



# Инновации в АПК: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



№2 (38) 2023

**Инновации в АПК:  
проблемы и перспективы**

Теоретический и научно-  
практический журнал

**Выпуск 2 (38)  
2023 г.**

**Учредитель:**

федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Белгородский  
государственный аграрный университет  
имени В.Я. Горина»

Издаётся с 2013 года

Выходит один раз в квартал

Официальный сайт: <http://www.bsaa.edu.ru>

В журнале публикуются результаты  
фундаментальных и прикладных  
исследований, обсуждаются теоретические,  
методологические и прикладные проблемы  
агропромышленного комплекса России и  
зарубежья, предлагаются пути их решения.

Свидетельство о регистрации СМИ ПИ  
№ ФС 77-63038 от 10 сентября 2015 г.  
выдано Федеральной службой по надзору в  
сфере связи, информационных технологий и  
массовых коммуникаций (Роскомнадзор)

ISSN – 2311–9535

Подписной индекс в каталоге  
«Объединенный каталог. Пресса России.  
Газеты и журналы» – 40760.

Журнал включен в Российский индекс  
научного цитирования (РИНЦ).  
Материалы издания выборочно включаются  
в реферативную базу данных Agris.

Дизайн-макет и компьютерная вёрстка:  
Манохин А.А., Воробьёва Т.Ю.

Адрес редакции и издателя журнала:  
308503, ул. Вавилова, 1, п. Майский,  
Белгородский р-н, Белгородская обл., Россия  
Тел.: +7-4722-39-11-69,  
Факс: +7-4722-39-22-62

© Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
образования «Белгородский  
государственный аграрный университет  
имени В.Я. Горина», 2023

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ**

Главный редактор – Алейник С.Н., к. тех. н., доцент

Заместитель главного редактора – Дорофеев А.Ф., д. э. н., доцент

**Члены редакционной коллегии:**

Азаров В.Б., д. с.-х. н., профессор;	Меделяева З.П., д. э. н., профессор;
Андрианов Е.А., д. с.-х. н., профессор;	Муравьёв А.А., к. с.-х. н., доцент;
Аничин В.Л., д. э. н., профессор;	Мязин Н.Г., д. с.-х. н., профессор;
Афоничев Д.Н., д. тех. н., профессор;	Наседкина Т.И., д. э. н., профессор;
Бабинцев В.П., д. фил. н., профессор;	Наумкин В.Н., д. с.-х. н., профессор;
Вендин С.В., д. тех. н., профессор;	Пастухов А.Г., д. тех. н., профессор;
Гончаренко О.В., к. э. н., доцент;	Поливаев О.И., д. тех. н., профессор;
Груздова Л.Н., к. э. н., доцент;	Растопчина Ю.Л., к. э. н., доцент;
Демидова А.Г., к. с.-х. н., доцент;	Саенко Ю.В., д. тех. н., доцент;
Запорожцева Л.А., д. э. н., профессор;	Сидоренко О.В., д. э. н., доцент;
Колесников А.С., к. тех. н., доцент;	Скuryтин Н.Ф., д. тех. н., профессор;
Коломейченко А.В., д. тех. н., профессор;	Смуров С.И., к. с.-х. н.;
Котлярова Е.Г., д. с.-х. н., профессор;	Столяров О.В., д. с.-х. н., профессор;
Коцарева Н.В., д. с.-х. н., доцент;	Ступаков А.Г., д. с.-х. н., профессор;
Лебедев А.Т., д. тех. н., профессор;	Токарёв Е.В., д.э.н., профессор
Ломазов В.А., д. физ.-мат. н., профессор;	

**НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ**

Председатель – Алейник С.Н., к. тех. н., доцент (Россия)

Зам. председателя – Дорофеев А.Ф., д. э. н., доцент (Россия)

**Члены научно-редакционного совета:**

Бондаренко Л.В., д. э. н., профессор, член-корреспондент РАН (Россия);  
Вереновская А., PhD э. н. (Польша);  
Ерохин М.Н., д. т. н., профессор, академик РАН (Россия);  
Колесников А.В., д. э. н., доцент, член-корреспондент РАН (Россия);  
Леммер А.Дж., д. с.-х. н. (Германия);  
Простенко А.Н., к. э. н. (Россия);  
Савченко Е.С., д. э. н., профессор, член-корреспондент РАН (Россия);  
Турусов В.И., д. с.-х. н., профессор, академик РАН (Россия);  
Турьянский А.В., д. э. н., профессор (Россия)  
Ужик В.Ф., д. т. н. профессор (Россия)  
Ушачев И.Г., д. э. н., профессор, академик РАН (Россия);  
Яска Е., PhD э. н. (Польша).

В Перечень ведущих рецензируемых научных журналов, в которых  
должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на  
соискание ученых степеней доктора и кандидата наук, включены следующие  
научные специальности, представленные в журнале:

4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные  
науки)

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сель-  
скохозяйственные науки)

4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного  
комплекса (технические науки)

4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение аг-  
ропромышленного комплекса (технические науки)

5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)

5.2.4. Финансы (экономические науки)

Информация об ответственных редакторах и секретарях тематических  
секций указана в конце журнала в разделе «Руководство для авторов».

Отпечатано в ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА»

Подписано в печать 10.07.2023 г., дата выхода в свет 17.07.2023 г.

Усл. п.л.16,4. Тираж 1000 экз. Заказ № 1988. Свободная цена.

Адрес типографии: г. Белгород, ул. Студенческая 16, офис 19.

Тел. +7 910 360-14-99

e-mail: [polyterra@mail.ru](mailto:polyterra@mail.ru), официальный сайт: <http://www.polyterra.ru>

## Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives

Theoretical, research and practice journal

Release 2 (38)  
2023

### Founder:

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin»

Published since 2013

Issued once per quarter

Official website: <http://www.bsaa.edu.ru>

The journal publishes the results of fundamental and applied research, discusses the theoretical, methodological and applied problems of the agro-industrial complex of Russia and abroad, suggests ways to solve them.

Registration Certificate: ПИ № ФС 77-63038 of 10 September 2015 issued by the Federal service for supervision in the sphere of Telecom, information technologies and mass communication (Roscomnadzor)

ISSN – 2311-9535

Subscription Index in the directory «The United catalogues. The Russian Press. Newspapers and magazines» – 40760.

The journal is included in the Russian Index of Scientific Citing (RISC). Scientific papers are selectively included in Agris abstract database.

Design layout and computer-aided makeup: Manokhin A.A., Vorobyeva T.Y.

Editorial board and journal publisher:  
ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy,  
Belgorod region, Russia  
Tel.: +7 4722 39-11-69,  
Fax: +7 4722 39-22-62

© Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», 2023

### EDITORIAL STAFF

Editor in Chief – Aleinik S.N., Cand.Tech. Sci, as. prof;

Deputy editor – Dorofeev A.F., Dr. Econ. Sci., as. professor

### Members of Editorial Staff:

Azarov V.B., Dr. Agr. Sci., professor; Medeliyeva Z.P., Dr. Econ. Sci., professor;  
Andrianov E.A., Dr. Agr. Sci., professor; Muravyov A.A., Cand. Agr. Sci., as. prof.;  
Anichin V.L., Dr. Econ. Sci., professor; Myazin N.G., Dr. Agr. Sci., professor;  
Afonichev D.N., Dr. Tech. Sci., professor; Nasedkina T.I., Dr. Econ. Sci., professor;  
Babintsev V.P., Dr. Phil. Sci., professor; Naumkin V.N., Dr. Agr. Sci., professor;  
Vendin S.V., Dr. Tech. Sci., professor; Pastukhov A.G., Dr. Tech. Sci., professor;  
Goncharenko O.V., Cand. Econ. Sci., as. prof.; Polivaev O.I., Dr. Tech. Sci., professor;  
Gruzdova L.N., Cand. Econ. Sci., as. prof.; Rastopchina Y.L., Cand. Econ. Sci., as. prof.;  
Demidova A.G., Cand. Agr. Sci., as. prof.; Saenko Yu.V., Dr. Tech. Sci., professor;  
Zaporozhtseva L.A., Dr. Econ. Sci., professor; Sidorenko O.V., Dr. Econ. Sci., as. prof.;  
Kolesnikov A.S., Cand. Tech. Sci., as. prof.; Skuriatin N.F., Dr. Tech. Sci., professor;  
Kolomeichenko A.V., Dr. Tech. Sci., professor; Smurov S.I., Cand. Agr. Sci., as. prof.;  
Kotliarova E.G., Dr. Agr. Sci., professor; Stolyarov O.V., Dr. Agr. Sci., professor;  
Kotsareva N.V., Dr. Agr. Sci., as. prof.; Stupakov A.G., Dr. Agr. Sci., professor;  
Lebedev A.T., Dr. Tech. Sci., professor; Tokar E.V., Dr. Econ. Sci., professor;  
Lomazov V.A., Dr. Phys.-math. Sci., prof;

### EDITORIAL BOARD

Chairman – Aleinik S.N., Cand. Tech. Sci, as. prof; (Russia)

Vice-Chairman – Dorofeev A.F., Dr. Econ. Sci., as. professor (Russia)

### Members of Editorial Board:

Bondarenko L.V., Dr. Econ. Sci., professor, Correspondent Member of RAS (Russia);  
Werenowska A., PhD in economics (Poland);  
Erokhin M.N., Dr. Tech. Sci., professor, Academician of RAS (Russia);  
Kolesnikov A.V., Dr. Econ. Sci., associate professor, Correspondent Member of RAS (Russia);  
Lemmer A.J., Dr. Agr. Sci. (Germany);  
Prostenko A.N., Cand. Econ. Sci. (Russia);  
Savchenko E.S., Dr. Econ. Sci., professor, Correspondent Member of RAS (Russia);  
Turusov V.I., Dr. Agr. Sci., professor, Academician of RAS (Russia);  
Tur'ianskii A.V., Dr. Econ. Sci., professor (Russia);  
Uzhik V.F., Dr. Tech. Sci., professor (Russia);  
Ushachev I.G., Dr. Econ. Sci., professor, Academician of RAS (Russia);  
Jaska E., PhD in economics (Poland).

The list of leading reviewed scientific journals in which the main scientific results of dissertations for the doctoral degrees of doctor and candidate of science should be published includes the following scientific specialties presented in the journal:

- 4.1.1. General agriculture and crop production (agricultural sciences)
- 4.1.3. Agrochemistry, agrosoil science, plant protection and quarantine (agricultural sciences)
- 4.3.1. Technologies, machines and equipment for the agro-industrial complex (technical sciences)
- 4.3.2. Electrical technologies, electrical equipment and power supply of agro-industrial complex (technical sciences)
- 5.2.3. Regional and sectoral economics (economic sciences)
- 5.2.4. Finance (economic sciences)

Information about executive editors and secretaries of thematic sections is given at the end of the journal in the section «Guidelines for Authors».

Printed in (Limited liability company) Publication and printing center «POLYTERRA»

Signed for publication 10.07.2023, date of publication 17.07.2023.

Conventional printed sheet 16,4. Circulation 1000 copies.

Order № 1988. Free price.

Address of printing: st. Student 16, office 19., Belgorod, Russia  
tel. +7-910-360-14-99.

e-mail: [polyterra@mail.ru](mailto:polyterra@mail.ru), official website: [www/polyterra.ru](http://www/polyterra.ru)

## СОДЕРЖАНИЕ

### АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

<i>А.К. Анажеев, Ю.А. Шекихачев, В.Б. Дзуганов, Р.А. Балкаров, Т.Х. Пазова, А.Г. Фиапиев</i> ВЛИЯНИЕ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА СЕКЦИЯМИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ.....	5
<i>Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий</i> АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КУКУРУЗООБОРОЧНОГО КОМБАЙНА.....	11
<i>А.Н. Мануйленко, В.Ю. Страхов, С.В. Вендин</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООЗОНАТОРА ДЛЯ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ.....	17
<i>А.Г. Пастухов</i> РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КАРДАННЫХ ВАЛОВ.....	25
<i>Г.К. Половнев, С.В. Вендин, А.И. Тетерядченко</i> РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ.....	32
<i>М.И. Романченко</i> МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИНЫ НА ОСНОВЕ ПЕРЕМЕННОЙ ЭПЮРЫ НОРМАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ В СВОБОДНОМ И ВЕДОМОМ РЕЖИМАХ КАЧЕНИЯ КОЛЕСА.....	40
<i>Е.П. Тимашов</i> ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕБЕСТОИМОСТИ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМАЗКИ ИГОЛЬЧАТЫХ ПОДШИПНИКОВ.....	48
<i>Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, П.Н. Грызгин, В.В. Гаврилин</i> ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ, ИМЕЮЩИХ ЛУЧЕВИДНЫЙ ИЗНОС, КАРБОВИБРОДУГОВЫМ УПРОЧНЕНИЕМ.....	53
<i>В.И. Шаповалов, С.Ф. Вольвак</i> ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА СОЛОМИСТЫХ ПРОДУКТОВ С ШАРНИРНОЙ ПОДВЕСКОЙ НОЖЕЙ К ЗЕРНОУБОРОЧНОМУ КОМБАЙНУ.....	59

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

<i>В.И. Желтухина, С.И. Панин, М.А. Куликова, Е.Г. Котлярова</i> СЕЗОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КУРИНОМ ПОМЕТЕ.....	65
<i>С.Н. Зюба, С.И. Смуров, О.В. Григоров, О.В. Гапиенко, П.В. Андреев</i> ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА УВЛАЖНЕНИЯ И ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ.....	73
<i>А.С. Кобяков, И.В. Оразаева</i> ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК В УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	80
<i>Е.В. Ковалёва, Е.Г. Котлярова, В.И. Степанова, О.С. Кузьмина</i> МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРЕ АПК.....	84
<i>В.В. Лоткова, В.Б. Азаров, М.А. Шамси</i> ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВАМИ СОИ НА РАЗНЫХ ФОНАХ ПИТАНИЯ.....	89
<i>В.П. Нецветаев, А.В. Петренко, О.В. Акинишина, Я.О. Козелец, А.П. Ащеулова</i> К РАЗРАБОТКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСУЛЬФИДНЫХ СВЯЗЕЙ БЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА ЗЕРНА.....	94
<i>А.А. Попов, В.Б. Азаров, Н.И. Клостер, В.В. Лоткова</i> ВЛИЯНИЕ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ЛИСТОВЫХ ПОДКОРМОК НА ФЕНОТИПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ.....	101
<i>А.А. Попов, В.В. Лоткова</i> ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ.....	105
<i>С.В. Резвякова, Л.П. Еремин, О.П. Чернова</i> БИОЛОГИЗИРОВАННАЯ ЗАЩИТА СОИ ОТ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ И УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУРЫ.....	110
<i>С.В. Резвякова, Д.С. Юдин, Е.В. Митина, О.П. Чернова</i> ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ НА ЗАСОРЁННОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ СМОРОДИНЫ ЧЁРНОЙ.....	114
<i>С.И. Смуров, О.В. Григоров, С.Н. Зюба, П.В. Андреев, О.В. Гапиенко, С.Н. Ермолаев</i> МОНИТОРИНГ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ В ПОСЕВЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ И В ПРИЛЕГАЮЩИХ К СТАЦИОНАРАМ ЛЕСУ И ЛЕСОПОЛОСЕ.....	119
<b>Руководство для авторов.....</b>	<b>126</b>

## CONTENTS

### AGRICULTURAL ENGINEERING AND ENERGY EFFICIENCY

<i>A.K. Apazhev, Yu.A. Shekikhachev, V.B. Dzuganov, R.A. Balkarov, T.Kh. Pazova, A.G. Fiapshev</i> INFLUENCE OF NON-IDENTIC FUEL SUPPLY BY FUEL PUMP SECTIONS ON DIESEL PERFORMANCE.....	5
<i>D.N. Bakharev, A.A. Dobrickiy</i> ANALYTICAL SUBSTANTIATION OF THE DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF THE ROTOR OF A THRESHING AND SEPARATING DEVICE FOR A CORN HARVESTER.....	11
<i>A.N. Manuilenko, V.Yu. Strakhov, S.V. Vendin</i> RESULTS OF STUDIES ON DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF ELECTRIC OZONATOR FOR IMPROVEMENT OF THE AIR ENVIRONMENT IN LIVESTOCK ROOMS.....	17
<i>A.G. Pastukhov</i> DESIGN EVALUATION OF DURABILITY OF BEARING UNITS OF AGRICULTURAL CARDAN SHAFTS.....	25
<i>G.K. Polovnev, S.V. Vendin, A.I. Teteryadchenko</i> RESULTS OF RESEARCH ON THE APPLICATION OF SIMULATION IN THE DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF CHARGING WIND POWER PLANTS.....	32
<i>M.I. Romanchenko</i> SIMULATION OF TIRE POWER PARAMETERS BASED ON A VARIABLE PLOT OF NORMAL REACTIONS IN FREE, DRIVEN AND BRAKING MODES OF WHEEL ROLLING.....	40
<i>E.P. Timashov</i> TECHNICAL AND ECONOMIC COST EVALUATION OF AUTOMATIC LUBRICATING DEVICE FOR NEEDLE BEARINGS.....	48
<i>N.V. Titov, A.V. Kolomeichenko, V.N. Logachev, P.N. Gryzin, V.V. Gavrilin</i> INCREASING THE RESOURCE OF THE WORKING BODIES OF PLOWS WITH RADIAL WEAR BY CARBO AND FORD ARC HARDENING.....	53
<i>V.I. Shapovalov, S.F. Volvak</i> SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF CRUSHING APPARATUS OF STRAW PRODUCTS WITH HINGE SUSPENSION OF KNIVES TO GRAIN HARVESTER.....	59

### INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRONOMY

<i>V.I. Zheltukhina, S.I. Panin, M.A. Kulikova, E.G. Kotlyarova</i> SEASONAL MONITORING OF COMPOSITION AND CONTENT OF HEAVY METALS IN CHICKEN MANURE.....	65
<i>S.N. Zyuba, S.I. Smurov, O.V. Grigorov, O.V. Gapienko, P.V. Andreev</i> THE INFLUENCE OF THE HUMIDIFICATION REGIME AND PRECURSORS ON THE PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT.....	73
<i>A.S. Kobyakov, I.V. Orazava</i> FORMATION OF YIELD AND GRAIN QUALITY OF SPRING TRITICALE UNDER THE INFLUENCE OF FOLIAR FERTILIZING IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE BELGOROD REGION.....	80
<i>E.V. Kovalyova, E.G. Kotlyarova, V.I. Stepanova, O.S. Kuzmina</i> MONITORING STUDIES OF UNUSED AGRICULTURAL LAND WITH THE HELP OF THE CENTER OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE SPHERE OF AIC.....	84
<i>V.V. Lotkova, V.B. Azarov, M.A. Shamsi</i> THE EFFECT OF BIOLOGICAL PREPARATIONS ON THE AGROPHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL UNDER SOYBEAN CROPS ON DIFFERENT FOOD BACKGROUNDS.....	89
<i>V.P. Netsvetaev, A.V. Petrenko, O.V. Akinshina, Ya.O. Kozelets, A.P. Ascheulova</i> TO THE DEVELOPMENT OF THE DISULFIDE BONDS DETERMINATION IN GRAIN PROTEIN COMPLEX.....	94
<i>A.A. Popov, V.B. Azarov, N.I. Kloster, V.V. Lotkova</i> THE EFFECT OF DOSES OF MINERAL FERTILIZERS AND LEAF FERTILIZING ON THE PHENOTYPIC PARAMETERS OF PLANTS.....	101
<i>A.A. Popov, V.V. Lotkova</i> SUNFLOWER PRODUCTIVITY DEPENDING ON THE USE OF MICRONUTRIENTS.....	105
<i>S.V. Rezyakova, L.P. Eremin, O.P. Chernova</i> BIOLOGICAL PROTECTION OF SOYBEAN AGAINST FUNGAL DISEASES AND CROP YIELD.....	110
<i>S.V. Rezyakova, D.S. Yudin, E.V. Mitina, O.P. Chernova</i> EFFECT OF HERBICIDES ON BLACK CURRANT WEEDS AND YIELDS.....	114
<i>S.I. Smurov, O.V. Grigorov, S.N. Zyuba, P.V. Andreev, O.V. Gapienko, S.N. Ermolaev</i> MONITORING OF SOIL MOISTURE RESERVES IN WINTER WHEAT SOWING DEPENDING ON CULTIVATION TECHNOLOGIES AND PRECURSORS AND IN THE FOREST AND FOREST BELT ADJACENT TO STATIONARY EXPERIMENTS.....	119
<b>Guidelines for authors</b> .....	126

# АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

УДК 621.436.038.001

*А.К. Апажеев, Ю.А. Шекихачев, В.Б. Дзуганов, Р.А. Балкаров, Т.Х. Пазова, А.Г. Фиапиев*

## ВЛИЯНИЕ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ПОДАЧИ ТОПЛИВА СЕКЦИЯМИ ТОПЛИВНОГО НАСОСА НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОТЫ ДИЗЕЛЯ

**Аннотация.** О состоянии топливной аппаратуры в целом возможно судить по двум обобщенным параметрам, характеризующим эксплуатационные качества дизеля – его мощности и удельному расходу топлива. Состояние топливной аппаратуры характеризуется следующими параметрами: давлением впрыска и качеством распыления топлива форсунками, производительностью подкачивающих насосов, пропускной способностью фильтрующих элементов грубой и тонкой очистки топлива, по состоянию перепускного клапана, износом плунжерных пар и нагнетательных клапанов, частотой вращения кулачкового вала топливного насоса, неидентичностью подачи топлива элементами насоса, расходом топлива, углом опережения подачи топлива в цилиндры двигателя. Во время работы эти параметры изменяются, что обусловлено ухудшением состояния элементов топливной аппаратуры. Исходное состояние параметров топливной аппаратуры восстанавливают, проводя необходимые регулировки и заменяя составные части, непригодные к дальнейшей эксплуатации. Признаками неудовлетворительной работы топливной аппаратуры могут быть: затрудненный запуск дизеля, неустойчивая работа, дымность отработанных газов, снижение мощности и увеличение удельного расхода топлива. Совершенствование систем топливоподачи дизелей должно быть направлено, в первую очередь, на повышение мощности и топливной экономичности, а также уменьшение дымности и токсичности отработавших газов, что можно достичь следующим: повышением максимального давления впрыскивания; оптимизацией характеристик впрыска и уменьшением продолжительности впрыска; коррекцией цикловой подачи топлива в соответствии с режимом работы двигателя и внешними факторами. С учетом этого в данной статье приведены результаты исследования неидентичности подачи топлива и ее влияние на мощностные и экономические показатели работы дизеля.

**Ключевые слова:** дизельный двигатель, топливная аппаратура, топливо, подача, неидентичность, мощность, форсунка, распыление, дымность.

## INFLUENCE OF NON-IDENTIC FUEL SUPPLY BY FUEL PUMP SECTIONS ON DIESEL PERFORMANCE

**Abstract.** The state of the fuel equipment as a whole can be judged by two generalized parameters that characterize the performance of a diesel engine – its power and specific fuel consumption. The condition of the fuel equipment is characterized by the following parameters: injection pressure and fuel atomization quality by injectors, performance of booster pumps, capacity of filter elements for coarse and fine fuel cleaning, bypass valve condition, wear of plunger pairs and delivery valves, fuel pump camshaft speed, non-identity of supply fuel by pump elements, fuel consumption, advance angle of fuel supply to the engine cylinders. During operation, these parameters change due to the deterioration of the fuel equipment elements. The initial state of the parameters of the fuel equipment is restored by making the necessary adjustments and replacing components that are unsuitable for further operation. Signs of unsatisfactory operation of the fuel equipment can be: difficult starting of a diesel engine, unstable operation, smoke in exhaust gases, a decrease in power and an increase in specific fuel consumption. The improvement of diesel fuel supply systems should be aimed primarily at increasing power and fuel efficiency, as well as reducing smoke and toxicity of exhaust gases, which can be achieved by: increasing the maximum injection pressure; optimization of injection characteristics and reduction of injection duration; correction of cyclic fuel supply in accordance with the engine operating mode and external factors. With this in mind, this article presents the results of a study of the non-identity of the fuel supply and its impact on the power and economic performance of a diesel engine.

**Keywords:** diesel engine, fuel equipment, fuel, innings, non-identity, power, nozzle, spraying, smokiness.

**Введение.** Качество ремонта и технического обслуживания (РТО) дизельной топливной аппаратуры (ДТА) во многом определяют такие показатели автотракторных двигателей (АТД), как мощность, топливная экономичность, безотказность.

Анализ показывает, что в последнее время отмечается существенное усложнение конструкций ДТА, ужесточение требований к удельному расходу топлива АТД. Вместе с тем следует отметить отставание качества РТО от требований, предъявляемых их производством и эксплуатацией. Это приводит к тому, что значительная часть АТД, находящихся в эксплуатации, развивает мощность ниже установленного техническими условиями (ТУ) на 15%, имеют удельный расход топлива больше установленного значения на 20%. Одной из причин этого является отклонение регулировочных параметров топливоподачи от их оптимальных значений, а также соответствующей нормативно-технической литературы.

Важнейшей технологической операцией при РТО является испытание и регулировка ДТА. Но именно здесь на практике допускается много нарушений, которые приводят к потере мощности, перерасходу топлива. В конечном счете, снижается производительность машинно-тракторных агрегатов.

Таким образом, современные АТД должны характеризоваться высокой экономичностью, надежностью, долговечностью, минимальными габаритными размерами и массой, безотказным пуском независимо от условий окружающей среды и минимальной токсичностью отработавших газов. Кроме того, в конструктивном отношении АТД должны быть технологичными и, по возможности, простыми для облегчения их РТО. Высокую экономичность АТД можно обеспечить минимизацией удельного расхода топлива и смазочного материала при различных эксплуатационных нагрузках, в особенности приближенных к номинальным [1-6].

Показатели рабочего процесса АТД определяются эффективностью характеристики тепловыделения, то есть полнотой и своевременностью тепловыделения, что определяется параметрами топливоподачи. Изменения технического состояния элементов топливной системы высокого давления (ТСВД) в эксплуатации вызывает значительное отклонение параметров топливоподачи от установленных для данного АТД значений [7-11].

Состояние ДТА в общем оценивается двумя обобщенными параметрами, которые характеризуют эксплуатационные качества АТД: мощностью и удельным расходом топлива.

О состоянии ДТА можно судить по следующим параметрам: 1) давлению впрыска и качеству распыления топлива форсунками; 2) производительности подкачивающего насоса; 3) пропускной способности фильтрующих элементов грубой и тонкой очистки топлива; 4) состоянию перепускного клапана; 5) износу плунжерных пар и нагнетательных клапанов; 6) частоте вращения кулачкового вала топливного насоса; 7) неидентичности подачи топлива элементами насоса; 8) расходу топлива; 9) углу опережения подачи топлива в цилиндры двигателя. Указанные параметры в процессе эксплуатации претерпевают некоторые изменения в результате ухудшения состояния элементов ДТА.

Восстановление исходного состояния параметров ДТА возможно путем проведения необходимых регулировок и замены составных частей, непригодных для дальнейшей эксплуатации. Неудовлетворительная работа ДТА характеризуется затрудненным запуском дизеля, неустойчивой работой, дымностью отработавших газов, снижением мощности и увеличением удельного расхода топлива.

Результатом совершенствования системы топливоподачи АТД должно быть увеличение мощности и топливной экономичности, снижение дымности и токсичности отработавших газов. Указанные результаты могут быть достигнуты за счет: 1) повышения максимального давления впрыскивания; 2) оптимизации характеристик впрыска и уменьшением продолжительности впрыска; 3) коррекцией цикловой подачи топлива в соответствии с режимом работы АТД и внешними факторами.

ДТА должна осуществлять впрыскивание топлива в цилиндр АТД в малые отрезки времени 0,001...0,01 с под высоким давлением 20...60 МПа и выше точно дозированных количеств топлива. Подача топлива должна осуществляться в каждый цилиндр в строго заданные моменты рабочего цикла. Поскольку автотракторный дизель работает в широком диапазоне частотных и нагрузочных режимов, то цикловая подача топлива должна изменяться в соответствии с режимом двигателя.

Впрыскивание топлива в цилиндр АТД должно осуществляться в определенный момент времени для каждой частоты вращения и по определенному закону изменения давления. Современные АТД предъявляют высокие требования к интенсивности впрыскивания, в результате чего максимальное давление впрыскивания у большинства отечественных АТД с непосредственным впрыскиванием топлива составляет 40...60 МПа, продолжительность впрыскивания – 10...15° по углу поворота кулачкового вала насоса, а объемная скорость подачи топлива за время поворота вала насоса на 1°, отнесенная к 1 л рабочего объема – 6...8 мм<sup>3</sup>/(град·л).

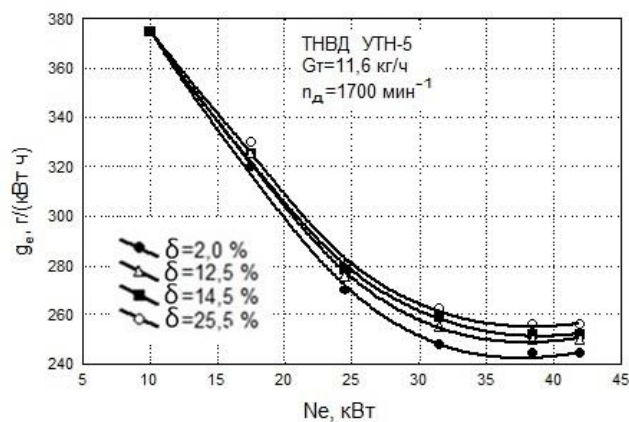
АТД работают в широком диапазоне нагрузочных и частотных режимов, поэтому необходимо, чтобы в топливных системах, имеющих жесткую связь кулачкового вала с коленчатым валом, были обеспечены оптимальные условия впрыскивания при переходе с одного режима на другой.

**Цель исследования** – исследование неидентичности подачи топлива и ее влияния на мощностные и экономические показатели работы АТД.

**Материалы и методы.** Исследования влияния неидентичности параметров топливоподачи проводились на безмоторном стенде с топливным насосом УТН-5 (режим дизеля 4Ч11/12.5), который регулировался на неидентичность подачи от 2,0 до 25,5%. Пределы неидентичности приняты с учетом предусмотренных техническими условиями значений и величиной неидентичности, имеющей место в эксплуатации. При этом максимальная цикловая подача устанавливалась для 2-го цилиндра, а минимальная – для 3 цилиндра. Часовая подача во всех опытах сохранялась постоянной и равной, установленной для данного дизеля величине 11,6 кг/ч. При снятии нагрузочной характеристики контрольного АТД проводилось индицирование второго и третьего цилиндров.

