+1	-1	+1	24,4	24,6	24,0	24,3	0,095
7	+1	+1	-1	24,8	25,6	25,2	25,2	0,16
8	+1	+1	+1	24,6	25,0	24,6	24,73	0,0534
9	+1	0	0	25,6	26,2	25,0	25,6	0,36
10	-1	0	0	26,8	27,8	27,4	27,33	0,2534
11	0	+1	0	25,8	26,2	26,0	26,0	0,04
12	0	-1	0	25,4	25,2	25,6	25,4	0,04
13	0	0	+1	25,0	25,4	24,0	24,8	0,52
14	0	0	-1	24,2	25,0	25,4	24,86	0,3734
15	0	0	0	25,6	26,0	25,4	25,66	0,0934
$\sum S^2(Y_u)$								0,1773

По результатам полнофакторного эксперимента регрессионная математическая модель первого порядка примет вид (2):

$$y = 25,89 - 1,346X_1 + 0,347X_2 - 0,031X_3 - 0,0163X_1X_2 - 0,0763X_1X_3 + 0,1488X_2X_3 - 0,2763X_1X_2X_3 \quad (2)$$

Математическая модель регрессии в исходных переменных выглядит следующим образом (3):
 $T = 54,13 - 7,095t - 1,03V - 490,64q + 0,26tV + 107,47tq + 22,07qV - 4,86tVq \quad (3)$

Для определения табличного значения критерия Фишера зададимся допустимой вероятностью: P_F = 0,95. С учетом этого, а также числа степеней свободы числителя f₁ = 15-8= 7 и знаменателя f₂ = 30 по таблице определяем критическое значение критерия Фишера: F_T = 2,33. Отсюда можно сделать вывод что, критерий Фишера расчетный F_p равный 2,09 меньше критерия Фишера табличного F_{табл}, а значит, уравнение регрессии можно признать адекватным. Это говорит о том, что модель (2) и, следовательно, (3) адекватно описывает данные эксперимента.

Для анализа полученной математической модели с помощью программы «Statistica 10» были построены зависимости, которые представлены в виде графической проекции и поверхности отклика. На поверхности отклика взаимосвязи количества витков и скорости воздушного потока (рис. 5) видно, что при увеличении количества витков шнека с 3 до 5 витков при изменении скорости воздушного потока с 25 до 20 м/с происходит уменьшение температуры на с 28,4°C до 24,3°C.

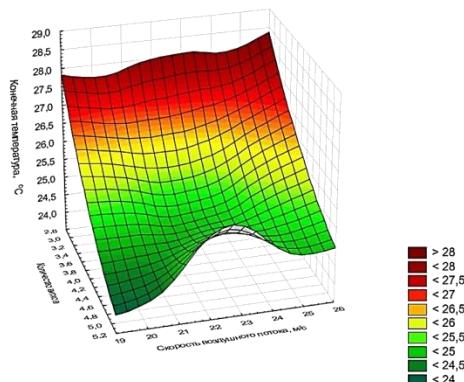


Рисунок 5 - Поверхность отклика взаимосвязи скорости воздушного потока и количества витков

На поверхности отклика взаимосвязи количества витков и подачи материала (рис. 6), видно, что при увеличении количества витков шнека с 3 до 5 и при минимальной подаче 108 кг/ч и максимальной подаче 288 кг/ч температура гранул падает до 24,5°C, однако при средней подаче в 198 кг/ч температура достигает не более 25,5°C.

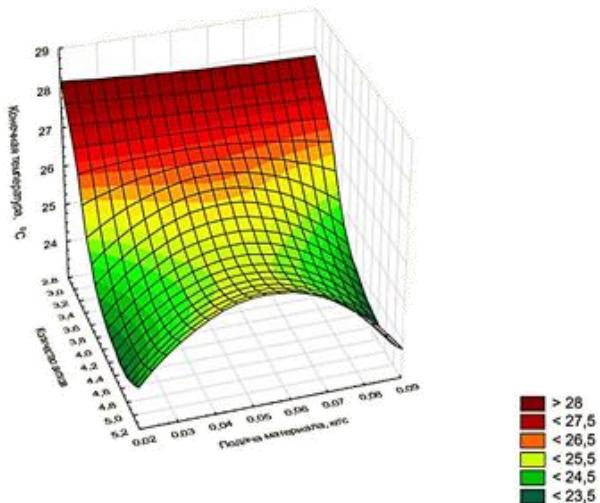


Рисунок 6 - Поверхность отклика взаимосвязи количества витков и подачи материала

На поверхности отклика взаимосвязи подачи материала и скорости воздушного потока (рис. 7), видно, что при средней скорости воздушного потока 22,5 м/с и при минимальной подаче 108 кг/ч и максимальной подаче 288 кг/ч температура гранул достигает не более 24,6 °C.

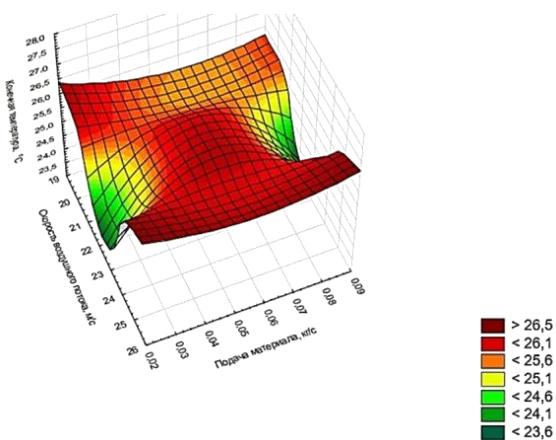


Рисунок 7 - Поверхность отклика взаимосвязи подачи материала и скорости воздушного потока

На основе полученных поверхностей отклика (рис. 5-7), можно сделать вывод что, на эффективность охлаждения гранул влияет взаимосвязь факторов скорости воздушного потока с количеством витков винтового рабочего органа. Взаимосвязь фактора подачи материала с двумя другими факторами на эффективность процесса охлаждения практически не влияет, так как на поверхностях отклика отсутствуют значения оптимума.

Адекватность математической модели, описывающей процесс охлаждения гранул, можно отобразить на сравнительном графике экспериментальных и расчетных значений температуры гранул на рисунке 8.

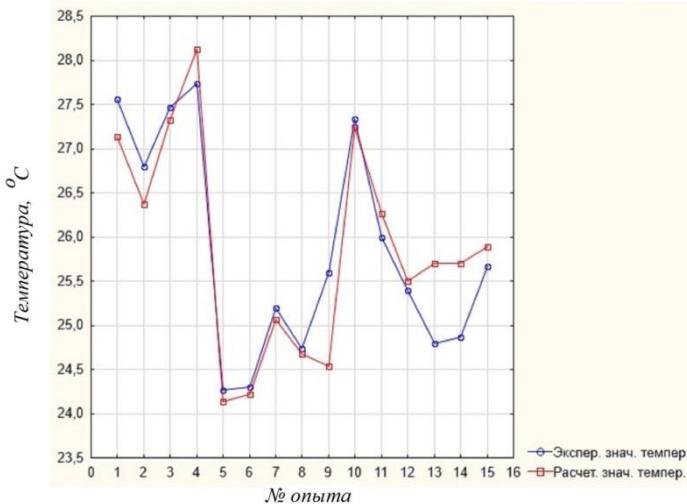


Рисунок 8 - Сравнительный график экспериментальных и расчетных значений температуры гранул

Так как математическая модель (3) адекватно описывает процесс охлаждения гранул в пневматической колонне охлаждения, необходимо найти рациональные значения количества витков рабочего органа, скорость воздушного потока и подачу материала при которых значение температуры гранулы будет минимальным. Для этого необходимо продифференцировать уравнение регрессии (2).

Отсюда получаем рациональные значения факторов: $t = 4,55$, $V=20,77$ м/с, $q=108$ кг/ч.

Подставим рациональные значения факторов в математическую модель (4) и получим минимальное значение температуры гранулы:

$$T = 54,13 - 7,095 \cdot 4,55 - 1,03 \cdot 20,77 - 490,64 \cdot 0,023 + 0,26 \cdot 4,55 \cdot 20,77 + 107,47 \cdot 4,55 \cdot 0,023 + 22,07 \cdot 0,023 \cdot 20,77 - 4,86 \cdot 4,55 \cdot 20,77 \cdot 0,023 = 24,97^{\circ}\text{C} \quad (4)$$

При подстановке рациональных значений основных факторов в математическую модель процесса охлаждения гранул в вертикальной пневматической колонне охлаждения полученная конечная температура $24,97^{\circ}\text{C}$ при количестве витков 4,55, скорости воздушного потока 20,77 и подаче материала 108 кг/ч.

Выводы. Полученные экспериментальные данные позволяют сделать следующие выводы:

1. Обоснованы рациональные конструктивно-технологические параметры вертикальной пневматической колонны охлаждения. Получена математическая модель для оценки эффективности процесса охлаждения гранулированных комбикормов в вертикальной пневматической колонне охлаждения:

$$T = 54,13 - 7,095t - 1,03V - 490,64q + 0,26tV + 107,47tq + 22,07qV - 4,86tVq$$

2. Определены рациональные значения конструктивно-режимных технологических параметров колонны охлаждения: 1) количество витков 4,55; 2) подача материала 108 кг/ч; 3) скорость воздушного потока 20,77 м/с.

Список источников

1. Фомина С.В., Михайлюк Е.Н., Ковшова Н.А. Охлаждение экструдированных кормов в системе пневмотранспорта // Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года: сб. ст. по материалам междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 75-летию Курганской ГСХА им. Т.С. Мальцева. Курган, 2019. С. 368-373.

2. Голикова А.А., Мезенов А.А. Анализ недостатков вертикальных конструкций колонн охлаждения в технологической линии приготовления гранулированных кормов // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. тр. науч.-практ. конф. препод., асп., маг. и студ. Новосибирского ГАУ. Новосибирск, 2021. № 6. С. 16-20.

3. Марченко В.И., Герасимов Е.В., Грицай Д.И. Анализ технологического процесса сушки и охлаждения гранул // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сб. науч. тр. инженерно-технологического факультета по материалам 18-й междунар. науч.-практ. конф. Ставрополь, 2022. С. 120-125.
4. Голикова А.А., Мезенов А.А. Анализ конструкций колонн охлаждения гранулированных коромыслов // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сб. науч. ст. междунар. науч.-практ. конф. Мн., 2022. С. 518-520.
5. Голикова А.А., Мезенов А.А. Анализ эксплуатационных характеристик технологической линии гранулирования комбикормов // Состояние и инновации технического сервиса машин и оборудования: материалы XV междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти доцента М.А. Анфиногенова. Новосибирск, 2023. С. 272-274.
6. Теоретические и экспериментальные исследования работы аэрационного сепаратора-охладителя / М.А. Фомичев, В.В. Морозов, В.Г. Игнатенков и др. // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы XVIII междунар. науч.-практ. конф. Великие Луки, 2023. С. 156-168.
7. Анализ конструкций установок для охлаждения гранул / М.А. Фомичев, В.В. Морозов, В.Г. Игнатенков и др. // Роль науки в развитии современного АПК: материалы регион. конф. Великие Луки: Великолукская ГСХА, 2022. С. 92-97.
8. Пневматическая колонна охлаждения сыпучих материалов: пат. 2834994 С1 Рос. Федерации / Голикова А.А., Голиков А.И., Мезенов А.А. - №2024114722; заявл. 30.05.2024; опубл. 20.02.2025.

Информация об авторах:

А.А. Голикова - ассистент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, anastasiyaabarinova@mail.ru.

А.А. Мезенов – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, artemnsau@mail.ru.

Information about the authors:

A.A. Golikova - Assistant of the Department mechanization of animal husbandry and processing of agricultural products, Novosibirsk State Agrarian University, anastasiyaabarinova@mail.ru.

A.A. Mezenov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products, Novosibirsk State Agrarian University, artemnsau@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 plagiat. 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 06.02.2025, одобрена после рецензирования 19.02.2025, принята к публикации 10.04.2025.

The article was submitted 06.02.2025, approved after reviewing 19.02.2025, accepted for publication 10.04.2025.

© Голикова А.А., Мезенов А.А.

Научная статья
УДК 631.365.22

ТЕМПЕРАТУРА СУШИЛЬНОГО АГЕНТА ПРИ ЕГО РЕЦИРКУЛЯЦИИ В МОДУЛЬНОЙ СУШИЛКЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО НАГРЕВА

Алексей Иванович Купреенко, Дмитрий Александрович Безик, Хафиз Мубариз-оглы Исаев,
Татьяна Васильевна Панова, Олег Алексеевич Купреенко, Андрей Григорьевич Ялоза
ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Особенностью сушилок аэродинамического нагрева является циркуляция сушильного агента по замкнутому контуру с частичным сбросом увлажненного сушильного агента и подсосом такого же количества атмосферного воздуха. Предварительные испытания модульной сушилки на сушке зерна показали, что для повышения температуры сушильного агента необходимо организовать его рециркуляцию не только по внешнему контуру – от сушильной шахты до камеры смешивания, но и внутри камеры смешивания рециркулирующего агента и подсасываемого атмосферного воздуха. При этом возникает задача определения температуры сушильного агента в данных условиях. Разработана структурно-функциональная схема модульной сушилки аэродинамического нагрева при организации двухконтурной рециркуляции сушильного агента. Циркуляционные каналы сушильной камеры, используемые в режиме сушки плодово-ягодного сырья, в режиме сушки зерна образуют внутренний контур рециркуляции, перекрытый в нижней части поворотными заслонками, закрепленными на боковых стенках сушильной камеры. Это обеспечивает необходимый подпор для нормальной работы пневмотранспортера. В верхней части циркуляционных каналов заслонки приоткрыты, что создает внутренний контур рециркуляции сушильного агента. Смешанный сушильный агент ротором-нагревателем подается в сушильную шахту и далее увлажненный после контакта с зерном по внешнему контуру рециркуляции возвращается в камеру смешивания. Увеличение расхода воздуха за счет внутреннего контура рециркуляции приводит к росту потребляемой мощности на привод ротора-нагревателя, а, следовательно, к увеличению преобразования электрической энергии в тепловую. Для определения температуры сушильного агента в рассматриваемом варианте работы модульной сушилки аэродинамического нагрева составлено уравнение ее теплового баланса. Построена зависимость температуры сушильного агента в процессе сушки. Анализ полученных результатов показал, что примерно за два часа процесса сушки температура сушильного агента достигает значения близкого к максимальному, равному 117 °C. Далее температура сушильного агента стабилизируется, и процесс сушки выходит на стационарный режим. Таким образом, полученная на основании теплового баланса сушилки зависимость позволяет прогнозировать температуру сушильного агента при организации его двухконтурной рециркуляции в модульной сушилке аэродинамического нагрева. Поскольку в стационарном режиме сушки температура сушильного агента будет в пределах 60...80 °C, что соответствует температуре сушильного агента при сушке семенного зерна, то данную сушилку целесообразно использовать именно в данных целях.

Ключевые слова: аэродинамический нагрев, сушильный агент, коэффициент рециркуляции, тепловой баланс, сушка зерна

Для цитирования: Температура сушильного агента при его рециркуляции в модульной сушилке аэродинамического нагрева / А.И. Купреенко, Д.А. Безик, Х.М. Исаев и др. // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 46-53.

Original article

TEMPERATURE OF THE DRYING AGENT DURING ITS RECIRCULATION IN AERODYNAMIC HEATING MODULAR DRYER

Alexei I. Kupreenko, Dmitri A. Bezik, Hafiz M. Isaev, Tat'yana V. Panova, Oleg A. Kupreenko,
Andrei G. Yaloza
Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The special feature of aerodynamic heating dryers is the circulation of the drying agent in a closed contour with partial discharge of the humidified drying agent and suction of the same amount of atmospheric air. Preliminary tests of a modular grain dryer have shown that in order to increase the temperature of the drying agent, it is necessary to organize its recirculation not only along the external contour – from the drying shaft to the mixing chamber, but also inside the mixing chamber of the recirculating agent and the sucked atmospheric air. In this case, the task arises of determining the temperature of the drying agent under these conditions. A structural and functional scheme of a aerodynamic heating modular dryer

has been developed for the organization of two-circuit recirculation of the drying agent. The circulation channels of the drying chamber used in the drying mode of fruit and berry raw materials, in the grain drying mode, form an internal recirculation contour, blocked in the lower part by rotary flaps mounted on the side walls of the drying chamber. This provides the necessary support for the normal operation of the pneumatic conveyor. In the upper part of the circulation channels, the flaps are slightly open, which creates an internal recirculation contour of the drying agent. The mixed drying agent is fed into the drying shaft by a rotor heater and then moistened after contact with the grain through the external recirculation contour returns to the mixing chamber. An increase in air consumption due to the internal recirculation contour leads to an increase in power consumption for the drive of the rotor heater, and, consequently, to an increase in the conversion of electrical energy into thermal energy. To determine the temperature of the drying agent in the considered version of the aerodynamic heating modular dryer, an equation of its thermal balance has been compiled. The dependence of the temperature of the drying agent during the drying process is constructed. The analysis of the results showed that in about two hours of the drying process, the temperature of the drying agent reaches a value close to the maximum, equal to 117 ° C. Further, the temperature of the drying agent is stabilized, and the drying process goes into a stationary mode. Thus, the dependence obtained on the basis of the thermal balance of the dryer makes it possible to predict the temperature of the drying agent when organizing its two-contour recirculation in a modular aerodynamic heating dryer. Since in the stationary drying mode the temperature of the drying agent will be within 60 ... 80 ° C, which corresponds to the temperature of the drying agent when drying seed grains, it is advisable to use this dryer for these purposes.

Keywords: aerodynamic heating, drying agent, recirculation coefficient, thermal balance, grain drying

For citation: Temperature of the drying agent during its recirculation in aerodynamic heating modular dryer/ A.I. Kupreenko, D.A. Bezik, H.M. Isaev et al. // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. 3 (109): 46-53.