**Результаты исследования.** Индикаторные диаграммы давления газов во втором и третьем цилиндрах представлены на рис. 1. Анализ влияния неидентичности подачи топлива на изменение удельного расхода топлива АТД ( $g_e$ ) (рисунок 1, а) показывает, что с увеличением неидентичности удельный расход топлива увеличивается в среднем на 11,9%.

Анализ влияния неидентичности подачи топлива на изменение максимального давления газов ( $P_z$ ) (рисунок 1, б) и максимальной скорости нарастания давления газов в цилиндре АТД ( $dP/dY$ ) (рисунок 1, в) показывает, что максимальное давление газов и максимальная скорость нарастания давления газов увеличиваются в зависимости от нагрузки в среднем, соответственно, на 18,2 и 33,3%.



а)

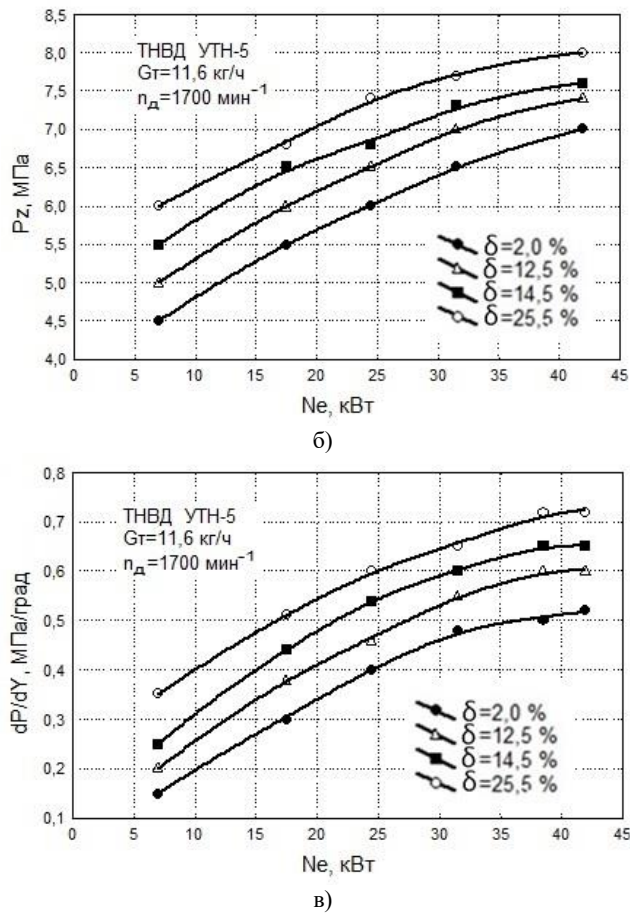


Рис. 1 – Индикаторные диаграммы давления газов во 2 и 3 цилиндрах различной неидентичности топливоподачи

Зависимость неидентичности подачи топлива от часового расхода топлива показана на рисунок 2. Из графика следует, что с уменьшением часового расхода топлива (производительности топливного насоса) неидентичность подачи топлива секциями насоса увеличивается, и тем в большей степени, чем больше первоначальная неидентичность. Если при первоначальной неидентичности подачи топлива 2,0% с уменьшением часовой подачи с 11,6 до 2,0 кг/ч неидентичность с первоначальной возросла до 18%, то при том же изменении часовой подачи топлива неидентичность с первоначальной возросла до 78%. Это объясняется возрастающими влияниями неидентичности изготовления и износа в эксплуатации прецизионных элементов ТСВД.

При исследовании работы дизеля установлено, что удельный расход топлива ( $g_e$ ) (рисунок 3, а), максимальное давление газов ( $P_z$ ) (рисунок 3, б) и максимальная скорость нарастания давления газов в цилиндре ( $dP/dY$ ) (рисунок 3, в) увеличиваются в среднем, соответственно, на 9,5 г/кВт-ч, 7,1 МПа и 5,8 МПа/град. Следовательно, изменение степени неравномерности нагрузки цилиндров АТД зависит от степени неидентичности параметров топливоподачи.

Приращение степени неравномерности нагрузки цилиндров АТД ( $\delta_{II}$ ) в зависимости от неидентичности топливоподачи ( $\delta$ ) по секциям топливного насоса высокого давления (ТНВД) представлено на рисунке 4.

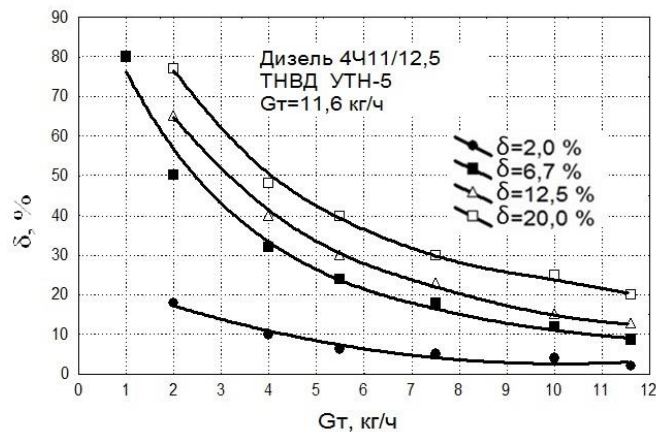


Рис. 2 – Зависимость неидентичности топливоподачи от часового расхода топлива при различной первоначальной неидентичности



Из графика видно, что с увеличением неидентичности подачи топлива с 2,0 до 25,5% приращение степени неравномерности нагрузки цилиндров увеличивается с 1 до 9,5%. Приняв, что приращение неидентичности одинаково для всех нагрузочных режимов работы АТД и подчиняется представленной на рисунке 4 зависимости, можно определить степень нагрузки цилиндров на всех исследованных режимах.

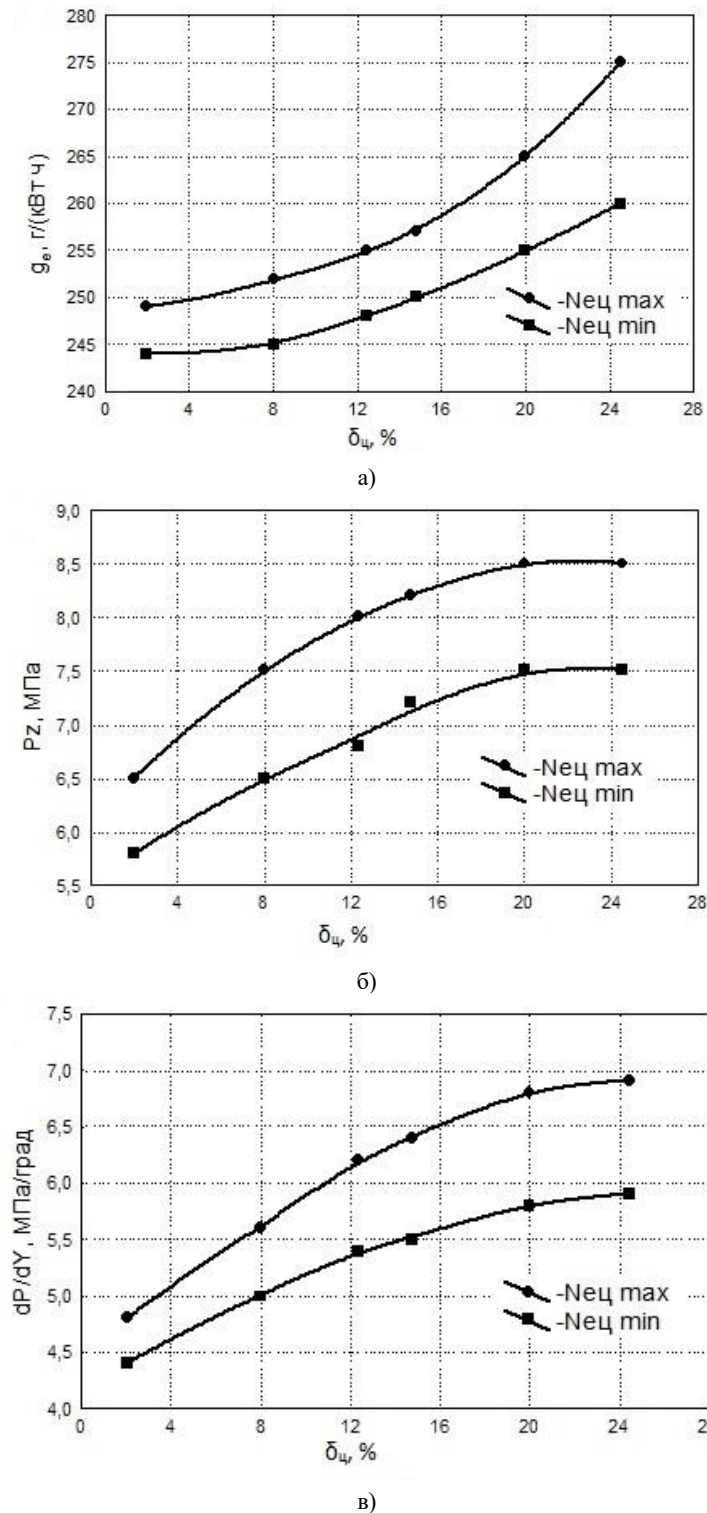
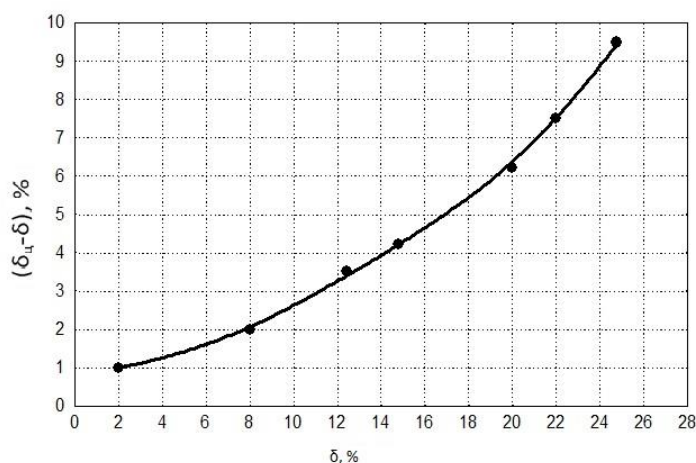


Рис. 3 – Зависимость показателей рабочего процесса дизеля от неравномерности нагрузки 2 и 3 цилиндров (дизель – 4Ч11/12,5; ТНВД – УТН-5;  $n=1700 \text{ мин}^{-1}$ )



**Рис. 4 – Зависимость приращения неравномерности нагрузки цилиндров от неидентичности подачи топлива**

**Выводы.** Анализ приведенных выше фактов позволяет сделать следующие выводы.

1. Проведенные исследования показали, что увеличение неидентичности подачи топлива секциями топливного насоса УТН-5 оказывает существенное влияние на мощностные и экономические показатели работы АТД как на номинальном режиме, так и на частичных нагрузочных режимах.
2. Изменение показателей рабочего процесса (максимальной скорости нарастания давления газов в цилиндре) при повышенной цикловой подаче топлива вызывает большую динамическую нагрузку на детали цилиндропоршневой группы и кривошипно-шатунного механизма, а, следовательно, повышенный их износ.
3. Характер изменения указанных показателей рабочего процесса в исследованных пределах неравномерности нагрузки цилиндров практически одинаков.

#### Библиография

1. Кобозев А.К., Швецов И.И., Койчев В.С., Газизов И.И., Бахолдин Н.В. Обнаружение и пути устранения неисправностей – резерв более глубокого познания конструкций тракторов и автомобилей // В сборнике: Совершенствование научно-методической работы в университете. Ставрополь : Ставропольский ГАУ, 2018. С. 138–144.
2. Койчев В.С., Мосикян К.А., Барсегян М.С. Особенности оценки эксплуатационной надежности тормозной системы автомобиля // В сборнике: Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК. Сборник научных статей по материалам XIII Международной научно-практической конференции, в рамках XVIII Международной агропромышленной выставки «Агроуниверсал – 2017». Ставрополь : Ставропольский ГАУ, 2017. С. 104–108.
3. Егожев А.М. Конструктивно-технологические решения повышения эффективности функционирования соединенных деталей рабочих органов сельскохозяйственных машин. Нальчик : Полиграфсервис и Т, 2013. 268 с.
4. Бугов Х.У., Егожев А.М., Озрокова Е.М., Полищук Е.А. Математическая модель уточненного расчета динамики роторов силовых машин // Тяжелое машиностроение. 2009. № 2. – С. 12–15.
5. Бугов Х.У., Егожев А.М. Резьбовое соединение повышенной прочности // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 11. С. 48–49.
6. Бугов Х.У., Егожев А.М. Износоустойчивая прочность резьбовых соединений // Тракторы и сельскохозяйственные машины. 2008. № 12. С. 40–41.
7. Шекихачев Ю.А., Батыров В.И., Балкаров Р.А., Шекихачева Л.З., Губжоков Х.Л. Исследование режимов работы дизельных двигателей тракторов в реальных условиях эксплуатации // Техника и оборудование для села. 2019. № 4 (262). С. 14–19. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-4-14-19.
8. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Batyrov V.I., Balkarov R.A., Kardanov Kh.B., Gubzhokov Kh.L., Bolotokov A.L. Vegetal fuel as environmentally safe alternative energy source for Diesel engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 663. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/663/1/012049.
9. Шекихачев Ю.А., Батыров В.И., Карданов Х.Б., Чеченов М.М., Шекихачева Л.З. Повышение надежности распылителей форсунок автотракторных дизелей // Научная жизнь. 2019. Т. 14. № 6. С. 929–937. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-6-929-937.
10. Курасов В.С., Драгуленко В.В., Сидоренко С.М. Теория двигателей внутреннего сгорания. Краснодар : Кубанский ГАУ, 2013. 83 с.
11. Курасов В.С., Плешаков В.Н., Самурганов Е.Е., Пономарев А.В. К методике изучения движения и работы машин, их энергетического баланса с учетом закона изменения кинетической энергии механической системы и действующих сил // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2016. № 58. С. 315–318.

#### References

1. Kobozev A.K., Shvetsov I.I., Koychev V.S., Gazizov I.I., Bakholdin N.V. Obnaruzhenie i puti ustraneniya neispravnostey – rezerv bolee glubokogo poznaniya konstruksiy traktorov i avtomobiley [Detection and troubleshooting – a reserve for a deeper knowledge of the designs of tractors and cars] // V sbornike: Sovershenstvovanie nauchno-metodicheskoy raboty v universite. Stavropol : Stavropolskiy GAU, 2018. S. 138–144.
2. Koychev V.S., Mosikyan K.A., Barsegyan M.S. Osobennosti otsenki ekspluatatsionnoy nadezhnosti tormoznoy sistemy avtomobilya [Features of assessing the operational reliability of the vehicle brake system] // V sbornike: Aktualnye problemy nauchno-tekhnicheskogo progressa v APK. Sbornik nauchnykh statey po materialam XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy kon-

ferentsii, v ramkakh XVIII Mezhdunarodnoy agropromyshlennoy vystavki «Agrouniversal – 2017». Stavropol : Stavropolskiy GAU, 2017. S. 104–108.

3. Yegozhev A.M. Konstruktivno-tekhnologicheskie resheniya povysheniya effektivnosti funktsionirovaniya soedineniy detaley rabochikh organov selskokhozyaystvennykh mashin [Structural and technological solutions to improve the efficiency of the functioning of the joints of the parts of the working bodies of agricultural machines] Nalchik : Poligrafservis i T, 2013. 268 s.

4. Bugov Kh.U., Yegozhev A.M., Ozrokov Ye.M., Polishchuk Ye.A. Matematicheskaya model utochnennogo rascheta dinamiki rotorov silovykh mashin [Mathematical model of the refined calculation of the dynamics of the rotors of power machines] // Tyazheloe mashinostroenie. 2009. № 2. – S. 12–15.

5. Bugov Kh.U., Yegozhev A.M. Rezhbovye soedineniya povyshennoy prochnosti [Threaded connection of increased strength] // Traktory i selskokhozyaystvennye mashiny. 2008. № 11. S. 48–49.

6. Bugov Kh.U., Yegozhev A.M. Iznosoustalostnaya prochnost rezhbovykh soedineniy [Wear-fatigue strength of threaded connections] // Traktory i selskokhozyaystvennye mashiny. 2008. № 12. S. 40–41.

7. Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I., Balkarov R.A., Shekikhacheva L.Z., Gubzhokov Kh.L. Issledovanie rezhimov raboty dizelnykh dvigateley traktorov v realnykh usloviyakh ekspluatatsii [Study of the operating modes of diesel engines of tractors in real operating conditions] // Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2019. № 4 (262). S. 14–19. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-4-14-19.

8. Apazhev A.K., Shekikhachev Y.A., Batyrov V.I., Balkarov R.A., Kardanov Kh.B., Gubzhokov Kh.L., Bolotokov A.L. Vegetal fuel as environmentally safe alternative energy source for Diesel engines // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2019. Vol. 663. № 1. DOI: 10.1088/1757-899X/663/1/012049.

9. Shekikhachev Yu.A., Batyrov V.I., Kardanov Kh.B., Chechenov M.M., Shekikhacheva L.Z. Povysenie nadezhnosti raspyliteley forsunok avtotraktornykh dizeley [Improving the reliability of injector nozzles for automotive diesel engines] // Nauchnaya zhizn. 2019. T. 14. № 6. S. 929–937. DOI: 10.35679/1991-9476-2019-14-6-929-937.

10. Kurasov V.S., Dragulenko V.V., Sidorenko S.M. Teoriya dvigateley vnutrennego sgoraniya [Theory of internal combustion engines]. Krasnodar : Kubanskiy GAU, 2013. 83 s.

11. Kurasov V.S., Pleshakov V.N., Samurganov Ye.Ye., Ponomarev A.V. K metodike izucheniya dvizheniya i raboty mashin, ikh energeticheskogo balansa s uchedom zakona izmeneniya kineticheskoy energii mekhanicheskoy sistemy i deystvuyushchikh sil [To the methodology for studying the movement and operation of machines, their energy balance, taking into account the law of change in the kinetic energy of a mechanical system and the acting forces] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2016. № 58. S. 315–318.

#### Сведения об авторах

Апажев Аслан Каральбиевич, доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, пр. Ленина, д. 1в, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 306030, тел. +7-8662-420819.

Шекихачев Юрий Ахметханович, доктор технических наук, профессор кафедры технической механики и физики, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, пр. Ленина, д. 1в, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 306030, тел. +7-8662-420819, e-mail: shek-fmep@mail.ru.

Дзуганов Вячеслав Барасбиевич, доктор технических наук, профессор кафедры механизации сельского хозяйства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, пр. Ленина, д. 1в, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 306030, тел. +7-8662-420819.

Балкаров Руслан Асланбиевич, доктор технических наук, профессор кафедры технологии обслуживания и ремонта машин в АПК, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, пр. Ленина, д. 1в, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 306030, тел. +7-8662-420819.

Пазова Таймира Хасановна, доктор технических наук, профессор кафедры механизации сельского хозяйства, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, пр. Ленина, д. 1в, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 306030, тел. +7-8662-420819.

Фиапшев Амур Григорьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры энергообеспечения предприятий, ФГБОУ ВО Кабардино-Балкарский ГАУ, пр. Ленина, д. 1в, г. Нальчик, Кабардино-Балкарская Республика, Россия, 306030, тел. +7-8662-420819.

#### Information about authors

Apazhev Aslan Karalbievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenin Ave., 1v, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, 306030, tel. +7-8662-420819.

Shekikhachev Yuriy Akhmetkhanovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Mechanics and Physics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenin Ave., 1v, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, 306030, tel. +7-8662-420819, e-mail: shek-fmep@mail.ru.

Dzukanov Vyacheslav Barasbievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenin Ave., 1v, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, 306030, tel. +7-8662-420819.

Balkarov Ruslan Aslanbievich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technology for Maintenance and Repair of Machines in the Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, 1v Lenin Ave., Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, 306030, tel. +7-8662-420819.

Pazova Taimira Khasanovna, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Agricultural Mechanization, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenin Ave., 1v, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, 306030, tel. +7-8662-420819.

Fiapshev Amur Grigorievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Energy Supply of Enterprises, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Kabardino-Balkarian State Agrarian University, Lenin Ave., 1v, Nalchik, Kabardino-Balkarian Republic, Russia, 306030, tel. +7-8662-420819.

УДК 631.361.022.003.13

*Д.Н. Бахарев, А.А. Добрицкий*

### АНАЛИТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ РАЗМЕРНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК РОТОРА МОЛОТИЛЬНО-СЕПАРИРУЮЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ КУКУРУЗООБОРОЧНОГО КОМБАЙНА

**Аннотация.** На современном этапе развития сельскохозяйственных технологий необходимо разрабатывать широкий спектр специализированных машин, в том числе и зерноуборочных комбайнов, адаптированных под уборку конкретной культуры, например кукурузы. В комбайновой технике основным механизмом является молотильно-сепарирующее устройство барабанного или роторного конструктивного исполнения. В настоящее время аксиально-роторные молотильно-сепарирующие устройства получили наиболее широкое распространение как в стационарных молотилках початков кукурузы, так и в комбайновой технике, способной эффективно убирать кукурузу на зерно. Проведенный системный анализ конструктивных особенностей данных молотильно-сепарирующих устройств показал ряд общих закономерностей, из числа которых можно выделить то, что как ротор, так и дека условно делится на три части. В роторе это загрузочная, основная молотильная и домолачивающая части. В деке это конический кожух загрузочной части и два регулируемых по диаметру прочных цилиндрических решета, оснащенных специальными активными или пассивными рабочими органами. Три части молотильно-сепарирующего устройства позволили провести анализ по двойному отношению линейных размеров и по аналогии с трехмерной пропорцией зерна кукурузы рассчитать ряд опорных размерных характеристик роторов. На основании расчетов построена диаграмма конструктивных параметров роторов в широком диапазоне типоразмеров молотильно-сепарирующих устройств. Согласно разработанной диаграмме, рациональные диаметры роторов соответствуют ряду дискретных значений: 180, 235, 300, 387, 500, 645, 830 мм. Данным диаметрам соответствуют общие длины ротора: 895, 1175, 1450, 1735, 2020, 2300, 2560 мм. При этом каждая общая длина ротора делится на три части, обеспечивая двойное отношение линейных размеров 1,29, выявленную при анализе трехмерной пропорции зерна кукурузы шести ботанических подвидов. Предложено определять пропускную способность специальных кукурузоуборочных комбайнов по методике, основанной на расчете параметрического индекса. При этом необходимо учитывать, что общее влияние основной молотильной части на пропускную способность молотильно-сепарирующего устройства в среднем на 19% больше, чем домолачивающей. Результаты проведенных исследований предлагается использовать в отрасли отечественного комбайностроения.

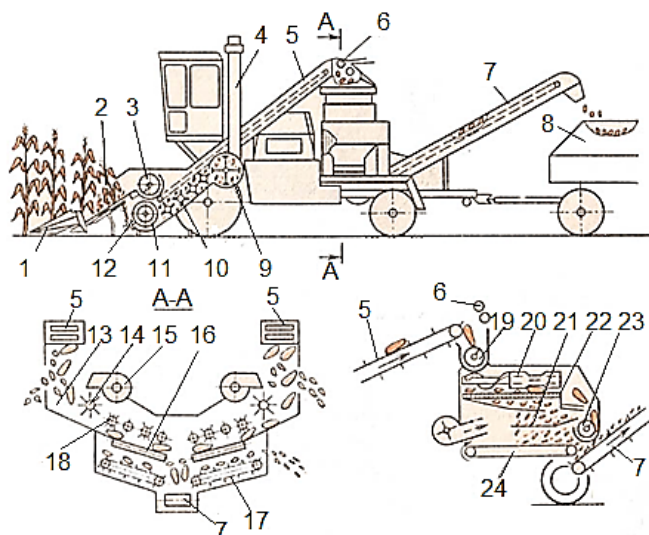
**Ключевые слова:** кукуруза, молотильно-сепарирующее устройство, ротор, конструкция, пропускная способность.

### ANALYTICAL SUBSTANTIATION OF THE DIMENSIONAL CHARACTERISTICS OF THE ROTOR OF A THRESHING AND SEPARATING DEVICE FOR A CORN HARVESTER

**Abstract.** At the present stage of development of agricultural technologies, it is necessary to develop a wide range of specialized machines, including combine harvesters adapted for harvesting a specific crop, such as corn. In combine technology, the main mechanism is a threshing and separating device of drum or rotary design. At the present time, axial-rotor threshing and separating devices have become most widely used both in stationary corn cob threshers and in combine machinery capable of efficiently harvesting corn for grain. The system analysis of the design features of these threshing and separating devices has shown a number of general patterns, of which the most characteristic is that both the rotor and the deck can be conditionally divided into three parts. In the rotor, these are the loading, main threshing and part of the final threshing. In the deck, this is a conical casing of the loading part and two diameter-adjustable strong cylindrical sieves equipped with special active or passive working bodies. The three parts of the threshing-separating device made it possible to analyze the double ratio of linear dimensions and, by analogy with the three-dimensional proportion of corn grains, calculate a number of reference dimensional characteristics of the rotors. Based on the calculations, a diagram of the design parameters of rotors in a wide range of standard sizes of threshing and separating devices is constructed. According to the developed diagram, the rational diameters of the rotors are in a discrete range: 180, 235, 300, 387, 500, 645, 830 mm. These diameters correspond to the total rotor lengths: 895, 1175, 1450, 1735, 2020, 2300, 2560 mm. At the same time, each total length of the rotor is divided into three parts and at the same time provides a ratio of a double ratio of linear dimensions of 1,29, revealed by analyzing the three-dimensional proportion of corn grains of six botanical subspecies. It is proposed to determine the throughput capacity of special corn harvesters by a method based on the calculation of a parametric index. At the same time, it should be taken into account that the overall effect of the main threshing part on the throughput of the threshing-separating device is on average 19% greater than the pre-threshing one. The results of the conducted research are proposed to be used in the domestic combine industry.

**Keyword:** corn, threshing and separating device, rotor, structure, throughput.

**Введение.** На современном этапе развития сельскохозяйственных технологий необходимо разрабатывать широкий спектр специализированных машин. К таким машинам можно отнести специальные кукурузоуборочные комбайны с молотильно-сепарирующим устройством (МСУ) конструктивно-технологически оптимизированным к работе с початками кукурузы. В прошлом наша промышленность такие машины уже производила. К ним, например, можно отнести комбайн КСКУ-6 в варианте с обмолотом [1].



- 1 – мусы; 2 – початкоотрывающие аппараты; 3 – шнек початков; 4 – труба измельчителя; 5 – транспортеры початков; 6 – стеблеулавливатель; 7 – выгрузной транспортер; 8 – тележка для очищенных початков; 9 – измельчитель; 10 – битеры наклонной камеры; 11 – шнек стеблей; 12 – режущий аппарат; 13 – лоток; 14 – битер; 15 – вентилятор; 16 – очистительные вальцы; 17 – транспортер обертков; 18 – крыльчатки; 19 и 23 – шнеки; 20 – молотильный аппарат; 21 – очистка; 22 – цилиндрическое решето; 24 – транспортер

**Рис. 1 – Схема технологического процесса самоходного кукурузоуборочного комбайна КСКУ-6 «Херсонец-200»**

В настоящее время обмолот кукурузы в поле осуществляют зерноуборочными комбайнами. Практика их применения показала, что при уборке кукурузы на зерно комбайны с роторным МСУ работают значительно эффективнее, чем комбайны с классической системой обмолота [2, 3]. Следовательно, при разработке специальных кукурузоуборочных комбайнов необходимо учесть опыт конструирования роторных МСУ основных серийных моделей зерноуборочных комбайнов. Для этого были проведены аналитические исследования, в результате которых роторы зерноуборочных комбайнов по принципу подобию конструктивного исполнения разделены на три группы. С целью визуализации и дальнейшего анализа данные группы представлены их характерными вариантами на рисунках 2-4.

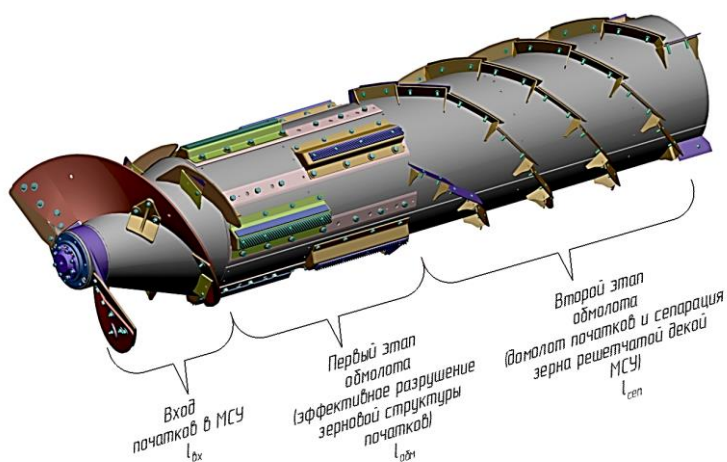
В рамках данного исследования анализировались комбайны: Ростсельмаш TORUM 770/785, КЗС-1624-1 «ПАЛЕССЕ GS16», CLAAS TUCANO 580/570/560 и LEXION 750/760/770, John Deere S700/S760/S770/S780/S790, New Holland CR 8070/8080/9080.

В результате выявлен ряд общих закономерностей в конструкциях МСУ:

- ротор и деку можно условно разделить на три части; в роторе это загрузочная, основная молотильная и домолачивающая части; в деке это конический кожух загрузочной части и два регулируемых по диаметру прочных цилиндрических решета, оснащенных специальными активными или пассивными рабочими органами и отличающиеся размером сепарационных отверстий;

- в большинстве анализируемых случаев загрузочная часть ротора конструктивно выполнена в виде многолопастного конического винта, основная молотильная часть изготавливается в виде цилиндра, оснащенного билами различных конструктивных исполнений, а домолачивающая – в виде цилиндра, укомплектованного винтовыми молотильно-транспортирующими рабочими органами;

- длины вышеперечисленных частей ротора существенно отличаются друг от друга;
- соотношение длины ротора к его диаметру находится в пределах 4,2:1 – 4,7:1;
- конструктивные характеристики ротора определяют типоразмер МСУ в целом.