Введение. В связи с развитием садоводства в Брянской области (Ториков В.Е., Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф. Перспективы развития садоводства в Брянской области // Вестник Брянской ГСХА. 2015. № 5 (51). С. 3-8; Белоус Н.М., Евдокименко С.Н. Результаты сотрудничества ученых Брянского ГАУ и Кокинского опорного пункта ВСТИСП по развитию садоводства // Вестник Брянской ГСХА. 2018. № 1 (65). С. 15-22) было предложено использовать для сушки продукции перспективный вид сушильных установок – сушилки аэродинамического нагрева. Особенностью сушилок аэродинамического нагрева является циркуляция сушильного агента по замкнутому контуру с частичным сбросом увлажненного сушильного агента и подсосом такого же количества атмосферного воздуха (Тевис П.И., Ананьев В.А., Шадек Е.Г. Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева / под общ. ред. Е.Г. Шадека. М.: Машиностроение, 1986. 208 с.) [1,2].

Подсасываемый атмосферный воздух может подогреваться в теплообменнике, использующем как теплоту солнечной энергии, так и сбрасываемого отработанного сушильного агента [3-5].

Предварительные испытания модульной сушилки на сушке зерна [6-8] показали, что для повышения температуры сушильного агента необходимо организовать его рециркуляцию не только по внешнему контуру – от сушильной шахты до камеры смешивания (рис. 1 *a, b*), но и внутри камеры смешивания рециркулирующего агента и подсасываемого атмосферного воздуха (рис. 1 *c*).

При этом возникает задача определения температуры сушильного агента в данных условиях.



Рисунок 1 - Модульная сушилка аэродинамического нагрева: *a, b* – внешний контур рециркуляции; *c* – внутренний контур рециркуляции

Цель исследования: установление зависимости температуры сушильного агента в модульной сушилке аэродинамического нагрева при организации его двухконтурной рециркуляции.

Материалы и методы. На рисунке 2 представлена структурно-функциональная схема модульной сушилки аэродинамического нагрева при организации двухконтурной рециркуляции сушильного агента.

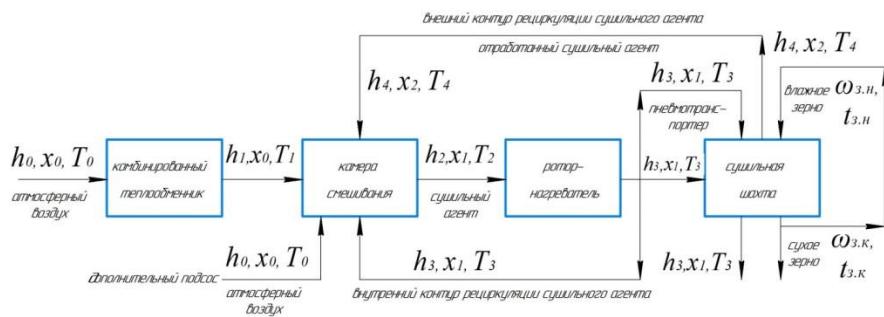


Рисунок 2 - Структурно-функциональная схема модульной сушилки аэродинамического нагрева

Сушилка работает следующим образом. Загрузочным шнековым транспортером зерно подается в сушильную шахту и, распределяясь между подающими и отводящими сушильный агент коробами, под действием силы тяжести движется вниз к бесприводному выгрузному устройству пневмотранспортера.

Атмосферный воздух, проходя через комбинированный теплообменник, подогревается за счет теплообмена с тепловоспринимающей поверхностью солнечного коллектора комбинированного теплообменника и через штатные отверстия в сушильной камере для подсоса воздуха в режиме сушки плодово-ягодного сырья поступает в камеру смешивания с рециркулирующим отработанным сушильным агентом.

Для обеспечения требуемого расхода сушильного агента в режиме сушки зерна организован подсос атмосферного воздуха в камеру смешивания за счет дополнительного отверстия в камере (рис. 1 b).

Циркуляционные каналы сушильной камеры, используемые в режиме сушки плодово-ягодного сырья, в режиме сушки зерна образуют внутренний контур рециркуляции, перекрытый в нижней части поворотными заслонками, закрепленными на боковых стенках сушильной камеры (рис. 3). Это обеспечивает необходимый подпор для нормальной работы пневмотранспортера.

В верхней части циркуляционных каналов заслонки приоткрыты, что создает внутренний контур рециркуляции сушильного агента.

Смешанный сушильный агент ротором-нагревателем подается в сушильную шахту и далее увлажненный после контакта с зерном по внешнему контуру рециркуляции возвращается в камеру смешивания. Часть нагнетаемого сушильного агента используется для работы пневмотранспортера, обеспечивающего при необходимости рециркуляцию влажного зерна в сушильной шахте, либо выгрузку высушенного зерна. Часть сушильного агента постоянно циркулирует по внутреннему контуру рециркуляции. Увеличение расхода воздуха за счет внутреннего контура рециркуляции приводит к росту потребляемой мощности на привод ротора-нагревателя, а, следовательно, к увеличению преобразования электрической энергии в тепловую.



Рисунок 3 - Внутренний контур рециркуляции: а – вид на нижнюю заслонку; б – вид на верхнюю заслонку

Для определения температуры сушильного агента в рассматриваемом варианте работы модульной сушилки аэродинамического нагрева составим уравнение ее теплового баланса по аналогии с (Уравнение теплового баланса воздушного гелиоколлектора с аккумулятором теплоты / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев, Х.М. Исаев и др. // Тракторы и сельхозмашины. 2016. № 4. С. 33-36).

Уравнение теплового баланса сушилки за бесконечно малый промежуток времени dt :

$$dQ_{\text{кт}} + dQ_{\text{под}} + dQ_{\text{пн}} = dQ_{\text{зеп}} + dQ_{\text{п}} + dQ_{\text{ст}} + dQ_{\text{пт}}, \text{кДж}, \quad (1)$$

где $dQ_{\text{кт}}$ - количество теплоты, воспринятой сушильным агентом (атмосферным воздухом) в комбинированном теплообменнике; $dQ_{\text{под}}$ - количество теплоты, поступившей с подсасываемым атмосферным воздухом; $dQ_{\text{рн}}$ - количество теплоты, полученной в рабочей камере ротора-нагревателя; $dQ_{\text{зеп}}$ - количество теплоты, идущей на нагрев зерна; dQ_{n} - потери теплоты в окружающую среду через ограждения сушильной шахты; $dQ_{\text{ст}}$ - количество теплоты, идущей на нагрев стенок и коробов сушильной шахты; $dQ_{\text{пн}}$ - потери теплоты с воздушным потоком пневмотранспортера сушилки.

Определим выражения составляющих теплового баланса.

Количество теплоты, воспринятой сушильным агентом (атмосферным воздухом) в комбинированном теплообменнике

$$dQ_{\text{кт}} = L_0 h_1 dt = (L_{\text{пв}} + L_{\text{пн}}) h_1 dt, \quad (2)$$

где L_0 – расход атмосферного воздуха, кг с.в./с; h_1 – энтальпия подогретого атмосферного воздуха, кДж/кг с.в.; $L_{\text{пв}}$ – расход атмосферного воздуха через верхний подсос, кг с.в./с; $L_{\text{пн}}$ – расход атмосферного воздуха через нижний подсос, кг с.в./с.

Энтальпия подогретого атмосферного воздуха может быть представлена в виде (Акулич П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок. Мин.: Беларус. Навука, 2010. 443 с.):

$$h_1 = c_0 T_1 + x_0 (r_0 + c_{\text{n}} T_1), \quad (3)$$

где c_0 - теплоёмкость сухого воздуха, кДж/(кг·°C); T_1 – температура подогретого атмосферного воздуха на выходе из комбинированного теплообменника, °C; x_0 – начальное влагосодержание сушильного агента (атмосферного воздуха), кг/кг; r_0 – удельная теплота парообразования при температуре 0 °C, кДж/кг; c_{n} – теплоёмкость пара, кДж/(кг·°C).

Примем, что температура подогретого атмосферного воздуха на выходе из комбинированного теплообменника находится в прямой зависимости от его исходной температуры, т.е.:

$$T_1 = a_1 T_0 + b_1, \quad (4)$$

где a_1, b_1 - эмпирические коэффициенты; T_0 - температура окружающей среды в период сушки, °C.

Подставим выражения (3) и (4) в (2), проведем преобразования и получим:

$$dQ_{\text{кт}} = k_0 dt \quad (5)$$

где

$$k_0 = (L_{\text{пв}} + L_{\text{пн}})(c_0(a_1 T_0 + b_1) + x_0(r_0 + c_{\text{n}}(a_1 T_0 + b_1))). \quad (6)$$

Количество теплоты, поступившей с подсасываемым атмосферным воздухом

$$dQ_{\text{под}} = L_{\text{под}} h_0 dt = k_1 dt \quad (7)$$

где $L_{\text{под}}$ – расход подсасываемого атмосферного воздуха, кг/с;

h_0 - энтальпия подсасываемого атмосферного воздуха, кДж/кг с.в.;

$$k_1 = L_{\text{под}}(c_0 T_0 + x_0(r_0 + c_{\text{n}} T_0)) \quad (8)$$

Количество теплоты, полученной в рабочей камере ротора-нагревателя

$$dQ_{\text{рн}} = N(1 - \eta)dt = k_2 dt, \quad (9)$$

где N – мощность привода ротора-нагревателя, кВт; η – КПД ротора-нагревателя;

$$k_2 = N(1 - \eta) \quad (10)$$

Количество теплоты, идущей на нагрев зерна

$$dQ_{\text{зеп}} = M_3 c_3 dT_{\text{зеп}}, \quad (11)$$

где M_3 – масса зерна в сушильной шахте, кг; c_3 – теплоемкость зерна, кДж/(кг·°C); $T_{\text{зеп}}$ – температура зерна, °C.

Примем, что температура зерна находится в прямой зависимости от температуры сушильного агента, т.е.:

$$T_{\text{зеп}}(t) = a_2 T_3(t) + b_2, \quad (12)$$

где a_2, b_2 - эмпирические коэффициенты; $T_3(t)$ - температура сушильного агента, °C.

Тогда

$$dT_{\text{зеп}} = a_2 dT_3(t). \quad (13)$$

С учетом выражения (13) зависимость (11) будет иметь вид:

$$dQ_{\text{зеп}} = M_3 c_3 a_2 dT_3(t) = k_3 dT_3(t), \quad (14)$$

где

$$k_3 = M_3 c_3 a_2. \quad (15)$$

Потери теплоты в окружающую среду через ограждения сушильной шахты

$$dQ_{\text{n}} = k F(T_{\text{ст}}(t) - T_0) dt, \quad (16)$$

где k – коэффициент теплопередачи через стенки сушильной шахты, кВт/(м²·°C); F – площадь наружной поверхности сушильной шахты, м²; $T_{\text{ст}}(t)$ - температура стенок комбинированного теплообменника в зависимости от времени в период сушки, °C.

Примем, что температура стенок и коробов сушильной шахты находится в прямой зависимости от температуры сушильного агента, т.е.:

$$T_{ct}(t) = a_{ct} T_3(t) + b_{ct}, \quad (17)$$

где a_{ct} , b_{ct} - эмпирические коэффициенты.

Выражение (16) с учетом зависимости (17) будет иметь вид:

$$dQ_n = kFa_{ct}T_3(t)dt + k_4dt \quad (18)$$

где

$$k_4 = kF(b_{ct} - T_0). \quad (19)$$

Количество теплоты, идущей на нагрев стенок и коробов сушильной шахты,

$$dQ_{ct} = M_{ct}c_{ct}dT_{ct}, \quad (20)$$

где M_{ct} - масса стенок и коробов сушильной шахты, кг; c_{ct} - теплоёмкость материала стенок и коробов сушильной шахты, кДж/(кг·°C); dT_{ct} - приращение температуры стенок и коробов сушильной шахты, °C.

Из выражения (17)

$$dT_{ct} = a_{ct}dT_3(t). \quad (21)$$

С учетом выражения (21) зависимость (20) будет иметь вид:

$$dQ_{ct} = M_{ct}c_{ct}a_{ct}dT_3(t) = k_5dT_3(t), \quad (22)$$

где

$$k_5 = M_{ct}c_{ct}a_{ct} \quad (23)$$

Потери теплоты с воздушным потоком пневмотранспортера сушилки

$$dQ_{pt} = L_{pt}h_3(t)dt, \quad (24)$$

где $h_3(t)$ - энталпия сушильного агента, кДж/кг с.в.

Энталпия сушильного агента

$$h_3(t) = c_0T_3(t) + x_p(r_0 + c_nT_3(t)), \quad (25)$$

где x_p – влагосодержание сушильного агента, кг/кг.

Влагосодержание сушильного агента при его рециркуляции (Акулич П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок. Минск: Беларусь. Наука, 2010. 443 с.)

$$x_p = \frac{x_h + k_p x_k}{k_p + 1}. \quad (26)$$

Выражение (24) с учетом зависимостей (25) и (26) будет иметь вид:

$$dQ_{pt} = L_{pt}(c_0T_3(t) + \frac{r_0 + c_nT_3(t)}{k_p + 1}(x_h + k_p x_k))dt. \quad (27)$$

Тогда, подставив выражения составляющих теплового баланса (5), (7), (9), (14), (18), (22) и (27) в уравнение (1), после преобразований получим:

$$k_8T_3(t)dt + k_{10}x_kT_3(t)dt + k_7dT_3(t) + k_9x_kdt - k_6dt = 0, \quad (28)$$

где

$$k_6 = k_0 + k_1 + k_2 - L_{pt}\frac{r_0x_h}{k_p+1} - k_4; \quad (29)$$

$$k_7 = k_3 + k_5; \quad (30)$$

$$k_8 = kFa_{ct} + L_{pt}(c_0 + \frac{c_nx_h}{k_p+1}); \quad (31)$$

$$k_9 = L_{pt}\frac{r_0k_p}{k_p+1} \quad (32)$$

$$k_{10} = L_{pt}\frac{c_nk_p}{k_p+1}. \quad (33)$$

В полученную зависимость (28) входит влагосодержание отработанного сушильного агента x_k , которое имеет переменное значение на протяжении процесса сушки.

На основании (Акулич П.В. Расчеты сушильных и теплообменных установок. Минск: Беларусь. Наука, 2010. 443 с.) влагосодержание отработанного сушильного агента можно определить по формуле:

$$x_k = \frac{h_3(t) - x_h\Delta - c_0T_{sep,k}(t)}{-\Delta + c_nT_{sep,k}(t) + r_0}, \quad (34)$$

где Δ – величина, характеризующая действительный процесс сушки, кДж/кг; $T_{sep,k}(t)$ – температура зерна в конце процесса сушки, °C.

Температура зерна в конце процесса сушки $T_{sep,k}(t)$ зависит от температуры сушильного агента и может быть определена по зависимости (12).

Для рассматриваемого случая

$$\Delta = c_b T_{sep,n} - (q_{sep} + q_n), \quad (35)$$

где $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, кДж/(кг°C); $T_{\text{зеп.н}}$ – температура зерна в начале процесса сушки, °C; $q_{\text{зеп}}$ – расход теплоты на нагрев зерна, кДж/кг влаги; $q_{\text{п}}$ - потери теплоты в окружающую среду через ограждения сушильной шахты, кДж/кг влаги.

Расход теплоты на нагрев зерна в расчете на количество удаляемой влаги представим в виде:

$$q_{\text{зеп}} = \frac{M_3 c_3}{W} (T_{\text{зеп.к}}(t) - T_{\text{зеп.н}}), \quad (36)$$

где W - количество удаляемой влаги, кг/ч.

Количество удаляемой влаги представим в функции от времени сушки в виде:

$$W = a_c t + b_c, \quad (37)$$

где a_c , b_c - эмпирические коэффициенты.

Потери теплоты в окружающую среду через ограждения сушильной шахты в расчете на количество удаляемой влаги представим в виде:

$$q_{\text{п}} = 3,6 \frac{kF}{W} (T_{\text{ст}}(t) - T_0). \quad (38)$$

Тогда, выражение (34) с учетом зависимостей (35-38) и (15) после преобразований будет иметь вид:

$$x_{\text{к}} = \frac{(a_c t + b_c)(k_2 + k_{14}T_3(t)) + k_{20}T_3(t) + k_{21}}{(a_c t + b_c)(k_{11} + k_{13}T_3(t)) + k_{18}T_3(t) + k_{19}}, \quad (39)$$

где

$$k_{11} = r_0 + c_{\text{п}}b_2 - c_{\text{в}}T_{\text{зеп.н}} - \frac{r_0 k_p}{k_p + 1}; \quad (40)$$

$$k_{12} = \frac{x_{\text{h}} r_0}{k_p + 1} - c_0 b_2 - x_{\text{h}} c_{\text{в}} T_{\text{зеп.н}}; \quad (41)$$

$$k_{13} = c_{\text{п}}(a_2 - \frac{k_p}{k_p + 1}); \quad (42)$$

$$k_{14} = c_0(1 - a_2) + \frac{x_{\text{h}} c_{\text{п}}}{k_p + 1}; \quad (43)$$

$$k_{15} = kF a_{\text{ст}}; \quad (44)$$

$$k_{16} = (b_2 - T_{\text{зеп.н}}) M_3 c_3; \quad (45)$$

$$k_{17} = (b_{\text{ст}} - T_0) kF; \quad (46)$$

$$k_{18} = k_3 + 3,6 k_{15}; \quad (47)$$

$$k_{19} = k_{16} + 3,6 k_{17}; \quad (48)$$

$$k_{20} = x_{\text{h}} k_3 - 3,6 k_{15}; \quad (49)$$

$$k_{21} = x_{\text{h}} k_{16} - 3,6 k_{17}. \quad (50)$$

Подставив выражение (39) в (28) получим искомую зависимость температуры сушильного агента в процессе сушки:

$$k_{27} t T_3^2(t) dt + k_{26} t T_3(t) dt + k_{29} T_3^2(t) dt + k_{28} T_3(t) dt + k_{35} t T_3(t) dT_3(t) + k_{34} t dT_3(t) + k_{31} T_3(t) dT_3(t) + k_{32} t dt + k_{30} dT_3(t) + k_{33} dt = 0, \quad (51)$$

где

$$k_{22} = k_8 k_{18} + k_{10}(k_{14} b_c + k_{20}); \quad (52)$$

$$k_{23} = k_8 k_{19} + k_{10}(k_2 b_c + k_{21}) - k_6 k_{18} + k_9(k_{14} b_c + k_{20}); \quad (53)$$

$$k_{24} = a_c(k_{10} k_2 + k_{29} k_{14}); \quad (54)$$

$$k_{25} = k_9(k_{21} + b_c k_2) - k_6 k_{19}; \quad (55)$$

$$k_{26} = a_c(k_8 k_{11} - k_6 k_{13}) + k_{24}; \quad (56)$$

$$k_{27} = a_c(k_8 k_{13} + k_{10} k_{14}); \quad (57)$$

$$k_{28} = b_c(k_8 k_{11} - k_6 k_{13}) + k_{23}; \quad (58)$$

$$k_{29} = b_c k_8 k_{13} + k_{22}; \quad (59)$$

$$k_{30} = b_c k_3 k_{11} + k_7 k_{19}; \quad (60)$$

$$k_{31} = b_c k_3 k_{13} + k_7 k_{18}; \quad (61)$$

$$k_{32} = a_c(k_9 k_2 - k_6 k_{11}); \quad (62)$$

$$k_{33} = k_{25} - b_c k_6 k_{11}; \quad (63)$$

$$k_{34} = a_c k_3 k_{11}; \quad (64)$$

$$k_{35} = a_c k_3 k_{13}. \quad (65)$$

Решение уравнения (51) методом Эйлера первого порядка имеет вид:

$$T = T_0 + T_{\text{max}} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (66)$$

где T_{max} – максимальная температура сушильного агента; τ – постоянная времени.