**Рис. 2 – Ротор комбайна Ростсельмаш TORUM**

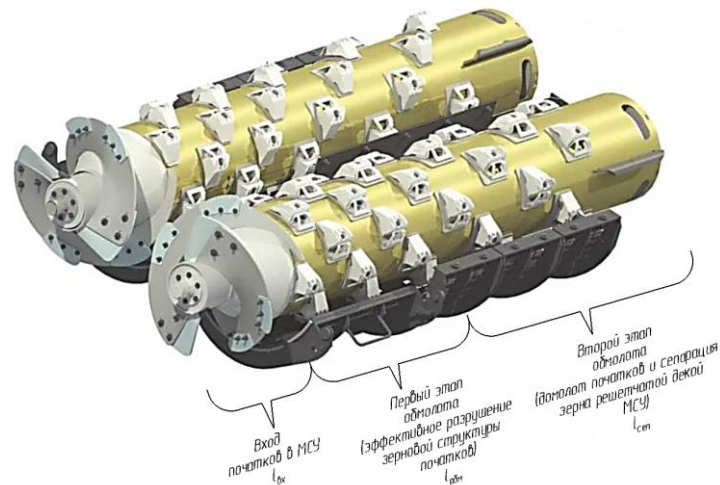


Рис. 3 – Роторы комбайна New Holland

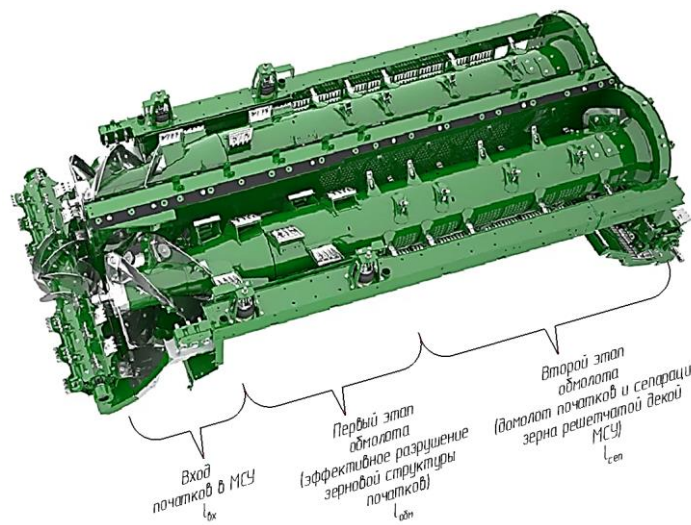


Рис. 4 – Роторы комбайна John Deere

Вышеописанные закономерности полностью согласуются с научно-обоснованным утверждением, что параметры МСУ для комбайновой техники подчинены вполне конкретному принципу гармоничности их конструкции [4].

Известно, что большинство гармоничных технических конструкций ученые и исследователи разработали, опираясь на опыт живой природы создавать оптимальные трехмерные геометрические пропорции [5-7]. Опыт живой природы используют двумя способами, прямо копируя конструкцию или выделяя четкую закономерность создают конструкции по аналогии. Второй путь является более предпочтительным, поскольку дает исследователям более широкий спектр возможностей в проектировании новых рабочих органов и машин [8-10].

Поскольку основная задача любого МСУ состоит в бережном отделении зерна от его незерновой части, на основании вышесказанного выдвигается гипотеза, что при проектировании роторов аксиально-роторных МСУ для початков кукурузы, как гармоничной технической системы, целесообразно использовать закономерность природной трехмерной пропорции зерна.

**Целью исследования является** аналитическое обоснование размерных характеристик роторов при варьировании типоразмера комбайновых МСУ для початков кукурузы.

**Объект и методы исследований.** Объектом исследования являются закономерности изменения диаметра ротора и длины его загрузочной, основной молотильной, а также домолочивающей части ротора при варьировании типоразмера комбайновых МСУ для початков кукурузы.

**Результаты исследований.** Зерно кукурузы в трехмерном пространстве характеризуется длиной, шириной и высотой (три размерными характеристиками), поэтому для выявления закономерности в их пропорциях целесообразно применить так называемое двойное отношение линейных размеров  $a, b, c$  [5]

$$W = \frac{(a+b) \cdot (b+c)}{b \cdot (a+b+c)}, \quad (1)$$

где  $W$  – вурф или двойное отношение линейных размеров;  $a, b, c$  – наибольший, средний и наименьший размер зерна, обозначенный в таблице 1.

**Таблица 1 – Результаты расчета двойного отношения линейных размеров зерна основных подвидов кукурузы**

Подвиды кукурузы	Наибольший размер зерна <i>a</i> , мм	Средний размер зерна <i>b</i> , мм	Наименьший размер зерна <i>c</i> , мм	Двойное отношение <i>W</i>
Сахарная	9,50	7,80	4,80	1,26
Восковидная	10,30	7,80	5,10	1,29
Зубовидная	11,40	8,50	4,50	1,25
Кремнистая	9,00	8,60	7,30	1,31
Лопающаяся	7,40	6,30	4,80	1,30
Пленчатая	6,70	6,10	5,00	1,31
Результаты статистической обработки				
Ср. значение	9,05	7,52	5,25	1,290
Среднее квадратическое отклонение, %				0,026
Абсолютная ошибка				0,059
Относительная ошибка среднего значения, %				4,620

Исходя из этого сделано предположение, что двойное соотношение длин участков ротора в его загрузочной, основной молотильной и домолочивающей части должно составлять 1,29. Для расчёта этих длин нужны опорные значения рациональных параметров в широком диапазоне типоразмеров МСУ, а именно рациональные варианты значений общей длины и диаметра ротора.

С целью их установления был проведен анализ массива существующих данных по комбайновой технике и стационарным МСУ для початков кукурузы, в результате которого путем аппроксимации получено выражение

$$L_p = 1099 \cdot \ln(D_p) - 4815 \quad (2)$$

где  $L_p$  – общая длина ротора;  $D_p$  – диаметр ротора.

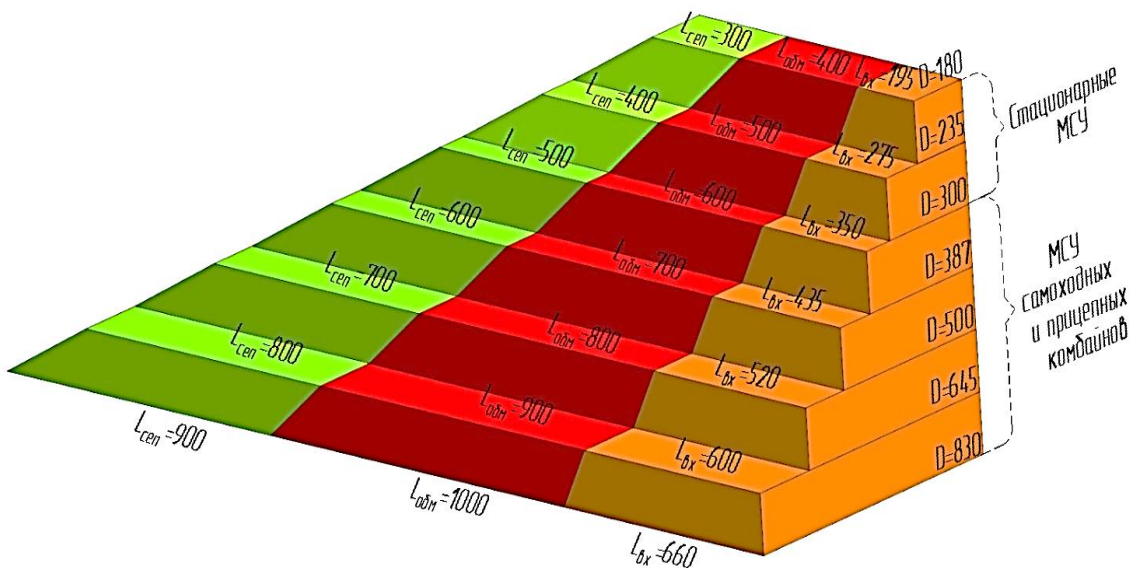
На основании выражений (1) и (2), с учетом того, что  $W=1,29$  получен ряд расчетных значений (таблица 2).

**Таблица 2 – Результаты расчета размерных характеристик роторов МСУ для кукурузы\***

$L_p$ , мм	$D_p$ , мм	$l_{bx}$ , мм	$l_{обн}$ , мм	$l_{cen}$ , мм	$W$
895	180	195	400	300	1,29
1175	235	275	500	400	1,29
1451	300	350	600	500	1,29
1735	387	435	700	600	1,29
2020	500	520	800	700	1,29
2300	645	600	900	800	1,29
2560	830	660	1000	900	1,29

\* Полученные в результате расчета по выражению (2) значения  $L_p$  уточнены с учетом требуемой величины двойного отношения линейных размеров  $W=1,29$ .

На основании таблицы 2 построена диаграмма размерных характеристик роторов МСУ для кукурузы (рисунок 5).



**Рис. 5 – Диаграмма размерных характеристик роторов МСУ для кукурузы**

Как видно из диаграммы, длина основной молотильной части ротора в среднем на 19% больше домолачивающей. Следовательно, согласно принципу подобия можно предположить, что влияние конструкции основной молотильной части на пропускную способность МСУ в среднем на 19% больше, чем домолачивающей.

Определить пропускную способность проектируемого МСУ можно путем применения методики, основанной на расчете параметрического индекса. Этот практически ценный и весьма удобный метод предложен профессором Э.В. Жалниным и подробно описан в источнике [2].

Здесь опорной моделью является [2]:

$$q_T = 1,83 \cdot \left( \frac{N_e}{126} + 0,5(F_{nc} + F_p) - 0,83 \right) \quad (3)$$

где  $N_e$  – мощность двигателя комбайна, л.с.;  $F_{nc}$  – сепарационная площадь всей деки МСУ, м<sup>2</sup>;  $F_p$  – площадь очистительных решет, м<sup>2</sup>.

Учитывая неравенство влияния основной молотильной и домолачивающей части ротора на пропускную способность кукурузоуборочного комбайна с аксиально-роторным МСУ конструктивно-технологически оптимизированным к работе с початками кукурузы, модель (3) предлагается использовать в виде

$$q_T = 1,83 \cdot \left( \frac{N_e}{126} + 0,5(1,19F_{обм} + 0,81F_{сен} + F_p) - 0,83 \right) \quad (4)$$

где  $F_{обм}$  – площадь сепарации в основной молотильной части МСУ, м<sup>2</sup>;  $F_{сен}$  – площадь сепарации в домолачивающей части МСУ, м<sup>2</sup>.

В качестве примера возможной практической реализации вышеописанного подхода можно указать следующее. При создании отечественного специализированного кукурузоуборочного комбайна, например на базе модели ДОН-2600, но с ротором предлагаемых размеров:  $L_p=2560$  мм,  $D_p=830$  мм,  $l_{ак}=660$  мм,  $l_{обм}=1000$  мм,  $l_{сен}=900$  мм, будет обеспечена пропускная способность по массе початков не менее 14 кг/с.

Результаты проведенных исследований предлагается использовать в отрасли отечественного сельхозмашиностроения при проектировании специальных кукурузоуборочных комбайнов с МСУ конструктивно-технологически оптимизированными к работе с початками кукурузы.

**Выводы.** Обобщая приведенные выше соображения, можно сделать следующие выводы.

1. При разработке специальных кукурузоуборочных комбайнов с МСУ конструктивно-технологически оптимизированным к работе с початками кукурузы необходимо учитывать опыт конструирования роторных молотильных аппаратов основных серийных моделей зерноуборочных комбайнов.

2. В процессе проектирования роторов аксиально-роторных МСУ для початков кукурузы, как гармоничной технической системы, целесообразно использовать закономерность природной трехмерной пропорции зерна.

3. Рациональные диаметры роторов для специальных кукурузоуборочных комбайнов соответствуют ряду дискретных значений: 180, 235, 300, 387, 500, 645, 830 мм. Данным диаметрам соответствуют общие длины ротора: 895, 1175, 1450, 1735, 2020, 2300, 2560 мм. При этом каждая общая длина ротора должна делиться на три части, обеспечивая двойное отношение линейных размеров 1,29.

4. Влияние конструкции основной молотильной части на пропускную способность МСУ в среднем на 19% больше, чем домолачивающей, это необходимо учитывать при расчете пропускной способности МСУ путем применения методики, основанной на расчете параметрического индекса.

5. Результаты проведенных исследований целесообразно использовать в отрасли отечественного комбайностроения.

### Библиография

1. Серга Г.В., Тульчий В.И., Серга М.Г. Модульный кукурузоуборочный комбайн со стреловидной рамой: монография. Краснодар : КубГАУ, 2017. 94 с.
2. Жалнин Э.В. Методологические аспекты механизации производства зерна в России: научное издание. – М. : Полиграф сервис, 2012. 368 с.
3. Жалнин Э.В. Методика анализа технического уровня зерноуборочных комбайнов по функциональным и конструктивным параметрам // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 2. С. 4–8.
4. Жалнин Э.В. Расчет основных параметров зерноуборочных комбайнов с использованием принципа гармоничности их конструкции: научное издание. М. : ВИМ, 2011. 104 с.
5. Петухов С.В. Биомеханика, бионика и симметрия: монография. М. : Наука, 1981. 240 с.
6. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14, № 1. С. 34–39.
7. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Черников Р.В. Пневматическая система дифференцированного обмола кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2019. Т. 13, № 4. С. 42–47.
8. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф., Пастухов А.Г. Бионические основы конструирования молотильно-сепарирующих систем для початков кукурузы: монография. – п. Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – 168 с.
9. Патури Ф.Р. Растения гениальные инженеры природы. – М. : Прогресс, 1982. – 172 с.
10. Никулин В.М. От чудес природы к чудесам техники. – Днепропетровск : Проминь, 1988. – 166 с.

### References

1. Serga G.V., Tulchij V.I., Serga M.G. Modulnyj kukuruzoborochnyj kombajn so strelovidnoj ramoj [Modular corn harvester with swept frame]: monografiya. Krasnodar : KubGAU, 2017. 94 s.
2. Zhalnin E.V. Metodologicheskie aspekty mekhanizacii proizvodstva zerna v Rossii [Methodological aspects of mechanization of grain production in Russia]. M. : Poligraf servis, 2012. 368 s.
3. Zhalnin E.V. Metodika analiza tekhnicheskogo urovnya zernoborochnyh kombajnov po funkcional'nym i konstruktivnym parametram [Methodology for analyzing the technical level of combine harvesters by functional and design parameters] // Selskohozyajstvennye mashiny i tekhnologii. 2018. T. 12. № 2. S. 4–8.



4. Zhalnin E.V. Raschet osnovnyh parametrov zernoborochnyh kombajnov s ispol'zovaniem principa garmonichnosti ih konstrukcii [Calculation of the main parameters of combine harvesters using the principle of harmony of their design.]. M. : VIM, 2011. 104 s.
5. Petuhov S.V. Biomekhanika, bionika i simmetriya: monografiya [Biomechanics, bionics and symmetry]. M. : Nauka, 1981. 240 s.
6. Pastukhov A.G., Bahakrev D.N. Molotilno-separiruyushhee ustrojstvo dlya pervichnogo semenovodstva kukuruzy [Threshing and separating device for primary corn seed production] // Selskoxozyajstvennye mashiny i texnologii. 2020. T. 14, № 1. S. 34–39.
7. Pastukhov A.G., Bakharev D.N., Volvak S.F., Chernikov R.V. Pnevmaticheskaya sistema differencirovannogo obmolota kukuruzy [Pneumatic system of differentiated corn threshing] // Selskoxozyajstvennye mashiny i texnologii. 2019. T. 13, № 4. S. 42–47.
8. Bakharev D.N., Volvak S.F., Pastukhov A.G. Bionicheskie osnovy konstruirovaniya molotilno-separiruyushchih sistem dlya pochatkov kukuruzy: monografiya [Bionic basis for the design of threshing and separating systems for corncobs]. Majskij : FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2018. 168 p.
9. Paturi F.R. Rasteniya genialnye inzhenery prirody [Plants are brilliant engineers of nature]. M. : Progress, 1982. 172 s.
10. Nikulin V.M. Ot chudes prirody k chudesam tekhniki [From the wonders of nature to the wonders of technology]. – Dnepropetrovsk : Promin, 1988. 166 s.

#### Сведения об авторах

Бахарев Дмитрий Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры технической механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 (4722) 39-12-33, e-mail: baharevdn\_82@mail.ru.

Добрицкий Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 (4722) 39-12-33, e-mail: dobrickiy\_aa@bsaa.edu.ru.

#### Information about authors

Bakharev Dmitriy Nikolayevich, candidate of technical sciences, docent of the department of technical mechanics and machine design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», str. Vavilova,1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7 (4722) 39-12-33, e-mail: baharevdn\_82@mail.ru.

Dobrickiy Alexander Alexandrovich, candidate of technical sciences, docent of the department of technical service in the agro-industrial complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», str. Vavilova,1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7 (4722) 39-12-33, e-mail: dobrickiy\_aa@bsaa.edu.ru.

УДК 001.891:621.384.52

*А.Н. Мануйленко, В.Ю. Страхов, С.В. Вендин*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРООЗОНАТОРА ДЛЯ ОЗДОРОВЛЕНИЯ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ПОМЕЩЕНИЯХ

**Аннотация.** Животноводство относят к одной из ключевых отраслей сельскохозяйственного производства. На показатель продуктивности сельскохозяйственных животных, а также качество продукции животноводства (мясо, молоко и т.д.) оказывают влияние ряд физических и биологических факторов. Обработка и оздоровление воздушной среды в сельскохозяйственных помещениях относится к одному из доступных и эффективных методов повышения качества животноводческого производства. Традиционно вопросы оздоровления и улучшения газового состава воздушной среды в животноводческих помещениях решаются путем применения биологических, химических, физических и комбинированных способов. В научной литературе достаточно сведений о положительном действии электрофизического способа обработки воздушной среды в помещении посредством озонирования. Для этого используют специальные генераторы озона различных технических решений (физических способов и конструкций), но, на настоящее время, оптимальным вариантом получения озона в больших объемах является электрический синтез. Представленные на сегодняшний день конструкции установок для озонирования воздуха в животноводческих помещениях имеют ряд недостатков: низкая производительность и надежность электродов излучателя и др. Приведены результаты исследований по определению технических и режимных параметров экспериментального образца электрического озонатора для оздоровления воздушной среды. Установлено, что величина минимальной ёмкости конденсаторов в генераторе высокого напряжения возрастает с увеличением тока нагрузки и снижении коэффициента пульсации выходного напряжения. На основе экспериментальных данных получены регрессионные уравнения для оценки влияния напряжения на излучателе (В) и продолжительности работы электроозонатора (мин) на концентрацию озона ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ). Было установлено, что концентрация озона на излучателе постепенно снижается с увеличением времени работы автономного модуля электроозонатора при заданном напряжении, а затем переходит в установившийся режим, примерно через 60 мин. При увеличении концентрации озона (0; 1; 5; 10  $\text{мг}/\text{м}^3$ ) в помещении происходит снижение ОМЧ как в воздухе, так и у объектов, размещенных в этом помещении (комбикормах –  $188 \pm 3,34$ ;  $184 \pm 2,97$ ;  $173 \pm 2,68$ ;  $165 \pm 2,61$  КОЕ/г).

**Ключевые слова:** озон, озонирование, электроозонатор, коронный разряд, помещение, воздух, качество воздуха.

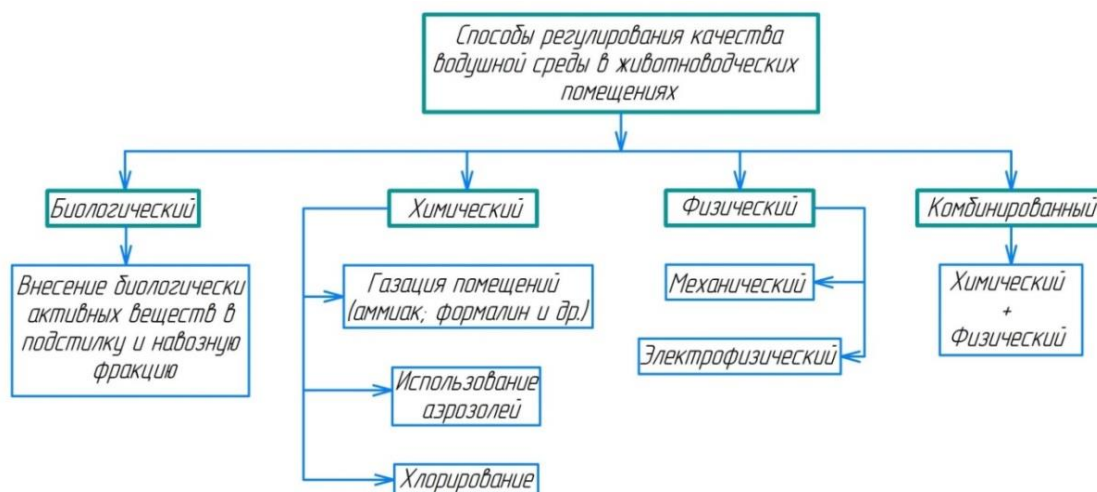
## RESULTS OF STUDIES ON DETERMINATION OF THE PARAMETERS OF ELECTRIC OZONATOR FOR IMPROVEMENT OF THE AIR ENVIRONMENT IN LIVESTOCK ROOMS

**Abstract.** Animal husbandry is considered one of the key branches of agricultural production. A number of physical and biological factors influence the productivity of farm animals, as well as the quality of livestock products (meat, milk, etc.). The treatment and improvement of the air environment in agricultural premises refers to one of the affordable and effective methods of improving the quality of livestock production. Traditionally, the issues of improving and improving the gas composition of the air environment in livestock premises are solved by using biological, chemical, physical and combined methods. There is enough information in the scientific literature about the positive effect of the electrophysical method of treating indoor air by ozonation. For this purpose, special ozone generators of various technical solutions (physical methods and designs) are used, but, at present, the best option for obtaining ozone in large volumes is electrical synthesis. The designs of installations for air ozonation in livestock premises presented today have a number of disadvantages: low productivity and reliability of the emitter electrodes, etc. The results of research to determine the technical and operational parameters of an experimental sample of an electric ozonator for improving the air environment are presented. It is established that the value of the minimum capacitance of capacitors in a high voltage generator increases with an increase in the load current and a decrease in the output voltage ripple coefficient. On the basis of experimental data, regression equations were obtained to estimate the effect of the voltage on the emitter (V) and the duration of operation of the electric resonator (min.) on the concentration of ozone ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ). It was found that the concentration of ozone on the radiator gradually decreases with an increase in the operating time of the autonomous module of the electric detonator at a given voltage, and then goes into steady-state mode, after about 60 minutes. With an increase in the concentration of ozone (0; 1; 5; 10  $\text{mg}/\text{m}^3$ ) in the room, there is a decrease in OHMS both in the air and in objects placed in this room (compound feeds –  $188 \pm 3,34$ ;  $184 \pm 2,97$ ;  $173 \pm 2,68$ ;  $165 \pm 2,61$  CFU/g).

**Keywords:** ozone, ozonation, electric detonator, corona discharge, room, air, air quality.

**Введение.** Достижение высоких показателей продуктивности животных невозможно без передовых технологий, для которых характерно содержание животных в закрытых помещениях. Поэтому, при большой концентрации животных в одном месте наиболее остро встал вопрос о нормировании зоотехнических и ветеринарно-санитарных норм качества воздуха внутри сельскохозяйственного помещения. Для поддержания порядка и санитарии, необходимо обеспечивать мероприятия по оздоровлению и улучшению газового состава воздушной среды, проводить профилактику распространения заразных болезней сельскохозяйственных животных и создавать комфортную воздушную среду [1].

Мероприятия по оздоровлению и улучшению газового состава воздушной среды могут включать в себя различные способы и специализированные технические средства для их реализации. Обобщенная схема основных способов, для обеспечения регулирования качества воздуха внутри животноводческих помещений представлена на рисунке 1.



**Рис. 1 – Схема основных способов, для обеспечения регулирования качества воздуха внутри животноводческих помещений**

Традиционно вопросы оздоровления и улучшения газового состава воздушной среды в животноводческих помещениях решаются путем применения различных способов: биологических (внесение биологически активных веществ в подстилку и навозную фракцию); химических (газация, хлорирование, распыление аэрозолей); физических (механическое и электрофизическое воздействие); комбинированных способов (сочетающих в себе применение различных приемов). В классическую концепцию комбинированных способов можно включить сочетание физических и химических способов с применением активной вентиляции, мойки, газации, дезинфекции и орошения. Необходимо отметить, что применение активного вентилирования связано с большими энергозатратами, орошения и применения аэрозолей низкой производительностью, мойки и газации простым помещением и негативным воздействием на экологию, а также сопутствующими энергетическими расходами на дегазацию и сушку [2, 3].

Научными исследованиями установлено, что для улучшения показателей воздушной среды можно использовать нетрадиционный способ – электротехнологию озонирования. Такой газ, как озон является одним из сильнейших антимикробных агентов в природе и имеет ряд преимуществ, проводя параллель с прочими средствами дезинфекции. Выступая сильнейшим окислителем, он куда более действенный при инактивации вирусов, бактерий, грибов и прочей патогенной микрофлоры, нежели такие химические средства, как хлор, окись этилена, некоторые формальдегиды и др. В ходе процесса обеззараживания газ  $O_3$  распадается на молекулярный кислород  $O_2$ , после чего сам кислород уже не имеет никакого негативного воздействия и не образует опасных химических соединений.

Процедура озонирования показала себя местами эффективнее и с меньшими затратами ресурсов, нежели обеззараживание электротехнологией ультрафиолетового облучения, так как подвергается более точной регулировке подаваемого объема газа-озона. Также стоит отметить, что обработка производственных помещений и технологического оборудования озоном не требует дополнительных мероприятий, таких как промывка или дегазация. Отметим, что использование генераторов озона в животноводстве позволяет решить вопросы не только обеспечения высокого качества воздушной среды, но и производить профилактику распространения заразных болезней животных [4-6].

Для оздоровления воздушной среды в животноводческих помещениях с применением озонирования возможны различные технологические решения:

- применение генераторов озона совместно с системой вентиляции;
- стационарное расположение автономных генераторов озона в рабочих помещениях;
- применение автономных генераторов озона в мобильном исполнении.

Заметим, что генерацию озона в воздушной среде можно создать с применением различных технических решений (физических способов и конструкций), но, на настоящее время, оптимальным вариантом получения озона в больших объемах является электрический синтез, базирующийся на диссоциации молекулы озона под воздействием энергии электрического разряда (коронный, барьерный и др.).

Кроме того, при озонировании временной промежуток контакта со средой намного меньше, чем для других дезинфектантов, так как для образования такого газа, как озон нужно только наличие кислорода в воздушной среде и источник электрической энергии высокого напряжения. Но стоит помнить, что при использовании специальных электрических озонаторов в животноводстве необходимо учитывать особенности технологического процесса (видовой состав микрофлоры, температура, влажность, движение воздушных масс и другие параметры), которые могут оказать влияние на действие озон-воздушной смеси, а также и технические особенности генераторов озона (производительность, мощность, продолжительность работы) [7, 8].

Ниже приведены результаты исследований, проводимых на кафедре электрооборудования и электротехнологий в АПК Белгородского ГАУ, по разработке технических средств для озонирования и их применению для оздоровления воздушной среды в животноводческих помещениях.

**Материалы и методы.** Цель исследований – определение технических и режимных параметров экспериментального образца электрического озонатора, предназначенного для оздоровления воздушной среды и улучшения санитарного состояния помещений и технологического оборудования сельскохозяйственного назначения.

Задачи исследований включают:

- разработку конструкции электрического озонатора воздуха;
- проведение исследований теоретического и экспериментального характера.

Методика исследований предполагала использование патентного поиска и анализа литературы о технических характеристиках устройств, для электрического озонирования воздушной среды, теории процессов электроозонирования, методов математической статистики и планирования эксперимента применительно к электрофизическим способам улучшения показателей качества воздушной среды в производственных помещениях сельскохозяйственного назначения.

Экспериментальное обоснование технологических требований к процессу озонирования предполагает использование теории планирования эксперимента и регрессионного анализа для расчета и определения оптимальных режимов на основе оценки качественных показателей. При проведении экспериментальных исследований использовались следующие технические и измерительные средства: экспериментальный образец электрического озонатора воздуха; комплекты измерительной аппаратуры: мультиметр (DT 9205A), киловольтметр, анемометр (Smart Sensor AR816+), анализатор озона (WELUOT DM509-О3; Элан О3) и газоанализаторы (Smart Sensor ST8900; JLDG JD-3002). Обработку экспериментальных данных проводили с использованием ПЭВМ.

**Результаты и обсуждение.** Для проведения исследований по применению озонирования для оздоровления воздушной среды и улучшения санитарного состояния помещений и технологического оборудования сельскохозяйственного назначения был разработан и изготовлен экспериментальный образец электрического озонатора воздуха (автономный модуль электроозонатора), новизна которого подтверждена патентом РФ на изобретение № 2787881 [9].

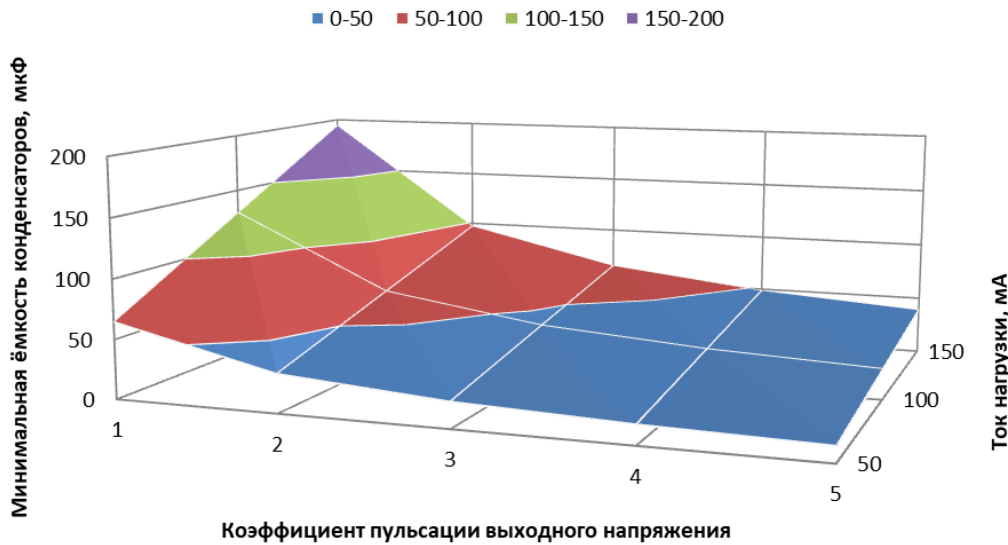
Наиболее ответственным узлом электрического озонатора является источник (генератор) высокого напряжения. В экспериментальном образце электрического озонатора воздуха в качестве генератора высокого напряжения используется регулируемый импульсный источник. Принцип действия генератора заключается в повышении сетевого напряжения высоковольтным трансформатором, выпрямлении диодным мостом высокого переменного напряжения и создании на электрической емкости (конденсаторах) удвоенного амплитудного значения входного напряжения. Соответственно, конденсаторы и диоды схемы должны быть рассчитаны на необходимое напряжение [10-12].