Результаты. На основании выражения (66) построим искомую зависимость температуры сушильного агента в процессе сушки для значения коэффициента рециркуляции по внешнему контуру равного 0,5.

Для построения графика принятые также следующие исходные данные, полученные в ходе поисковых опытов: расход сушильного агента пневмотранспортером $L_{\text{пп}} = 0,15 \text{ кг с.в./с}$; теплоёмкость сухого воздуха $c_0 = 1,01 \text{ кДж/(кг·К)}$; начальное влагосодержание сушильного агента (атмосферного воздуха) $x_0 = 0,008 \text{ кг/кг}$; удельная теплота парообразования при температуре 0 °C $r_0 = 2493 \text{ кДж/кг}$; теплоёмкость пара $c_p = 1,97 \text{ кДж/(кг·К)}$; эмпирические коэффициенты: $a_1 = 0,1$, $b_1 = 25$, $a_2 = 0,8$, $b_2 = -8$, $a_{ct} = 0,8$, $b_{ct} = -10$, $a_4 = 0,8$, $b_4 = -8$, $a_5 = 0,9$, $b_5 = -5$; мощность привода ротора-нагревателя $N = 17,5 \text{ кВт}$; КПД ротора-нагревателя $\eta = 0,1$; масса зерна в сушильной шахте $M_3 = 400 \text{ кг}$; теплоемкость зерна $c_3 = 2,078 \text{ кДж/(кг·К)}$; коэффициент теплопередачи через стенки сушильной шахты $k = 0,002 \text{ кВт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$; площадь наружной поверхности сушильной шахты $F = 5,2 \text{ м}^2$; температура окружающей среды в период сушки $T_0 = 17 \text{ °C}$; масса стенок и коробов сушильной шахты $M_{ct} = 300 \text{ кг}$; теплоёмкость материала стенок и коробов сушильной шахты $c_{ct} = 0,46 \text{ кДж/(кг·°C)}$.

На рисунке 4 представлен график изменения температуры сушильного агента в процессе сушки.

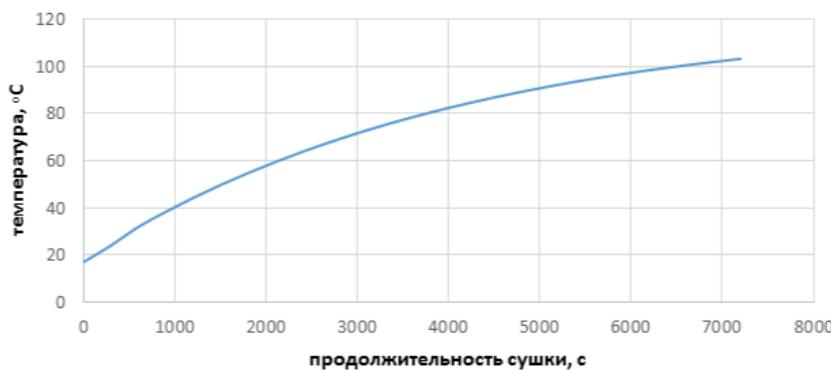


Рисунок 4 - Изменение температуры сушильного агента в течение процесса сушки

Выражение (66) в численных значениях с учетом исходных данных имеет вид:

$$T = 17 + 100,83 \left(1 - e^{-\frac{t}{3770,962}} \right). \quad (67)$$

Обсуждение. Анализ рис. 4 и выражения (67) показывает, что примерно за два часа процесса сушки температура сушильного агента достигает значения близкого к максимальному, равному 117 °C. Далее температура сушильного агента стабилизируется, и процесс сушки выходит на стационарный режим.

Поскольку в стационарном режиме в сушилку будет постоянно поступать определенное количество влажного зерна с начальной температурой T_0 , то температура сушильного агента будет ниже максимальной.

Выводы. Таким образом, полученная на основании теплового баланса сушилки зависимость (67) позволяет прогнозировать температуру сушильного агента при организации его двухконтурной рециркуляции в модульной сушилке аэродинамического нагрева.

Поскольку в стационарном режиме сушки температура сушильного агента будет в пределах 60...80 °C, что соответствует температуре сушильного агента при сушке семенного зерна, то данную сушилку целесообразно использовать именно в данных целях.

Список источников

1. Сушилка: пат. 192350 Рос. Федерация / Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. - № 2019103013; заявл. 04.02.19; опубл. 13.09.19, Бюл. № 26.
2. Исаев Х.М. Плодово-ягодная сушилка с комбинированным теплообменником / Х.М. Исаев, А.И. Купреенко, С.Х. Исаев // Сельский механизатор. 2020. № 1. С. 16-17.
3. Тепловой баланс комбинированного теплообменника сушилки аэродинамического подогрева / А.И. Купреенко, В.Ф. Комогорцев, С.Х. Исаев и др. // АгроИнженерия. 2020. № 6 (100). С. 66-73.
4. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Эффективность сушилки аэродинамического подогрева с комбинированным теплообменником // Инновационная техника и технология. 2020. № 3 (24). С. 29–36.
5. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Результаты испытания сушилки аэродинамического подогрева с комбинированным теплообменником // Инновации и технологический прорыв в АПК: сб. науч. тр. междунар. науч.-практ. конф. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. Ч. 2. С. 211-214.

6. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Сушилки с аэродинамическим нагревом воздуха // Сельский механизатор. 2021. № 11. С. 16-17.
7. Купреенко А.И., Исаев Х.М., Исаев С.Х. Снижение энергоемкости сушилки аэродинамического нагрева // Тракторы и сельхозмашины. 2021. № 1. С. 81-88.
8. Сушилка аэродинамического нагрева модульного типа / А.И. Купреенко, Х.М. Исаев, С.М. Михайличенко и др. // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. С. 218-222.

Информация об авторах:

А.И. Купреенко – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, kupreenkoai@mail.ru.

Д.А. Безик - кандидат технических наук, доцент, директор института энергетики и природопользования ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, bda20101@yandex.ru

Х.М. Исаев - кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, haf-is@mail.ru

Т.В. Панова - кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности и инженерной экологии ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, panovatava@yandex.ru

О.А. Купреенко – аспирант кафедры технических систем в агробизнесе, прироообустройстве и дорожном строительстве ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, 89996212885@mail.ru

А.Г. Ялоза – соискатель кафедры технологического оборудования животноводства и перерабатывающих производств ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, yalozaag@mail.ru

Information about the authors:

A.I. Kupreenko - Doctor of technical sciences, professor, professor of the department of technological equipment of animal husbandry and processing industries, Bryansk State Agrarian University, kupreenkoai@mail.ru.

D.A. Bezik - Candidate of technical sciences, associate professor, director of the institute of energy and environmental management of the Bryansk State Agrarian University, bda20101@yandex.ru

H.M. Isaev - Candidate of economic sciences, associate professor, head of the department of technological equipment animal husbandry and processing industries of the Bryansk State Agrarian University, haf-is@mail.ru

T.V. Panova - Candidate of technical sciences, associate professor, associate professor of the department of life safety and environmental engineering Bryansk State Agrarian University, panovatava@yandex.ru

O.A. Kupreenko - Post-graduate student of the department of technical systems in agribusiness, environmental management and road construction of the Bryansk State Agrarian University, 89996212885@mail.ru

A.G. Yaloza – Applicant of the department technological equipment for animal husbandry and processing industries of the Bryansk State Agrarian University, yalozaag@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 07.02.2025, одобрена после рецензирования 21.02.2025, принята к публикации 10.04.2025.

The article was submitted 07.02.2025, approved after reviewing 21.02.2025, accepted for publication 10.04.2025.

© Купреенко А.И., Безик Д.А., Исаев Х.М., Панова Т.В., Купреенко О.А., Ялоза А.Г.

Научная статья
УДК 636.085.62:621.928

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ ВОЗДУШНОГО ПОТОКА В СЕПАРАТОРЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЙ МОЛОТКОВОЙ ДРОБИЛКИ

Алексей Игоревич Голиков, Артем Анатольевич Мезенов
ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, Новосибирская область, Новосибирск, Россия

Аннотация. Производство высококачественных кормов является одним из основных факторов успешного развития животноводства. Себестоимость продукции животноводства напрямую зависит от качества производства кормов. Предварительная очистка зерна перед измельчением оказывает наибольшее влияние на качество производства комбикормов. Наибольшую популярность сейчас имеют сепараторы встроенные в крышку пневматической дробилке, такие как ДПМ («АгроПоставка»), ДСК, ДКР («ДозаАгро»), ДРВ («АТМ»), ДПА, МИГ («ЕРМАШ») и др. В данных моделях дробилок конструкция встроенного сепаратора позволяет очистить зерно только от минеральных (крупных) и металломагнитных примесей. Однако, присутствует необходимость в очистке зерна перед измельчением от легких примесей при производстве кормов. Для полной очистки зерна от примесей авторами предложена конструкция встроенного сепаратора с винтовым рабочим органом. Для этого произведено теоретическое исследование движения воздушного потока по винтовому рабочему органу сепаратора в пневматической молотковой дробилке. Рассматриваются и анализируются теоретические предпосылки движения траектории воздушного потока, сформулированные учеными, в сепараторе пневматической молотковой дробилке. Предложена экспериментальная установка сепаратора, в которой движение продукта происходит по горизонтальному винтовому рабочему органу. Проведены теоретические и экспериментальные исследования траектории движения воздушного потока в сепараторе пневматической молотковой дробилке. Полученные результаты позволили сравнить графики траекторий и вычислить абсолютную и относительную погрешности исследования. Таким образом, полученная теоретическая модель движения воздушного потока в сепараторе адекватно описывает движение воздушного потока в экспериментальной установке сепаратора в молотковой дробилке. Результаты теоретического и экспериментального исследования позволяют с высокой точностью описать траекторию движения зерна, минеральных (крупных) и легких примесей в сепараторе пневматической молотковой дробилке.

Ключевые слова: воздушный поток, пневматическая молотковая дробилка, винтовой рабочий орган, относительная погрешность, абсолютная погрешность, теоретическая и фактическая траектория движения.

Для цитирования: Голиков А.И., Мезенов А.А. Теоретические исследования движения воздушного потока в сепараторе пневматической молотковой дробилки // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 54-60.

Original article

THEORETICAL RESEARCH OF AIR FLOW MOVEMENT IN THE SEPARATOR OF A PNEUMATIC HAMMER GRINDER

Alexei I. Golikov, Artyom A. Mezenov
Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk Region, Novosibirsk, Russia

Abstract. The production of high-quality feeds is one of the main factors for the successful development of animal husbandry. The cost of livestock production directly depends on the quality of feed production. Pre-cleaning of grain before grinding has the greatest impact on the quality of combined feed production. Separators built into the cover of the pneumatic grinder, such as GPM ("AgroPostavka"), DSC, DKR ("DozaAgro"), DRV ("ATM"), DPA, MIG ("ERMASH"), etc., are now most popular. In these models of grinders, the design of the built-in separator allows you to clean grain only from mineral (large) and metallomagnetic impurities. However, there is a need to clean the grain before grinding from light impurities in the production of feeds. For complete purification of grain from impurities, the authors proposed the design of an integrated separator with a screw working body. For this purpose, a theoretical research of the movement of the air flow through the screw working body of the separator in a pneumatic hammer grinder was carried out. The theoretical prerequisites for the movement of the air flow trajectory formulated by scientists in the separator of a pneumatic hammer grinder are considered and analyzed. An experimental separator installation is proposed, in which the product moves along a horizontal screw working body. Theoretical and experimental researches of the trajectory of the air flow in the separator of a pneumatic hammer grinder have been carried out. The results obtained made it possible to compare trajectory graphs and calculate the absolute and relative errors of the research. Thus, the obtained theoretical model of the movement of the air flow in the separator adequately describes the movement of

the air flow in the experimental installation of the separator in a hammer grinder. The results of theoretical and experimental research will allow us to accurately describe the trajectory of grain, mineral (large) and light impurities in the separator of a pneumatic hammer grinder.

Keywords: air flow, pneumatic hammer grinder, screw working body, relative error, absolute error, theoretical and actual trajectory of movement.

For citation: Golikov A.I., Mezenov A.A. Theoretical research of air flow movement in the separator of a pneumatic hammer grinder// Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. №3 (109): 54-60.

Введение. Основной целью сельского хозяйства остаётся повышение урожайности зерновых культур, чтобы удовлетворить растущий спрос населения на продукты питания. Однако в настоящее время этот процесс затруднён из-за проблем с зерноочистительной техникой, что приводит к нарушению технологии непрерывной обработки зерна после сбора урожая (Федоров О.С. Повышение эффективности функционирования молотковой дробилки путем совершенствования способа сепарации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Чебоксары, 2010. 23 с). [1,2].

Качество зерна во многом определяется тем, насколько технические средства соответствуют масштабу задачи и насколько рациональна технология послеуборочной обработки. Существующие технологические линии не обеспечивают эффективную очистку зерна от примесей и отбор высококачественного зерна без потерь [3,4]. Чтобы решить эту проблему, необходимо использовать другие, более производительные рабочие органы машин, которые позволяют выполнять технологические операции очистки зерна без дополнительных затрат. Также следует применять методы очистки зерна по аэродинамическим свойствам [5,6,7].

Процесс очистки зерна представляет собой комплекс технологических процедур, включающий в себя несколько этапов. В сфере агробизнеса очистка зерна играет важную роль в послеуборочной обработке зерновых культур. После сбора урожая зерно обычно содержит примеси, которые необходимо удалить. Эти примеси могут быть растительного происхождения, например, частицы растений, семена сорняков, а также частицы почвы, насекомые и другие органические материалы. Кроме того, в зерне могут попасть посторонние предметы, такие как металлические и пластиковые детали, камни, песок и другой мусор. Это может произойти во время погрузки, транспортировки и хранения зерна в буртах [8,9,10].

В процессе изготовления кормов для животных наличие большого количества посторонних частиц и примесей в зерне может отрицательно повлиять на эксплуатационные характеристики рабочих элементов дробилки. Это происходит из-за того, что в процессе измельчения зерна посторонние частицы и примеси повреждают и разрушают рабочие органы, что приводит к их быстрому износу. Кроме того, использование неочищенного молотого зерна с примесями может нанести вред здоровью животного [11,12].

Одним из путей совершенствования процесса очистки зерна в пневматических молотковых дробилках является модернизация конструкции встроенного сепаратора. Баранов Н.Ф., Булатов С.Ю. занимались изучением эффективности очистки зерна от лёгких и минеральных примесей в пневмосепараторе, в котором зерно движется по криволинейной траектории [13,14,15,16]. Константинов Р.В. в своей работе изучал процесс очистки зерна от металломагнитных примесей в гравитационном магнитном сепараторе, предназначенном для очистки зерна. В исследовании Ческидова М.В. рассматривается способ очистки зерна от минеральных примесей с помощью винтового рабочего органа [14].

Предложена конструкция пневматической молотковой дробилки с пневмосепаратором. Молотковая дробилка содержит корпус, крышку с входным отверстием, вентилятор, молотковый ротор, сепарационная камера. На наружной поверхности крышки смонтирован входной патрубок, в виде короба с магнитом. При этом патрубок расположен ниже уровня входного отверстия. Ниже уровня входного патрубка, снабжен камерой с задвижкой для сбора и удаления тяжелых примесей. Внутри входного патрубка установлен шнек. В верхней части входного патрубка установлена перфорированная решетка, а также камера для удаления мелких и легких примесей [15].

Целью исследования является теоретическое исследование движения воздушного потока по винтовому рабочему органу в сепараторе пневматической молотковой дробилки.

Объекты и методы исследований. Объектом исследования является движение воздушного потока по винтовой траектории в сепараторе с винтовым рабочим органом, который является неотъемлемой частью пневматической молотковой дробилки. Для более глубокого понимания и анализа этого движения мы применяем математический подход, основанный на уравнении Навье-Стокса. Также мы используем специализированные программные инструменты, такие как «SolidWorks» и «Ansys», для моделирования этого процесса. Эти программы помогают нам более детально изучить особенности перемещения по винтовой траектории.

При моделировании турбулентных потоков уравнения Навье-Стокса усредняются по Рейнольдсу. Это означает, что учитывается усреднённое влияние турбулентности на параметры потока в течение короткого промежутка времени. При этом крупномасштабные изменения усреднённых параметров потока (давления, скоростей, температуры) учитываются с помощью производных по времени. В результате уравнения дополняются членами, которые называются напряжениями по Рейнольдсу. Для замыкания этой системы уравнений используются уравнения переноса кинетической энергии турбулентности и её диссипации в рамках модели турбулентности $k-\varepsilon$.

В рамках подхода Эйлера в декартовой системе координат (x_i , $i=1,2,3$), которая вращается с угловой скоростью Ω вокруг оси, проходящей через её начало, эта система уравнений, описывающая сохранение массы, импульса и энергии в нестационарном пространственном течении, выглядит следующим образом:

$$\begin{cases} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k) = 0, \\ \frac{\partial(\rho u_i)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_i u_k - \tau_{ik}) + \frac{\partial P}{\partial x_i} = S_i, \\ \frac{\partial(\rho E)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} ((\rho E + P) u_k + q_k - \tau_{ik} u_i) = S_k u_k + Q_H, \end{cases} \quad (1)$$

где t – время, u – скорость текучей среды, ρ – плотность текучей среды, P – давление текучей среды, S_i – внешние массовые силы, действующие на единичную массу текучей среды (2): $S_{i\text{porous}}$ – действие сопротивления пористого тела, $S_{i\text{gravity}}$ – действие гравитации, $S_{i\text{rotation}}$ – действие вращения системы координат, т.е.

$$S_i = S_{i\text{porous}} + S_{i\text{gravity}} + S_{i\text{rotation}}, \quad (2)$$

E – полная энергия единичной массы текучей среды, Q_H – тепло, выделяемое тепловым источником в единичной объеме текучей среды, τ_{ik} – тензор вязких сдвиговых напряжений, q_i – диффузионный тепловой поток, нижние индексы означают суммирование по трем координатным направлениям.

Для ньютоновских текучих сред тензор вязких сдвиговых напряжений определяется следующим образом (3):

$$\tau_{ij} = \mu \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}, \quad (3)$$

где $\mu = \mu_l + \mu_t$, μ_l – коэффициент динамической вязкости, μ_t – коэффициент турбулентной вязкости, δ_{ij} – дельта-функция Кронекера ($\delta_{ij}=1$ при $i=j$; $\delta_{ij}=0$ при $i \neq j$), k – кинетическая энергия турбулентности. В соответствии с $k-\varepsilon$ моделью турбулентности, μ_t определяется через величины кинетической энергии турбулентности k и диссипации этой энергии ε (4):

$$\mu_t = f_\mu \frac{C_\mu \rho k^2}{\varepsilon}, \quad (4)$$

где $f_\mu = [1 - \exp(-0,025R_y)]^2 \cdot \left(1 + \frac{20,5}{R_l}\right)$; $R_y = \frac{\rho \sqrt{k} y}{\mu_l}$; $R_T = \frac{\rho k^2}{\mu_l \varepsilon}$, y – расстояние от поверхности стенки, $C_\mu = 0,09$.

Кинетическая энергия турбулентности k и диссипация этой энергии ε определяются в результате решения следующих двух уравнений (5,6):

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k k) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_k} \right) + S_k, \quad (5)$$

$$\frac{\partial \rho \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_k} (\rho u_k \varepsilon) = \frac{\partial}{\partial x_k} \left(\left(\mu_l + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_k} \right) + S_\varepsilon, \quad (6)$$

где:

$$S_k = \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} - \rho \varepsilon + \mu_l P_B,$$

$$S_\varepsilon = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \left(f_1 \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \mu_t C_B P_B \right) - C_{\varepsilon 2} f_2 \frac{\rho \varepsilon^2}{k},$$

$$\tau_{ij}^R = \mu_t \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} - \frac{2}{3} \frac{\partial u_l}{\partial x_l} \delta_{ij} \right) - \frac{2}{3} \rho k \delta_{ij}; P_B = - \frac{g_i}{\sigma_B} \frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial x_i},$$

g_i – составляющая гравитационного ускорения в координатном направлении x_i , $\sigma_B = 0,9$, $C_B = 1$ при $P_B > 0$ и $C_B = 0$ при $P_B \leq 0$, $f_1 = 1 + (0,05/f_\mu)^3$, $f_2 = 1 - \exp(-R_T^2)$, $C_{\varepsilon 1} = 1,44$, $C_{\varepsilon 2} = 1,92$, $\sigma_\varepsilon = 1,3$, $\sigma_k = 1$.

Диффузионный тепловой поток можно описать с помощью уравнения (7):

$$q_k = -\left(\frac{\mu_l}{Pr} + \frac{\mu_t}{\sigma_c}\right) c_p \frac{\partial T}{\partial x_k}, k=1,2,3, \quad (7)$$

где $\sigma_c = 0,9$, Pr – число Прандтля, c_p – удельная теплоемкость при постоянном давлении, T – температура текущей среды.

В ходе исследования движения воздуха в декартовой системе координат были выбраны оси X и Y, поскольку силы воздействуют на поток в целом, а не на отдельные частицы. В связи с этим ось Z не имеет значения. Поскольку при движении воздуха не происходит теплообмена, уравнение энергии (1) не требуется. Система уравнений, описывающая движение воздуха в пневмосепараторе с винтовым рабочим органом, будет выглядеть следующим образом (8):

$$\begin{cases} \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho\vartheta)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho\theta)}{\partial x} = 0, \\ p \left(\frac{\partial\vartheta_k}{\partial t} + \vartheta_x \frac{\partial\vartheta_k}{\partial x} + \vartheta_y \frac{\partial\vartheta_k}{\partial y} \right) = \rho G_k - \frac{\partial p}{\partial k} + 2 \frac{\partial}{\partial k} \left(\mu \frac{\partial\vartheta_k}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial l} \left[\mu \left(\frac{\partial\vartheta_l}{\partial k} + \frac{\partial\vartheta_k}{\partial l} \right) \right] - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial k} \mu \theta, \end{cases} \quad (8)$$

где $\frac{\partial}{\partial x}$, $\frac{\partial}{\partial y}$ – проекции скорости продукта в данной точке на оси прямоугольных декартовых координат; ρ – плотность продукта в этой точке; ϑ – скорость воздушного потока; t – время; $k, l = x, y$; G_k – обозначает проекцию объемной силы на ось k ; μ – коэффициент вязкости продукта; θ – тензор скоростей деформации и определяется уравнением (9):

$$\theta = \frac{\partial\vartheta_x}{\partial x} + \frac{\partial\vartheta_x}{\partial y} \quad (9)$$

Анализируя рассмотренные уравнения, можно сделать вывод, что уравнение 8 описывает движение воздушного потока по винтовой траектории в сепараторе пневматической молотковой дробилки. Это позволяет использовать программное обеспечение SolidWorks для компьютерного моделирования данного процесса. Для моделирования были заданы граничные условия, соответствующие работе пневматической молотковой дробилки модели ДПМ-11. Эти параметры соответствуют реальным характеристикам работы дробилки. В процессе моделирования была создана 3D-модель пневмосепаратора молотковой дробилки, который представляет собой шнек диаметром 60 мм, расположенный в горизонтальном сепарирующем канале длиной 240 мм. В качестве основной среды для моделирования был выбран идеальный несжимаемый газ при температуре 20 °C, что соответствует общепринятым методам исследования воздушных потоков.

В ходе исследования были приняты следующие параметры:

- * шаг шнека: 40, 60, 80 мм;
- * количество витков: 3, 4, 6.

Были установлены граничные условия:

- * на входном патрубке: скорость воздуха 20 м/с;
- * на выходном патрубке: атмосферное давление 10^5 Па.

Вектор силы тяжести был направлен вниз по оси Z.

Для анализа соответствия теоретических и реальных траекторий движения по винтовому рабочему органу в сепараторе были определены контрольные точки А, Б, В, Г, Д, Е. Их координаты по оси Y были зафиксированы (рис. 1).

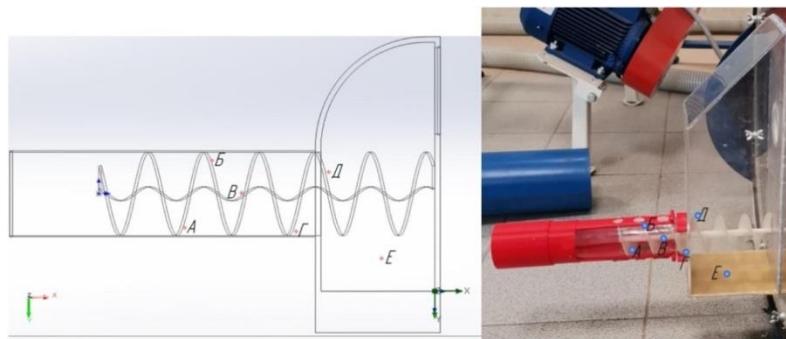


Рисунок 1 - Сепаратор пневматической молотковой дробилки

Для подтверждения теоретических выводов, полученных в ходе компьютерного моделирования движения воздушного потока по винтовому рабочему органу сепаратора, были проведены серии экспериментов, в которых использовались те же граничные условия. Для визуализации траектории воздушного потока использовалась мелкодисперсная фракция размером 45 мкм, насыпной плотностью 600 кг/м³. Для фиксации визуализации траектории движения воздуха по шнеку использовалось специальное оборудование. Полученные экспериментальные траектории были обработаны методом

масштабирования фотографий в системе координат, где ось X соответствовала длине шнека, а ось Y — его диаметру. При построении графиков траекторий движения воздушного потока по шнеку ось X принята как длина шнека 240 мм и ось Y как диаметр шнека 60 мм.

Результаты исследований. Результаты компьютерного моделирования и серии экспериментов позволили определить траекторию движения воздушного потока и проанализировать зависимость отклонения его движения.

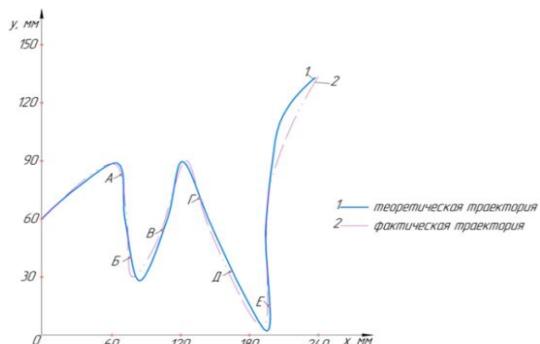


Рисунок 2 - Графики траекторий движения воздушного потока по шнеку с 3 витками

На основе полученных графиков теоретической и фактической траектории движения выбраны точки А, Б, В, Г, Д, Е и занесены в таблицу 1 теоретические и фактические координаты этих точек (рис. 2).

Таблица 1 - Координаты движения частиц воздушного потока по шнеку с 3 витками.

	X _т	Y _т	X _ф	Y _ф	ΔX = X _т - X _ф	Δ, %
А	69,62	82,85	68,26	82,85	1,36	1,99
Б	76,82	40,02	74,7	40,02	2,12	2,83
В	105,14	54,37	103,68	54,37	1,46	1,4
Г	137,18	70,65	135,54	70,65	1,64	1,21
Д	164,32	32,74	162,44	32,74	1,88	1,16
Е	197,8	14,97	195,76	14,97	2,04	1,04

Проанализировав значения координат точек по оси X выявлена разница ΔX . Отклонение значений координат точек фактической от теоретической варьируется от 1,36 до 2,12 и принимается среднее значение 1,75. Относительная погрешность составила не более 2,83%.

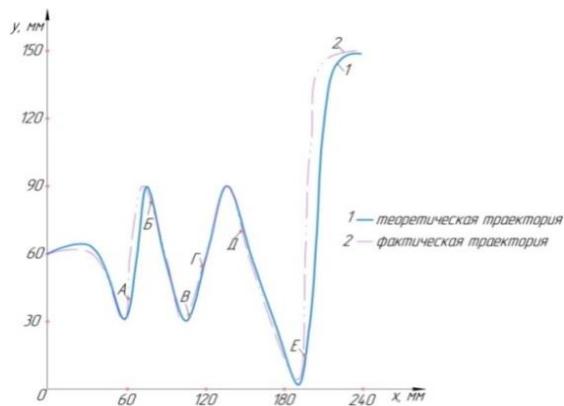


Рисунок 3 - Графики траекторий движения воздушного потока по шнеку с 4 витками

На основе анализа графиков теоретической и реальной траектории движения были определены точки А, Б, В, Г, Д, Е. Их теоретические и фактические координаты были занесены в таблицу 2 (рис. 3).

Таблица – 2 Координаты движения частиц воздушного потока по шнеку с 4 витками.

	X _т	Y _т	X _ф	Y _ф	ΔX = X _т - X _ф	Δ, %
А	62,88	40,02	60,4	40,02	2,48	4,1
Б	79,34	82,85	77,78	82,85	1,56	2,01
В	108,32	32,74	106,12	32,74	2,2	2,07
Г	118,2	54,37	116,4	54,37	1,8	1,55
Д	148,82	70,65	147,5	70,65	1,32	0,89
Е	196,4	14,97	194,26	14,97	2,14	1,1

В результате анализа значений координат точек по оси X была обнаружена разница ΔX . Отклонение значений координат точек, полученных на практике, от теоретических значений колеблется от 1,56 до 2,48, при этом среднее значение составляет 1,9. Относительная погрешность не превышает 4,1%.

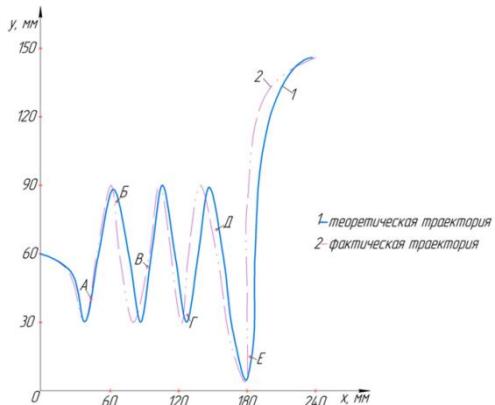


Рисунок 4 - Графики траекторий движения воздушного потока по шнеку с 6 витками

На основе построенных графиков теоретической и реальной траектории движения были определены точки А, Б, В, Г, Д, Е. Их теоретические и фактические координаты были занесены в таблицу 3 (рис. 4).

Таблица 3 - Координаты движения частиц воздушного потока по шнеку с 6 витками.

	X_t	Y_t	X_ϕ	Y_ϕ	$\Delta X = X_t - X_\phi$	$\Delta, \%$
А	44,42	40,02	42,64	40,02	1,78	4,17
Б	68,68	82,85	66	82,85	2,68	4,06
В	95,72	54,37	93,4	54,37	2,32	2,48
Г	130,36	32,74	126,46	32,74	3,9	3,08
Д	156,66	70,65	152,62	70,65	4,04	2,65
Е	185,3	14,97	181,58	14,97	3,72	2,05

После анализа значений координат точек по оси X была обнаружена разница ΔX . Отклонения значений координат фактических точек от теоретических составляют от 1,78 до 4,04, а среднее значение равно 3,07. Относительная погрешность не превышает 4,17%.

Выводы. В ходе теоретического исследования было получено уравнение, описывающее движение воздушного потока по винтовому рабочему органу в сепараторе пневматической молотковой дробилки (10):

$$\begin{cases} \left(\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(p\theta)}{\partial y} + \frac{\partial(pu)}{\partial x} \right) = 0, \\ p \left(\frac{\partial \theta_k}{\partial t} + \theta_x \frac{\partial \theta_k}{\partial x} + \theta_y \frac{\partial \theta_k}{\partial y} \right) = \Delta \rho G_k - \Delta \frac{\partial p}{\partial k} + 2\Delta \frac{\partial}{\partial k} \left(\mu \frac{\partial \theta_k}{\partial x} \right) + \Delta \frac{\partial}{\partial l} \left[\mu \left(\frac{\partial \theta_l}{\partial k} + \frac{\partial \theta_k}{\partial l} \right) \right] - \frac{2}{3} \frac{\partial}{\partial k} \mu \theta, \end{cases} \quad (10)$$

Введённый коэффициент Δ позволяет с относительной погрешностью в 4,17% определить положение точки в пространстве при движении по винтовой траектории в сепараторе.

Список источников

- Машкова Н.В., Пшенов Е.А. Тенденции совершенствования пневматических молотковых дробилок // Теория и практика современной аграрной науки: сб. IV нац. (Всерос. науч. конф. с междунар. участием. Новосибирск, 2021. С. 516-521.
- Экспериментальное исследование работы сепаратора зерна с решетами повышенной ориентирующей способности / В.С. Коваль, А.В. Черняков, А.П. Шевченко, М.А. Бегунов // Вестник Омского ГАУ. 2020. № 3 (39). С. 66-72.
- Петров В.А., Широкобоков В.И. Совершенствование процесса очистки зерна от неорганических примесей перед дроблением // Научное обеспечение инженерно-технической системы АПК: Проблемы и перспективы: материалы нац. науч.-практ. конф., посвящ. 60-летию работы кафедры эксплуатации и ремонта машин агроинженерного факультета, 90-летию д-ра химических наук, проф., заслуженного деятеля науки УР Г.А. Кораблева и 85-летию канд. техн. наук, проф., заслуженного работника сел. хоз-ва УР, почетного работника высшего профессионального образования РФ Б.Д. Зонова. Ижевск, 2020. С. 236-242.
- Черняков А.В., Коростелёв Д.Н., Бегунов М.А. Экспериментальное исследование цилиндрического пневмосепаратора с закрученным воздушным потоком // Сибирская деревня: 200 лет развития Омской области - от реформ М.М. Сперанского до агропромышленного центра Сибири. Омск, 2022. С. 304-310.

5. Пашинова Н.В. Процесс сепарации зерна в вертикальных пневмоканалах воздушных сепараторов. Улан-Удэ: Бурятская ГСХА, 2023. 143 с.
6. Технологии приготовления комбикормов в условиях небольших хозяйств / С.М. Ведищев, А.И. Завражнов, А.В. Прохоров и др. // Современная наука: теория, методология, практика: материалы V Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. Тамбов: Изд-во ИП Чеснокова А.В., 2023. С. 24-30.
7. Сайтов В.Е., Фарафонов В.Г., Сайтов А.В. Разработка и совершенствование малогабаритных пневмосепараторов с замкнутым циклом воздушного потока // Современные проблемы науки и образования: материалы междунар. науч. конф., проведенных Академией Естествознания. Т. XVIII. М.: Изд. Дом Академии Естествознания, 2020. С. 64-65.
8. Романова Е.Д., Дзю И.М. Повышение эффективности пневмосепарирующего устройства машины предварительной очистки зерна // Роль аграрной науки в устойчивом развитии сельских территорий: сб. VII Всерос. (нац.) науч. конф. с междунар. участием, Новосибирск, 20 декабря 2022 года. Новосибирск: ИЦ НГАУ «Золотой колос», 2022. С. 328-331.
9. Гиевский А.М., Зотов П.Ю., Кондобарова Е.А. Улучшение эффективности послерешетной пневмосепарации зерна // Тенденции развития технических средств и технологий в АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф., Воронеж, 25 февраля 2022 года. Ч. I. Воронеж: Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, 2022. С. 55-61.
10. Исследование работы пневматической машины для очистки зерна / А.В. Черняков, М.А. Бегунов, В.С. Коваль, Д.Н. Коростелев // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2022. № 2 (46). С. 167-174.
11. Голиков А.И., Мезенов А.А. Анализ существующих конструкций сепараторов в пневматических молотковых дробилках // Аграрная наука XXI века. Актуальные исследования и перспективы. Казань, 2021. С. 30-36.
12. Сравнительный анализ технических характеристик машин для очистки зерна / С.Г. Ахметов, А.С. Отто, Д.Ж. Садбеков, Е.В. Демчук // Роль научно-исследовательской работы обучающихся в развитии АПК: сб. Всерос. (нац.) науч.-практ. конф. Омск: Омский ГАУ им. П.А. Столыпина, 2020. С. 10-15.
13. Experimental study of a pneumatic separator / A. Cherynyakov, V. Koval, M. Begunov et al. // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Сер. "Innovative Technologies in Agroindustrial, Forestry and Chemical Complexes and Environmental Management, ITAFCCEM 2021", 2021. С. 12-16.
14. Ческидов М.В. Обоснование параметров конструкции и режима работы воздушно-шнекового сепаратора для очистки зерна: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Троицк, 2020. 24 с.
15. Молотковая дробилка: пат. 229971 Рос. Федерация / Голиков А.И., Мезенов А.А., Голикова А.А., Григорьев Н.Н.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ. - № 2024114690; заявл. 30.05.2024; опубл. 06.11.2024.