Минимальная ёмкость конденсаторов определяется по формуле [13]:

$$C_{\min} = \frac{2,85 \cdot n \cdot I_n}{K_n \cdot U_{\text{вых}}}, \tag{1}$$

где  $I_n$  – ток нагрузки, мА;  $K_n$  – коэффициент пульсаций выходного напряжения, 1...5%.

Для наглядности на рисунке 2 представлена рассчитанная по выражению (1) поверхность зависимости минимальной емкости конденсатора от коэффициента пульсации напряжения и тока нагрузки.



**Рис. 2 – Зависимость минимальной емкости конденсатора от коэффициента пульсации напряжения**

Согласно приведенной расчетной поверхности, можно констатировать, что величина минимальной ёмкости конденсаторов возрастает с увеличением тока нагрузки и снижении коэффициента пульсации выходного напряжения. Однако следует учитывать, что ёмкость первого конденсатора в каскаде необходимо увеличить в 3 раза от расчётной ёмкости, иначе полное напряжение на выходе схемы появится через несколько периодов входного напряжения.

Экспериментальные исследования влияния режимных параметров озонатора на выходную концентрацию озона в воздушной среде для разработанной конструкции проводились в соответствии с реализацией плана второго порядка Коно для 2-х факторного эксперимента [14, 15]. Варьируемыми факторами были приняты: напряжение на излучателе ( $x_1$ ); продолжительность работы установки ( $x_2$ ). В качестве функции отклика измерялась концентрация озона ( $y$ ) на выходе озонатора. Значения и интервал варьируемых факторов приведены в таблице 1. Эксперимент проведен при зазоре воздушного промежутка 30 мм.

**Таблица 1 – Значения и интервал варьирования факторов в кодированных и натуральных переменных**

Наименование фактора	Значение в кодированных и натуральных переменных		
	-1	0	+1
Напряжение на излучателе ( $x_1$ ), кВ	10	20	30
Продолжительность работы установки ( $x_2$ ), мин	0	40	80

Результаты эксперимента (с учетом дублирования опытов) представлены в таблице 2. Данные заполняются согласно расчетной матрице.

**Таблица 2 – Результаты эксперимента (с учетом дублирования опытов)**

№ опыта	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y <sub>1n</sub>	Y <sub>2n</sub>	Y <sub>3n</sub>	Y <sub>4n</sub>	Y <sub>ср</sub>	S <sub>n</sub> <sup>2</sup>	S <sub>n1</sub> <sup>2</sup>	S <sub>n2</sub> <sup>2</sup>	S <sub>n3</sub> <sup>2</sup>	S <sub>n4</sub> <sup>2</sup>
1	–	–	2,2	2,05	2,52	1,95	2,18	0,186	0,0004	0,0169	0,1156	0,0529
2	+	–	1,52	1,05	1,64	1,22	1,36	0,220	0,0264	0,0946	0,0798	0,0189
3	–	+	7,5	7,6	7,3	6,9	7,32	0,288	0,0306	0,0756	0,0006	0,1806
4	+	+	5,3	5,7	5,05	4,98	5,26	0,318	0,0018	0,1958	0,0431	0,0770
5	–	0	5,05	4,9	5,2	5,4	5,14	0,137	0,0077	0,0564	0,0039	0,0689
6	+	0	3,6	3,46	3,28	3,65	3,50	0,082	0,0105	0,0014	0,0473	0,0232
7	0	–	1,75	1,33	1,72	1,5	1,58	0,117	0,0306	0,06	0,0210	0,0056
8	0	+	5,75	6,16	5,22	5,42	5,64	0,507	0,0127	0,273	0,1743	0,0473
9	0	0	3,9	4,25	3,8	3,34	3,82	0,422	0,006	0,1828	0,0005	0,2328

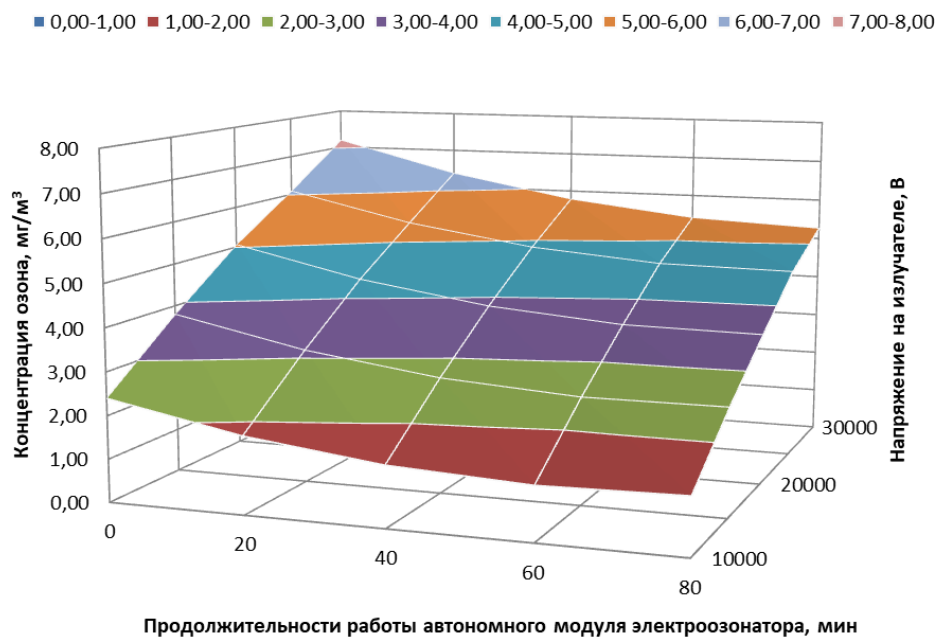
На основе экспериментальных данных таблицы 2 было получено регрессионное уравнение влияния напряжения на излучателе (x<sub>1</sub>) и продолжительности работы автономного модуля электроозонатора (x<sub>2</sub>) на концентрацию озона в воздушной среде (y). Уравнение регрессии в кодированных переменных имеет вид

$$y = b_0 + b_1x_1 + b_2x_2 + b_{1,2}x_1x_2 + b_{11}x_1^2 + b_{22}x_2^2 \tag{2}$$

где b<sub>0</sub>=3,85, b<sub>1</sub>=-0,76, b<sub>2</sub>=2,18, b<sub>1,2</sub>=-0,21, b<sub>11</sub>=0,45, b<sub>22</sub>=-0,26 – коэффициенты регрессионного уравнения.

Коэффициенты уравнения являются значимыми, адекватность модели удовлетворяет критерию Фишера (F<sub>рас</sub>=2,03 ≤ F<sub>табл</sub>=2,96).

На рисунке 3 представлена построенная по уравнению (2) расчетная поверхность изменения концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и продолжительности работы устройства. Согласно приведенной поверхности, можно отметить, что концентрация озона на излучателе постепенно снижается с увеличением времени работы автономного модуля электроозонатора при заданном напряжении, а затем переходит в установившийся режим, примерно через 1 час. Это связано с нагревом электродов и изменением диэлектрической проницаемости, а также началом разложения озона.



**Рис. 3 – Изменение концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и продолжительности работы устройства**

Для оценки эффективности различных режимов озонирования были проведены экспериментальные исследования по влиянию концентрации озона в воздушной среде на снижение числа клеток патогенной микрофлоры. При этом проводилось озонирование воздушной среды и измерение показателей детоксикации по общему микробному числу комбикормов растительного происхождения в ламинарном боксе. При реализации эксперимента отбирались по 4 образца для контрольной и по 4 образца для опытной группы, которые подверглись воздействию озона концентрациями 1; 5; 10 мг/м<sup>3</sup> в ламинарном боксе.

Ламинарный бокс с экспериментальной установкой и образцами (комбикорм) представлены на рисунке 4.



Рис. 4 – Ламинарный бокс с экспериментальной установкой и образцами (комбикорм)

Результаты экспериментальных исследований воздушной среды по влиянию концентрации озона в воздушной среде на патогенную микрофлору с измерением показателей детоксикации по общему микробному числу в комбикормах представлены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты экспериментальных исследований воздушной среды по влиянию концентрации озона в воздушной среде на патогенную микрофлору с измерением показателей детоксикации по общему микробному числу в комбикормах

Наименование	Вид	Размерность	$X_{cp}$	НСР	Степень достоверности
Опыт 1 (концентрация озона 1 мг/м <sup>3</sup> )	Общее микробное число (ОМЧ)	КОЕ/г	184	2,97	184±2,97
Опыт 2 (концентрация озона 5 мг/м <sup>3</sup> )		КОЕ/г	173	2,68	173±2,68*
Опыт 3 (концентрация озона 10 мг/м <sup>3</sup> )		КОЕ/г	165	2,61	165±2,61**
Контроль		КОЕ/г	188	3,34	188±3,34

Примечание: разница достоверна по отношению к контролю: \* –  $p < 0,05$ ; \*\* –  $p < 0,01$

Графические зависимости влияния концентрации озона в воздушной среде на общее микробное число в комбикормах представлены на рисунке 5.

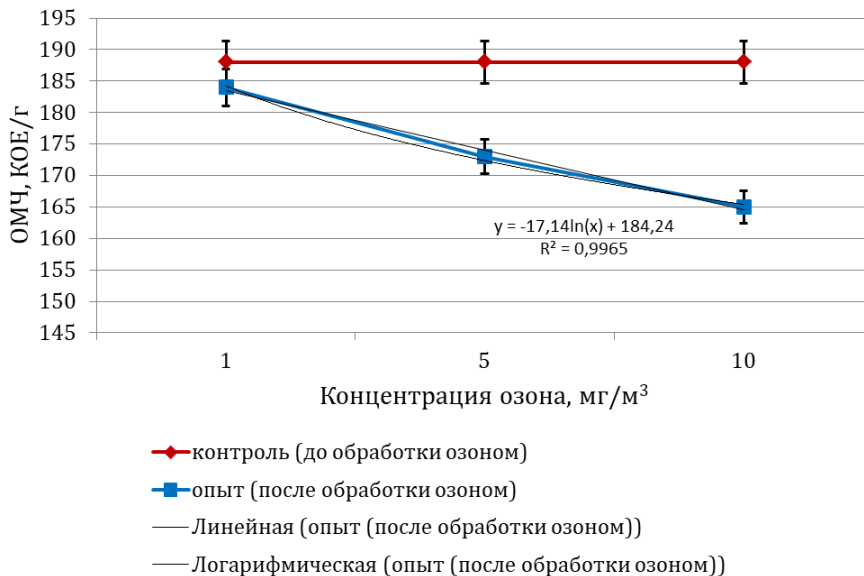


Рис. 5 – Влияние концентрации озона в воздушной среде на общее микробное число в комбикормах

Согласно таблице 3 и графику на рисунке 5, следует отметить, что при концентрации озона 1 мг/м<sup>3</sup> разность результатов, полученных в опыте, по сравнению с контролем недостоверна, при концентрации 5 мг/м<sup>3</sup> достоверность результатов составила 95%, а при концентрации 10 мг/м<sup>3</sup> достоверность результатов составила 99% по t-критерию Стьюдента.

Для прогнозирования эффективности озонирования и оценки влияния концентрации озона в воздушной среде на патогенную микрофлору с измерением показателей детоксикации по общему микробному числу в комбикормах растительного происхождения можно рекомендовать уравнение, полученное аппроксимацией графической зависимости на рисунке 5

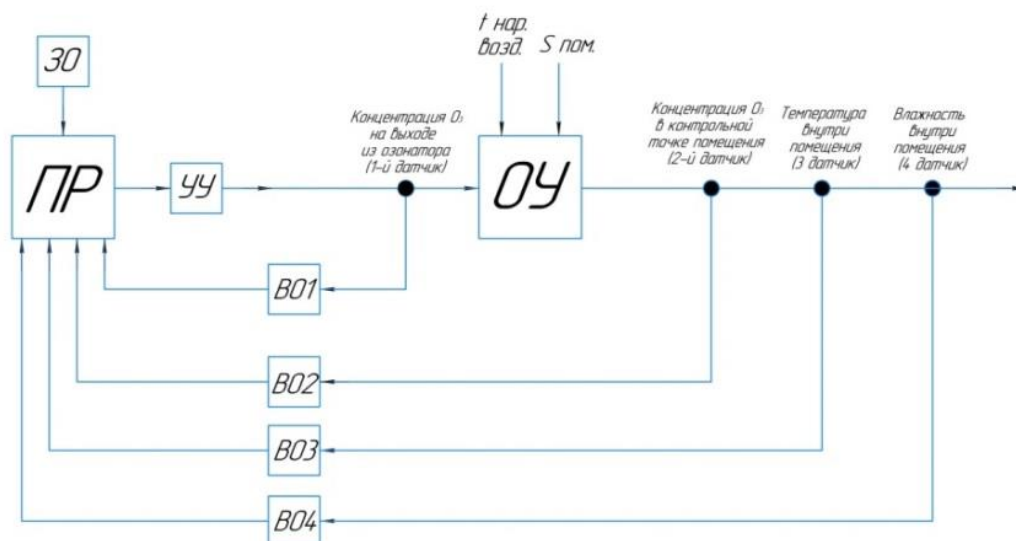
$$y = -17,14 \ln(x) + 184,24 \quad (3)$$

где величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9965$ . Из чего можно сделать вывод о том, что при осуществлении санитарной обработки воздушной среды при увеличении концентрации озона в производственном помещении происходит снижение общего микробного числа, как в воздухе, так и у объектов, размещенных в этом помещении (комбикормах).

**Рекомендации по применению электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений.** По результатам проведенных исследований были обобщены рекомендации по повышению эффективности использования электроозонатора воздуха для животноводческих помещений, которые представлены ниже.

Чтобы добиться упрощения конструкции системы электрического озонирования предлагается её комбинировать вместе с системой вентиляции и кондиционирования производственного помещения, что позволит обеспечить равномерную концентрацию озона за счет компоновки расположения озонаторов и их скорректированной работе по производительности.

Для обеспечения стабильной работы излучателя и контроля равномерности распределения озона по помещению предлагается блок-схема управления электрическим озонатором воздуха, представленная на рисунке 6.



ЗО – задающий орган; ПР – программный регулятор; УУ – управляющее устройство (электрический озонатор воздуха);  
 ОУ – объект управления (животноводческое помещение); BO1 – датчик озона на выходе из устройства;  
 BO2 – контрольный датчик озона; BO3 – контрольный датчик температуры; BO4 – контрольный датчик влажности;  
 $t_{нар.возд}$  – температура наружного воздуха;  $S_{пом}$  – площадь животноводческого помещения

**Рис. 6 – Блок-схема управления электрическим озонатором воздуха**

Согласно блок-схеме, рекомендуется применение минимум двух датчиков озона (на один озонатор), а также датчика температуры и влажности воздуха. Один монтируется на выходе из озонаторной установки, а другие в контрольной точке животноводческого помещения. Первый датчик озона служит для стабилизации концентрации  $O_3$ , согласно требованиям технологического процесса. Второй датчик озона формирует сигнал о концентрации озона в контрольной точке. Датчик температуры и влажности вносят корректировки исходя из контролируемых показателей воздушной среды. Сравнивая показания датчиков, система управления будет вырабатывать соответствующую команду – увеличивать или уменьшать подачу озона [16, 17].

Проведя структурный анализ научных исследований, связанных с применением электротехнологии озонирования в производственных помещениях сельскохозяйственного назначения, пришли к выводу, что разработанная система электроозонирования воздушной среды будет иметь эффективность при возможности осуществлять работу в следующих режимах:

- 1) режим обработки воздуха с животными внутри производственного помещения;
- 2) режим обработки воздуха без животных внутри производственного помещения.

Первый режим – это периодическое озонирование воздуха концентрацией озона на уровне СПДК (до  $0,1 \text{ мг/м}^3$ ) с животными внутри производственного помещения. Данный режим способствует изменению газового состава воздушной среды (такие газы как  $NH_3$ ,  $H_2S$  снижают свою концентрацию на 80...85%), а также снижает общее микробное число (ОМЧ) примерно на 80%. Основная цель обработки такого рода – это стимулирование физико-биологических процессов сельскохозяйственных животных и предотвращение распространения заразных болезней животных, для улучшения их продуктивности.

Второй режим – это продолжительное озонирование воздуха концентрацией озона во много раз превышающей уровень СПДК (свыше  $1 \text{ мг/м}^3$ ) без животных и обслуживающего персонала внутри производственного помещения. Данный режим предназначен для полной санации воздушной среды в помещении и максимального уничтожения патогенной микрофлоры и неприятных запахов.

**Выводы.** Основные результаты исследований по разработке технических средств для озонирования и их применению для оздоровления воздушной среды в животноводческих помещениях состоят в следующем:

- 1) предложена конструкция электрического озонатора воздуха (автономного модуля электроозонатора);
- 2) установлено, что величина минимальной ёмкости конденсаторов возрастает с увеличением тока нагрузки и снижении коэффициента пульсации выходного напряжения, при этом рекомендуется ёмкость первого конденсатора в каскаде увеличить в 3 раза от теоретической расчётной ёмкости;
- 3) установлено, что концентрация озона на излучателе постепенно снижается с увеличением времени работы при заданном напряжении, установившийся режим наступает в течение 1 часа, что связано с нагревом электродов, изменением

диэлектрической проницаемости и началом разложения озона; процесс образования озона лучше совмещать с принудительной подачей воздуха – обеспечивается необходимый температурный режим на электродах и одновременная подача озона в помещение;

4) выявлено, что при увеличении концентрации озона (0; 1; 5; 10 мг/м<sup>3</sup>) в помещении происходит снижение ОМЧ, как в воздухе, так и у объектов, размещенных в этом помещении (комбикормах – 188±3,34; 184±2,97; 173±2,68; 165±2,61 КОЕ/г);

5) обобщены рекомендации по повышению эффективности использования электроозонатора воздуха для животноводческих помещений: для упрощения конструкции системы электрического озонирования предлагается её комбинировать вместе с системой вентиляции и кондиционирования производственного помещения; с целью обеспечения стабильной работы излучателя и контроля равномерности распределения озона по помещению предлагается блок-схема управления электрическим озонатором воздуха, в которой рекомендуется применение минимум двух датчиков озона (на один озонатор), а также датчика температуры и влажности воздуха.

#### Библиография

1. Маневич Б.В., Кузина Ж.И., Харитоновна Е.Б., Косьяненко Т.В. Санитарная обработка: баланс безопасности и эффективности. Обеззараживание воздуха в производственных помещениях // Молочная промышленность. 2019. № 6. С. 52–55.
2. Иванов Б.Л., Сафиуллин И.Н. Современные технологии дезинфекции животноводческих помещений и оборудования // Материалы II Международной научно-практической конференции, посвященной памяти д.э.н., профессора Н.С. Каткова «Развитие АПК и сельских территорий в условиях модернизации экономики». Казань : Казанский ГАУ, 2020. С. 86–89.
3. Лавринова Е.В., Семенютин В.В. Микроскопические грибы и их воздействие на организм человека и животных // Материалы Международной студенческой научной конференции. Белгород : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2015. Т. 1. С. 53.
4. Горбатовский Е.С., Вендин С.В. Применение электроозонирования воздуха в птичнике // Материалы Международной студенческой научной конференции «Горинские чтения. Инновационные решения для АПК». Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. С. 48.
5. Троцкая Т.П., Голубец И.Е., Генселевич А.Р., Миронов А.М., Грищук В.М. Санитарная обработка технологического оборудования и производственных помещений на предприятиях молочной промышленности методом озонирования // Материалы международной научно-практической конференции «Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве». Минск : Научно-практический центр национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2009. С. 14–20.
6. Попков И.В. Сравнительная характеристика различных схем дезинфекции животноводческих помещений // В сборнике: Научные труды студентов Ижевской ГСХА. Ижевск : Ижевская ГСХА, 2018. С. 136–138.
7. Сторчевой В.Ф., Сучугов С.В., Компаниец А.Е. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 3 (91). С. 35–39.
8. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах // В сборнике: Доклады ТСХА. 2019. С. 294–296.
9. Патент № 2787881. Электроозонатор: № 2787881: заявл. 24.12.2021:опубл. 13.01.2023 / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин; заявитель, патентообладатель ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. 9 с.
10. ГОСТ 31829-2012. Оборудование озонаторное. Требования безопасности. Введ. 01 января 2014. М. : Стандартинформ, 2019. 11 с.
11. Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Конструкция электрического озонатора для обеззараживания воздушных масс в животноводческом помещении // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 3 (35). С. 64–71.
12. Мануйленко А.Н., Ульяновцев Ю.Н., Вендин С.В. Результаты экспериментальных исследований автономного модуля электрического озонатора воздуха для животноводческих помещений // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 4 (36). С. 42–50.
13. Расстригин В.Н., Тихомиров Д.А. Методика расчета энергосберегающей системы микроклимата животноводческих помещений [система микроклимата с утилизацией теплоты, рециркуляцией, очисткой и обеззараживанием воздуха озонированием] // Инженерно-техническое обеспечение АПК. Реферативный журнал. М. : Центральная научная сельскохозяйственная библиотека, 2008. № 2. С. 543.
14. Сычков А.Б., Юмабаев А.А., Ширяева Е.Н., Шекшеев М.А. Планирование эксперимента. – Магнитогорск : Издательство Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, 2023. – 70 с.
15. Адлер Ю.П., Маркова Е.Е., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 280 с.
16. Мануйленко А.Н. Управление и контроль параметров при электроозонировании воздуха в животноводческом помещении // КИП и автоматика: обслуживание и ремонт. 2021. № 7. С. 72–76.
17. Мануйленко А.Н. Управление процессом электроозонирования в животноводческом помещении // Наука и Образование. 2019. Т. 2. № 4. С. 293.

#### References

1. Manevich B.V., Kuzina Zh.I., Haritonova E.B., Kos'yanenko T.V. Sanitarnaya obrabotka: balans bezopasnosti i effektivnosti. Obezrazhivanie vozduha v proizvodstvennyh pomeshcheniyah [Sanitary treatment: a balance of safety and efficiency. Disinfection of air in industrial premises] // Molochnaya promyshlennost'. 2019. № 6. S. 52–55.
2. Ivanov B.L., Safullin I.N. Sovremennye tekhnologii dezinfekcii zhitovnovodcheskih pomeshchenij i oborudovaniya [Modern technologies of disinfection of livestock premises and equipment] // Materialy II Mezhhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj pamyati d.e.n., professora N.S. Katkova «Razvitie APK i sel'skih territorij v usloviyah modernizacii ekonomiki». Kazan' : Kazanskij GAU, 2020. S. 86–89.
3. Lavrinova E.V., Semenyutin V.V. Mikroskopicheskie griby i ih vozdejstvie na organizm cheloveka i zhitovnyh [Microscopic fungi and their effects on the human body and animals] // Materialy Mezhhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii. Belgorod : FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2015. T. 1. S. 53.



4. Gorbatovskij E.S., Vendin S.V. Primenenie elektroozonirovaniya vozduha v ptichnike [Application of electro ozonation of air in a poultry house] // *Materialy Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii «Gorinskie chteniya. Innovacionnye resheniya dlya APK»*. Majskij : FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2021. S. 48.
5. Trockaya T.P., Golubev I.E., Genselevich A.R., Mironov A.M., Grishchuk V.M. Sanitarnaya obrabotka tekhnologicheskogo oborudovaniya i proizvodstvennyh pomeshchenij na predpriyatiyah molochnoj promyshlennosti metodom ozonirovaniya [Sanitary treatment of technological equipment and production facilities at dairy enterprises by ozonation] // *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii «Nauchno-tekhnicheskij progress v sel'skohozyajstvennom proizvodstve»*. Minsk : Nauchno-prakticheskij centr nacional'noj akademii nauk Belarusi po mekhanizacii sel'skogo hozyajstva, 2009. S. 14–20.
6. Popkov I.V. Sravnitel'naya harakteristika razlichnyh skhem dezinfekcii zhivotnovodcheskih pomeshchenij [Comparative characteristics of various disinfection schemes of livestock premises] // *V sbornike: Nauchnye trudy studentov Izhevskoj GSKHA*. Izhevsk : Izhevskaya GSKHA, 2018. S. 136–138.
7. Storchevoj V.F., Suchugov S.V., Kompaniec A.E. Sozdanie ozonno-ionnoj vozduшной среды v zakrytyh pomeshcheniyah dlya sodержaniya zhivotnyh i pticy [Creation of ozone-ion air environment in closed rooms for keeping animals and poultry] // *Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina»*. 2019. № 3 (91). S. 35–39.
8. Storchevoj V.F., Kompaniec A.E. Primenenie ozonatora-ionizatora na molochnyh fermah [Application of an ozonizer-ionizer on dairy farms] // *V sbornike: Doklady TSKHA*. 2019. S. 294–296.
9. Patent № 2787881. Elektroozonator [Electric ozonator]: № 2787881: заявл. 24.12.2021: опubl. 13.01.2023 / A.N. Manujlenko, S.V. Vendin; заявитель, патентообладатель FGBOU VO Belgorodskij GAU. 9 s.
10. GOST 31829-2012. Oborudovanie ozonatornoe. Trebovaniya bezopasnosti [Ozonator equipment. Safety requirements]. – Vved. 01 yanvarya 2014. M. : Standartinform, 2019. 11 s.
11. Manujlenko A.N., Vendin S.V. Konstrukciya elektricheskogo ozonatora dlya obezrazzhivaniya vozdušnyh mass v zhivotnovodcheskom pomeshchenii [The design of an electric ozonizer for the disinfection of air masses in a livestock building] // *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2022. № 3 (35). S. 64–71.
12. Manujlenko A.N., Ul'yancev Yu.N., Vendin S.V. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovanij avtonomnogo modulya elektricheskogo ozonatora vozduha dlya zhivotnovodcheskih pomeshchenij [Results of experimental studies of an autonomous module of an electric air ozonator for livestock buildings] // *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. 2022. № 4 (36). S. 42–50.
13. Rasstrigin V.N., Tihomirov D.A. Metodika rascheta energosberegayushchej sistemy mikroklimate zhivotnovodcheskih pomeshchenij [sistema mikroklimate s utilizaciej teploty, recirkulyaciej, ochistkoj i obezrazzhivaniem vozduha ozonirovaniem] [Methodology for calculating the energy-saving microclimate system of livestock buildings [microclimate system with heat recovery, recirculation, air purification and disinfection by ozonation]] // *Inzhenerno-tekhnicheskoe obespechenie APK. Referativnyj zhurnal*. – M. : Central'naya nauchnaya sel'skohozyajstvennaya biblioteka, 2008. № 2. S. 543.
14. Sychkov A.B., Yumabaev A.A., Shiryayeva E.N., Shekshchev M.A. Planirovanie eksperimenta [Experiment planning]. Magnitogorsk : Magnitogorskij gosudarstvennyj tekhnicheskij universitet im. G.I. Nosova, 2023. 70 s.
15. Adler Yu.P., Markova E.E., Granovskij Yu.V. Planirovanie eksperimenta pri poiske optimal'nyh uslovij [Planning an experiment in the search for optimal conditions]. M. : Nauka, 1976. 280 s.
16. Manujlenko A.N. Upravlenie i kontrol' parametrov pri elektroozonirovanii vozduha v zhivotnovodcheskom pomeshchenii [Management and control of parameters during electric ozonation of air in livestock buildings] // *KIP i avtomatika: obsluzhivanie i remont*. 2021. № 7. S. 72–76.
17. Manujlenko A.N. Upravlenie processom elektroozonirovaniya v zhivotnovodcheskom pomeshchenii [Management of the process of electroozonation in the livestock building] // *Nauka i Obrazovanie*. 2019. T. 2. № 4. S. 293.

#### Сведения об авторах

Мануйленко Александр Николаевич, преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-11-36, e-mail: manujlenko\_an@bsaa.edu.ru.

Страхов Владимир Юрьевич, преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-11-36, e-mail: strakhov\_vy@bsaa.edu.ru.

Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru.

#### Information about authors

Manuilenko Alexander Nikolaevich, Lecturer of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnology at Agro-Industrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7(4722) 39-11-36, e-mail: manujlenko\_an@bsaa.edu.ru.

Strakhov Vladimir Yurievich, Lecturer of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnology at Agro-Industrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7(4722) 39-11-36, e-mail: strakhov\_vy@bsaa.edu.ru.

Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnology at Agro-Industrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7(4722) 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru.

УДК 621.825.6:620.169.1

А.Г. Пастухов

## РАСЧЕТНАЯ ОЦЕНКА ДОЛГОВЕЧНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ КАРДАННЫХ ВАЛОВ

**Аннотация.** Состояние и перспективы производства и модернизации отечественной сельскохозяйственной техники показывают необходимость неуклонного роста потребности энергетических и технологических средств для реализации задач обеспечения продовольственной безопасности России. Для этого необходимо создавать условия для разработки и отработки при испытаниях перспективных конструкций и технологий агрегатов. Основной мировой тенденцией в развитии подшипников качения является увеличение их долговечности и прогнозирование ресурса на основе полного учета влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. Цель работы – расчетная оценка долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственных карданных валов. Обобщение изученных математических моделей долговечности подшипниковых узлов шарниров карданных валов привело к выбору базовых моделей в части приложения к реализации эксплуатационных мероприятий повышения долговечности подшипниковых узлов. Сопоставительный расчет долговечности карданных подшипниковых узлов проведен в режимах нормальной и экстремальной эксплуатации. Предварительная оценка показала разброс величин в 660 раз и 1370 раз, соответственно при нормальном и экстремальном режимах эксплуатации. Графический анализ аппроксимирующих зависимостей по коэффициенту аппроксимации показывает удовлетворительную работу базовых математических моделей по взаимосвязи долговечности и типоразмерного ряда подшипниковых узлов по шарнирам. Численные результаты показывают малый разброс коэффициента достоверности аппроксимации, что объясняется единым механизмом формирования упомянутых зависимостей. Перспективы исследования математических моделей и разработки способов повышения долговечности подшипниковых узлов связаны с выявлением новых конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов и исследованиями с учетом их работоспособности агрегатов машин.

**Ключевые слова:** надежность, трансмиссия, карданный вал, подшипниковый узел, долговечность.

## DESIGN EVALUATION OF DURABILITY OF BEARING UNITS OF AGRICULTURAL CARDAN SHAFTS

**Abstract.** The state and prospects for the production and modernization of domestic agricultural machinery show the need for a steady increase in the need for energy and technological means to implement the tasks of ensuring food security in Russia. To do this, it is necessary to create conditions for development and development during testing of promising structures and technologies of units. The main global trend in the development of rolling bearings is the increase in their durability and forecasting of life on the basis of full consideration of the influence of structural, technological and operational factors. The purpose of the work is to estimate the durability of bearing units of agricultural cardan shafts. The generalization of the studied mathematical models of the durability of bearing units of gimbal joints led to the selection of basic models in terms of the application to the implementation of operational measures to increase the durability of bearing units. Comparative calculation of durability of cardan bearing units is carried out in normal and extreme operation modes. The preliminary assessment showed a spread of values of 660 times and 1370 times, respectively, under normal and extreme operating conditions. Graphical analysis of approximating dependencies by approximation coefficient shows satisfactory operation of basic mathematical models by relationship of durability and type-sized series of bearing units by hinges. Numerical results show a small variation in the approximation validity factor, which is explained by a single mechanism for forming said dependencies. The prospects for studying mathematical models and developing ways to increase the durability of bearing units are associated with the identification of new design, technological and operational factors and research taking into account their performance of machine units.

**Keywords:** reliability, transmission, drive shaft, bearing unit, durability.

**Постановка проблемы.** Оценка состояния и перспектив производства и модернизации отечественной сельскохозяйственной техники показывает необходимость неуклонного роста потребности энергетических (тракторов) и технологических средств (комбайнов и мобильных комплексов) большой мощности для реализации амбициозных задач обеспечения продовольственной безопасности и инновационного прорыва в производстве сельскохозяйственной продукции в России.

При совершенствовании технического уровня выпускаемой продукции сельскохозяйственного машиностроения и повышения ее конкурентоспособности необходимо создавать условия для разработки и отработки при испытаниях перспективных конструкций и технологий агрегатов, в частности, механических трансмиссий на базе увеличения расходов на научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы.

Анализ распределения основных видов техники со сроком эксплуатации более 10 лет показывает, что в агропромышленном комплексе страны доля тракторов составляет порядка 60%, а уборочных комбайнов около 45% [1]. За последние пять лет данное соотношение практически не меняется. В этой связи возникает вопрос об оценке долговечности и прогнозировании ресурса основных наиболее нагруженных элементов узлов и агрегатов механических трансмиссий техники, а именно, подшипников качения [2].

Подшипники качения в общей массе вращающихся опор составляют примерно 50%. Основной тенденцией в развитии подшипников качения является увеличение их долговечности и прогнозирование ресурса на основе полного учета влияния конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов [3, 4].

**Анализ исследований и публикаций.** Основы теории определения долговечности подшипников качения изложены в работах Комиссара А.Г., Переля Л.Я., Биргера И.Я. и других ученых и производственников. Применительно к подшипниковым узлам автомобильных и сельскохозяйственных карданных валов известны работы Аниловича В.Я., Гришкевича А.И., Флика Э.П., Высоцкого М.С. и других исследователей. Ресурс карданных валов сельскохозяйственной техники в эксплуатации определяется долговечностью подшипниковых узлов, образованных соединением «шип крестовины – игольчатый подшипник». Учитывая то, что карданные валы обладают наименьшей долговечностью среди агрегатов механических трансмиссий, можно утверждать, что долговечность карданных шарниров лимитирует долговечность всей трансмиссии [5].

С учетом большой или малой амплитуды качания игольчатого ролика относительно шипа от среднего положения в крайнее на дорожках качения шипа крестовины и стакана подшипника процессы физического повреждения, а значит и вид отказа, различаются.

В случае если угол поворота стакана подшипника относительно шипа из среднего положения в крайнее больше, чем угол между соседними телами качения, расчет долговечности выполняют по критерию контактной усталости на основании теории Лундберга-Пальмгрена по формуле [6]

$$L_{\gamma} = a_1 a_2 a_3 \left(\frac{C}{P}\right)^m \cdot \frac{60 \cdot 10^6}{n}, \quad (1)$$

где  $L_{\gamma}$  – долговечность подшипника, час;  $a_1, a_2, a_3$  – коэффициенты надежности, материала, смазки и состояния поверхностей тел качения;  $C$  – динамическая грузоподъемность подшипника Н;  $P$  – эквивалентная нагрузка на подшипник, Н;  $m$  – эмпирическая постоянная;  $n$  – рабочая частота вращения вала, мин<sup>-1</sup>.

В случае работы с малой амплитудой качания возникают специфические условия смазки нагруженного контакта тел и дорожек качения, которые приводят к образованию отпечатков тел качения в виде канавок от роликов, поэтому расчет долговечности  $L_{10h}$ , ч, при 90% уровне надежности производят по методике ВНИИМЕТМАШ при постоянной частоте вращения [6]

$$L_{10h} = 500(f_h)^P = 500 \left(\frac{2,6CR}{T_{max} f_d f_{n\beta}}\right)^P, \quad (2)$$

где  $f_h$  – коэффициент долговечности, ч;  $R$  – расстояние от оси шарнира до среднего сечения подшипника, м;  $p$  – показатель степени;  $T_{max}$  – максимальный крутящий момент, Нм;  $f_d$  – динамический коэффициент;  $f_{n\beta}$  – коэффициент произведения частоты вращения на угол излома в шарнире;  $n$  – рабочая частота вращения, мин<sup>-1</sup>;  $\beta$  – угол излома в шарнире, град.

Для приближения результатов расчета долговечности  $L_{haa}$ , ч, к условиям эксплуатации в виде относительно малых нагрузок и интенсивного загрязнения, например в транспортных и сельскохозяйственных машинах, предложена теория долговечности на базе исследований научного центра фирмы SKF [7]

$$L_{haa} = a_1 a_{SKF} \left(\frac{C}{P}\right)^P, \quad (3)$$

где  $a_{SKF}$  – коэффициент учитывает состояние смазывающего слоя, степень загрязнения и граничную нагрузку  $P_n$  по усталости, определяемый в зависимости от параметра  $\eta CP_n/P$ ;  $P_n$  – предельная нагрузка подшипника по усталости;  $\eta C$  – коэффициент, характеризующий степень загрязнения.

Применительно к долговечности  $L_h$ , ч, игольчатых подшипников карданных валов грузовых автомобилей при незначительных статических установочных углах излома в шарнирах и высоких частотах вращения используют зависимость [8]

$$L_h = \frac{1,5 \cdot 10^6}{n\beta} \cdot \left[\frac{C(H-L_w)}{T_{max}}\right]^{\frac{10}{3}}, \quad (4)$$

где  $H$  – торцевой размер крестовины, м;  $L_w$  – длина игольчатых роликов подшипника, м.

На основании РТМ 37.006.323–80 при эксплуатации и испытаниях карданных валов сельскохозяйственных технологических машин применяют следующую математическую модель для расчета долговечности карданных подшипников [9]

$$L_h = \frac{1,5 \cdot 10^6}{n\beta} \cdot \left[\frac{C(H-L_w)}{K_d T_{max}}\right]^{10/3} \cdot a_1 a_2 a_3, \quad (5)$$

где  $K_d$  – коэффициент динамичности в приводе. В случае если карданный вал работает при угле излома равном нулю, то в расчете допускается отклонение 3°.

С целью учета связи и влияния начального и предельного значений радиального зазора в карданных подшипниках на предельную нагрузку карданных шарниров при стендовых ресурсных испытаниях получена математическая модель долговечности в виде [10]

$$L_h = \frac{2,2 \cdot 10^6}{n\beta \sqrt{\Delta_H}} \cdot \left[\frac{C(H-L_w)}{T_{max}}\right]^{3,165}, \quad (6)$$

где  $\Delta_H$  – начальный зазор в карданных подшипниковых узлах, мкм. Уравнение позволяет учитывать влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов.

Результатом проведения исследований по разработке способа повышения долговечности  $L_{\Sigma}$ , ч, карданных шарниров при техническом обслуживании и ремонте в эксплуатации явилась математическая модель долговечности в виде [11]

$$L_{\Sigma} = L_h(1 + k_{1p} + k_{2\tau_0}), \quad (7)$$

где  $k_{1p}$  – коэффициент увеличения долговечности за счет установки ремонтных втулок;  $k_{2\tau_0}$  – коэффициент увеличения долговечности за счет поворота втулок.

Исследованиями способов повышения долговечности шарниров карданных валов сельскохозяйственной техники при формировании и контроле, испытаниях и прогнозировании их работоспособности установлены математические модели, которые позволяют учесть влияние динамического угла излома и более полного использования рабочей поверхности подшипниковых узлов в эксплуатации [12]

$$L_h = \frac{2,2 \cdot 10^6}{n\beta K_{\beta} \sqrt{\Delta_H}} \cdot \left[\frac{C(H-L_w)}{T_{max}}\right]^{3,165}, \quad (8)$$

$$L_h = \frac{2,2 \cdot 10^6}{n\beta \sqrt{\Delta_H} K_{np}} \cdot \left[\frac{C(H-L_w)}{T_{max}}\right]^{3,165}, \quad (9)$$

где  $K_{\beta}$  – коэффициент учета влияния динамического угла излома шарнира карданного вала;  $K_{np}$  – коэффициент учета использования ресурса по величине доли поврежденной поверхности подшипниковых узлов.

Дальнейшее развитие способов увеличения долговечности применительно к шарнирам карданных валов получили разработки в области эксплуатационных мероприятий для зарубежной техники, где в результате исследований получена математическая модель суммарной долговечности карданных шарниров, после проведения способа замены рабочих поверхностей путем переустановки неразборной крестовины в сборе с подшипниковыми узлами, в виде уравнения [13]

$$L_{\Sigma} = (0,8 \dots 0,9)L_h + L_{\tau_0}, \quad (10)$$

где  $L_{\tau_0}$  – долговечность по результатам проведения замены поверхностей при техническом обслуживании.

Проведем обобщение представленных математических моделей долговечности подшипниковых узлов шарниров карданных валов. Основными факторами, оказывающими наибольшее влияние на долговечность подшипниковых узлов, на

базе анализа формул (1)-(5), являются динамическая грузоподъемность и нагруженность; второстепенными факторами являются частота вращения вала, угол излома в шарнире, твердость рабочих поверхностей, действие переменного крутящего момента и различных эксплуатационных режимов.

Математическая модель (6) является обобщением теорий усталости и износа, и позволяет учесть влияние радиального зазора в подшипниках, кроме того, данная зависимость показывает, что контакт в соединении «шип – подшипник» является не чисто линейным, а модифицированным линейным.

Математические модели (7)-(10) представляют собой развитие базовых моделей в части приложения к реализации эксплуатационных мероприятий повышения долговечности подшипниковых узлов.

В этой связи дальнейшему анализу и расчетной оценке подвергаются базовые математические модели (1)-(6).

**Цель и задачи исследования** – расчетная оценка долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственных карданных валов.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выявить базовые расчетные модели для оценки долговечности подшипниковых узлов;
- 2) провести прогностические расчеты долговечности для наиболее характерных условий эксплуатации;
- 3) провести графический анализ полученных результатов.

**Методика исследований.** Основу расчетной оценки составляет метод численного сопоставительного анализа расчетных данных по долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственных карданных валов с учетом последовательного учета конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на базе справочной научно-технической литературы и нормативной документации.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Рассмотрим расчет долговечности карданных подшипниковых узлов в режимах нормальной эксплуатации и экстремальных нагрузок по представленным базовым моделям (1)-(6). Нормальный режим эксплуатации характеризуется: номинальными значениями крутящего момента по обозначениям, частоты вращения  $n=1000 \text{ мин}^{-1}$  и угла излома  $\beta_{\min}=3^\circ$ , а экстремальный режим нагружения характеризуется наибольшими эксплуатационными значениями крутящего момента и угла излома в шарнирах  $\beta_{\max}=20^\circ$ , обуславливающими отказ в виде «ложного» бринеллирования или усталостного повреждения [5, 12].

Результаты расчетов представлены в таблицах 1 и 2. Графическая интерпретация и сопоставление результатов расчета показаны на рисунках 1 и 2.

Сопоставительный анализ результатов расчета долговечности при нормальном режиме эксплуатации показывает, что разброс величин составляет примерно 660 раз, а при экстремальном режиме эксплуатации разброс величин составляет 1370 раз.

Невысокая точность и рассеивание результатов расчетов долговечности определяются различием методических подходов, отсутствием в расчетных формулах параметров, учитывающих влияние разноразмерности роликов, твердости поверхностей пар трения и радиального зазора. Также следует учитывать качательный режим работы и ограниченность зоны нагружения игольчатого подшипника, обусловленная ограниченным числом нагруженных игольчатых роликов. Далее следует упомянуть отсутствие учета эксплуатационных факторов: увеличение динамической грузоподъемности подшипников в самоустанавливающихся узлах, динамическое изменение угла излома в эксплуатации, возможность проведения технического обслуживания, приспособленность к проведению ремонта и другие мероприятия.

**Таблица 1 – Результаты расчета долговечности подшипниковых узлов при нормальном режиме эксплуатации**

№ типоразмера	Тип шарнира	№ подшипника	Долговечность, ч					
			$L_{\gamma}$ (1)	$L_{10h}$ (2)	$L_{haa}$ (3)	$L_h$ (4)	$L_h$ (5)	$L_h$ (6)
I	-	904902	$3,19 \cdot 10^6$	15872	4839	$190 \cdot 10^3$	$12,9 \cdot 10^3$	34733
II	КШ60	704902	$18,8 \cdot 10^6$	93837	28537	$1,10 \cdot 10^6$	$75,2 \cdot 10^3$	186788
III	КШ250	704702К2	$0,25 \cdot 10^6$	1233	370	$14,6 \cdot 10^3$	999	3055
III	КШ250	704702КУ2	$0,40 \cdot 10^6$	1985	611	$23,9 \cdot 10^3$	1631	4818
IV	КШ400	804704	$0,50 \cdot 10^6$	2538	757	$30,0 \cdot 10^3$	2053	5352
V	КШ630	804805	$0,31 \cdot 10^6$	1514	427	$17,8 \cdot 10^3$	1220	3160
VI	-	804907	$1,02 \cdot 10^6$	5117	1550	$60,5 \cdot 10^3$	4139	9169
VII	КШ1000	804707	$0,87 \cdot 10^6$	4308	1319	$0,10 \cdot 10^3$	3487	7785
VIII	-	804709	$2,47 \cdot 10^6$	12440	3518	$147 \cdot 10^3$	$10,1 \cdot 10^3$	20525

**Таблица 2 – Результаты расчета долговечности подшипниковых узлов при экстремальном режиме эксплуатации**

№ типоразмера	Тип шарнира	№ подшипника	Долговечность, ч					
			$L_{\gamma}$ (1)	$L_{10h}$ (2)	$L_{haa}$ (3)	$L_{ho}$ (4)	$L_{ho}$ (5)	$L_h$ (6)
I	-	904902	9672	8,16	14,7	102	6,98	25,0
II	КШ60	704902	31167	27,0	47,2	336	23,0	77,4
III	КШ250	704702К2	15497	13,4	23,5	168	11,5	40,0
III	КШ250	704702КУ2	11662	10,0	17,7	126	8,62	30,4
IV	КШ400	804704	2590	2,22	3,92	27,9	1,91	6,39
V	КШ630	804805	1441	1,24	2,18	15,4	1,05	3,54
VI	-	804907	1836	1,57	2,78	19,6	1,34	4,05
VII	КШ1000	804707	17122	14,6	25,9	184	12,6	33,7
VIII	-	804709	3546	3,04	5,37	38,2	2,61	7,30

Анализ графических материалов и уравнений аппроксимации расчетных данных при нормальных режимах эксплуатации на рисунке 1 показывает, что взаимосвязи между типоразмерным рядом, который характеризуется определенными конструктивно-технологическими параметрами, и величиной долговечности нет, так как расчетные значения аппроксимируются полиномиальной функцией 2 порядка с коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2=0,2648\dots0,2844$  по уравнениям (2)-(6) и только при расчете по формуле (1) устанавливается сильная связь типоразмерного ряда и расчетной долговечности подшипниковых узлов при  $R^2=0,7309$ .

Анализ графических материалов и уравнений аппроксимации расчетных данных при экстремальных режимах эксплуатации на рисунке 2 показывает, что взаимосвязи между типоразмерным рядом, который характеризуется определенными конструктивно-технологическими параметрами, и величиной долговечности нет, так как расчетные значения аппроксимируются полиномиальной функцией 2 порядка с коэффициентом достоверности аппроксимации  $R^2=0,2727\dots0,2784$  по уравнениям (1)-(5) и только при расчете по формуле (6) устанавливается слабая связь типоразмерного ряда и расчетной долговечности подшипниковых узлов при  $R^2=0,3555$ .

Кроме того, описанные результаты показывают малый разброс коэффициента достоверности аппроксимации расчетов по уравнениям (2)-(6) в первом случае и уравнения (1)-(5) во втором случае, что объясняется единым механизмом формирования упомянутых зависимостей.

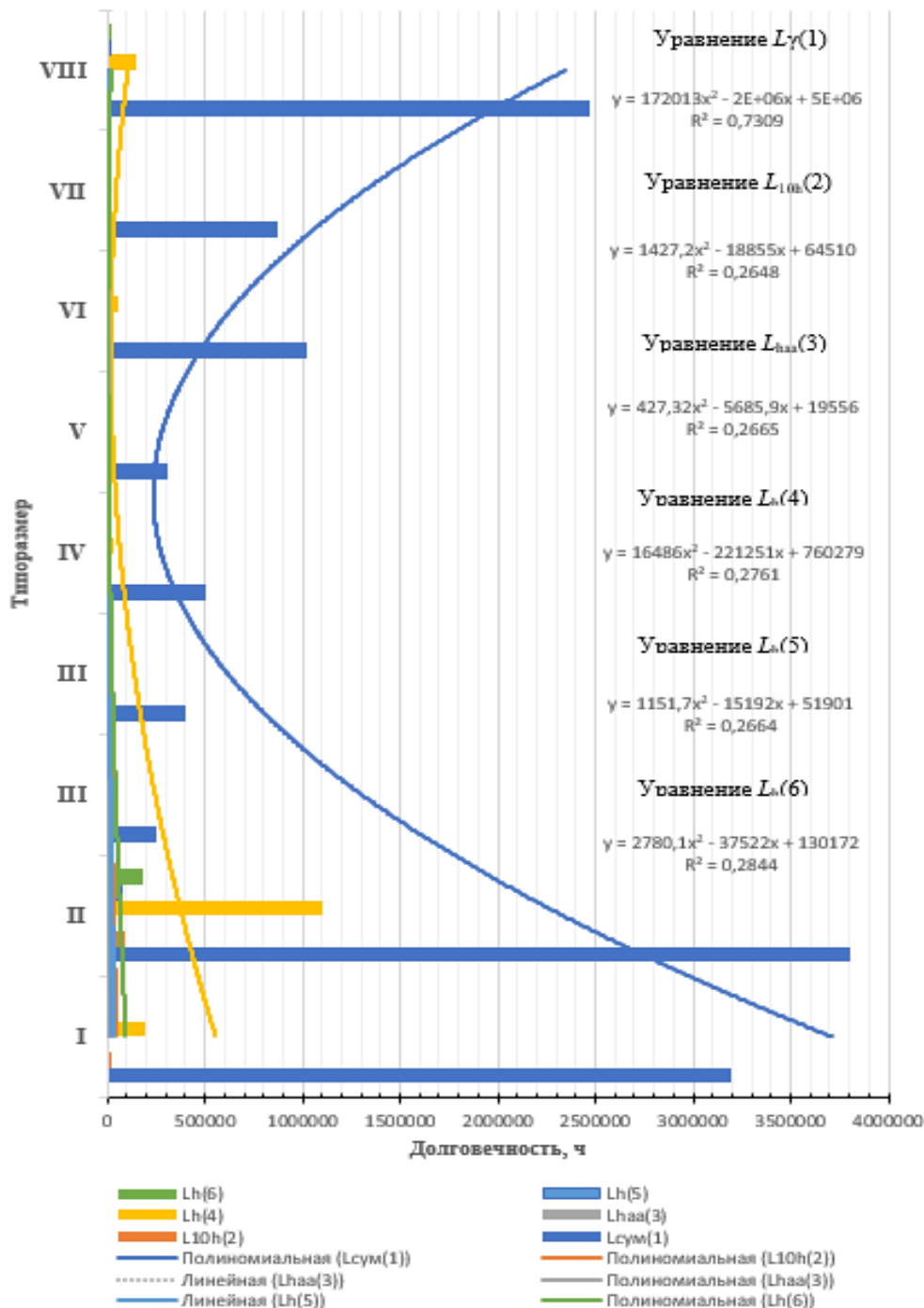


Рис. 1 – Сопоставление результатов расчета долговечности при нормальном режиме эксплуатации

Аналогичные результаты по разбросу и взаимосвязи с типоразмерным рядом получены автором при расчетной оценке динамической грузоподъемности бессепараторных игольчатых подшипниковых узлов, что обусловлено преемственностью динамической грузоподъемности и долговечности [14].

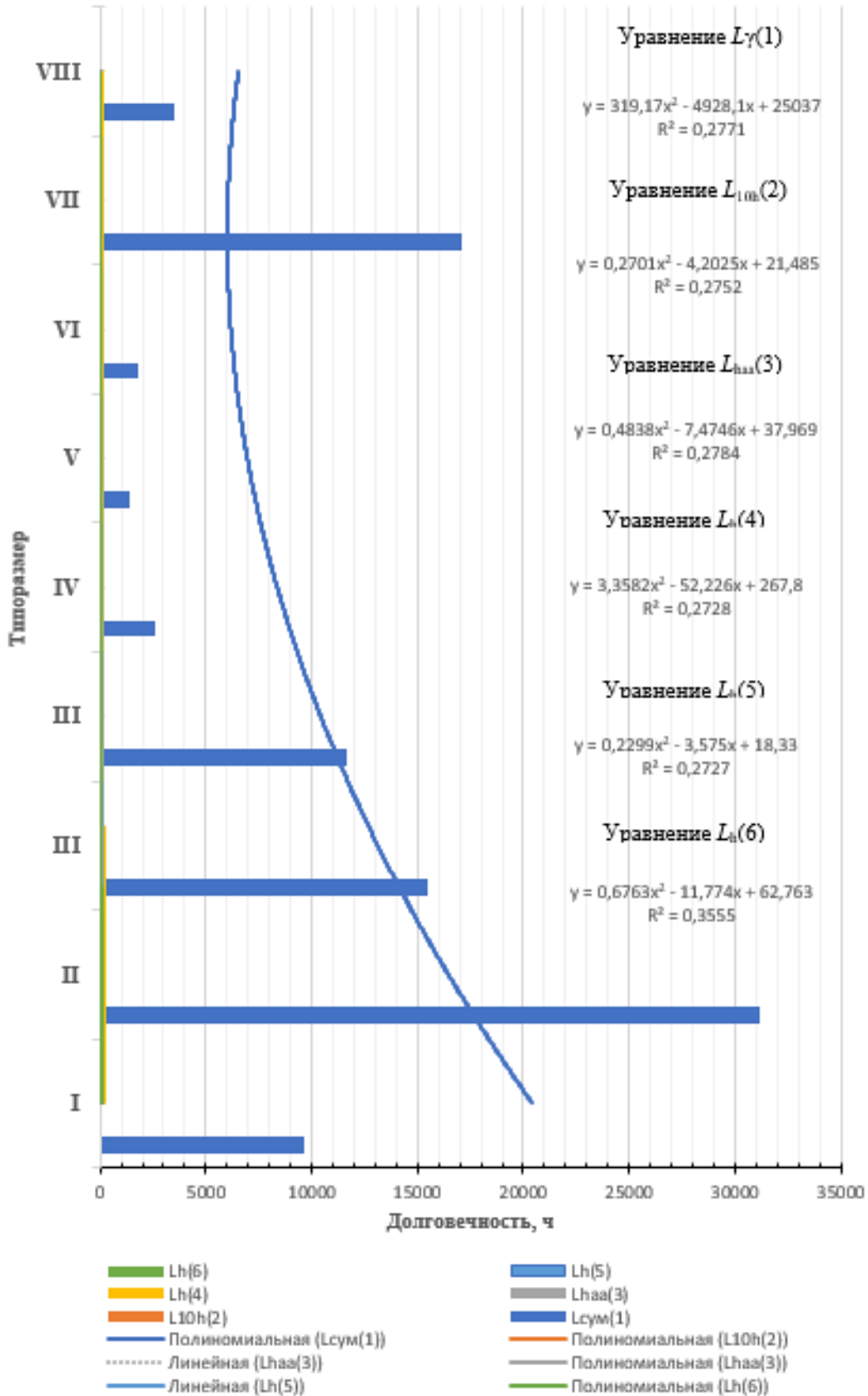


Рис. 2 – Сопоставление результатов расчета долговечности при экстремальном режиме эксплуатации

С другой стороны, такая расчетная оценка зависимостей долговечности подшипниковых узлов может быть положена в основу оценки конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов при проектировании техники и технологий в агроинженерии и создать базу для разработки современных производственных технологий [15, 16].

**Выводы и перспективы исследований.** На основании обобщения представленных соображений можно сделать следующие выводы:

- 1) на основании анализа математических моделей долговечности подшипниковых узлов карданных валов автотракторной техники и сельскохозяйственных машин выделены базовые зависимости долговечности от конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов;
- 2) при проведении расчетной оценки долговечности подшипниковых узлов выделены режимы нормальной и экстремальной эксплуатации для изучения взаимосвязи с типоразмерными рядами карданных шарниров;
- 3) сопоставительный анализ расчетных данных по долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственных карданных валов показал относительную работоспособность математических моделей, достаточную для предварительной прогностической оценки;
- 4) перспективы исследования математических моделей и разработки способов повышения долговечности подшипниковых узлов связаны с выявлением новых конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов и исследованиями с учетом их работоспособности агрегатов машин.

#### Библиография

1. Бурак, П.И. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники: науч. аналит. обзор / П.И. Бурак, И.Г. Голубев, В.Ф. Федоренко и др. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. 152 с.
2. Когаев, В.П. Прочность и износостойкость деталей машин / В.П. Когаев, Ю.Н. Дроздов. – М. : Высшая школа, 1991. – 319 с.
3. Биргер, И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И.А. Биргер, Б.Ф. Шорр, Г.Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.
4. Комиссар, А.Г. Опоры качения в тяжелых режимах эксплуатации: справочник / А.Г. Комиссар. – М. : Машиностроение, 1987. – 384 с.
5. Ерохин, М.Н. Надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники в эксплуатации: монография / М.Н. Ерохин, А.Г. Пастухов. – Белгород : Изд-во БелГСХА, 2008. – 160 с.
6. Перель, Л.Я. Подшипники качения: расчет, проектирование и обслуживание опор: справочник / Л.Я. Перель, А.А. Филатов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 608 с.
7. Никитин, А.В. Новая методика расчета долговечности подшипников качения / А.В. Никитин // Вестник машиностроения. – 1994. – № 5. – С. 3–8.
8. Высоцкий, М.С. Грузовые автомобили / М.С. Высоцкий, Ю.Ю. Беленький, Л.Х. Гилелес и др.; под ред. В.В. Оsepчугова. – М. : Машиностроение, 1979. – 384 с.
9. Флик, Э.П. Механические приводы сельскохозяйственных машин: монография / Э.П. Флик. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
10. Сигаев, А.М. Повышение эффективности диагностирования и ремонта карданных шарниров тракторов: автореферат дис. ... канд. техн. наук / А.М. Сигаев. – Харьков : Изд-во ХИМЭСХ, 1985. – 24 с.
11. Тимашов, Е.П. Повышение долговечности карданных шарниров сельскохозяйственной техники при ремонте и эксплуатации: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Е.П. Тимашов. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. – 17 с.
12. Пастухов, А.Г. Повышение надежности карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники: автореферат дис. ... д-ра техн. наук / А.Г. Пастухов. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 32 с.
13. Ефимцев, А.В. Обоснование способа технического обслуживания карданных шарниров тракторов John Deere в постгарантийный период: автореферат дис. ... канд. техн. наук / А.В. Ефимцев. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2016. – 16 с.
14. Пастухов, А.Г. Расчетно-аналитическая оценка динамической грузоподъемности бесцепных игольчатых подшипниковых узлов / А.Г. Пастухов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2023. – № 1. – С. 27–31.
15. Тимашов, Е.П. Моделирование температурного режима подшипникового узла карданного шарнира / Е.П. Тимашов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 2 (22). – С. 87–100.
16. Пастухов, А.Г. Обобщенная оценка основных факторов при проектировании техники и технологий в Агроинженерии / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов, Д.Н. Бахарев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 1 (29). – С. 17–26.

#### References

1. Burak, P.I. Sostoyanie i perspektivy obnovleniya parka sel'skokozyajstvennoj tekhniki [Status and Prospects of Agricultural Machinery Fleet Renewal]: nauch. analit. obzor / P.I. Burak, I.G. Golubev, V.F. Fedorenko i dr. – M. : FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019. 152 s.
2. Kogaev, V.P. Prochnost' i iznosostoykost' detaley mashin [Strength and wear resistance of machine parts] / V.P. Kogaev, Yu.N. Drozdov. – M. : Vysshaya shkola, 1991. – 319 s.
3. Birger, I.A. Raschet na prochnost' detalei mashin: spravochnik [Strength calculation of machine parts] / I.A. Birger, B.F. Shorr, G.B. Iosilevich. – 4-e izd., pererab i dop. – M. : Mashinostroenie, 1993. – 640 s.
4. Komissar, A.G. Opory kacheniya v tyazhelykh rezhimakh ekspluatatsii: spravochnik [Rolling supports in heavy operation modes] / A.G. Komissar. – M. : Mashinostroenie, 1987. – 384 s.
5. Erokhin, M.N. Nadezhnost' kardannykh peredach transmissij sel'skokhozyajstvennoj tekhniki v ekspluatatsii [Reliability of cardan transmissions of agricultural equipment transmissions in operation] / Erokhin M.N., Pastukhov A.G. – Belgorod : Izd-vo FGOU VPO BelGSKhA. 2008. – 160 s.
6. Perel', L.Ya. Podshipniki kacheniya: raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor: spravochnik [Rolling bearings: calculation, design and maintenance of supports] / L.Ya. Perel', A.A. Filatov. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1992. – 608 s.
7. Nikitin, A.V. Novaya metodika rascheta dolgovечnosti podshipnikov kacheniya [New rolling bearing life calculation method] / A.V. Nikitin // Vestnik mashinostroeniya. – 1994. – № 5. – S. 3–8.