Информация об авторах:

А.И. Голиков – ассистент кафедры механизации животноводства и переработки с.-х. продукции, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, rockwany97@mail.ru

А.А. Мезенов – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации животноводства и переработки с.-х. продукции, ФГБОУ ВО Новосибирский ГАУ, artemnsau@mail.ru

Information about the authors:

A.I. Golikov – Assistant of the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products, Novosibirsk State Agrarian University, rockwany97@mail.ru

A.A. Mezenov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Processing of Agricultural Products, Novosibirsk State Agrarian University, artemnsau@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 06.02.2025, одобрена после рецензирования 19.02.2025, принята к публикации 10.04.2025.

The article was submitted 06.02.2025, approved after reviewing 19.02.2025, accepted for publication 10.04.2025.

© Голиков А.И., Мезенов А.А.

Научная статья

УДК 631.171

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ С ЗАМКНУТЫМ КОНТУРОМ РЕГУЛИРОВАНИЯ

¹ Степан Иванович Козлов, ² Светлана Аркадьевна Бортник,

³ Василий Михайлович Кузюр, ³ Сергей Иванович Будко

¹ УО «Белорусская сельскохозяйственная академия», Могилевская область, Горки, Республика Беларусь

² УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», Минск, Республика Беларусь

³ ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Специалист в области инженерии должен тщательно анализировать функционирование систем автоматизации. В условиях современного научно-технического прогресса наблюдается активное создание и выпуск большого количества автоматизированной техники. Для того чтобы эффективно использовать данную технику, необходимо досконально понимать её устройство и принцип работы. Структура систем автоматического регулирования систем автоматизации раскрывается и познается на основе выполнения упрощенного и развернутого структурного анализа. При выполнении структурного анализа систем автоматического регулирования с замкнутым контуром весьма важным является знание характерных и конкретных особенностей, которые свойственны системам автоматизации такого вида. Это позволяет эффективно и продуктивно применять общие положения методики, которые используются для выполнения структурного анализа САР различного конструктивного исполнения. Детальный структурный анализ — это не только более глубокий, но и более результативный метод исследования структуры систем автоматизации, он позволяет полностью разобраться в их устройстве. Изучив методы детального структурного анализа, можно понять принципы автоматического управления объектами в одних типах систем автоматизации и принципы автоматического мониторинга их состояния в других. Использование автоматизированных машин способствует существенному росту их эффективности, улучшению качества производимых товаров и выполняемых работ, а также созданию более комфортных условий для работников. Углублённый структурный анализ представляет собой не только более сложный, но и более результативный и продуктивный подход в обучении и разработке методик. Он позволяет более глубоко понять структуру систем автоматизации. Освоение углублённого структурного анализа помогает понять суть автоматического управления объектами в некоторых системах автоматизации и суть автоматического контроля за состоянием объектов в других системах автоматизации.

Ключевые слова: автоматизация, система, регулирование, контур, параметры, контроль.

Для цитирования: Система автоматического регулирования с замкнутым контуром регулирования / С.И. Козлов, С.А. Бортник, В.М. Кузюр, С.И. Будко // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 61-65.

Original article

AUTOMATIC CONTROL SYSTEM WITH CLOSED CONTROL LOOP

¹ Stepan I. Kozlov, ² Svetlana A. Bortnik, ³ Vasiliy M. Kuzyur, ³ Sergei I. Budko

¹ Belarusian Agricultural Academy, Mogilev region, Gorki, Republic of Belarus

² Belarusian State Agrarian Technical University, Minsk, Republic of Belarus

³ Bryansk State Agrarian University, Bryansk region, Kokino, Russia

Abstract. An engineering specialist should carefully analyze the functioning of automation systems. In the conditions of modern scientific and technological progress, there is an active creation and production of a large number of automated equipment. In order to use this technique effectively, it is necessary to thoroughly understand its structure and principle of operation. The structure of automatic control systems of automation systems is revealed and learned on the basis of a simplified and detailed structural analysis. When performing a structural analysis of closed-loop automatic control systems, it is very important to know the characteristic and specific features that are characteristic of automation systems of this type. This makes it possible to effectively and productively apply the general provisions of the methodology, which are used to perform structural analysis of ATS of various design designs. Detailed structural analysis is not only a deeper, but also a more effective method of studying the structure of automation systems. It allows you to fully understand the structure of these systems. Having studied the methods of detailed structural analysis, you will be able to understand the principles of automatic object management in some types of automation systems and the principles of automatic monitoring of their condition in others. The use of automated agricultural machines contributes to a significant increase in their efficiency, improvement of the quality of goods produced and work performed, as well as the creation of more comfortable conditions for workers. In-depth structural analysis is not only more complex, but also a more effective and productive approach to teaching and devel-

oping techniques. It allows a deeper understanding of the structure of automation systems. Mastering in-depth structural analysis helps to understand the essence of automatic object management in some automation systems and the essence of automatic control over the state of objects in other automation systems.

Keywords: automation, system, regulation, contour, parameters, control.

For citation: Automatic control system with closed control loop / S.I. Kozlov, S.A. Bortnik, V.M. Kuzyur, S.I. Budko // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025.3 (109): 61-65.

Введение. Постановка задачи. Структура систем автоматического регулирования раскрывается и познается на основе выполнения упрощенного и развернутого структурного анализа. При выполнении структурного анализа систем автоматического регулирования с замкнутым контуром весьма важно является знание характерных и конкретных особенностей, которые свойственны системам автоматизации такого вида. Это позволяет эффективно и продуктивно применять общие положения методики, которые используются для выполнения структурного анализа САР различного конструктивного исполнения [1, 2].

В САР, имеющих замкнутый контур регулирования, управление объектом осуществляется по одному физическому параметру, который принято называть управляемым (регулируемым) параметром или параметром управления (регулирования), что в сущности не изменяет функционального содержания таких терминов. В таких видах систем автоматизации реализуется принцип управления (регулирования) по отклонению.

В САР такого конструктивного исполнения понимание содержания структуры замкнутого контура регулирования обеспечивает понимание содержания главной обратной связи. Главная обратная связь в САР является, как правило, отрицательной и может быть жесткой или гибкой (изодромной) [2, 3, 4]. Наряду с главной обратной связью в замкнутом контуре регулирования таких систем автоматизации может действовать одна или несколько местных обратных связей [2].

Действующие в САР главная и местная обратные связи определенным образом характеризуют системы автоматизации данного вида.

Если в САР действует только главная обратная связь, то такие системы автоматизации называются одноконтурными. Если в САР действует главная обратная связь, а также одна или большее количество местных обратных связей, то такие системы автоматизации называются многоконтурными. Действующий замкнутый контур регулирования в одноконтурных САР является главным. Действующие местные обратные связи в многоконтурных САР образуют дополнительные замкнутые контуры регулирования. Многоконтурным САР свойственны главный и один или большее количество дополнительных замкнутых контуров регулирования.

Осознанное восприятие проявляющихся и действующих в САР главной и местной обратных связей становится доступным для понимания посредством выполнения упрощенного и развернутого структурного анализа. Осознанное восприятие и визуальную наглядность действующих обратных связей каждого вида обеспечивают упрощенная и развернутая структурная схема систем автоматизации.

Содержание главной обратной связи в САР характеризуется содержанием главного замкнутого контура регулирования. Такое содержание зависит от конструктивного исполнения технических средств автоматизации, посредством которых создается главный замкнутый контур регулирования в САР. Технические средства автоматизации осуществляют физическую связь между выходом и входом объекта регулирования и потому обеспечивают действие главной обратной связи [1, 5] и одновременно образуют главный замкнутый контур регулирования в САР. Из этого следует, что содержание главной обратной связи как процесса передачи информации о состоянии объекта в системах автоматизации такого вида раскрывается содержанием структуры главного замкнутого контура регулирования.

Главная обратная связь в виде замкнутого контура регулирования осуществляет процесс передачи информации о состоянии объекта регулирования (ОР) в каждой САР с целью поддержания его заданного состояния равновесия. Информация о состоянии объекта регулирования представляет собой численные значения физического параметра управления. В одной и той же САР выходной параметр объекта (физический параметр управления) имеет конкретную физическую природу и конкретный вид.

Результаты и анализ эксперимента. Процесс передачи информации о состоянии ОР сопровождается преобразованием численных значений выходного параметра объекта, изменением его физической природы и вида. Преобразовательный процесс осуществляется техническими средствами автоматизации замкнутого контура регулирования. В результате формируемый входной параметр ОР, как правило, имеет другую физическую природу, другой вид и иные численные значения по сравнению с его выходным параметром.

Упрощенный структурный анализ САР с замкнутым контуром регулирования раскрывает действие в них только главной обратной связи.

Визуальная наглядность действия главной обратной связи отображается в упрощенных структурных схемах систем автоматизации с замкнутым контуром регулирования [2, 6].

Такой вид структурного анализа выполняется на основе конкретных общих положений и методик. Упрощенный структурный анализ является первоначальным учебно-методическим приемом, который обеспечивает упрощенное понимание структуры систем автоматического регулирования.

Упрощенный структурный анализ позволяет упрощенно познавать внутреннее устройство САР любой конструктивной сложности, физическое взаимодействие между структурными элементами и представлять структуру различных САР посредством упрощенных структурных схем. Упрощенные структурные схемы показывают внутреннее устройство реально действующих САР в виде упрощенной структуры с учетом выполнения каждым структурным элементом конкретной функциональной задачи [5].

Реально действующие САР, которые характеризуются конкретными конструктивными особенностями, разделяются на три упрощенные структурные разновидности. Такие структурные разновидности реально действующих САР определены посредством исследований, проведенных на основе анализа принципиальных электрических схем систем автоматизации данного вида и использования функциональных признаков, которые присущи ОР и АРУ. Каждая структурная схема отражает конкретную конструктивную разновидность САР двумя отдельными и различными по функциональному признаку структурными элементами.

В трех схемах структурные элементы показываются условными графическими и буквенными обозначениями. Графические обозначения в виде прямоугольников показывают структурные элементы САР; графические обозначения в виде линий со стрелками – направление действия физических связей, а буквенные обозначения отражают физические параметры, которые действуют в выходных и входных каналах структурных элементов. Физические связи представляют собой соединение выходного канала одного структурного элемента с входным каналом другого структурного элемента посредством конструктивных деталей, изготовленных определенным образом.

В упрощенных структурных схемах каждая схема включает в свой состав два различных по функциональному назначению структурных элемента [5].

Один структурный элемент называется объектом регулирования (ОР), а второй – автоматическим регулятором управления (АРУ) (рис.1). По количественному составу структурных элементов и их функциональному назначению упрощенные структурные схемы являются однотипными для всех САР.

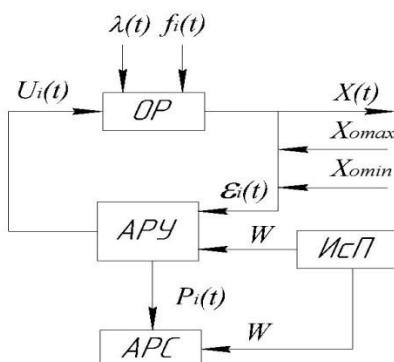


Рисунок 1 - Упрощенная структурная схема систем автоматического регулирования (САР)

с замкнутым контуром регулирования первой разновидности конструктивного исполнения:

ОР – объект регулирования; АРУ – автоматический регулятор управления; АРС – автоматический регулятор сигнализации; $\lambda(t)$ – нагрузка; $f_i(t)$ – помеха; $X(t)$ – параметр управления (параметр состояния объекта регулирования); $U_i(t)$ – управляющее воздействие; X_{\max} – задаваемое максимальное значение параметра управления; X_{\min} – задаваемое минимальное значение параметра управления;

$\varepsilon_i(t)$ – управляющий сигнал; $P_i(t)$ – входной параметр АРС; ИСП –источник питания;

W – энергия источника питания, которая является входным параметром АРУ и АРС

Упрощенные структурные схемы являются однотипными только по своему внешнему виду, что связано с условными графическими и буквенными обозначениями структурных элементов. Содержание упрощенной структурной схемы для каждой конкретной САР является различным. Это обусловлено неодинаковым конструктивным исполнением ОР и АРУ. Различие в САР конструкций ОР между собой определяет различие и содержание физических связей, которые характеризуются входными и выходными физическими параметрами.

Содержание физических связей обусловлено физической природой и видом, а также численными значениями входных и выходных параметров ОР и АРУ.

Объект регулирования имеет несколько входных параметров различной физической природы и различного вида и один выходной физический параметр.

Входными параметрами объекта являются управляющие воздействия $U_i(t)$, нагрузка $\lambda(t)$ и помеха $f_i(t)$. Физическая природа управляющих воздействий $U_i(t)$ и нагрузки $\lambda(t)$ характеризуется физической природой управляющей среды, которая подается автоматическим регулятором управления в ОР.

Выходной параметр $X(t)$ является физическим параметром управления объектом. Численные значения параметра $X(t)$ зависят от наличия и состояния управляющей среды в объекте.

В буквенном обозначении управляющего воздействия $U_i(t)$, индекс i отражает количество численных значений, которое составляет $i=2$. Это означает, что АРУ вырабатывает в каждой САР два различных по численным значениям управляющих воздействия $U_i(t)$, которые действуют во вход ОР в виде конкретных физических параметров.

Такое количество управляющих воздействий $U_i(t)$, определяет два необходимых их численных значения, что обусловлено требованием поддерживать ОР в заданном состоянии равновесия.

Функциональная запись $U_i(t)$ означает, что численные значения управляющего воздействия изменяются во времени и оказывают целенаправленное влияние на состояние ОР.

Одно управляющее воздействие вырабатывается АРУ при достижении физическим параметром управления $X(t)$ максимально заданного оптимального значения X_{omax} . Второе управляющее воздействие вырабатывается АРУ при достижении физическим параметром управления $X(t)$ минимально заданного оптимального значения X_{omin} .

Нагрузка $\lambda(t)$ представляет собой для конкретного ОР конкретный физический параметр, который характеризуется численными значениями расхода управляющей среды из объекта. И все-таки нагрузка $\lambda(t)$ показывается входным параметром ОР, а не выходным. Это обусловлено тем, что управляющая среда покидает ОР и уходит за пределы его конструкции.

Уход управляющей среды из ОР характеризует ее расход и соответственно внешнее влияние на состояние объекта. Расход управляющей среды очень сильно влияет на состояние ОР и в наибольшей степени выводит его из заданного состояния равновесия.

Функциональная запись нагрузки $\lambda(t)$ означает, что численное значения расхода управляющей среды объектом изменяются во времени.

Такая запись означает также, что степень влияния нагрузки на состояние ОР не является постоянной и тоже изменяется во времени.

Помеха $f_i(t)$ включает в свой состав физические параметры окружающей среды, в которой работает ОР, а также конкретные физические параметры, характеризующие состояние конструкции объекта.

В буквенном обозначении помехи $f_i(t)$ индекс i отражает количественный состав физических параметров, который составляет $i=1,2...n$. В общем случае помеха $f_i(t)$ включает в свой состав n различных физических параметров.

Функциональная запись помехи $f_i(t)$ означает, что численные значения физических параметров изменяются во времени. Такая запись означает также, что степень влияния помехи на состояние ОР не является постоянной и тоже изменяется во времени.

Физическими параметрами окружающей среды объектов являются температура, влажность, давление, запыленность, газовый состав, агрессивность окружающей среды, рельеф почвы и другие величины.

Физическими параметрами состояния конструкции могут быть, например, зазоры между работающими деталями узлов и механизмов, которые превышают номинальные значения и которые через заданные заводами промежутки времени должны проверяться и устанавливаться до номинальных значений; зазоры и трещины в конструкции объектов, которые появляются во время их эксплуатации и являются недопустимыми; износ деталей узлов и механизмов объектов; изменение теплоизоляционных свойств конструктивных элементов объектов; теплопотери через конструктивные элементы объектов и т. п.

Автоматический регулятор управления (АРУ) в каждой реальной САР имеет один входной и один выходной физические параметры. Входным параметром АРУ является физический параметр $X(t)$, который используется для управления объектом. Выходным параметром АРУ является физический параметр $U_i(t)$, который называется управляющим воздействием и используется для поддержания заданного состояния равновесия ОР. В упрощенных структурных схемах показывается большее количество входных параметров АРУ.

Выводы. Физическая связь между АРУ и ОР в упрощенных структурных схемах, отражающих структуру реальных САР, обозначается латинскими и греческими буквами в соответствии с физической

природой и видом входных и выходных параметров. В каждой упрощенной структурной схеме буквенные обозначения не отражают природу и вид входных и выходных параметров в реальных САР.

Буквенные обозначения в структурных схемах являются однотипными и носят виртуальный характер, что позволяет упрощенно объяснять структуру всех однотипных САР, имеющих замкнутый контур регулирования.

Виртуальность означает, что буквенные обозначения входных и выходных параметров являются условными и общими для реальной САР. Это объясняется тем, что каждая упрощенная структурная схема одновременно отражает одинаковые конструктивные особенности нескольких реальных САР, имеющих одинаковую структуру и замкнутый контур регулирования.