8. Vysockij, M.S. Gruzovye avtomobili [Trucks] / M.S. Vysockij, Yu.Yu. Belen'kij, L.H. Gileles i dr.; pod red. V.V. Osep-chugova. – M. : Mashinostroenie, 1979. – 384 s.
9. Flik, È.P. Mekhanicheskie privody sel'skokhozyajstvennykh mashin: monografiya [Mechanical drives of agricultural machines] / È.P. Flik. – M. : Mashinostroenie, 1984. – 272 s.
10. Sigaev, A.M. Povyshenie effektivnosti diagnostirovaniya i remonta kardannykh sharnirov traktorov [Increased efficiency of diagnosis and repair of tractor cardan joints]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / A.M. Sigaev. – Khar'kov : Izd-vo KhIMÈSKh, 1985. – 24 s.
11. Timashov, E.P. Povyshenie dolgovechnosti kardannykh sharnirov sel'skohozyajstvennoj tekhniki pri remonte i ekspluatatsii [Improvement of durability of agricultural machinery cardan joints during repair and operation]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / E.P. Timashov. – M. : FGOU VPO MGAU, 2005. – 17 s.
12. Pastukhov, A.G. Povyshenie nadezhnosti kardannykh peredach transmissij sel'skokhozyajstvennoj tekhniki [Improving the reliability of cardan transmissions of agricultural equipment transmissions]: avtoreferat dis. ... d-ra tekhn. nauk / A.G. Pastukhov. – Moskva : Izd. centr FGOU VPO MGAU im. V.P. Goryachkina, 2008. – 32 s.
13. Efimcev, A.V. Obosnovanie sposoba tekhnicheskogo obsluzhivaniya kardannykh sharnirov traktorov John Deere v post-garantijnyj period [Justification of the method of maintenance of John Deere tractor cardan joints in the post-warranty period]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / A.V. Efimcev. – M. : FGOU VPO MGAU, 2016. – 16 s.
14. Pastukhov, A.G. Raschetno-analiticheskaya ocenka dinamicheskoy gruzopod"emnosti besseparatornykh igol'chatykh podshipnikovyykh uzlov [Calculation and analytical assessment of dynamic load-carrying capacity of non-separator needle bearing units] / A.G. Pastukhov // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2023. – № 1. – S. 27–31.
15. Timashov, E.P. Modelirovanie temperaturnogo rezhima podshipnikovogo uzla kardannogo sharnira [Simulation of temperature mode of the bearing unit of the cardan joint] / E.P. Timashov // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2019. – № 2 (22). – S. 87–100.
16. Pastukhov, A.G. Obobshchennaya ocenka osnovnykh faktorov pri proektirovanii tekhniki i tekhnologij v Agroinzhenerii [General assessment of the main factors in the design of equipment and technologies in Agroengineering] / A.G. Pastukhov, E.P. Timashov, D.N. Bakharev // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2021. – № 1 (29). – S. 17–26.

#### Сведения об авторах

Пастухов Александр Геннадиевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технической механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8-4722-39-23-90, e-mail: pastuhov\_ag@bsaa.edu.ru.

#### Information about authors

Pastukhov Alexander Gennadievich, doctor of technical sciences, professor, professor of department of technical mechanics and machinery design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», str. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. 8-4722-392390, e-mail: pastuhov\_ag@bsaa.edu.ru.



УДК 681.5

Г.К. Половнев, С.В. Вендин, А.И. Тетерядченко

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ПРИМЕНЕНИЮ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССОМ ЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ ВЕТРОВОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

**Аннотация.** Повышение устойчивости работы традиционных систем электроснабжения АПК может существенно снизить различного рода риски, связанные с перебоем питания или полного его отсутствия. В этом случае возможно использование дополнительных источников электроэнергии с применением ветровых и солнечных электростанций, работающих на системы аккумуляторных батарей. Поэтому важно обеспечить надежность процесса зарядки аккумуляторных батарей. По сути, необходимо создать систему поддержания питания критичных устройств или оснащение дополнительной поддержкой устройств с менее нагруженным функционалом. В данном случае важными вопросами являются не только правильный выбор элементной базы, но и понимание процессов, включая моделирование возможности использования различных элементов для решения поставленной задачи. Результаты исследований, приведенные в статье, показывают, какие способы управления можно внедрять и использовать в системах автоматического управления альтернативными источниками энергии с применением логических функций и методов. Наиболее приемлемые подходы обеспечат последующее внедрение программного обеспечения в блоки управления контроллером заряда аккумуляторов. Исследования проводились с учетом элементной базы, включающей в себя логические блоки (выходные, входные сигналы для контроллера), ветрогенератор с использованием двигателя постоянного тока для преобразования энергии вращения ветрогенератора в энергию электрического заряда для потенциального подключения к батареям, а также солнечная панель с ее выходными характеристиками, которые в последующем могут быть скорректированы в зависимости от места расположения данных элементов. Основные результаты исследований состоят в следующем: разработана схема автоматического управления зарядом АКБ с помощью ветрогенератора; разработан алгоритм смены режимов переключения системы; моделирование переключения с режима использования АКБ нагрузочным контуром в режим заряда АКБ в соответствующий контур подзарядки и поддержания его номинальных характеристик; разработан программный код для обеспечения правильной логики смены режимов заряда и разряда аккумуляторов.

**Ключевые слова:** альтернативные источники энергии, ветровая электростанция, имитационное моделирование, заряд, разряд, аккумулятор.

## RESULTS OF RESEARCH ON THE APPLICATION OF SIMULATION IN THE DEVELOPMENT OF A CONTROL SYSTEM FOR THE PROCESS OF CHARGING WIND POWER PLANTS

**Abstract.** Increasing the stability of traditional agro-industrial power supply systems can significantly reduce various kinds of risks associated with a power outage or its complete absence. In this case, it is possible to use additional sources of electricity using wind and solar power plants operating on battery systems. Therefore, it is important to ensure the reliability of the battery charging process. In fact, it is necessary to create a system for maintaining the power supply of critical devices or equipping them with additional support for devices with less loaded functionality. In this case, important issues are not only the correct choice of the element base, but also the understanding of the processes, including modeling the possibility of using various elements to solve the problem. The research results presented in the article show what control methods can be implemented and used in automatic control systems for alternative energy sources using logical functions and methods. The most acceptable approaches will ensure the subsequent implementation of software in the control units of the battery charge controller. The research was carried out taking into account the element base, which includes logical blocks (outputs, input signals for the controller), a wind generator using a DC motor to convert the rotational energy of the wind generator into electric charge energy for potential connection to batteries, as well as a solar panel with its output characteristics, which can subsequently be adjusted depending on the location of these elements. The main results of the research are as follows: a scheme for automatic control of the battery charge using a wind generator has been developed; an algorithm for changing the switching modes of the system has been developed; simulation of switching from the mode of using the battery by the load circuit to the mode of charging the battery to the corresponding recharging circuit, as well as maintaining its nominal characteristics; a program code has been developed to ensure the correct logic for changing the modes of charging and discharging batteries.

**Keywords:** alternative energy sources, wind farm, simulation, charge, discharge, battery.

**Введение:** Обеспечение надежности электроснабжения и качества электроэнергии является важным фактором развития и устойчивого производства сельскохозяйственной продукции [1-4]. При этом использование возобновляемых и альтернативных источников энергии: солнечного излучения, ветра, потоков воды, геотермальной энергии и энергии биомассы может стать существенным дополнением к существующим системам энергоснабжения. Некоторые источники утверждают, что переход на использование альтернативных источников в Российской Федерации возможен к 2050 году. Конечно, мы не можем говорить про все регионы страны, но у нас есть достаточное количество развивающихся регионов, в которых АПК находится далеко не на последнем месте, это значит, что разработки в данной сфере будут востребованы и в будущем могут быть использованы и внедрены в реальные рабочие процессы. К примеру, уже сейчас как утверждают официальные источники, солнечную энергию пытаются осваивать в Республике Адыгея. Можно с уверенностью говорить, что данная тенденция сохранится за всеми южными регионами страны. Камчатский край начиная с 2011 года реализует инвестиционный проект под названием «Обеспечение энергоснабжения изолированных территорий на основе возобновляемых источников энергии», данный проект подразумевает использование ветро-дизельных комплексов. Другими словами, регионы, в которых существуют трудности с доставкой топлива, могут использовать конкретный опыт регионов для поддержания и снабжения электричеством населенных пунктов. По предварительным расчётам проект позволит экономить на топливе около 400 млн. рублей в год. Сама по себе идея замены традиционных источников энергии в некоторых регионах или распределения нагрузки на определенные узлы в производстве является достаточно актуальной, т.к. с освобождением нагрузки на доставку топлива в регионы или снижение нагрузки с одних узлов в производстве можно увеличить или перенаправить ее на другие

узлы, а это в свою очередь выгодно с точки зрения экономики, выгодно с точки зрения ресурсов и т.д. С учетом постоянно развивающихся технологий актуальность данной темы будет всегда предметом споров и рассуждений, причем не только в АПК, но в машиностроении, в космической отрасли, в повседневной жизни и т.д. В связи с изложенным актуальной научной и инженерной задачей является разработка устройств зарядки аккумуляторов для ветро-солнечной электростанции малой мощности, обеспечивающих зарядку двух аккумуляторов при выключении одного из генераторов (ветер или солнце) [5-10].

**Материалы и методы.** Цель и научная новизна представленных исследований состоит в определении технических и режимных параметров эффективной системы автоматического управления зарядом аккумуляторных батарей с помощью альтернативных источников энергии с применением имитационного моделирования, а также оценка влияния параметров генераторов и аккумуляторов на переходные и установившиеся режимы зарядки. При этом задачи исследований включали:

- подбор элементной базы;
- разработку корректного алгоритма;
- имитационное моделирование переходных и установившихся режимов зарядки;
- подбор оптимальных параметров элементов системы автоматического управления зарядом аккумуляторных батарей.

В качестве объекта исследований выступает гибридная электростанция, включающая солнечную панель, ветрогенератор, аккумуляторы и систему управления процессом зарядки аккумуляторов. Предметом исследования является построение устойчивой и работоспособной системы управления для заряда аккумуляторных батарей, изучение физических свойств и возможности объектов исследования.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Базовой задачей разработки эффективной системы автоматического управления зарядом аккумуляторных батарей с помощью альтернативных источников энергии является подбор ее элементов. На стадии разработки и проектирования эффективно использовать различные виды моделирования исследуемых процессов, включая и имитационное моделирование с применением компьютерных технологий. Ниже приведены результаты имитационного моделирования процессов зарядки аккумуляторов от ветрогенератора и фотоэлектрического модуля.

В качестве среды моделирования данной системы был выбран пакет Matlab Simulink. Данное ПО обеспечивает широкий выбор элементов для дальнейшего моделирования.

Предлагается начать с подбора элементов для системы заряда АКБ с помощью ветрогенератора. Рассмотрим блок ветрогенератора, блок двигателя постоянного тока, блок АКБ, их входные и выходные характеристики, а также математическое описание.

Выходные показатели ветрогенератора определяются по следующей формуле [1]

$$P_m = c_p(\lambda, \beta) \rho A^2 v_{wind}^3 \tag{1}$$

где  $P_m$  – механическая выходная мощность турбины, Вт;  $c_p$  – коэффициент полезного действия турбины;  $\rho$  – плотность воздуха, кг/м<sup>3</sup>;  $A$  – площадь очистки турбины, м<sup>2</sup>;  $v_{wind}$  – скорость ветра, м/с;  $\lambda$  – отношение скорости кончика лопасти ротора к скорости ветра;  $\beta$  – угол наклона лопасти, град.

С учетом базового выражения для определения механической выходной мощности турбины (1) были рассчитаны мощностные характеристики ветрогенератора. Результаты расчетов зависимости выходной мощности ветрогенератора от скорости вращения турбины представлены на рисунке 1.

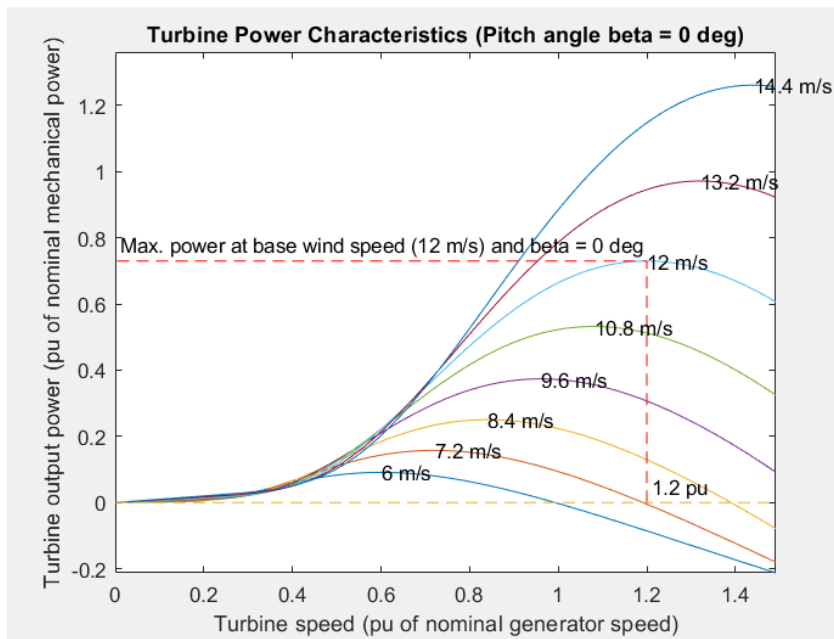


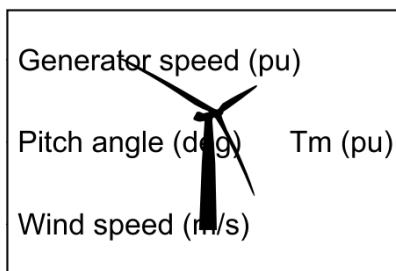
Рис. 1 – Зависимость выходной мощности ветрогенератора от скорости вращения турбины

Как видно исходя из представленного графика максимальная выходная мощность достигается при скорости ветра в 12 м/с и базовой скорости вращения 1.2 pu. Данные характеристики можно изменять при изменении входных параметров, что будет продемонстрировано в дальнейшем для достижения результата, а именно полноценного заряда АКБ. Внешний вид блока, имитирующего работу ветрогенератора, входные и выходные параметры представлены на рисунке 2.

Рассмотрим уравнение блока двигателя постоянного тока, которое реализует его механическую часть [2]

$$J \frac{d\omega}{dt} = T_e - T_L - B_m \omega - T_f, \tag{2}$$

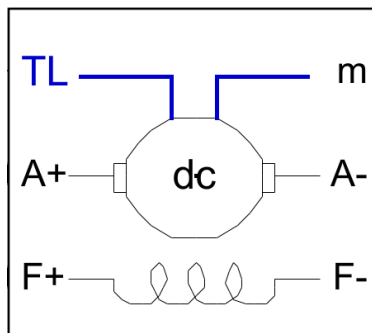
где  $B_m$  – коэффициент вязкого трения, Нм/(рад/с);  $J$  – момент инерции, кг·м<sup>2</sup>;  $T_e$  – вращающий момент, Нм;  $T_L$  – момент сопротивления, см<sup>3</sup>;  $T_f$  – момент кулоновского трения, Нм;  $\omega$  – угловая скорость вращения, рад/с;  $t$  – время, с.



Generator speed (pu) – скорость генератора, скаляр pu; Pitch angle (deg) – угол наклона, скалярный градус; Wind speed (m/s) – скорость ветра, м/с неотрицательный скаляр; Tm (pu) – механический крутящий момент ветровой турбины, скаляр pu

Рис. 2 – Блок ветрогенератора и его основные характеристики

Внешний вид элемента входные и выходные параметры представлены на рисунке 3.



TL – механический момент нагрузки, скаляр, Нм; w – скорость машины, скаляр рад/с; m – сигналы измерения четыре вектора элементов; A+ – положительная клемма якоря специализированного электрооборудования; A- – минусовая клемма якоря специализированного электрооборудования; F+ – положительная клемма специализированной электрической цепи возбуждения; F- – отрицательная клемма специализированной электрической цепи возбуждения

Рис. 3 – Блок двигателя постоянного тока и его основные характеристики

Рассмотрим уравнение блока АКБ и его характеристики заряда и разряда данной батареи, для моделирования используется никель-металлогидридная батарея.

Математическая модель заряда определяется функцией вида [3]

$$f_1(i, t, i^*) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left( \frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot 0 \right), \tag{3}$$

где  $E_0$  – ЭДС источника заряда, В;  $K$  – коэффициент заряда, В/Ач;  $Q$  – электрический заряд, Кл;  $i$  – ток заряда, А;  $i^*$  – сопряженный ток заряда, А;  $t$  – время, с;  $s$  – комплексная переменная.

Математическая модель разряда определяется функцией вида [4]:

$$f_2(i, t, i^*) = E_0 - K \cdot \frac{Q}{|it|+0.1 \cdot Q} \cdot i^* - K \cdot \frac{Q}{Q-it} \cdot it + Laplace^{-1} \left( \frac{Exp(s)}{Sel(s)} \cdot \frac{1}{s} \right), \tag{4}$$

где  $E_0$  – ЭДС АКБ, В;  $K$  – коэффициент разряда, В/Ач;  $Q$  – электрический заряд, Кл;  $i$  – ток разряда, А;  $i^*$  – сопряженный ток разряда, А;  $t$  – время, с;  $s$  – комплексная переменная.

На рисунке 4 представлены характеристики АКБ, учитывающие зависимость значения напряжения и тока от ампер часов.

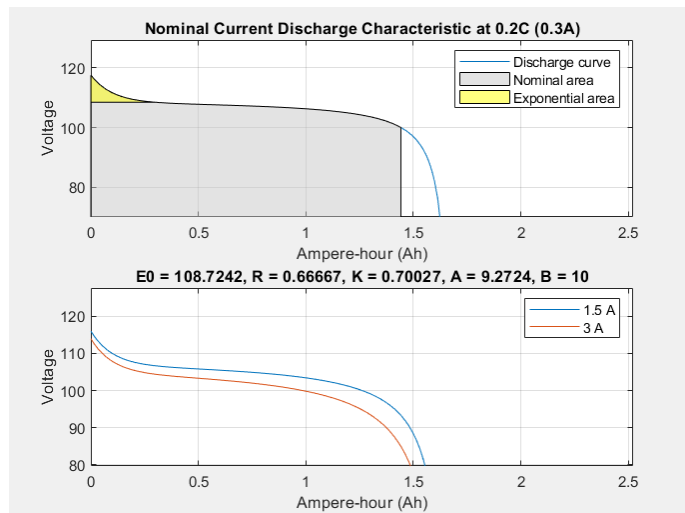


Рис. 4 – График номинальных характеристик АКБ

Как видно исходя из представленных графиков, подобранная аккумуляторная батарея находится в своих номинальных показателях более чем 1 ампер час, что является хорошей характеристикой, опять же в зависимости от используемой нагрузки в системе, в системе моделирования в качестве нагрузки будет использован обычный резистор для разряда батареи, варьируя его показатели можно определить скорость разряда батареи, а также попробовать подобрать оптимальные характеристики подключаемого объекта.

Следующим шагом после подбора, описания и рассмотрения характеристик основных компонентов системы необходимо разработать алгоритм работы системы. Предлагается начать с блок схемы (рисунок 5). В данном случае мы попытаемся отслеживать заряд АКБ и на основе данных организовать переключение системы с режима использования в режим заряда АКБ. Далее для удобства уровень заряда АКБ будем обозначать, как SOC.

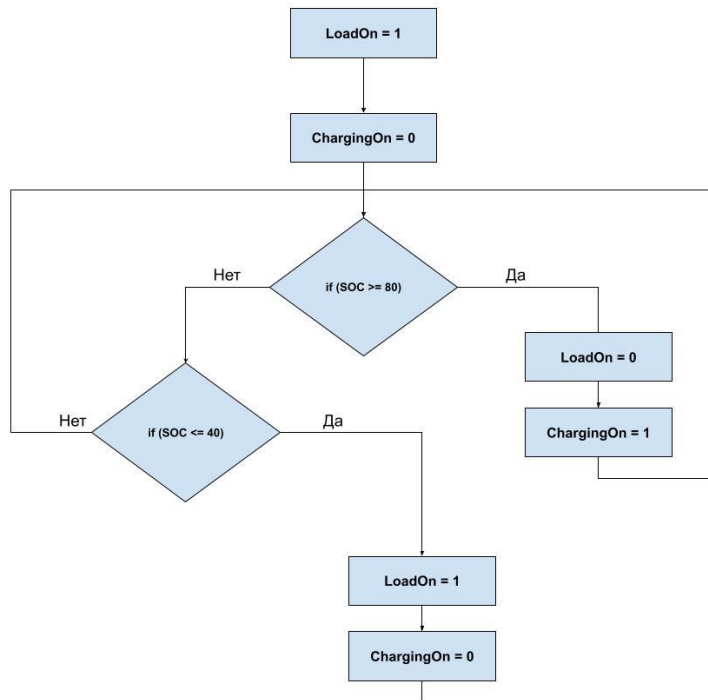


Рис. 5 – Блок схема системы автоматического управления зарядом АКБ

Данная блок схема находится в бесконечном цикле, что позволит непрерывно регулировать режим заряда АКБ, параметр LoadOn является логической переменной, которая отвечает за включение контура нагрузки на АКБ, ChargingOn – логическая переменная, отвечающая соответственно за контур заряда АКБ. Для тестирования системы предлагается взять базовый уровень заряда в 80% для того, чтобы продемонстрировать его корректную работу. Заряд АКБ будет происходить при достижении уровня 40%. Данные показатели выбраны исходя из представленных выше графиков АКБ, другими словами, мы должны стараться всегда находиться на номинальных значениях АКБ. Логика блок схемы достаточно простая: при достижении заряда на уровне 40% мы переключаемся на контур заряда АКБ, при достижении заряда на уровне 80% мы переключаемся на нагрузочный контур, но тем не менее при построении схемы подключения требует внимательного распределения выходных сигналов.

Рассмотрим процесс моделирования системы управления зарядом АКБ с помощью ветрогенератора.

Система автоматического управления (рисунок 6) помимо компонентов, описанных выше, имеет ряд достаточно важных элементов таких, как Breaker. В данной схеме он выступает в качестве переключателя с контура заряда на нагрузочный контур. Как видно Breaker и Breaker1 подключены параллельно к контуру нагрузки в то время, как Breaker2 и Breaker3 подключены к выходным клеммам DC Machine, на которой мы измеряем выходное напряжение и которое отвечает за заряд АКБ. За управление сигналами отвечает функция (fcn), логика которой описана в блок схеме выше. Предлагается запустить моделирование, убедиться в оптимальности подобранных компонентов, характеристик и работоспособности схемы.

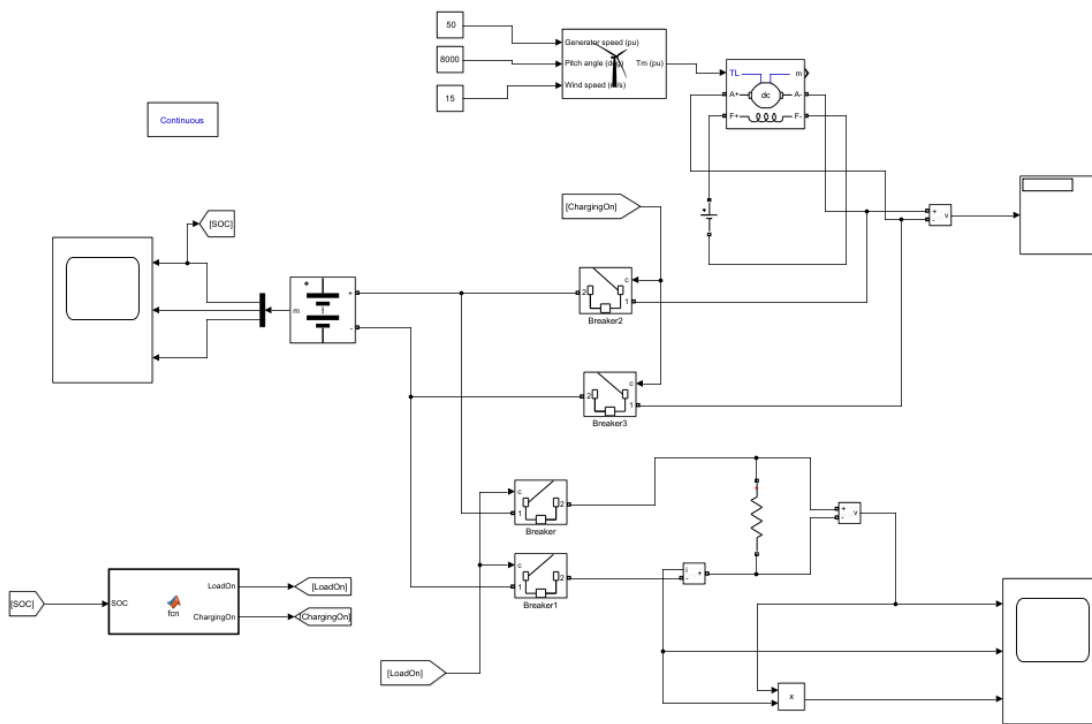


Рис. 6 – Схема подключения системы автоматического заряда АКБ

На рисунке 7 представлены полученные при имитационном моделировании мгновенные значения изменения емкости батареи, тока и напряжения.

В процессе моделирования мы получили большую просадку по току и значительный всплеск напряжения в момент переключения с режима использования АКБ под нагрузкой в режим зарядки АКБ. Такие скачки показателей могут пагубно влиять на элементы системы, что в будущем может привести к выходу из строя одного из них. Предлагается улучшить данную схему и её переходный процесс подключением параллельно конденсатора между переключателями Breaker2 и Breaker3. Рассмотрим улучшенную схему подключения системы автоматического заряда АКБ на рисунке 8 и полученный результат на рисунке 9.

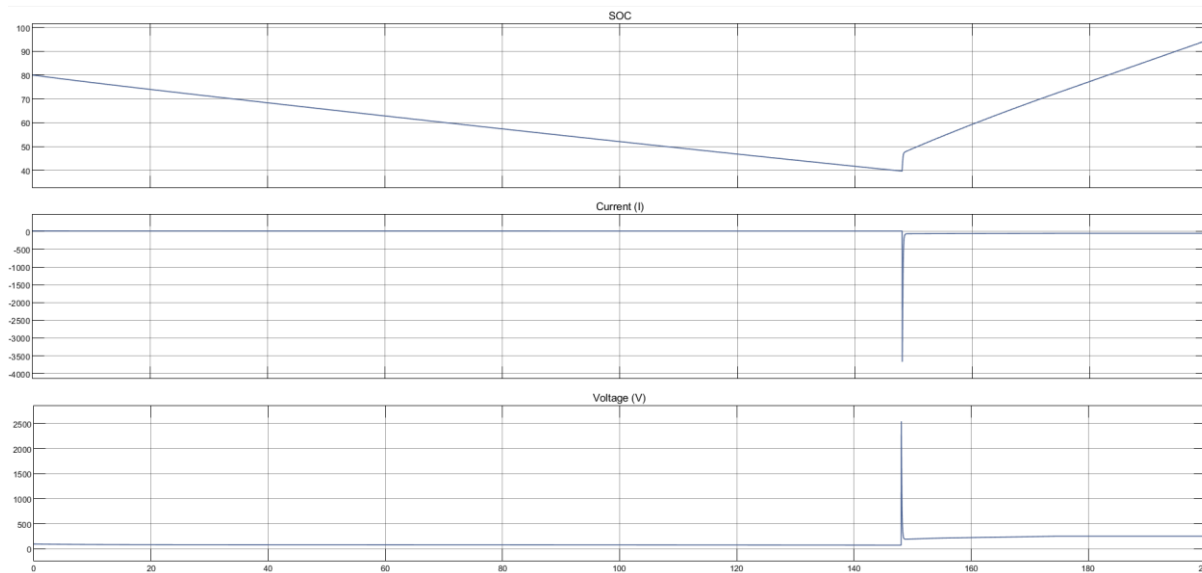


Рис. 7 – Результаты моделирования системы автоматического управления

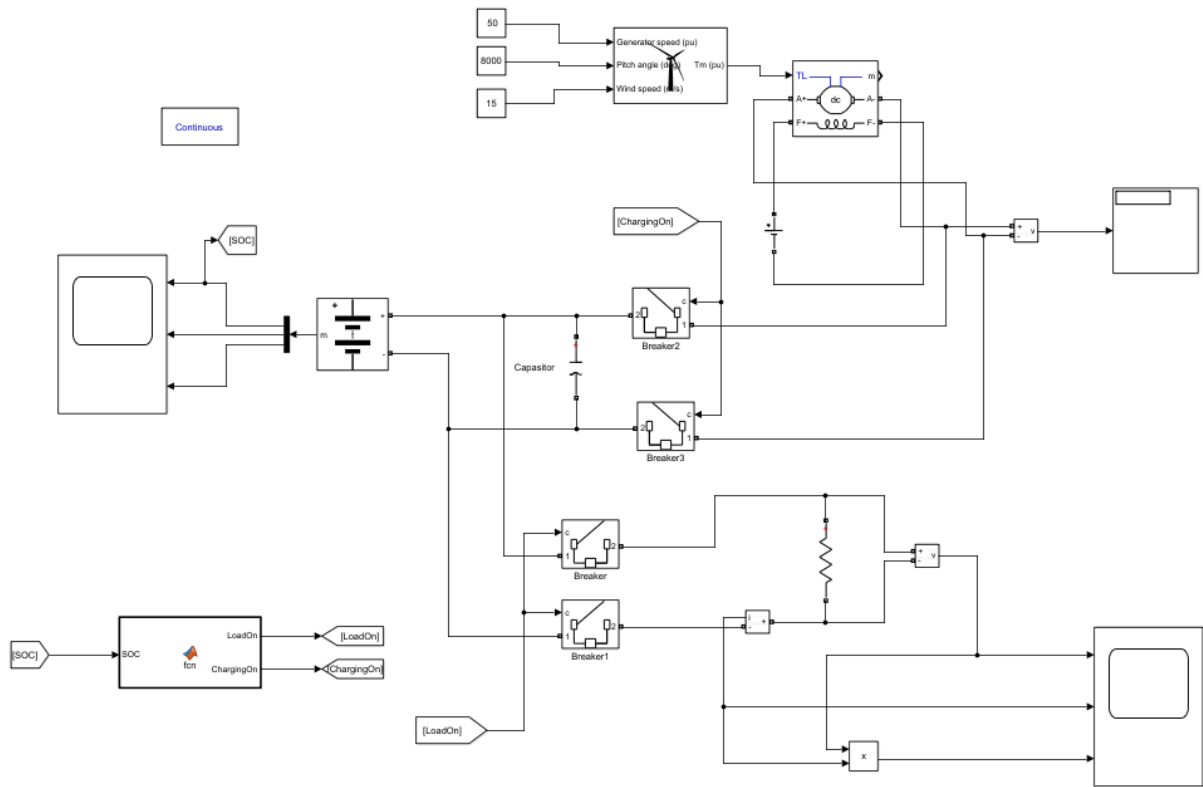


Рис. 8 – Улучшенная схема подключения системы автоматического заряда АКБ

Анализ результатов моделирования показывает, что в реальной жизни в большинстве случаев без проведения моделирования работы схем подключения можно получить плачевный результат с выходом из строя компонентов. Данное исследование напрямую показывает важность моделирования, понимания переходных процессов системы, важность подбора компонентов, которые могут быть действительно использованы в реальной жизни и дадут конечный результат. Таким образом, на основе данного исследования можно с уверенностью сказать, что представленные алгоритмы, представленная схема полностью выполняет поставленные задачи, а также учитывает все недостатки и нюансы при ее использовании в разных режимах работы.

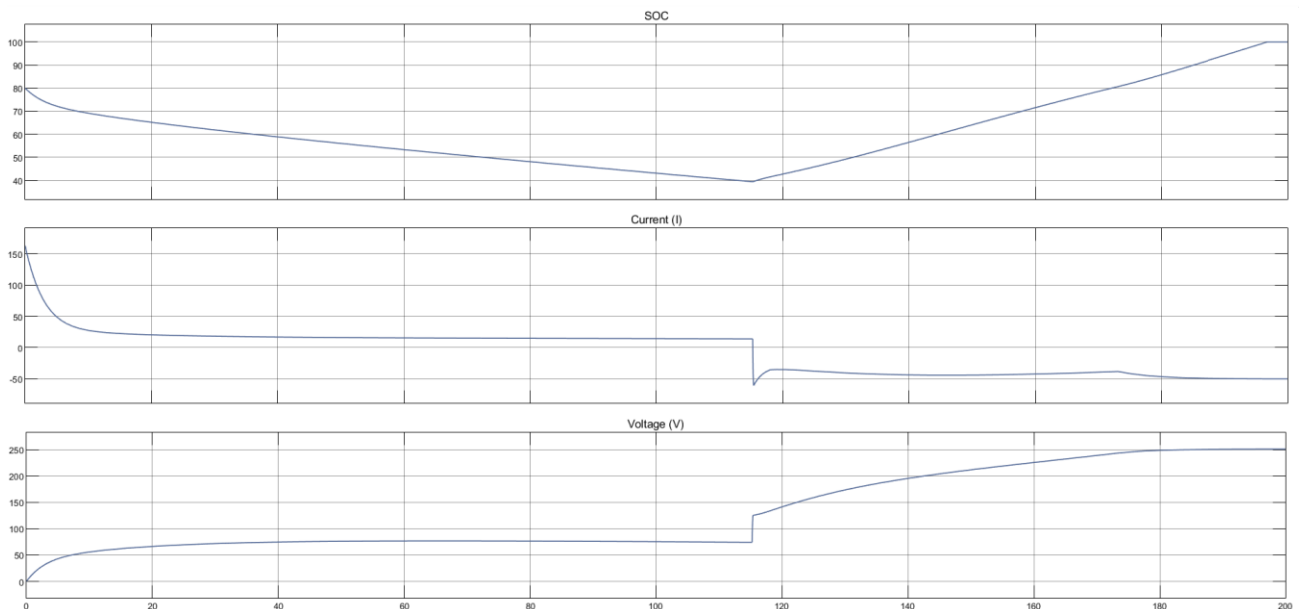


Рис. 9 – Полученные результаты моделирования улучшенной системы автоматического управления.

**Выводы.** Основные результаты исследования моделирования системы автоматического управления зарядкой АКБ с помощью ветрогенератора заключаются в следующем:

- 1) подобрана элементная база со всеми внутренними характеристиками для обеспечения правильной работы схемы заряда и разряда аккумуляторов;
- 2) разработана схема автоматического управления зарядом АКБ с помощью ветрогенератора;

- 3) разработан алгоритм смены режимов переключения системы, переключение с режима использования АКБ нагрузочным контуром в режим заряда АКБ в соответствующий контур подзарядки и поддержание его номинальных характеристик;
- 4) разработан программный код для обеспечения правильной логики смены режимов заряда и разряда аккумуляторов;
- 5) в результате улучшения схемы подключения мы добились устранения просадки по току с нескольких тысяч ампер до максимальной просадки в 50 ампер, исключили всплеск напряжения, измеряемый несколькими тысячами вольт до максимального скачка в 80 вольт при переключении режимов АКБ, сохранили время заряда неизменным.

#### Библиография

1. Нестеров А.М., Вендин С.В. Обзор возможности строительства ВЛ 35 кВ в габаритах ВЛ 10 кВ в Белгородской области // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. 2013. № 6. С. 200–203.
2. Вендин С.В., Мамонтов А.Ю. Автоматизация механических и тепловых процессов в многокамерном биогазовом реакторе непрерывной загрузки сырья // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования Московский государственный агроинженерный университет им. В.П. Горячкина. 2016. № 4 (74). С.55–60.
3. Виноградов А.В., Виноградова А.В. Анализ основных составляющих эффективности систем электроснабжения сельских потребителей // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. № 3 (54). С. 96–102.
4. Виноградов А.В., Большев В.Е., Виноградова А.В. Отключения в электрических сетях 0,4 кВ: количество, причины и контрмеры // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. № 2 (58). С. 77–81.
5. Елистратов В.В., Аронова Е.С., Шварц М.З. Оптимизация фотоэлектрических модулей при проектировании солнечных электростанций // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2012. № 37. С. 259–263.
6. Калашник В.И., Казаров К.Р., Черников В.А. Регулятор заряда аккумуляторных батарей от солнечных панелей // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2015. № 1. С. 20–22.
7. Козюков Д.А., Цыганков Б.К. Контроллеры заряда-разряда аккумуляторных батарей солнечных фотоэлектрических установок // Инновационная наука. 2015. № 8-2 (8). С. 41–44.
8. Устройства развязки аккумуляторов [Электронный ресурс] Режим доступа: <https://forum.cxem.net/index.php?topic/132578> (дата обращения: 10.04.2023).
9. Попов А.Н. Новые исследования в теории электропривода постоянного тока. – М. : Энергоатомиздат, 2003. С. 765–768.
10. Гаврилов Л.П., Сосин Д.А. Расчет и моделирование линейных электрических цепей с применением ПК. – М. : Солон-Пресс, 2004. С. 446–448.

#### References

1. Nesterov A.M., Vendin S.V. Obzor vozmozhnosti stroitel'stva VL 35 kV v gabaritakh VL 10 kV v Belgorodskoy oblasti [Overview of the possibility of building a 35 kV overhead line in the dimensions of a 10 kV overhead line in the Belgorod region] // Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. Shukhova. 2013. № 6. S. 200–203.
2. Vendin S.V., Mamontov A.Yu. Avtomatizatsiya mekhanicheskikh i teplovykh protsessov v mnogokamernom biogazovom reaktore nepreryvnoy zagruzki syr'ya [Automation of mechanical and thermal processes in a multi-chamber biogas reactor with continuous loading of raw materials] // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet im. V.P. Goryachkina. 2016. № 4 (74). S. 55–60.
3. Vinogradov A.V., Vinogradova A.V. Analiz osnovnykh sostavlyayushchikh effektivnosti sistem elektrosnabzheniya sel'skikh potrebiteley [Analysis of the main components of the efficiency of power supply systems for rural consumers] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019. № 3 (54). S. 96–102.
4. Vinogradov A.V., Bol'shev V.Ye., Vinogradova A.V. Otklyucheniya v elektricheskikh setyakh 0,4 kV: kolichество, prichiny i kontrmery [Outages in electrical networks 0.4 kV: number, causes and countermeasures] // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020. № 2 (58). S. 77–81.
5. Yelistratov V.V., Aronova Ye.S., Shvarts M.Z. Optimizatsiya fotoelektricheskikh moduley pri proyektirovaniy solnechnykh elektrostantsiy [Optimization of photovoltaic modules in the design of solar power plants] // Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2012. № 37. S. 259–263.
6. Kalashnik V.I., Kazarov K.R., Chernikov V.A. Regulyator zaryada akkumulyatornykh batarey ot solnechnykh paneley [Solar battery charge regulator] // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo khozyaystva. 2015. № 1. S. 20–22.
7. Kozuykov D.A., Tsygankov B.K. Kontrollery zaryada-razryada akkumulyatornykh batarey solnechnykh fotoelektricheskikh ustanovok [Charge-discharge controllers for storage batteries of solar photovoltaic installations] // Innovatsionnaya nauka. 2015. № 8-2 (8). S. 41–44.
8. Ustroystva razvyazki akkumulyatorov [Battery decouplers] [Elektronnyy resurs]. – Rezhim dostupa: <https://forum.cxem.net/index.php?topic/132578> (data obrashcheniya: 10.04.2023).
9. Popov A.N. Novye issledovaniya v teorii elektroprivoda postoyannogo toka [New research in the theory of direct current electric drive]. – М. : Energoatomizdat, 2003. С. 765–768.
10. Gavrilov, L.P., Sosin D.A., Raschet i modelirovanie lineynykh elektricheskikh cepejs primeneniem PK [Calculation and modeling of linear electrical circuits using a PC]. – М. : Solon-Press, 2004. S. 446–448.

#### Сведения об авторах

Половнев Георгий Константинович, аспирант кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-11-36, e-mail: Polovnyov31@mail.ru.

Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru.

Тетерядченко Алексей Иванович, старший преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-11-36, e-mail: teteryadchenko\_ai@bsaa.edu.ru.

**Information about authors**

Polovnev Georgy Konstantinovich, postgraduate student of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in the Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, 1, Maisky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-11-36, e-mail: Polovnyov31@mail.ru.

Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in the AIC, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, 1, Maisky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru.

Teteryadchenko Aleksey Ivanovich, Senior Lecturer of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in the Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, 1, Maisky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-11-36, e-mail: teteryadchenko\_ai@bsaa.edu.ru.



УДК 629.3.015:629.3.032

М.И. Романченко

## МОДЕЛИРОВАНИЕ СИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ШИНЫ НА ОСНОВЕ ПЕРЕМЕННОЙ ЭПЮРЫ НОРМАЛЬНЫХ РЕАКЦИЙ В СВОБОДНОМ И ВЕДОМОМ РЕЖИМАХ КАЧЕНИЯ КОЛЕСА

**Аннотация.** Приведена методика определения силовых и кинематических параметров шины в свободном и ведомом режимах качения колеса на основе переменной эпюры нормальных реакции опорной поверхности. Смещение центра нормальных реакций опорной поверхности представлено линейной зависимостью от коэффициента продольной силы. Зависимость отражает взаимосвязь коэффициента продольной силы и коэффициента несимметричности эпюры нормальных реакций опорной поверхности. Смещение центра нормальных реакций происходит к задней части контактной площадки шины. Расчетную несимметричность эпюры относительных нормальных реакций можно получить выбором значения коэффициента несимметричности в интервале от 1 до 2. На расчетном примере представлено графоаналитическое отображение силовых и кинематических параметров тракторной шины модели Goodyear OPTITRAC DT812 типоразмера 520/70R38 при использовании эпюры относительных нормальных реакций. Эпюра представлена параболической зависимостью четвертой степени. Коэффициент продольной силы определяется по результирующей продольной реакции на участке скольжения и на участке покоя элементов контактной площадки шины. По результатам расчетов с использованием нагрузочных и геометрических параметров шины Goodyear OPTITRAC DT812 установлено, что максимальное значение коэффициента продольной силы для несимметричной и симметричной эпюр относительных нормальных реакций одинаково. Однако значения коэффициента скольжения колеса имеют отличие. Приведенная методика определения силовых и кинематических параметров шины на основе несимметричной эпюры нормальных реакций опорной поверхности может служить для практического применения при обосновании режимов движения колес тракторов в составе транспортно-технологических агрегатов при различных дорожных условиях.

**Ключевые слова:** колесо, шина, качение, сила, режим, коэффициент, скольжение, трение, сцепление, эпюра.

## SIMULATION OF TIRE POWER PARAMETERS BASED ON A VARIABLE PLOT OF NORMAL REACTIONS IN FREE, DRIVEN AND BRAKING MODES OF WHEEL ROLLING

**Abstract.** The method of determining the power and kinematic parameters of the tire in the free, driven and braking modes of wheel rolling based on a variable plot of the normal reactions of the bearing surface is given. The displacement of the center of normal reactions of the reference surface is represented by a linear dependence on the coefficient of longitudinal force. The dependence reflects the relationship between the coefficient of longitudinal force and the coefficient of asymmetry of the plot of normal reactions of the support surface. The displacement of the center of normal reactions occurs to the rear of the tire contact pad. The calculated asymmetry of the relative normal reactions plot can be obtained by selecting the value of the asymmetry coefficient in the range from 1 to 2. The calculated example shows a graphoanalytic display of the power and kinematic parameters of the tractor tire model Goodyear OPTITRAC DT812 of size 520/70R38 when using the relative normal reactions plot. The plot is represented by a parabolic dependence of the fourth degree. The coefficient of longitudinal force is determined by the resulting longitudinal reaction in the sliding area and in the resting area of the elements of the tire contact pad. Based on the results of calculations using the load and geometric parameters of the Goodyear OPTITRAC DT812 bus, it was found that the maximum value of the longitudinal force coefficient for asymmetric and symmetric plots of relative normal reactions is the same. However, the values of the wheel slip coefficient have a difference. The given method of determining the power and kinematic parameters of the tire based on an asymmetric plot of normal reactions of the bearing surface can serve for practical application in justifying the modes of movement of tractor wheels as part of transport and technological units under various road conditions.

**Keywords:** wheel, tire, rolling, force, mode, coefficient, slip, friction, clutch, plot.

**Введение.** При аналитическом определении силовых и кинематических параметров шины для различных режимов качения колеса, в том числе свободного и ведомого режимов, необходимо учитывать продольное смещение нормальной реакции опорной поверхности в плоскости контактной площадки (КП) шины [1-5]. Анализ публикаций показывает, что экспериментальное определение отдельных составляющих продольного смещения нормальной реакции представляет собой определенную сложность и приводит к неоднозначным результатам. Вместе с тем следует признать, что пригодные адекватные аналитические модели для определения продольного смещения на основе доступных исходных данных в настоящее время отсутствуют.

**Цель исследований.** Целью исследований является разработка математической модели изменения силовых и кинематических параметров шины при качении колеса в свободном и ведомом режимах для описания процессов взаимодействия шины с опорной поверхностью в КПШ.

**Материалы и методы.** Расчет силовых параметров шины при качении колеса в различных режимах целесообразно выполнять на основе параболической эпюры нормальных реакций в плоскости КП шины [6, 7]. При моделировании переменной несимметричности эпюры нормальных реакций по длине КП тракторной шины низкого давления наиболее подходящей является параболическая зависимость четвертой степени для представления элементарных нормальных реакций  $r_z$  [8]

$$r_z = \frac{1}{16} K - K \left( s_{\text{кп}} - \frac{1}{2} \right)^4, \quad (1)$$

где  $s_{\text{кп}}$  – относительная координата по продольной оси КП шины, соответствующая расчетному значению относительной нормальной реакции опорной поверхности;  $K$  – коэффициент пропорциональности, получаемый из условия равенства единице относительной площади эпюры элементарных относительных нормальных реакций.

Величина  $s_{кп}$  определяется относительно длины КП шины

$$s_{кп} = \frac{l}{l_{кп}}, \quad (2)$$

где  $l$  – текущая координата по длине КП шины, отсчитываемая по ее продольной оси в направлении от крайней задней точки КП площадки к передней точке;  $l_{кп}$  – длина КП шины.

Возможные расчетные значений текущей координаты КП шины находятся в диапазоне  $0 \leq l \leq l_{кп}$ .

Несимметричная форма эпюры относительных нормальных реакций может быть получена при соответствующем значении коэффициента несимметричности  $k_n$ , находящемся в интервале значений  $0 \leq k_n \leq 2$ .

Выражение (1) должно быть дополнено сомножителем в правой квадратной скобке

$$r_z = \left[ \frac{1}{16} K - K \left( s_{кп} - \frac{1}{2} \right)^4 \right] \left[ k_n + 2 (1 - k_n) s_{кп} \right] \quad (3)$$

После преобразований развернутое выражение может подлежать интегрированию

$$r_z = K \left[ k_n \left( -s_{кп}^4 + 2 s_{кп}^3 - \frac{3}{2} s_{кп}^2 + \frac{1}{2} s_{кп} \right) (2 - 2k_n) \left( -s_{кп}^5 + 2 s_{кп}^4 - \frac{3}{2} s_{кп}^3 + \frac{1}{2} s_{кп}^2 \right) \right] \quad (4)$$

Интегральное выражение для определения суммарной нормальной реакции опорной поверхности  $R_{z \max}$ , равной нормальной нагрузке на колесо  $G_k$ , имеет вид

$$R_{z \max} = K \left[ k_n \int_0^1 \left( -s_{кп}^4 + 2 s_{кп}^3 - \frac{3}{2} s_{кп}^2 + \frac{1}{2} s_{кп} \right) ds_{кп} \times \right. \\ \left. \times 2 (1 - k_n) \int_0^1 \left( -s_{кп}^5 + 2 s_{кп}^4 - \frac{3}{2} s_{кп}^3 + \frac{1}{2} s_{кп}^2 \right) ds_{кп} \right] = G_k \quad (5)$$

В результате интегрирования в пределах значений относительной координаты по продольной оси КП шины  $s_{кп}$  от нуля до единицы получено простое равенство

$$R_{z \max} = \frac{K}{20} = G_k \quad (6)$$

Из этого равенства следует, что при любом промежуточном значении коэффициента несимметричности  $k_n$  от нуля до двух коэффициент  $K$  пропорционален нормальной нагрузке на колесо  $G_k$

$$K = 20 G_k \quad (7)$$

Суммарная нормальная реакция на участке скольжения элементов КП шины определяется интегрированием выражения (5) в пределах значений относительной координаты по продольной оси КП шины  $s_{кп}$  от нуля до значения, равного коэффициенту скольжения элементов КП шины  $s_{ск}$

$$R_{z \text{ ск}} = \int_0^{s_{ск}} \left[ \frac{1}{16} K - K \left( s_{кп} - \frac{1}{2} \right)^4 \right] \left[ k_n + 2 (1 - k_n) s_{кп} \right] s_{кп} \quad (8)$$

Величина коэффициента скольжения  $s_{ск}$  определяется относительной длиной участка КП шины, элементы которой находятся в скольжении, ко всей ее длине

$$s_{ск} = \frac{l_{ск}}{l_{кп}}, \quad (9)$$

где  $l_{ск}$  – текущая продольная координата передней границы участка скольжения КП шины, отсчитываемая от ее крайней задней точки.

Диапазон возможных значений текущей координаты границы участка скольжения находится в интервале от нуля до  $l_{кп}$ .

После интегрирования и преобразования выражение (8) для определения суммарной нормальной реакции опорной поверхности на участке скольжения элементов КП шины приобретает вид

$$R_{z \text{ ск}} = 20 G_k \left[ k_n \left( -\frac{1}{5} s_{ск}^5 + \frac{1}{2} s_{ск}^4 - \frac{1}{2} s_{ск}^3 + \frac{1}{4} s_{ск}^2 \right) + (1 - k_n) \left( -\frac{1}{3} s_{ск}^6 + \frac{4}{5} s_{ск}^5 - \frac{3}{4} s_{ск}^4 + \frac{1}{3} s_{ск}^3 \right) \right] \quad (10)$$

Для последующего представления силовых параметров колеса в ведомом режиме его качения целесообразно использовать относительную величину – коэффициент продольной силы  $k_{Rx}$ . Он представляет собой относительную продольную реакцию  $R_x$  опорной поверхности в КП шины к нормальной ее реакции  $R_z$ . Реакция  $R_z$  равна по величине и обратна по направлению нормальной (вертикальной) нагрузке  $G_k$  на колесо

$$k_{Rx} = \frac{R_x}{R_z} = \frac{R_x}{G_k} \quad (11)$$

Коэффициент продольной силы  $k_{Rx}$  определяется с учетом образования результирующей продольной реакции  $R_x$  на участке скольжения и на участке покоя элементов КП шины (рис. 1) при использовании соотношений

$$R_x = R_{x \text{ ск}} + R_{x \text{ пок}}, \quad R_{x \text{ ск}} = R_{z \text{ ск}} \mu_{сц \text{ ск}}, \quad R_{x \text{ пок}} = R_{z \text{ пок}} \mu_{сц \text{ пок}}, \\ R_z = R_{z \text{ ск}} + R_{z \text{ пок}}, \quad R_{z \text{ ск}} = G_k \delta_{Rz \text{ ск}}, \quad R_{z \text{ пок}} = G_k \delta_{Rz \text{ пок}}, \quad (12)$$

где  $R_{x\text{ ск}}$ ,  $R_{x\text{ пок}}$  – продольная реакция соответственно на участке скольжения и на участке покоя элементов КП шины;  $R_{z\text{ ск}}$ ,  $R_{z\text{ пок}}$  – нормальная реакция опорной поверхности соответственно на участке скольжения и на участке покоя элементов КП шины;  $\mu_{\text{сц ск}}$ ,  $\mu_{\text{сц пок}}$  – коэффициент сцепления элементов КП шины соответственно динамический на участке скольжения и статический на участке покоя;  $G_k$  – нормальная нагрузка на колесо, воспринимаемая опорной поверхностью;  $\delta_{Rz\text{ ск}}$ ,  $\delta_{Rz\text{ пок}}$  – относительная нормальная реакция соответственно на участке скольжения и на участке покоя элементов КП шины.

Развернутое выражение для определения коэффициента продольной силы имеет вид

$$k_{R_x} = \left( 5 s_{\text{ск}}^2 - 10 s_{\text{ск}}^3 + 10 s_{\text{ск}}^4 - 4 s_{\text{ск}}^5 \right) \mu_{\text{сц ск}} + (1 - k_n) \left[ 1 - \left( 5 s_{\text{ск}}^2 - 10 s_{\text{ск}}^3 + 10 s_{\text{ск}}^4 - 4 s_{\text{ск}}^5 \right) \mu_{\text{сц пок}} \right] \quad (13)$$

Динамический коэффициент сцепления  $\mu_{\text{сц ск}}$  элементов КП шины на участке скольжения определяется по убывающей эллиптической зависимости от относительной нормальной реакции  $\delta_{Rz\text{ ск}}$  на участке скольжения

$$\mu_{\text{сц ск}} = \mu_{\text{ск}} + \sqrt{\left( \mu_{\text{пок}} - \mu_{\text{ск}} \right)^2 - \left( \mu_{\text{пок}} - \mu_{\text{ск}} \right)^2 \delta_{Rz\text{ ск}}^2} \quad (14)$$

где  $\mu_{\text{ск}}$  – коэффициент трения скольжения элементов КП шины при полном скольжении заблокированного колеса в состоянии продольного юза;  $\mu_{\text{пок}}$  – коэффициент трения покоя КП шины на опорной поверхности при полном отсутствии скольжения элементов КП шины и колеса.

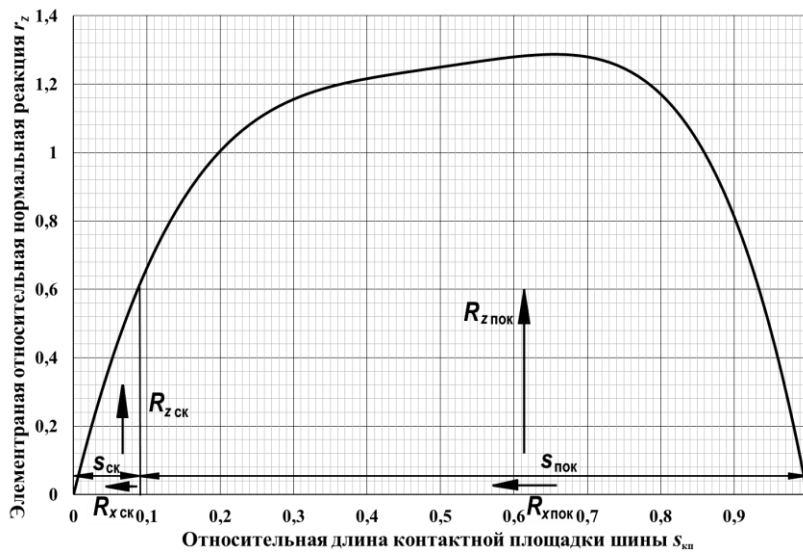


Рис. 1 – Схема образования продольных реакций в плоскости КП шины при качении колеса в ведомом режиме

Максимальное значение динамического коэффициента сцепления  $\mu_{\text{сц ск}}$  равно коэффициенту трения покоя  $\mu_{\text{пок}}$  элементов КП шины, а минимальное значение – коэффициенту трения скольжения  $\mu_{\text{ск}}$  элементов КП.

Статический коэффициент сцепления  $\mu_{\text{сц пок}}$  элементов КП шины на участке покоя определяется по возрастающей эллиптической зависимости от относительной нормальной реакции  $\delta_{Rz\text{ пок}}$  на участке покоя

$$\mu_{\text{сц пок}} = \sqrt{\mu_{\text{пок}}^2 - \mu_{\text{пок}}^2 \delta_{Rz\text{ пок}}^2} \quad (15)$$

Минимальное значение коэффициента  $\mu_{\text{сц пок}}$  равно нулю при отсутствии скольжения элементов КП шины. Максимальное значение равно коэффициенту трения покоя  $\mu_{\text{пок}}$  элементов КП шины на опорной поверхности в момент перехода к полному скольжению, когда самый крайний элемент в передней части КП все еще находится в состоянии покоя.

Относительная нормальная реакция на участке скольжения элементов КП шины определяется отношением

$$\delta_{Rz\text{ ск}} = \frac{R_{z\text{ ск}}}{R_z} = \frac{R_{z\text{ ск}}}{G_k} \quad (16)$$

или она может быть представлена выражением в развернутом виде

$$\delta_{Rz\text{ ск}} = 20 \left[ k_n \left( -\frac{1}{5} s_{\text{ск}}^5 + \frac{1}{2} s_{\text{ск}}^4 - \frac{1}{2} s_{\text{ск}}^3 + \frac{1}{4} s_{\text{ск}}^2 \right) (1 - k_n) \left( -\frac{1}{3} s_{\text{ск}}^6 + \frac{4}{5} s_{\text{ск}}^5 - \frac{3}{4} s_{\text{ск}}^4 + \frac{1}{3} s_{\text{ск}}^3 \right) \right] \quad (17)$$

Аналогично определяется относительная нормальная реакция на участке покоя

$$\delta_{Rz\text{ пок}} = \frac{R_{z\text{ пок}}}{R_z} = \frac{R_{z\text{ пок}}}{G_k} \quad (18)$$

Площадь части эпюры на участке скольжения  $s_{\text{ск}}$  элементов КП шины представляет собой относительную нормальную реакцию  $\delta_{Rz\text{ ск}}$  на участке скольжения, а площадь части эпюры на участке покоя  $s_{\text{пок}}$  – относительную нормальную реакцию  $\delta_{Rz\text{ пок}}$  на участке покоя (см. рис. 1). На участке скольжения действуют составляющие  $R_{z\text{ ск}}$  и  $R_{x\text{ ск}}$  соответственно нормальной и продольной реакции опорной поверхности, а на участке покоя – составляющие  $R_{z\text{ пок}}$  и  $R_{x\text{ пок}}$ , соответственно. Составляющие продольной реакции  $R_{x\text{ ск}}$  и  $R_{x\text{ пок}}$  действуют противоположно направлению поступательного движения колеса.

Относительные нормальные реакции опорной поверхности в плоскости КП шины на участке покоя и на участке скольжения составляют в сумме единицу

$$\delta_{Rz\text{ ск}} + \delta_{Rz\text{ пок}} = 1 \quad (19)$$

Коэффициент скольжения колеса  $s_k$  определяется зависимостью [9, 10]

$$s_k = \frac{\alpha_k s_{ск}}{\sqrt{4\pi^2(1-s_{ск}) + \alpha_k^2 s_{ск}}} \quad (20)$$

где  $\alpha_k$  – центральный угол КП шины на опорной поверхности, рад.

Обратная зависимость коэффициента скольжения КП шины от коэффициента скольжения колеса имеет вид

$$s_{ск} = \frac{(\alpha_k^2 - 4\pi^2) s_k^2 + \sqrt{(16\pi^4 - 8\pi^2\alpha_k^2 + \alpha_k^4) s_k^2 + 16\pi^2\alpha_k^2}}{2\alpha_k^2} \quad (21)$$

Радиус качения колеса в ведомом режиме определяется выражением

$$r_{кв} = r_{ксв}(1 + s_k), \quad (22)$$

где  $r_{ксв}$  – радиус качения колеса в свободном режиме.