Список источников

1. Аннаев О., Меретова Д., Мухамедкулиев Н. Автоматизации технологических процессов // Изд-во Брянский ГАУ, 2023. № 36-2 (306). С. 11-12.
2. Нестерова Н.В., Стеба И.П. Автоматизация сельскохозяйственной техники // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения: сб. науч. работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. С. 46-49.
3. Козлов С.И., Бортник С.А., Кузюр В.М. Эксплуатационное содержание и сущность систем автоматизации современной сельскохозяйственной техники // Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения: сб. науч. работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2022. С. 10-19.
4. Козлов С.И., Бортник С.А. Структурный анализ автоматизированных систем управления сельскохозяйственной техники. // Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения: сб. науч. работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2019. С. 276-281.
5. Козлов С.И., Бортник С.А. Упрощенный структурный анализ систем автоматизации сельскохозяйственной техники // Конструирование, использование и надежность машин с.-х. назначения: сб. науч. работ. Брянск: Изд-во Брянский ГАУ, 2020. С. 138-143.
6. Развёрнутый структурный анализ систем автоматизации сельскохозяйственной техники / С.И. Козлов и др. М.: Технический сервис машин, 2021. № 4 (145). С. 62-68.

Информация об авторах:

С.И. Козлов - кандидат технических наук, доцент кафедры механизации животноводства и электрификации сельскохозяйственного производства, УО Белорусская сельскохозяйственная академия, Stepan-61@mail.ru

С.А. Бортник - старший преподаватель кафедры естественнонаучных дисциплин, УО Белорусский государственный аграрный технический университет, sbortnik2012@baa.by

В.М. Кузюр - кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, kvming@mail.com

С.И. Будко - кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, s.budko.32@bk.ru

Information about the authors:

S.I. Kozlov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Mechanization of Animal Husbandry and Electrification of Agricultural Production, Belarusian Agricultural Academy, Stepan-61@mail.ru

S.A. Bortnik - Senior lecturer at the Department of Natural Sciences, Belarusian State Agrarian Technical University, sbortnik2012@baa.by

V.M. Kuzyur - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Bryansk State University, kvming@mail.com

S.I. Budko - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technical Service, Bryansk GAU, s.budko.32@bk.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 27.11.2024, одобрена после рецензирования 20.01.2025, принята к публикации 16.04.2025.

The article was submitted 27.11.2024, approved after reviewing 20.01.2025, accepted for publication 16.04.2025.

© Козлов С.И., Бортник С.А., Кузюр В.М., Будко С.И.

Научная статья
УДК 621.31:631.15

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

¹Ольга Евгеньевна Широбокова, ²Юрий Евгеньевич Кисель, ²Алексей Алексеевич Ульянов,
²Алексей Александрович Любкин

¹ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

²ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет»,
Брянская область, Брянск, Россия

Аннотация. Приведены результаты измерений показателей качества электрической энергии на перерабатывающем предприятии агропромышленного комплекса ОПХ «Охотно». Проблема качества электрической энергии сельскохозяйственных предприятий является весьма актуальной задачей на сегодняшний день. Эффективность эксплуатации электрооборудования сельхозпредприятий, его долговечность, работоспособность определяются, рабочими параметрами электрической сети, которые напрямую связаны с показателями качества электроэнергии. В ходе анализа показателей качества электрической энергии на рассматриваемом предприятии было выявлено, что значительные потери и ухудшение показателей качества электрической энергии связаны с несимметричной нагрузкой, проявляющейся в высоком значении тока нулевой последовательности. Это приводит к перегрузке нейтрального провода, повышению температуры кабелей, увеличению потерь активной мощности и, как следствие, к снижению эффективности энергопотребления и потенциальному выходу оборудования из строя. Для решения данной проблемы и улучшения показателей качества электрической энергии необходимо снизить ток нулевой последовательности. Этого можно добиться различными методами, выбор которых зависит от специфики нагрузки и особенностей электросети. Одним из эффективных средств повышения качества электрической энергии и снижения потерь является применение специальных трансформаторов с симметрирующими устройствами и конденсаторных установок. Предлагаемое в статье симметрирующее устройство обеспечивает коррекцию параметров цепи переменного тока (несимметрия) в сельских электросетях напряжением 0,38 кВ. В частности, оно существенно снижает ток нулевой последовательности, и выравнивает фазовые токи до значений, соответствующих нормативным требованиям. Кроме того, применение специализированных трансформаторов, оснащённых симметрирующими устройствами, а также конденсаторных установок, представляет собой действенный метод повышения качества электрической энергии и минимизации потерь.

Ключевые слова: качество электрической энергии, несимметрия, гармоника, отклонение напряжения, допустимые значения.

Для цитирования: Исследование показателей качества электроэнергии сельскохозяйственного предприятия / О.Е. Широбокова, Ю.Е. Кисель, А.А. Ульянов, Л.А. Александрович // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 3 (109). С. 66-71.

Original article

RESEARCH OF INDICATORS OF THE QUALITY OF ELECTRICITY OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE

¹Oльга Е. Широбокова, ²Юрий Е. Кисель, ²Алексей А. Ульянов, ²Алексей А. Любкин

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

²Bryansk State Technological University of Engineering, Bryansk Region, Bryansk, Russia

Abstract. The results of measurements of electric energy quality indicators at the processing plant of the Okhotno agro-industrial complex are presented. The problem of the electric energy quality of agricultural enterprises is a very urgent task today. The efficiency of operation of the electrical equipment of agricultural enterprises, its durability, serviceability is determined by the operating parameters of the electrical network, which are closely related to the quality of electricity. During the analysis of electrical energy quality indicators at the enterprise in question, it was revealed that significant losses and deterioration of electrical energy quality indicators are associated with an asymmetric load, manifested in a high value of the zero-sequence current. This leads to an overload of the neutral wire, an increase in cable temperature, an increase in active power losses and, as a result, a decrease in energy efficiency and potential equipment failure. To solve this problem and improve the quality of electrical energy, it is necessary to reduce the zero-sequence current. This can be achieved by various methods, the choice of which depends on the specifics of the load and the characteristics of the power grid. One of the effective means of improving the quality of electrical energy

and reducing losses is the use of special transformers with balancing devices and capacitor installations. The symmetrical device proposed in the article provides correction of the parameters of the alternating current circuit (asymmetry) in rural power grids with a voltage of 0.38 kV. In particular, it significantly reduces the zero-sequence current and equalizes the phase currents to values that meet regulatory requirements. In addition, the use of specialized transformers equipped with balancing devices, as well as capacitor installations, is an effective method of improving the quality of electrical energy and minimizing losses.

Keyword: quality of electrical energy, asymmetry, harmonics, voltage deviation, acceptable values.

For citation: Research of indicators of the quality of electricity of an agricultural enterprise / O.E. Shirobokova, Y.E. Kisel, A.A. Ulyanov, A.A. Lyubkin // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025.3 (109): 66-71.

Введение. Одной из основных задач сельских населенных пунктов является планировка инженерных систем. В частности, систем электроснабжения. Электроснабжение, как одна из основных инженерных систем территорий сельских населенных пунктов имеет ряд особенностей по сравнению с городским электроснабжением. Следует отметить такие особенности как: требования повышенной надежности, большое число маломощных энергопотребителей, рассредоточенных на значительной части территории, низкое качество электрической энергии и др.

Небольшие районные города и поселки часто располагаются вблизи больших промышленных предприятий, которые имеют независимые системы электроснабжения. Питание сельских потребителей осуществляется при помощи простых систем электроснабжения, которые часто связаны с системами электроснабжения прилегающих предприятий. Что в свою очередь оказывает существенное влияние на показатели КЭ, используемой для снабжения, как поселений, так и градообразующего предприятия.

Задачей проектирования таких инженерных систем является создание экономически целесообразной системы электроснабжения, обеспечивающей необходимое количество и качество комплексного электроснабжения всех потребителей, а также обеспечивающих их экономическую эксплуатацию.

В данной работе проводилось исследование показателей качества электроэнергии (КЭ) в электрических сетях Отрадненского сельского поселения Брянской области, где градообразующим предприятием является ОПХ «ОХОТНО».

Методика исследований. Исследования проводились согласно требованием ГОСТ 33073-2014 [1]. Информация о показателях качества электроэнергии была взята в нескольких точках системы электроснабжения. Средства измерения, с помощью которых исследовали объекты энергоснабжения, соответствовали ГОСТ 30804.4.30-2013 [2]. Исследование проводилось в 2-х узлах, прибором CIRCUTOR S.A. AR 6, в сети с напряжениями 10 и 0,4 кВ.

В процессе измерений были использованы следующие настройки: номинальное напряжение составило 380В, а тип системы трехфазная четырехпроводная. Данные записывались с периодичностью 5 секунд, что позволило получить достаточно подробную информацию о состоянии электрической сети в течение времени. Прибор, используемый для измерений, был настроен на регистрацию различных параметров, включая линейные и фазные напряжения и токи: U_{12} , U_{23} , U_{13} , U_1 , U_2 , U_3 , (В); ток - I_1 , I_2 , I_3 (А); частота f , Гц; дозы фликера - Pst_1 , Pst_2 , Pst_3 , Plt_1 , Plt_2 , Plt_3 ; гармонические составляющие тока и напряжения с 1 по 40 гармоники, ток нулевого проводника, коэффициент мощности – $\cos\phi$; прерывания напряжения; перенапряжения, импульсы напряжения, провалы. Все измерения проводились по ГОСТ32144-2013.

Результаты измерения. *Отклонение частоты.* Номинальное значение частоты напряжения электропитания в электрической сети равно 50 Гц. Для КЭ 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. Отклонения частоты находятся в допустимых пределах.

Отклонения напряжения. Характеризуется показателем установившегося отклонения напряжения. Нормально допустимые и предельно допустимые значения установившегося отклонения напряжения δU на выводах приемников электрической энергии равны соответственно $\pm 10\%$ от номинального напряжения электрической сети по ГОСТ 32144-2013 [3]. Данные измерений на предприятии соответствуют нормативным показателям.

Анализ выполненных исследований выявил, что в большинстве экспериментов фиксируется недопустимое изменение уровня напряжения в сети 0,4 кВ, превышающее допустимые нормы (рис. 1).

Колебания напряжения и фликер. Показателями КЭ, относящимися к колебаниям напряжения, являются кратковременная доза фликера Pst , измеренная в интервале времени 10 мин, и длительная доза фликера Plt , измеренная в интервале времени 2 ч. Данные замеров свидетельствуют о неоднократном превышении дозы фликера. (рис. 2).



Рисунок 1 - График положительного отклонения фазного напряжения

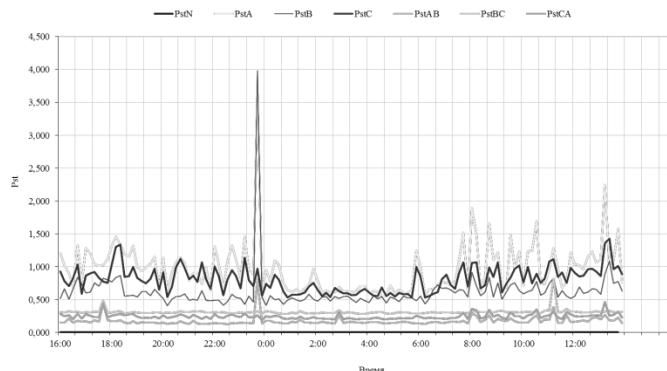


Рисунок 2 - График кратковременной дозы фликера

Несинусоидальность 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 [4].

Несимметрия напряжений в трехфазных системах. Показателями КЭ, 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 КЭ ГОСТ 32144-2013 [4], 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.

В ходе обследования системы электроснабжения предприятия был выявлен ряд случаев отклонения от установленных норм (рис.3). В частности, энергетическая сеть ОПХ «Охотно» требует принятия мер по устранению несимметрии. Одной из основных причин вызывающих несимметрию можно отметить неравномерность распределения нагрузки по фазам. Несимметрия напряжений и токов негативно сказывается на работе ЛЭП, а также понижает результивность применения компенсирующих устройств, снижает долговечность электродвигателей, сокращает срок их эксплуатации в 2 раза и негативно сказывается на мощности, которая снижается на 5 ... 20%) [6-9].

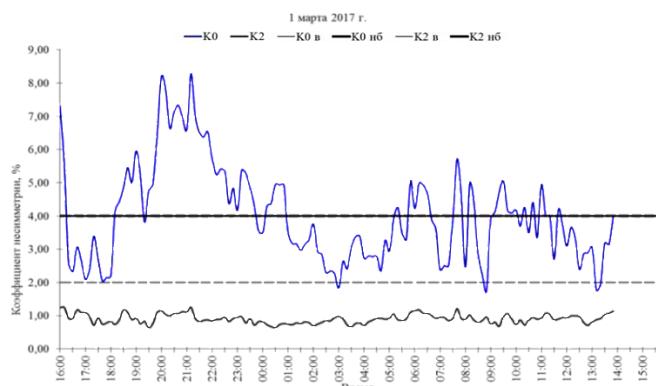


Рисунок 3 - Графики коэффициентов несимметрии напряжений по нулевой и обратной последовательности

Вышеназванные факторы негативно сказываются на технико-экономических показателях и приводят к авариям в системах электроснабжения [10].

Пробалы напряжения и перенапряжения. В соответствии с требованиями нормативных документов пробал напряжения рассматривается как электромагнитная помеха, интенсивность которой определяется как напряжением, так и длительностью. Длительность пробала напряжения может быть до 1 мин. Длительность перенапряжения может быть до 1 мин.

В процессе исследования КЭ в сельских электрических сетях были выявлены несколько значительных недостатков, которые негативно сказываются на надежности и стабильности электроснабжения. К основным проблемам относятся: превышение допустимых значений высших гармоник, как напряжения, так и тока; длительные отклонения напряжения от нормы; а также значительная несимметрия в сетях с напряжением 0,38 кВ. Кроме того, наблюдаются отклонения как длительной, так и кратковременной дозы фликера, который является показателем мерцания света, вызываемого колебаниями напряжения.

Для устранения этих недостатков необходимо реализовать ряд мероприятий, которые могут значительно повысить качество электроснабжения. К числу таких мероприятий можно отнести: первое - равномерное распределение нагрузки по фазам. Это поможет избежать перегрузок и обеспечит более стабильное функционирование сети. Второе - установка конденсаторных установок в распределительных сетях предприятий и на трансформаторных подстанциях 10/0,4 кВ. Эти установки используются для коррекции реактивной мощности, что способствует разгрузке питающих линий и улучшению качества напряжения. Третье - нормализация напряжения и снижение потерь электроэнергии на удаленных от центра питания потребителей. Это особенно актуально для сельских районов, где расстояния до источников питания могут быть значительными. Для достижения положительных результатов в улучшении качества электроэнергии также можно использовать специальные устройства для симметрирования трехфазных цепей с нулевым проводом. Целесообразно при проектировании новой сети или замене существующих трансформаторов их замену на трехфазные маслонесущие трансформаторы герметичные с симметрирующим устройством (ТМГСУ) [10]. Эти устройства не требуют значительных затрат и достаточно просты в изготовлении.

На рисунке 4 предложена схема симметрирующего устройства для ОПХ «Охотно».

Исследуемая электрическая сеть представляет собой трёхфазную четырёхпроводную систему с номинальным напряжением 380 В (0,38 кВ). В данной сети наблюдалась значительная несимметрия токов и напряжений, что потребовало применения симметрирующего устройства для улучшения качества электроэнергии и снижения потерь.

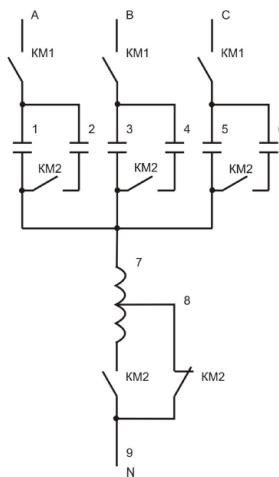


Рисунок 4 - Симметрирующее устройство для смешанной нагрузки

Это устройство имеет двухступенчатую конструкцию, что обеспечивает гибкость регулирования и адаптацию к различным режимам работы сети. Каждая ступень состоит из комбинации конденсаторов и индуктивной катушки, подбираемых таким образом, чтобы компенсировать несимметрию. Первая ступень симметрирующего устройства включает в себя три конденсатора (C_1, C_3, C_5) и часть индуктивной катушки (L_7), подключенной до дополнительного вывода 8. Выбор именно такого количества конденсаторов и частичной индуктивности обусловлен необходимостью компенсации преимущественно емкостной составляющей несимметрии при определённых условиях нагрузки. Дополнительный вывод 8 позволяет регулировать величину индуктивности, включаемой в первую ступень, обеспечивая тонкую настройку работы устройства. Конденсаторы в первой ступени, вероятно, имеют меньшую ёмкость, чем во второй, что соответствует общей стратегии управления несимметрией: более точная регулировка на малых отклонениях и более грубая, но мощная на больших. Вторая ступень работает с тремя другими конденсаторами (C_2, C_4, C_6) и полной индуктивной катушкой (L_7). Полное включение индуктивной катушки L_7 во вторую ступень позволяет компенсировать значительные несимметрии, которые не могут быть устранены первой ступенью.

Расчеты, проведенные на основе измеренных параметров, показали, что ток в нулевом проводе (I_N) составлял 24,24А за рассматриваемый период времени. Значения линейных токов составляли: $I_A = 12,76$ А, $I_B = 9,32$ А, $I_C = 35,4$ А. Значительное отклонение тока в фазе С (35,4 А) от токов в фазах А и В (12,76 А и 9,32 А соответственно) наглядно демонстрирует наличие существенной несимметрии [6]. Именно эти данные послужили основой для расчета параметров симметрирующего устройства.

Рассчитаем среднюю величину тока по формуле (1):

$$I_{cp} = \frac{I_A + I_B + I_C}{3} = \frac{12.76 + 9.32 + 35.4}{3} = 19.15 \text{ А} \quad (1)$$

Мощность фазы СУ:

$$S_\phi = 3 \times U_\phi \times I_\phi = 3 \times 238 \times 19.15 = 13675,48 \text{ ВА} = 13,67 \text{ кВА} \quad (2)$$

Мощность конденсаторов для КШСУ определим по выражению:

$$Q_c = S_\phi (\sin \varphi_h - \sin \varphi_k) = 13,67 \times (0,6 - 0,312) = 3,937 \text{ квар} \quad (3)$$

Учитывая смешанную нагрузку и значения коэффициентов в электрической сети $\cos \varphi_h = 0,8$ и $\cos \varphi_k = 0,95$, значения синусов соответственно равны 0,6 и 0,312. Определим реактивную мощность одной конденсаторной батареи:

$$Q_{c1} = \frac{Q_c}{3} = \frac{3.937}{3} = 1.312 \text{ квар} \quad (4)$$

Найдем сопротивление индуктивности и ёмкости:

$$X_C = \frac{U_\phi^2}{Q_{c1}} = \frac{238^2}{1312} = 43,17 \text{ м} \quad X_L = \frac{X_C}{3} = \frac{43,17}{3} = 14.30 \text{ м} \quad (5)$$

Рассчитаем ток нулевой последовательности:

$$I_0^* = \frac{K_{0i}}{2} \quad (6)$$

где I_0^* – ток нулевой последовательности в электрической сети.

Зная максимальном значении параметра $K_{0i} = 0.45$ рассчитаем I_0 :

$$I_0 = \frac{K_{0i} \times I_{cp}}{2} = \frac{0.45 \times 19.15}{2} = 4.03 \text{ А}; \quad (7)$$

Мощность одного элемента индуктивности

$$Q_L = 3X_L I_0^2 = 3 * 14.3 * 4.03^2 = 696.7 \text{ вар.}$$

Определим индуктивность катушки L :

$$L = \frac{X_L}{\omega} = \frac{14.3}{314} = 0.0455 \text{ Гн}$$

Найдём суммарную установленная мощность реактивных элементов:

$$S_y = 3Q_{c1} + Q_L = 3 * 1.312 + 0.696 = 4.632 \text{ кВАр.} \quad (8)$$

По расчёты данным подбираем элементы и собираем цепь, представленную на рис. 6.

Предложенная конструкция проста в изготовлении, эффективна в использовании в сельских электросетях 0,38кВ и имеет низкую стоимость.

Выводы. 1. Предложенное симметрирующее устройство позволяет нормализовать параметры КЭ (несимметрию) в сельских электросетях 0,38кВ ОПХ «Охотно», а в частности значительно снизить ток нулевой последовательности, который составлял $I_N=24,24$ А и выровнять фазные токи до нормативных значений $I_{cp} = 19,15$ А. По расчетным данным мощности конденсаторной батареи индуктивность катушки составила: $L=0,0455$ Гн.

2. Результативным техническим средством повышения качества электроэнергии и снижения потерь в сельских электрических сетях является применение трехфазных масляных герметичных трансформаторов с симметрирующим устройством (ТМГСУ).

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. в действие Приказом Росстандарта от 08.12.2014 г. № 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. в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 г. № 400-ст).

4. ГОСТ 32144-2013. Межгосударственный стандарт. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения (введ. в действие Приказом Росстандарта от 22.07.2013 г. № 400-ст).
5. Самохина Е.В., Макашева С.И. Влияние качества электрической энергии на эффективность ее передачи: оценка существующего положения дел // Научно-техническое и экономическое сотрудничество стран АТР в XXI веке. 2024. Т. 2. С. 203-206.
6. Галиев И.Р. Проблемы контроля и анализа показателей качества электрической энергии // Бутаковские чтения: сб. ст. IV Всерос. с междунар. участием молодёжной конф. Томск, 2024. С. 497-498.
7. Белозерцев А. Практика снижения потерь электрической энергии в распределительных сетях // Электроэнергия. Передача и распределение. 2021. № S1 (20). С. 24-27.
8. Туев Д.Д. Проблемы качества электрической энергии // E-Scio. 2022. № 10 (73). С. 285-289.
9. Улучшение показателей качества электрической энергии / М.Ю. Еремин, А.А. Заболотная, Н.С. Лымарь, А.М. Еремин // Инновационные технологии и технические средства для АПК: материалы междунар. науч.-практ. конф. молодых ученых и специалистов, посвящ. 110-летию ФГБОУ ВО «Воронежский ГАУ им. императора Петра I». Воронеж, 2022. С. 160-163.
10. Повышение качества электрической энергии в АПК применением трансформаторов со специальными схемами соединения обмоток / М.А. Прищепов, И.В. Протосвицкий, В.М. Збродыга, А.И. Зеленьевич // Энергосбережение - важнейшее условие инновационного развития АПК: материалы междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 65-летию агрогенеретического факультета и 100-летию И.Ф. Кудрявцева. Мин.: Изд-во Белорусский государственный аграрный технический университет, 2022. С. 17-23.

Информация об авторах:

О.Е. Широбокова - кандидат технических наук, доцент кафедры электроэнергетики и электротехнологий, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, shirobokova_70@mail.ru.

Ю.Е. Кисель - доктор технических наук, профессор кафедры общетехнических дисциплин и физики, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

А.А. Ульянов - кандидат технических наук, доцент кафедры общетехнических дисциплин и физики, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

А.А. Любкин - аспирант кафедры общетехнических дисциплин и физики, ФГБОУ ВО «Брянский государственный инженерно-технологический университет».

Information about the authors:

O.E. Shirobokova - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Electric Power Engineering and Electrical Engineering, Bryansk State Agrarian University, shirobokova_70@mail.ru.

Yu.E. Kisel' - Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of General Technical Disciplines and Physics, Bryansk State University of Engineering and Technology.

A.A. Ul'yanov - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of General Technical Disciplines and Physics, Bryansk State University of Engineering and Technology.

A.A. Lyubkin - postgraduate student at the Department of General Technical Disciplines and Physics, Bryansk State University of Engineering and Technology.

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 07.02.2025, одобрена после рецензирования 21.02.2025, принята к публикации 28.02.2025.

The article was submitted 07.02.2025, approved after reviewing 21.02.2025, accepted for publication 28.02.2025.

© Широбокова О.Е., Кисель Ю.Е., Ульянов А.А., Любкин А.А.

Научная статья

УДК 635.64:628.979:581.5

**ВЛИЯНИЕ СПЕКТРАЛЬНОГО СОСТАВА ИЗЛУЧЕНИЯ
НА ЭНЕРГОЭКОЛОГИЧНОСТЬ ТОМАТА**

¹Елена Николаевна Ракутько, ²Александр Николаевич Васькин

¹Институт агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, Санкт-Петербург, Россия

²ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, Брянская область, Кокино, Россия

Аннотация. Исследования направлены на формирование математических коэффициентов для аппроксимационных формул, отражающих динамику биометрических показателей томатов при воздействии светового излучения разного спектрального состава. Эксперименты проводились над растениями томата сорта Полонез F₁ (*Solanum Lycopersicum L.*), культивируемыми на торфяном субстрате в изолированной лаборатории. Параметры эксперимента включали поддержание облученности 140 мкмоль·с⁻²·м⁻² при фотопериоде 16 часов. Замеры биометрических параметров осуществлялись каждые 8 дней, начиная с 22-го дня. Разработка эмпирических моделей динамики биометрических параметров позволяет оптимизировать рост растений через подбор комбинаций внешних факторов. Предложен показатель спектрального состава излучения источников, характеризующий величину доли энергии длинноволнового излучения в общем потоке излучения ФАР, который предоставляет возможность количественно охарактеризовать многообразие спектральной информации одним числом. Экспериментальные данные выявили значительные различия параметров томатов при разных значениях спектрального показателя. Растения под излучением с высоким значением показателя демонстрировали увеличенные параметры высоты, диаметра стебля и сырой массы. Меньшие значения наблюдались по площади листьев, оптической плотности, содержанию хлорофилла и флуктуирующей асимметрии. Полученные результаты легли в основу эмпирических моделей биометрических параметров томатов.

Ключевые слова: светокультура, биометрия, томат, математическая модель, спектр.

Для цитирования: Ракутько Е.Н., Васькин А.Н. Влияние спектрального состава излучения на энергоэкологичность томата // Вестник Брянской ГСХА. 2025. №3 (109). С. 72-78.

Original article

**INFLUENCE OF SPECTRAL COMPOSITION OF RADIATION
ON THE ENERGY ECOLOGICAL OF TOMATO**

¹Yelena N. Rakut'ko, ²Alexandr N. Vas'kin

¹ Institute of Agroengineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IAEP) - branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution Federal Scientific Center of VIM, Saint-Petersburg, Russia

²Bryansk State Agrarian University, Bryansk Region, Kokino, Russia

Abstract. The researches are aimed at the formation of mathematical coefficients for approximation formulas that reflect the dynamics of biometric indicators of tomatoes when exposed to light radiation of different spectral composition. Experiments were conducted on tomato plants of the variety Polonez F1 (*Solanum Lycopersicum L.*) cultivated on peat substrate in an isolated laboratory. The experimental parameters included maintaining irradiance at 140 $\mu\text{mol.s}^{-2}\text{m}^{-2}$ with a photoperiod of 16 hours. Measurements of biometric parameters were carried out every 8 days, starting from the 22nd day. The development of empirical models of the dynamics of biometric parameters makes it possible to optimize plant growth through the selection of combinations of external factors. An indicator of the spectral composition of radiation from sources is proposed, characterizing the value of the share of long-wave radiation energy in the total flux of radiation from phased arrays, which makes it possible to quantitatively characterize the variety of spectral information with one number. The experimental data revealed significant differences in the parameters of tomatoes at different values of the spectral index. Plants under radiation with a high value of the indicator showed increased parameters of height, stem diameter and wet weight. The lower values were observed for leaf area, optical density, chlorophyll content and fluctuating asymmetry. The results obtained formed the basis for empirical models of tomato biometric parameters.

Keywords: light culture, biometrics, tomato, mathematical model, spectrum.

For citation: Rakut'ko E.N., Vas'kin A.N. Influence of spectral composition of radiation on the energy-ecological friendship of tomato // Vestnik of the Bryansk State Agricultural Academy. 2025. №3 (109): 72-78.

Введение. Выращивание сельскохозяйственных культур в регионах с суровыми климатическими условиями требует создания специальных культивационных помещений. Современные теплицы позволяют полностью регулировать все параметры окружающей среды для оптимального роста растений. Дополнительное искусственное освещение активно применяется наряду с естественным

солнечным светом, а многие новые технологии культивации, включая ситифермы, гроу-боксы и фито-стены, функционируют исключительно на основе искусственных источников света.

Повышение энергоэффективности производства и рациональное использование ресурсов становятся ключевыми задачами современной промышленности. Тепличные комплексы потребляют значительные объемы энергетических и материальных ресурсов при выращивании сельскохозяйственных культур. Внедрение специализированных энергосберегающих технологий позволяет существенно оптимизировать производственные процессы. Растения, культивируемые в условиях искусственного освещения, нуждаются в сбалансированном сочетании всех факторов среды для формирования качественной продукции. Световое воздействие играет определяющую роль среди экологических параметров выращивания. Варьирование характеристик освещения, включая мощность светового потока, режим облучения и спектральный состав, значительно влияет на процессы роста и развития культурных растений [1, 2, 3].

Математическое моделирование продукционных процессов растений выступает фундаментальной основой управления светокультурой. Абстрактное представление реального объекта через математическую модель позволяет анализировать поведение биологической системы при варьировании внешних условий. Математические выражения, описывающие конкретную культуру, устанавливают взаимосвязи между физиологическими параметрами растений, включая накопление биомассы, интенсивность фотосинтеза и транспирации. Количественное описание внутренних процессов растительного организма средствами математического моделирования становится важным инструментом биотехнологии, способствующим модернизации агропромышленного комплекса, наращиванию объемов производства качественного продовольствия при соблюдении принципов экологической устойчивости [4].

Биометрические параметры растений выступают ключевыми индикаторами влияния окружающей среды на развитие организма. Регулярные замеры морфологических характеристик позволяют отслеживать динамику роста культур во времени. Результаты измерений служат основой для создания эффективных систем управления растительной продуктивностью в агропромышленном комплексе.

Разработанные для различных культур модели подразделяются на функциональные и описательные категории. Механистический подход функциональных моделей базируется на биологических закономерностях, разделяя систему на независимо моделируемые компоненты. Взаимодействие между растением и средой становится ключевым фактором построения таких моделей. Описательный метод моделирования абстрагируется от внутренних механизмов функционирования растительных систем, сохраняя при этом практическую ценность для растениеводства. Эмпирическое обобщение экспериментальных наблюдений позволяет создавать математические формулы и системы уравнений, отражающие количественные закономерности развития растений. Анализ полученных зависимостей способствует пониманию механизмов реагирования растительных организмов на внешние воздействия [5, 6].

Цель исследования - анализ воздействия спектральных характеристик освещения на энерго-экологичность светокультуры.

Материалы, методы и объекты исследования. В рамках проведенного исследования анализировались закономерности формирования потоков вещества и энергии при выращивании растений в условиях искусственного освещения. Методологическая база работы опирается на концептуальные положения энергоэкологии светокультуры как комплексного научного направления. Растения, культивируемые при контролируемом освещении, выступали основным объектом экспериментальной части [7].

Современные исследования светокультуры растений фокусируются на изучении реакций биометрических параметров различных культур при варьировании условий выращивания. Оптическое излучение выступает ключевым фактором энергетического и сигнального воздействия на растительные организмы в контролируемой среде. Накопленные экспериментальные данные позволяют детально характеризовать влияние спектральных составляющих света на морфогенез отдельных видов растений. Актуальной задачей остается комплексная оценка взаимодействия световых параметров среды с другими факторами культивирования для оптимизации энергоэффективности и экологичности производства.

Экологическая оптимизация современного тепличного хозяйства открывает существенные экономические перспективы для агропромышленного комплекса. Рациональное использование энергетических и материальных ресурсов при выращивании растений в условиях искусственного освещения позволяет минимизировать производственные издержки на каждом этапе культивации. Многообразие технических решений и разнородность применяемых агротехнологических процессов создают определенные сложности при разработке универсальной методики оценки энергетической результативности и экологической безопасности тепличного производства.

Объект исследования ЭЭС как нового научного направления – искусственная биоэнергетическая система светокультуры (ИБЭСС), сосредоточенное на изучении искусственных биоэнергетических комплексов выращивания растений. Подобные комплексы объединяют растительные организмы с технологическим оснащением, включающим системы освещения, регулирования микроклимата и подачи питательных веществ в закрытых агропромышленных пространствах. Математический анализ движения вещества при формировании растительной продукции базируется на многоуровневом моделировании биоэнергетической структуры. Ключевым показателем эффективности функционирования выступает энергоэкологичность.

Предметом изучения ЭЭС являются закономерности преобразования потоков вещества и энергии в ИБЭСС. Данная область науки фокусируется на повышении урожайности при минимальных энергозатратах, улучшении питательных свойств сельскохозяйственной продукции, сокращении содержания вредных веществ и обеспечении экологической безопасности производства.

Энергоэкология светокультуры формирует междисциплинарное научное направление, объединяющее несколько фундаментальных областей знаний. Энергетические и технические дисциплины раскрывают физические основы проектирования источников света, принципы работы облучательных установок, методы их эксплуатации с учетом энергоэффективности. Физиология растений изучает механизмы фотосинтеза под влиянием различных экологических факторов, особенно оптического излучения, определяющие параметры фотосинтетических процессов на всех структурных уровнях растительного организма. Экологический аспект рассматривает движение вещества в живых системах разного масштаба, включая популяции и биоценозы, а также механизмы взаимодействия организмов со средой обитания.

Жизненный цикл растительного организма представляет собой непрерывную последовательность биологических процессов, начинающуюся с момента прорастания семени и завершающуюся получением готовой продукции растениеводства. Выращивание сельскохозяйственных культур с определенными характеристиками требует строгого соблюдения агротехнических мероприятий на каждом этапе вегетационного периода вплоть до сбора урожая.

Параметры окружающей среды, формируемые техническими компонентами искусственной биоэнергетической системы светокультуры, варьируются соответственно стадиям вегетации растений. Многомерное пространство состояний системы характеризуется определенным вектором развития между исходными и финальными точками. Осями координат являются частные показатели энергоэкологичности, что наглядно отображено на рисунке 1.

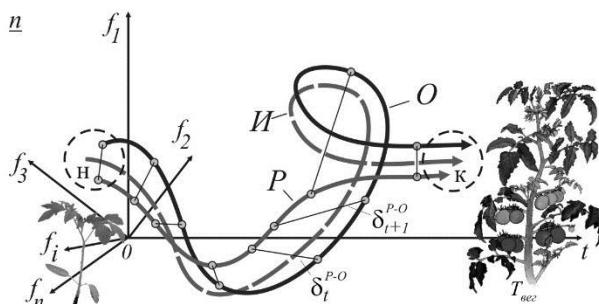


Рисунок 1 - Траектории развития растения в n -мерном пространстве состояния

Идеальная (I) траектория развития растений в $(n+1)$ – мерном пространстве состояний, включающем временную координату, приобретает совершенные характеристики при максимальной реализации генотипических особенностей культуры. Практическая достижимость подобной траектории ограничивается комплексом объективных факторов. Оптимальной траектории (O) следует ожидать в условиях применения наилучших доступных технологий светокультуры (НДТС). Производственные методики выращивания растений в регулируемых условиях подбираются с учетом специфических требований и возможностей, основываясь на современных научно-технических достижениях. Ключевыми критериями выбора служат энергоэффективность и экологическая безопасность процесса при гарантированном качестве продукции. Реальная траектория развития (P) растений может существенно отклоняться от расчетной вследствие технологических несовершенств, нарушений режимов эксплуатации оборудования, сбоев в работе и подсистем ИБЭСС.

Применяемые методики количественной оценки энергоэкологической эффективности позволяют определять соответствие технологических решений к наилучшим доступным технологиям светокультуры. Математическое выражение степени соответствия базируется на расчете нормализованного евклидова расстояния между траекториями реального производственного процесса (P) и эталон-

ного варианта, соответствующего наилучшим доступным технологиям светокультуры (O).

$$K_{\mathcal{O}} = \frac{1}{T_{\text{без}}} \int_0^{T_{\text{без}}} \sqrt{\sum_{i=1}^n w_i \left(\frac{f_i^P(t) - f_i^O(t)}{f_i^O(t)} \right)^2} dt, \quad (1)$$

где $T_{\text{без}}$ - оцениваемый период времени, $f_i^P(t)$ и $f_i^O(t)$ - функциональные зависимости i -го параметра от времени соответственно для реальной (Р) и оптимальной (О) технологий, w_i - весовой коэффициент значимости i -го параметра.

В рамках исследований применялись растения томата сорта Полонез F_1 (*Solanum Lycopersicum L.*). Популярность томатов как ведущей овощной культуры неуклонно растет по всему миру. Посевные работы включали размещение 220 семян в субстратные контейнеры 11.05.2023. После накрытия пленкой емкости разместили в помещении с параметрами среды +27 градусов цельсия и влажностью 72%. Единичные ростки проявились 14.05.2023. Массовое прорастание семян позволило перенести растения под непрерывное освещение лампами ДНаЗ 400 пятнадцатого мая. Начало отсчета возраста культуры зафиксировано с момента включения освещения.

Процесс выращивания растений стартовал с установления шестнадцатичасового фотопериода восемнадцатого мая. Пикировка сеянцев в контейнеры с подготовленным торфогрунтом осуществлялась при появлении второго настоящего листа. Смесь для посадки включала одну часть субстрата и две части торфа. Перемещение контейнеров под специальные осветительные приборы произвели через четырнадцать суток. Регулярное орошение и внесение питательных веществ выполнялись согласно графику. Формирование третьего настоящего листа зафиксировали на двадцатые сутки эксперимента. Замеры биометрических показателей проводились четырьмя этапами с интервалом в восемь дней начиная с пятого июня по двадцать девятое июня, охватывая период с двадцать второго по сорок шестой день вегетации.

Экспериментальное исследование выполнялось в специализированной лаборатории, оснащенной комплексом климатического оборудования для культивирования растений. Установленные системы включали кондиционеры, вентиляционные агрегаты, увлажнители воздуха, многофункциональные измерители параметров среды, пульт контроля и осветительные приборы.

Светонепроницаемые экраны, изготовленные из белой полиэтиленовой пленки, разграничивали помещение на две функциональные зоны. Коэффициент минимальной освещенности z , определяемый отношением E_{max} к E_{cp} , демонстрировал незначительные отклонения облученности, не превышающие десяти процентов в каждой из выделенных зон.

Экспериментальная установка первой зоны включала облучательный блок с шестнадцатью люминесцентными лампами, расположенными в чередующемся порядке на едином каркасе. Восемь ламп модели OSRAM L58W/840 LUMILUX Cool White комбинировались с равным количеством OSRAM L58W/77 FLUORA. Облучательная система второй зоны дополнительно оснащалась восьмьюдесятью светодиодами PCB Star, распределенными поровну между источниками с длинами волн 630 и 735 нанометров. Измерения спектральной плотности фотонного потока при помощи прибора ТКА ВД/04 представлены графически на рисунке 2.

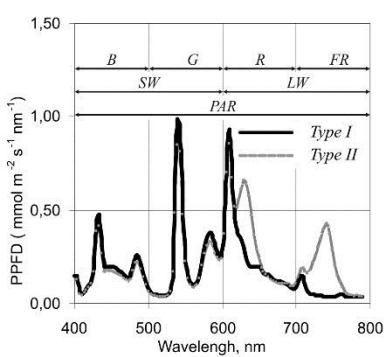


Рисунок 2 - Спектральная плотность потока источников



Рисунок 3 - Внешний вид растений томата

Количественная характеристика спектрального состава излучения включает совокупность значений, отражающих энергетическую мощность световых потоков разных диапазонов. Методология исследования базируется на разделении фотосинтетически активной радиации по длине волны. В данном исследовании использован следующий подход. Суммарная величина коротковолнового диапазона (short-

wavelength, SW) ФАР охватывает синюю (B) и зеленую (G) части спектра. Длинноволновой диапазон (long-wavelength, LW) ФАР объединяет красную (R) и дальнекрасную (FR) области. Использован коэффициент, характеризующий долю энергии длинноволнового излучения в общем потоке излучения.

$$K_{LW} = \frac{\Phi_{LW}}{\Phi_{SW} + \Phi_{LW}}. \quad (2)$$

Количественная характеристика спектрального состава варьировалась между двумя основными модификациями экспериментальной установки. Первая модификация демонстрировала пониженное содержание длинноволновой компоненты излучения со значением ($K_{LW}=0,37$); вторая - с большей долей энергии длинноволнового излучения ($K_{LW}=0,5$). Модуляция спектрального состава осуществлялась посредством дополнительной светодиодной подсветки, позволяющей увеличивать значение K_{LW} .

В экспериментальных условиях облучатели размещались на различных высотах с целью поддержания равномерной фотонной облученности растений на уровне 140 мкмоль·с⁻²·м⁻². Для спектрального излучения первого типа высота составляла 0,38м, второго типа - 0,71м. Измеренные показатели освещенности в зонах культивирования достигали 11,9 кЛк при использовании первого типа и 9,7 кЛк при втором типе излучения. Визуальная оценка экспериментальных образцов выявила более яркое освещение растений под воздействием спектра первого типа.

Биометрические характеристики растений томата измерялись последовательно после появления всходов. Определение параметров включало измерение диаметра стеблевой шейки D , подсчет листьев N , замеры высоты гипокотиля H . Производилось взвешивание сырой массы M образцов и расчет площади листовой поверхности S . Лабораторный анализ позволил установить процентное содержание сухого вещества V в растительных тканях.

Для обоих типов спектра находили свои наборы коэффициентов в аппроксимирующих выражениях. Количественная оценка энергоэкологических показателей растениеводства определялась коэффициентом $K_{\text{ЭЭ}}$ путем сравнения применяемых методов выращивания с наилучшими доступными технологиями светокультуры.

Результаты. Экспериментальные исследования выявили существенные преимущества освещения первого типа, с меньшей долей LW излучения. Экспертная оценка показала лучшее соответствие морфологических параметров рассады установленным стандартам качества при использовании данного спектрального состава. Анализ биометрических показателей продемонстрировал увеличение высоты побегов и сырой массы растений при повышенном значении K_{LW} , однако площадь листовой поверхности снижалась. Статистическая обработка данных не выявила различий между вариантами по указанным параметрам. К моменту завершения эксперимента, выращенные растения при меньшим K_{LW} , накопили больше сухого вещества.

Математическое описание зависимости диаметра стебля растений $D_{\text{мм}}$, выраженное в миллиметрах, при воздействии различных спектральных излучений на различный ДППВ:

$$D_I = 10,686(1 - e^{-0,11(T-19,027)}), D_{II} = 10,806(1 - e^{-0,11(T-19,034)}).$$

Выражения для динамики количества листьев N , шт.:

$$N_I = 6,984(1 - e^{-0,161(T-15,724)}), N_{II} = 7,594(1 - e^{-0,098(T-12,355)}).$$

Выражения для динамики высоты гипокотиля H , см:

$$H_I = 5,296 + 50,345e^{-0,098(T-32,684)}, H_{II} = 5,008 + 89,360e^{-0,100(T-31,865)}.$$

Выражения для динамики величины сырой массы M , г:

$$M_I = -0,674 + 117,900e^{-0,077(T-37,707)}, M_{II} = -0,674 + 101,137e^{-0,096(T-34,126)}.$$

Выражения для динамики площади листьев S , см²:

$$S_I = -28,304 + 3772,168e^{-0,075(T-38,072)}, S_{II} = -37,576 + 3366,178e^{-0,080(T-36,783)}.$$

Выражения для динамики содержания сухого вещества V , г:

$$V_I = 0,022T^2 - 1,287T + 26,337, V_{II} = 0,013T^2 - 0,755T + 17,823.$$

Математическое моделирование изменений биометрических параметров основывалось на выбранных экспертами целевых показателях развития для определенных временных точек. Построение кривой динамики осуществлялось методом аппроксимации с учетом прогнозируемых оптимальных значений измеряемых характеристик.

Произведенные расчеты коэффициента энергоэкологичности по установленной математической зависимости показали различные результаты для спектральных характеристик. Количественные показатели достигли значения $K_{\text{ЭЭ}}=0,22$ относительных единиц при анализе спектра первого типа, тогда как для второго типа величина составила $K_{\text{ЭЭ}}=0,38$ относительных единиц.

Увеличение длинноволнового излучения приводит к росту коэффициента близости траекторий развития светокультуры. Растения демонстрируют значительные отклонения от оптимального пути развития при увеличении доли длинноволнового излучения. Научные исследования подтверждают положительное влияние синего излучения на формирование рассады в начальный период роста. Полученные результаты экспериментов укрепляют возможность оценки светокультуры с позиции энергоэкологичности.

Оптимальное освещение играет ключевую роль в формировании биомассы зеленых растений и определяет эффективность их роста. Производство рассады томатов существенно зависит от параметров световой среды. Недостаточный уровень освещенности либо несбалансированный спектральный состав негативно сказываются на развитии томатных растений, что особенно проявляется при формировании первых соцветий и отражается на качественных характеристиках рассады. Современные технологические разработки позволяют обеспечивать стабильность спектральных характеристик излучения на протяжении всего периода эксплуатации оборудования [8].

Результаты исследования демонстрируют возможность успешной оптимизации режимов светокультуры растений посредством применения базовых моделей имитационно-балансовых экосистем, не включающих механизмы формирования урожайности.

Авторами разработан инновационный индикатор, позволяющий численно выразить многокомпонентные спектральные характеристики излучения единым параметром путем вычисления соотношения энергетических составляющих коротковолнового и длинноволнового диапазонов фотосинтетически активной радиации.

Разработанные математические модели позволяют прогнозировать динамику биометрических параметров томатов на различных стадиях вегетационного периода. Комплексный анализ количественных характеристик роста растений томата обеспечивает точную оценку их морфологических изменений.

Экспериментальные исследования позволили разработать математические выражения для количественной оценки ключевых биометрических показателей растительных организмов, отличающиеся простотой и практической применимостью.

Изучение фотосинтетически активной радиации показало значительное влияние соотношения длинноволнового и коротковолнового спектров на морфометрические показатели растительных организмов. Экспериментальные данные подтверждают существенную зависимость роста и развития растений от баланса энергетических компонентов светового потока.

Повышение составляющей красного спектра фотосинтетически активной радиации от исходных тридцати семи до пятидесяти процентов приводит к значительным изменениям биометрических характеристик культур при вегетации, существенно увеличивая показатель энергоэкологичности с двадцати двух до тридцати восьми процентов.

Оптимальные условия культивирования растений определяются комплексным анализом экспериментальных результатов, позволяющих корректировать световой режим, параметры микроклимата и сопутствующие агротехнические элементы выращивания.

Выводы. Современные методы управления культивированием растений требуют глубокого понимания закономерностей роста в регулируемых условиях среды. Разработка точных эмпирических моделей позволяет прогнозировать развитие культур при искусственном освещении, оптимизировать световые режимы и повышать эффективность производства. Научно обоснованный подход к моделированию растительных процессов становится ключевым элементом промышленного растениеводства закрытого грунта.

Коэффициент K_{LW} представляет собой универсальную количественную характеристику для оценки спектрального распределения излучения различных источников света.

Методика оценки эффективности светокультуры базируется на расчете показателя K_{EE} , определяющего степень соответствия применяемой технологии выращивания наилучшим доступным технологиям путем измерения евклидовой метрики между динамическими кривыми развития морфологических параметров растений.

Результаты экспериментального исследования демонстрируют значительную вариативность морфологических характеристик томатов при воздействии светового излучения с разными показателями K_{LW} . Растения, культивируемые в условиях повышенного значения K_{LW} , отличаются увеличен-

ными показателями вегетативного роста - количеством листьев, высотой куста, диаметром прикорневой зоны стебля и суммарной сырой биомассой. Примечательно, что листовая поверхность и процентное содержание сухих веществ у данных образцов характеризуются пониженными значениями.

Результаты исследований позволили сформировать математические модели, описывающие ключевые биометрические характеристики томатных культур. Экспериментальным путем установлены закономерности развития вегетативных и генеративных органов растений. Многофакторный анализ данных способствовал выявлению корреляционных связей между морфологическими параметрами томатов.

Спектральный состав излучения непосредственно влияет на результативность светокультуры томата, определяя ключевые энергетические и экологические характеристики процесса выращивания. Научные исследования подтверждают существенное воздействие длины волны света на морфогенез растений, интенсивность фотосинтеза и накопление биомассы. Оптимизация спектра освещения позволяет существенно снизить энергозатраты при культивировании томатов в условиях защищенного грунта, одновременно улучшая экологические показатели производства. Экспериментальные данные демонстрируют прямую корреляцию между подбором спектральных характеристик источников света и эффективностью использования энергоресурсов при выращивании томатов.

Список источников

1. Ракутько Е.Н., Васькин А.Н. Энергоэкологичность светокультуры салата при различных дозах излучения // Вестник Брянской ГСХА. 2025. № 1 (107). С. 75-79.
2. Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Новый подход к определению энергоэффективности светокультуры // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 6 (106). С. 71-77.
3. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Васькин А.Н. Влияние компоновочных параметров облучательной установки на энергоэкологичность светокультуры // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 3 (108). С. 33-51.
4. Основы распределения потоков энергии в сельскохозяйственных системах / А.Н. Васькин, Е.Н. Ракутько, Е.П. Бондаревич, В.Н. Гаридов // Проблемы энергообеспечения, автоматизации, информатизации и природопользования в АПК: сб. материалов нац. науч.-техн. конф. Брянск, 2024. С. 43-48.
5. Ракутько С.А., Ракутько Е.Н., Васькин А.Н. Способ оценки оптического излучения в светокультуре по стабильности развития облучаемых растений // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. 2020. № 58. С. 142-149.
6. Васькин А.Н., Ракутько Е.Н. Новый подход к определению энергоэффективности светокультуры // Вестник Брянской ГСХА. 2024. № 6 (106). С. 71-77.
7. Ракутько С.А. Концептуальные основы энергоэкологии светокультуры // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 12, № 6. С. 38-44.
8. Модели, методы и средства контроля энергоэкологичности в светокультуре: аналитический обзор / Е.Н. Ракутько, А.Н. Васькин, А.П. Мишанов, А.Е. Маркова // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 1 (106). С. 25-50.

Информация об авторах:

Е.Н. Ракутько – научный сотрудник Института агронженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) - филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ.

А.Н. Васькин – старший преподаватель кафедры автоматики, физики и математики, ФГБОУ ВО Брянский ГАУ, vaskin32@mail.ru.

Information about the authors:

Ye.N. Rakut'ko - Research Associate at the Institute of Agricultural Engineering and Environmental Problems of Agricultural Production (IEEP) – branch of FSBSI FSAC VIM.

A.N. Vas'kin - Senior Lecturer of the Department of Automation, Physics and Mathematics, Bryansk State Agrarian University, vaskin32@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 07.02.2025, одобрена после рецензирования 12.03.2025, принята к публикации 16.04.2025.

The article was submitted 07.02.2025, approved after reviewing 12.03.2025, accepted for publication 16.04.2025.

© Ракутько Е.Н., Васькин А.Н.

95 лет Центральной научной сельскохозяйственной библиотеке



В 2025 году ФГБНУ «Центральная научная сельскохозяйственная библиотека» отмечает свое 95-летие! За эти годы ЦНСХБ превратилась из библиотеки с фондом в несколько тысяч книг в крупнейший в России современный научный библиотечно-информационный центр федерального значения по проблематике АПК. В библиотеке создана автоматизированная библиотечно-информационная система (АБИС), все технологические процессы автоматизированы, создан большой компьютерный парк, библиотека оснащена современным оборудованием, позволяющим создавать разнообразные информационные ресурсы. Информация, размещенная на сайте

ЦНСХБ доступна в любой точке земного шара, где есть Интернет. На смену традиционному обслуживанию читателей в стенах библиотеки пришли новые современные формы обслуживания, в том числе виртуальные, через коммуникативные сети. Благодаря этому, практически все услуги стали доступны пользователю удаленно, их можно получить не отходя от своего компьютера. Можно удаленно записаться в библиотеку, виртуально ознакомиться со всеми выставками, организуемыми в библиотеке и заказать заинтересовавшую книгу, получить по электронной почте информацию по ранее заданной теме о поступлениях в базу данных «АГРОС», посмотреть оглавления периодических и продолжающихся изданий, поступивших в фонд ЦНСХБ, заказать электронную копию нужной статьи, задать вопрос библиографу и получить ответ по электронной почте. Современный фонд ЦНСХБ насчитывает свыше 3 млн. единиц хранения отечественной и иностранной литературы на 32 языках мира по всем отраслям АПК. Ежегодно в ЦНСХБ поступает более 10 тыс. экземпляров книг, журналов, брошюр.

ЦНСХБ проводит научные исследования в области библиотековедения и информатики: создаются базы данных, разрабатываются новые технологии и технологические проекты, проводятся различного рода мониторинги состояния информационных ресурсов и их востребованности, документного входного потока; разрабатываются методики и методические пособия и т.д. ЦНСХБ является разработчиком общеотраслевых лингвистических средств, обеспечивающих индексирование документов, формирование и структурирование информационных массивов и эффективный поиск в них: Отраслевого рубрикатора, информационно-поискового тезауруса по сельскому хозяйству и продовольствию, Авторитетного файла наименований НИУ. Основным информационным продуктом библиотеки является база данных «АГРОС», отражающая все текущие (отечественные и иностранные) поступления в фонды ЦНСХБ с 1992 г. Уникальность этой базы в том, что она включает максимально полно наряду с информацией о книгах, информацию о статьях из периодических и продолжающихся изданий. Объем базы около 2,0 млн. записей, она является крупнейшей русскоязычной базой по проблемам АПК; 30% документов сопровождаются рефератами. Ежегодное пополнение более 40 тыс. записей.

В ЦНСХБ работает межбиблиотечный и международный абонемент, библиотека является участником международной системы AGLINET, обеспечивающей получение необходимого документа из любой национальной сельскохозяйственной библиотеки мира. ЦНСХБ давно и плодотворно сотрудничает с ФАО ООН (Международной организацией по сельскому хозяйству и продовольствию): является библиотекой-депозитарием документов, изданных ФАО и осуществляет функции национального центра AGRIS ФАО в Российской Федерации. Принимая участие в создании этой международной корпоративной базы данных, ЦНСХБ подготавливает и пересыпает реферативную информацию на английском языке о публикациях российских ученых в отечественных научных аграрных журналах, тем самым предоставляя мировому научному сообществу информацию о научных разработках российских ученых.

ЦНСХБ открыта для контактов и приглашает всех к сотрудничеству, которое, мы уверены, будет взаимовыгодным.

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: osipovaa@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.