Для определения продольного смещения центра нормальных реакций опорной поверхности используем статический момент эпюры относительно вертикальной оси  $r_z$ . Он определяется интегральной функцией

$$S_z = \int_0^1 \left[ \frac{1}{16}K - K \left( s_{кп} - \frac{1}{2} \right)^4 \right] [k_n + 2(1 - k_n) s_{кп}] s_{кп} ds_{кп} \quad (23)$$

После интегрирования выражения (23) в диапазоне значений  $s_{кп}$  от нуля до единицы выражение приобретает вид

$$S_z = \frac{K}{420} [13 - 2,5k_n] \quad (24)$$

Продольная координата центра масс несимметричной эпюры по относительной длине КП шины определяется с учетом зависимости (6) выражением

$$s_{кп\text{ цм}} = \frac{S_z}{G_k} = \frac{1}{21} [13 - 2,5k_n] \quad (25)$$

Относительное смещение продольной координаты результирующей нормальной реакции, как центра масс несимметричной эпюры, относительно геометрического центра продольной оси КП шины составляет

$$\Delta_{нр} = s_{кп\text{ цм}} - 0,5 \quad (26)$$

Смещение продольной координаты положения результирующей нормальной реакции относительно геометрического центра продольной КП шины выражает собой плечо действия результирующей нормальной реакции относительно вертикальной оси колеса

$$a_{нр} = \Delta_{нр} l_{кп} \quad (27)$$

Для свободного режима качения колеса плечо  $a_{нрсв}$  определяется, исходя из известной формулы момента сопротивления деформации шины [11]

$$a_{нрсв} = \frac{h_{ст}}{2\pi} \quad (28)$$

Для определения расчетной величины коэффициента несимметричности эпюры нормальных реакций  $k_{нсв}$  при свободном режиме качения колеса преобразуем выражение (25) с учетом соотношения (32), полученного из выражения (26)

$$\delta_{кп\text{ цмсв}} = \Delta_{нрсв} + 0,5 \quad (29)$$

В результате получим выражение

$$k_{нсв} = 1 - 8,4 \Delta_{нрсв} \quad (30)$$

При определении смещения центра нормальных реакций несимметричной эпюры относительно геометрического центра КП шины в ведомом режиме качения следует исходить из баланса моментов

$$R_x r_{ко} = M_{деф} + R_x (r_{ко} - r_{кс}), \quad (31)$$

где  $r_{ко}$  – радиус качения колеса в ведомом режиме.

В компактном виде выражение имеет вид

$$M_{деф} = R_x r_{кс}. \quad (32)$$

Это выражение можно представить в другом виде для выделения всех составляющих баланса моментов, действующих на колесо. Первая составляющая – это момент от пары сил, образованной продольной толкающей силой  $P_x$  и продольной реакцией  $R_x$  опорной поверхности и действующей на плече, отождествляющемся со статическим радиусом шины  $r_{ст}$ . Вторая составляющая – это момент от пары сил – нормальной нагрузки на колесо  $G_k$  и нормальной реакции опорной поверхности  $R_z$ , действующих на плече  $a_{нро}$ , отождествляющемся со смещением центра нормальных реакций КП шины при несимметричной форме эпюры. Эти две составляющих баланса моментов преодолевают момент сопротивления деформации шины  $M_{деф}$ .

Справедливым оказывается еще одно уравнение действующих и противодействующих моментов

$$M_{деф} = R_x r_{ст} + R_x (r_{кс} - r_{ст}) = R_x r_{ст} + R_z a_{нро}. \quad (33)$$

С учетом выражения (31) после преобразования уравнение (33) приобретает упрощенный вид

$$M_{\text{деф}} = \frac{M_{\text{деф}} r_{\text{ст}}}{r_{\text{кс}}} + R_z a_{\text{нр о}}. \quad (34)$$

Из этого выражения можно определить величину компонентного смещения центра нормальных реакций КП шины  $a_{\text{нр о}}$ , вызванного действием продольной силы

$$a_{\text{нр о}} = \frac{M_{\text{деф}}}{R_z} \left(1 - \frac{r_{\text{ст}}}{r_{\text{кс}}}\right). \quad (35)$$

Второй вариант представления баланса моментов определяется выражением

$$R_z a_{\text{нр св}} = \frac{M_{\text{деф}} r_{\text{ст}}}{r_{\text{кс}}} + R_z a_{\text{нр о}}, \quad (36)$$

исходя из предположения, что момент сопротивления деформации шины также вызывает смещение центра нормальных реакций КП шины на величину  $a_{\text{нр св}}$  (рис. 2)

$$M_{\text{деф}} = R_z a_{\text{нр св}}. \quad (37)$$

В результате преобразования выражения

$$R_z (a_{\text{нр св}} - a_{\text{нр о}}) = \frac{M_{\text{деф}} r_{\text{ст}}}{r_{\text{кс}}}. \quad (38)$$

Комплексное смещение центра нормальных реакций КП шины определяется следующим выражением

$$a_{\text{нр в}} = a_{\text{нр св}} - a_{\text{нр о}} = \frac{M_{\text{деф}} r_{\text{ст}}}{R_z r_{\text{кс}}}. \quad (39)$$

Третий вариант представления баланса моментов имеет вид

$$R_x r_{\text{ст}} = R_z a_{\text{нр в}}. \quad (40)$$

Откуда смещение центра нормальных реакций составляет величину

$$a_{\text{нр в}} = \frac{R_x r_{\text{ст}}}{R_z}, \quad (41)$$

или посредством момента сопротивления деформации шины

$$a_{\text{нр в}} = \frac{M_{\text{деф}} r_{\text{ст}}}{r_{\text{кс}} R_z}. \quad (42)$$

Ниже представлен расчетный пример определения коэффициента несимметричности эпюры, силовых и кинематических параметров качения тракторного колеса с шиной модели Goodyear OPTITRAC DT812 типоразмера 520/70R38, устанавливаемой на ведущие колеса трактора БЕЛАРУС 1523, при следующих исходных данных [12]: нормальная нагрузка на колесо  $G_k=19,5$  кН; динамический (статический) радиус колеса при нормальной (вертикальной) нагрузке и соответствующем внутреннем давлении воздуха в шине  $r_d=r_{\text{ст}}=0,782$  м; статический нормальный прогиб шины  $h_{\text{ст}}=0,094$  м; длина КП шины  $l_{\text{кп}}=0,737$  м; центральный угол КП шины на твердой опорной поверхности  $\alpha_k=0,881$  рад; коэффициент трения покоя элементов КП шины на опорной поверхности при полном отсутствии скольжения колеса  $\mu_{\text{пок}}=0,85$ ; коэффициент трения скольжения элементов КП шины на опорной поверхности при полном скольжении колеса  $\mu_{\text{ск}}=0,7$ .

Расчеты приведены в последовательности для свободного и ведомого режимов качения колеса.

Радиус качения колеса в свободном режиме

$$r_{\text{к св}} = \frac{l_{\text{кп}}}{\alpha_k}, \quad (43)$$

или получаем

$$r_{\text{к св}} = \frac{0,737}{0,881} = 0,837 \text{ м}$$

Момент сопротивления деформации шины при качении колеса в свободном режиме

$$M_{\text{деф}} = \frac{G_k h_{\text{ст}}}{2 \pi}, \quad (44)$$

откуда имеем

$$M_{\text{деф}} = \frac{19,5 \cdot 0,094}{2 \pi} = 0,292 \text{ кН} \cdot \text{м} = 0,2919 \text{ м}.$$

Он преодолевается приложенным к колесу крутящим моментом  $M_{\text{к деф}}=0,292$  кН·м.

Численное значение смещения центра нормальных реакций КП шины, как плеча действия результирующей нормальной реакции относительно оси колеса при его качении в свободном режиме, составляет по формуле (28)

$$a_{\text{нр в}} = \frac{94,0}{2 \pi} = 14,97 \text{ мм}.$$

Относительное смещение центра нормальных реакций КП шины от геометрического центра КП шины в свободном режиме качения колеса составляет

$$\Delta_{\text{нр св}} = \frac{a_{\text{нр св}}}{l_{\text{кп}}}, \quad (45)$$

или получаем

$$\Delta_{\text{нр в}} = \frac{14,97}{737,3} = 0,0203.$$

Расчетное значение коэффициента несимметричности эпюры нормальных реакций при качении колеса в свободном режиме составляет

$$k_{\text{н св}} = 1 - 8,4 \cdot 0,0203 = 0,8295$$

Продольная реакция опорной поверхности КП шины в ведомом режиме качения колеса, полученная из выражения (32), составляет

$$R_x = M_{\text{деф}} r_{\text{кв}} \quad (46)$$

откуда имеем

$$R_x = 0,292 \cdot 0,837 = 0,244 \text{ кН.}$$

Компонентное смещение  $a_{\text{нр о}}$  в ведомом режиме качения колеса в соответствии с выражением (35) составляет ничтожно малую величину

$$a_{\text{нр о}} = \frac{0,292}{19,5} \left( 1 - \frac{0,782}{0,837} \right) = 0,000984 \text{ м} = 0,0984 \text{ мм.}$$

Комплексное смещение центра нормальных реакций КП шины, определенное по формуле (39), составляет

$$a_{\text{нр в}} = \frac{0,292 \cdot 0,782}{19,5 \cdot 0,837} = 0,01399 \text{ м} = 13,99 \text{ мм.}$$

Численное значение смещения центра нормальных реакций КП шины в соответствии с выражением (42) равно

$$a_{\text{нр в}} = \frac{0,292 \cdot 0,782}{0,837 \cdot 19,5} = 0,01399 \text{ м} = 13,99 \text{ мм,}$$

что совпадает с результатом предыдущего расчета по формуле (39).

В относительном представлении смещение центра нормальных реакций КП шины по аналогии с выражением (35) применительно к свободному режиму качения колеса составляет

$$\Delta_{\text{нр в}} = \frac{0,01399}{0,837} = 0,0167.$$

Коэффициент несимметричности эпюры по аналогии с выражением (30) для свободного режима качения равен

$$k_{\text{н в}} = 1 - 8,4 \cdot 0,0013 = 0,9891.$$

**Результаты и обсуждение.** На рис. 2 представлена несимметричная эпюра относительных нормальных реакций, приведенная к продольной оси КП шины на опорной поверхности, и наложенная на эпюру схема смещения нормальной реакции опорной поверхности КП шины в свободном режиме качения колеса.

На рис. 3 представлена аналогичная по построению несимметричная эпюра и схема смещения нормальной реакции для ведомого режима качения колеса.

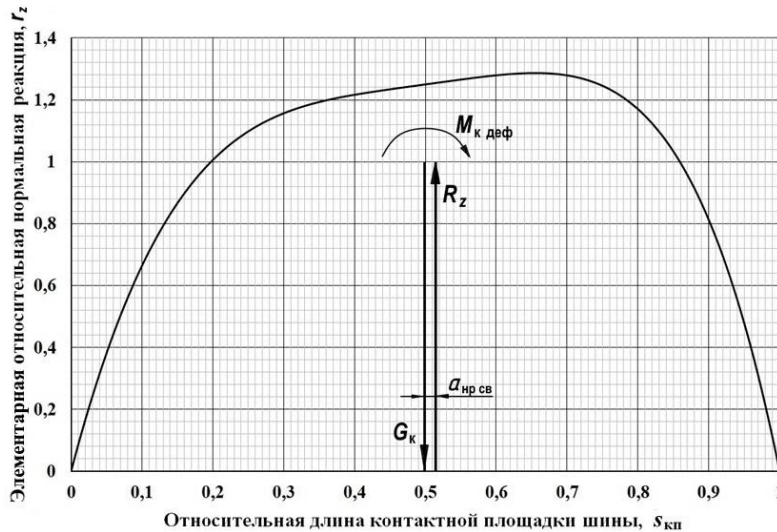


Рис. 2 – Схема смещения нормальной реакции опорной поверхности КП шины в свободном режиме качения колеса

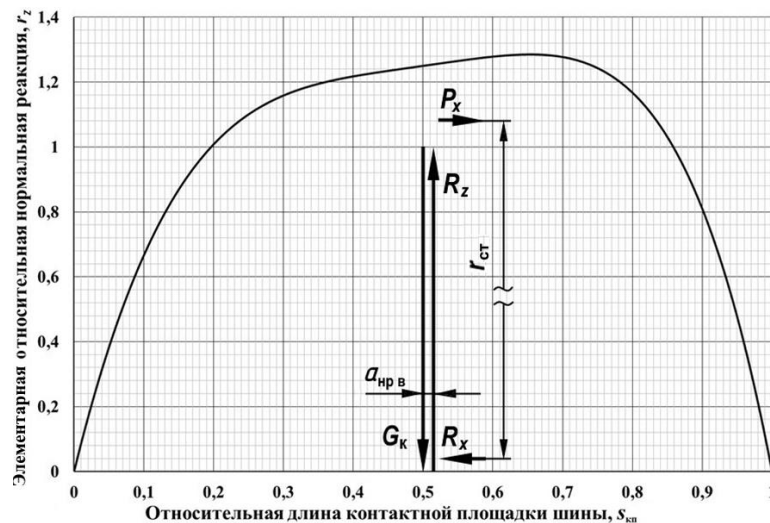


Рис. 3 – Схема смещения нормальной реакции опорной поверхности КП шины в ведомом режиме качения колеса

Наглядное сравнение двух эпюр, показывает, что в обоих режимах качения колеса смещение нормальной реакции опорной поверхности происходит в направлении поступательного движения колеса. При визуальном наблюдении наклоненная форма эпюр почти одинакова. Отличия малозаметны.

В свободном режиме качения колеса продольное смещение центра нормальных реакций опорной поверхности КП шины в направлении к переднему краю КП составляет: в относительном исчислении  $\Delta_{\text{нр св}}=0,0203$ , в абсолютном исчислении  $-a_{\text{нр св}}=14,96$  мм. Коэффициент несимметричности эпюры нормальных реакций составляет  $k_{\text{н}}=0,8295$ .

В ведомом режиме качения смещение центра нормальных реакций опорной поверхности КП шины в сторону переднего края КП составляет: в относительном выражении  $\Delta_{\text{нр в}}=0,0167$ , в абсолютном исчислении  $-a_{\text{нр в}}=13,99$  мм. Коэффициент несимметричности эпюры нормальных реакций составляет  $k_{\text{н}}=0,9891$ . Численные значения коэффициента скольжения колеса и коэффициента скольжения элементов КП шины составляют соответственно  $s_{\text{к}}=0,000652$  и  $s_{\text{ск}}=0,00464$ . Коэффициент продольной силы определяется численным значением  $k_{\text{Рк}}=0,0125$ .

**Выводы.** На основании анализа представленных выше фактов можно сделать следующие выводы:

- 1) представлена графоаналитическая модель формирования несимметричной эпюры относительных нормальных реакций, которая позволяет получить наглядное отображение переменной эпюры для расчета силовых параметров шины и колеса в свободном и ведомом режимах качения колеса;
- 2) разработана методика определения силовых и кинематических параметров с учетом несимметричности эпюры нормальных реакций опорной поверхности контактной площадки шины;
- 3) апробированную методику рекомендуется использовать для расчета параметров качения колес тракторов в составе транспортно-технологических агрегатов при различных дорожных условиях движения, отличающихся сцепными свойствами шин.

### Библиография

1. Козлов Ю.Н., Сальников В.И., Барашков А.А., Балакина Е.В. Определение взаимного положения зон разного трения в пятне контакта шины с опорной поверхностью // Автомобильная промышленность. – 2014. – № 7. – С. 15–17.
2. Балакина Е.В., Зотов Н.М. Расчет продольного сноса нормальной реакции на колесо из-за упругих угловых деформаций шины // Автомобильная промышленность. – 2015. – № 4. – С. 25–26.
3. Копотилов В.И. Смещение пятна контакта шины как фактор изменения сопротивления качению // Грузовик. – 2016. – № 4. – С. 26–30.
4. Луан Ле Ван, Федотов А.И. Математическая модель для расчета нормальных и касательных напряжений в пятне контакта колеса с эластичной шиной с плоской опорной поверхностью // Состояние и перспективы развития социально-культурного и технического сервиса: материалы II Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. В 2 ч. Ч. 1. Бийск : Изд-во Алт. гос. техн. ун-та. 2014. – С. 139–144.
5. Максимов Е.А., Устиновский Е.П. Математическое моделирование силовых и кинематических параметров для ведомого, ведущего и тормозящего колес // Проблемы механики и управления. Нелинейные механические системы: Межвузовский сборник научных трудов. 2020. Вып. 52. – С. 52–67.
6. Богомолов В.А. Расчетное распределение давлений в пятне контакта шины с поверхностью дорожной одежды // Вестник ХНАДУ. – 2016. – Вып. 72. – С. 143–150.
7. Алипов А.А. Беляков В.В., Блохин А.Н., Зезюлин Д.В. Распределение давлений в контакте шины с дорогой // Вестник ИЖГТУ. – 2011. – № 1 (49). – С. 15–18.
8. Романченко М.И. Моделирование параметров свободного и ведущего режимов качения колеса с учетом несимметричности эпюры нормальных реакций // Тракторы и сельхозмашины. – 2021. – Т. 88, № 2. – С. 34–44.
9. Романченко М.И. Моделирование параметров свободного, ведомого и тормозного режимов качения колеса с учетом несимметричности эпюры нормальных реакций // Грузовик. – 2021. – № 7. – С. 31–40.
10. Романченко М.И. Балансы энергии, мощности, моментов и сил при качении колеса в ведомом, нейтральном и тормозном режимах на основе линейных и угловых перемещений точек шины и колеса // Грузовик. – 2022. – № 10. – С. 24–31.
11. Романченко М.И. Сопротивление деформации шины при качении колеса // Автомобильная промышленность. – 2009. – № 7. – С. 20–23.
12. Шины для тракторов, сельскохозяйственных машин и лесозаготовительной техники Goodyear OPTITRAC DT812 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.teh-center.ru/index.php?productID=1322> (дата обращения 08.06.2023).

### Reference

1. Kozlov Yu.N. Sal'nikov V.I., Barashkov A.A., Balakina E.V. Opredelenie vzaimnogo polozheniya zon raznogo treniya v pyatne kontakta shiny s opornoj poverhnost'yu [Determination of the relative position of the zones of different friction in the contact spot of the tire with the support surface] // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 2014. – № 7. – S. 15–17.
2. Balakina E.V., Zotov N.M. Raschet prodol'nogo snosa normal'noj reakcii na koleso iz-za uprugih uglovyh deformacij shiny [Calculation of the longitudinal drift of the normal reaction to the wheel due to elastic angular deformations of the tire] // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 2015. – № 4. – S. 25–26.
3. Kopotilov V.I. Smeshchenie pyatna kontakta shiny kak faktor izmeneniya soprotivleniya kacheniyu [Tire contact spot displacement as a factor of rolling resistance change] // Gruzovik. – 2016. – № 4. – S. 26–30.
4. Luan Le Van, Fedotov A.I. Matematicheskaya model' dlya rascheta normal'nyh i kasatel'nyh napryazhenij v pyatne kontakta kolesa s elastichnoj shinoy s ploskoj opornoj poverhnost'yu [Mathematical model for calculating normal and tangential stresses in the contact spot of a wheel with an elastic tire with a flat support surface] // Sostoyanie i perspektivy razvitiya social'no-kul'turnogo i tekhnicheskogo servisa : materialy II Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii s mezhdunarodnym uchastiem. V 2 ch. Ch. 1. Bijsk : Izd-vo Alt. gos. tekhn. un-ta, 2014. – S. 139–144.
5. Maksimov E.A., Ustinovskij E.P. Matematicheskoe modelirovanie silovyh i kinematicheskikh parametrov dlya vedomogo, vedushchego i tormozyashchego koles [Mathematical modeling of power and kinematic parameters for driven, driving and braking wheels] // Problemy mekhaniki i upravleniya. Nelinejnye mekhanicheskie sistemy: mezhvuzovskij sbornik nauchnyh trudov. 2020. – Vyp. 52. – S. 52–67.
6. Bogomolov V.A. Raschetnoe raspredelenie davlenij v pyatne kontakta shiny s poverhnost'yu dorozhnoj odezhdy [Calculated pressure distribution in the contact spot of the tire with the road surface] // Vestnik HNADU. – 2016. – Vyp. 72. – S. 143–150.

7. Alipov A.A. Belyakov V.V., Blohin A.N., Zezyulin D.V. Raspredelenie davlenij v kontakte shiny s dorogoj [Pressure distribution in tire-road contact] // Vestnik IZHGTU. – 2011. – № 1 (49). – S. 15–18.
8. Romanchenko M.I. Modelirovanie parametrov svobodnogo i vedushchego rezhimov kacheniya koleasa s uchedom nesimmetrichnosti epury normal'nyh reakcij [Modeling of the parameters of the free and driving rolling modes of the wheel, taking into account the asymmetry of the normal reaction diagram] // Traktory i sel'hozmashiny. – 2021. – T. 88, № 2. – S. 34–44.
9. Romanchenko M.I. Modelirovanie parametrov svobodnogo, vedomogo i tormoznogo rezhimov kacheniya koleasa s uchedom nesimmetrichnosti epury normal'nyh reakcij [Modeling of parameters of wheel free, driven and braking rolling modes taking into account asymmetry of normal reaction diagram] // Gruzovik. – 2021. – № 7. – S. 31–40.
10. Romanchenko M.I. Balansy energii, moshchnosti, momentov i sil pri kachenii koleasa v vedomom, nejtral'nom i tormoznom rezhimah na osnove linejnyh i uglovyh peremeshchenij toчек shiny i koleasa [Balances of energy, power, moments and forces during wheel rolling in driven, neutral and braking modes based on linear and angular movements of tire and wheel points] // Gruzovik. – 2022. – № 10. – S. 24–31.
11. Romanchenko M.I. Soprotivlenie deformacii shiny pri kachenii koleasa [Resistance to tire deformation when the wheel is rolling] // Avtomobil'naya promyshlennost'. – 2009. – № 7. – S. 20–23.
12. Shiny dlya traktorov, sel'skohozyajstvennyh mashin i lesozagotovitel'noj tekhniki Goodyear OPTITRAC DT812 [Tires for tractors, agricultural machinery and logging equipment Goodyear OPTITRAC DT812]. [Elektronnyj resurs]. Rezhim dostupa: <http://www.teh-center.ru/index.php?productID=1322> (data obrashcheniya 08.06.2023).

#### **Сведения об авторах**

Романченко Михаил Иванович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры технического сервиса в агропромышленном комплексе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-29-35, e-mail: romanchenko\_mi@bsaa.edu.ru.

#### **Information about the authors**

Romanchenko Mikhail I., candidate of technical sciences, associate professor, associate professor, department of technical service in agro-industrial, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, p. Mayskiy, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, phone +7 4722 39-29-35, e-mail: romanchenko\_mi@bsaa.edu.ru.



УДК 629.054

Е.П. Тимашов

## ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА СЕБЕСТОИМОСТИ УСТРОЙСТВА АВТОМАТИЧЕСКОЙ СМАЗКИ ИГОЛЬЧАТЫХ ПОДШИПНИКОВ

**Аннотация.** Актуальность поддержания надлежащего технического состояния парка машинно-тракторных агрегатов не вызывает сомнений. Агрегаты и узлы транспортных и технологических машин нуждаются в постоянном совершенствовании для обеспечения высоких эксплуатационных показателей, а также для повышения их надежности. В этих условиях возрастает значимость новых разработок в системе машиностроения. Внедрение новых разработок и технологических процессов должно иметь технико-экономическое обоснование и производственную применимость. В исследовании рассматривается конструкция карданных шарниров, обеспечивающая смазку игольчатых подшипников в автоматическом режиме. Цель исследования – технико-экономическое обоснование внедрения конструкции карданного шарнира с устройством для автоматической смазки игольчатых подшипников. Разработана конструкция крестовины карданного шарнира с автоматической системой смазки, полученная конструкторская и технологическая документация позволила составить смету расхода материалов и времени для экономической оценки. Изготовление такой крестовины карданного шарнира требует внесения изменений в конструкцию стандартной крестовины, поэтому, на начальном этапе технико-экономической оценки проведен сравнительный конечно-элементный анализ ее напряженно-деформированного состояния. Результаты анализа показали, что по максимальным эквивалентным напряжениям, жесткости и коэффициенту запаса усталостной прочности предлагаемая конструкция не уступает серийному варианту. Общие затраты на изготовление карданного шарнира с автоматической системой смазки составляют 613,92 руб., что на 61,5% больше стоимости стандартной крестовины. Однако если привести расходы к стоимости карданного вала в сборе, то в этом случае стоимость будет превышать стандартный вариант на 4,3%. Такое повышение себестоимости оправдано экономическим эффектом от снижения эксплуатационных издержек за счет увеличения ресурса на 67...88%.

**Ключевые слова:** автоматическая смазка, игольчатый подшипник, надежность, себестоимость.

## TECHNICAL AND ECONOMIC COST EVALUATION OF AUTOMATIC LUBRICATING DEVICE FOR NEEDLE BEARINGS

**Abstract.** The relevance of maintaining the proper technical condition of the fleet of machine and tractor units is beyond doubt. Units and assemblies of transport and technological machines need constant improvement to ensure high performance, as well as to increase their reliability. Under these conditions, the importance of new developments in the system of mechanical engineering increases. The introduction of new developments and technological processes must have a feasibility study and industrial applicability. The study considers the design of cardan joints, which provides lubrication of needle bearings in automatic mode. The purpose of the study is a feasibility study for the introduction of a cardan joint design with a device for automatic lubrication of needle bearings. The design of the universal joint cross with an automatic lubrication system was developed, the obtained design and technological documentation made it possible to draw up an estimate of the consumption of materials and time for economic evaluation. The manufacture of such a universal joint cross requires changes in the design of a standard cross, therefore, at the initial stage of the feasibility study, a comparative finite element analysis of its stress-strain state was carried out. The results of the analysis showed that the proposed design is not inferior to the serial version in terms of maximum equivalent stresses, stiffness and fatigue safety factor. The total cost of manufacturing a cardan joint with an automatic lubrication system is 613.92 rubles, which is 61.5% more than the cost of a standard cross. However, if we bring the costs to the cost of the cardan shaft assembly, then in this case the cost will exceed the standard option by 4.3%. Such an increase in the cost is justified by the economic effect of reducing operating costs by increasing the resource by 67...88%.

**Keywords:** automatic lubrication, needle bearing, reliability, cost.

**Введение.** В обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации ключевую роль играет состояние парка машинно-тракторных агрегатов. Агрегаты и узлы транспортных и технологических машин нуждаются в постоянном совершенствовании для обеспечения высоких эксплуатационных показателей, а также для повышения их надежности [1-7]. В этих условиях возрастает значимость работы конструкторских отделов и научных учреждений системы сельскохозяйственного машиностроения.

Кроме упомянутых структур, немаловажную роль играют ремонтные заводы и мастерские в хозяйствах, особенно в сложных условиях снабжения запчастями и расходными материалами для техники иностранного производства. В ремонтном производстве возрождаются и разрабатываются новые способы восстановления изношенных деталей, создаются новые приспособления для механизации и автоматизации операций технического обслуживания [8-13].

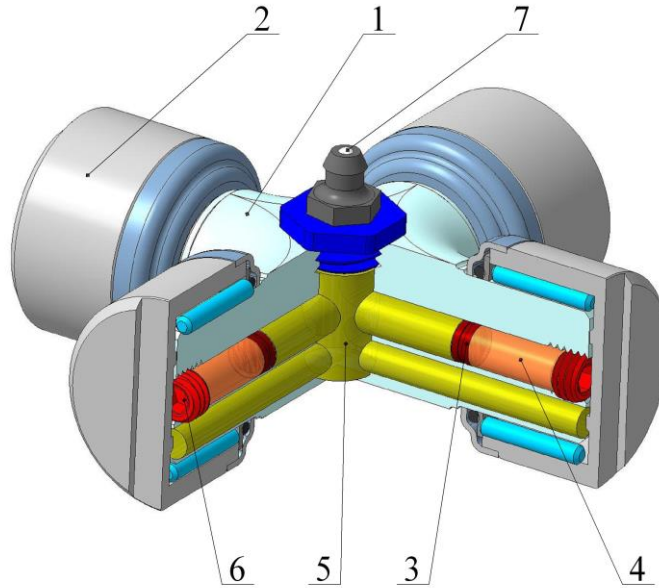
Внедрение новых разработок и технологических процессов в ремонтное производство должно иметь технико-экономическое обоснование на основе оценки себестоимости внедрения. В этом исследовании рассматривается конструкция карданных шарниров, широко применяющихся в сельскохозяйственном машиностроении, обеспечивающая смазку игольчатых подшипников в автоматическом режиме.

Цель исследования – технико-экономическое обоснование внедрения конструкции карданного шарнира с устройством для автоматической смазки игольчатых подшипников.

**Материал и методы.** Объект исследования – техническое решение по патенту Российской Федерации RU 2453744. Исследование проведено на основе разработанного маршрутно-операционного технологического процесса изготовления крестовины, использована информация Интернет-сайтов производителей товаров и услуг. Применены методики расчета трудоемкости операций механической обработки и методики определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники.

**Результаты исследования и обсуждения.** Игольчатые подшипники карданных шарниров имеют особенность одностороннего восприятия нагрузки в совокупности с работой в качательном режиме. Это приводит к локальному нагреву и интенсивному изнашиванию, а отсутствие полного вращения деталей игольчатых подшипников не позволяет им эффектив-

но смазываться [14-16]. В рассматриваемом устройстве энергия локального нагрева игольчатых подшипников использована для автоматического перемещения и смены пластичной смазки в игольчатых подшипниках [17]. Для этого в теле крестовины выполнены дополнительные каналы, резьба, а в конструкцию добавлены поршни, наполнитель и заглушки (рисунок 1).



1 – крестовина; 2 – игольчатый подшипник; 3 – поршень; 4 – наполнитель;  
5 – резервуар для смазки; 6 – заглушка; 7 – пресс-масленка

**Рис. 1 – Устройство карданного шарнира с автоматической системой смазки**

Основным свойством наполнителя является его способность к увеличению в объеме при повышении температуры. В качестве наполнителя целесообразно использовать нефтяной воск – церезин, по аналогии с наполнителем клапана-термостата системы охлаждения двигателя внутреннего сгорания.

В случае наступления предельного состояния любого из игольчатых подшипников происходит критическое повышение его температуры, что приводит к расширению наполнителя в канале, при этом наполнитель оказывает давление на поршень и на смазку в резервуаре, в результате чего происходит нагнетание свежей смазки в игольчатые подшипники. Избыток свежей смазки вытесняется из игольчатых подшипников отработанную смазку через их уплотнения. Когда температура подшипниковых узлов снижается, в полость крестовины через пресс-масленку втягивается атмосферный воздух.

Изготовление такой крестовины карданного шарнира требует внесение изменений в конструкцию стандартной крестовины, поэтому, на начальном этапе технико-экономической оценки проведен сравнительный конечно-элементный анализ ее напряженно-деформированного состояния. Результаты анализа показали, что по максимальным эквивалентным напряжениям, жесткости и коэффициенту запаса усталостной прочности предлагаемая конструкция не уступает серийному варианту [18].

Для расчета экономических показателей предлагаемой конструкции разработаны технологические процессы ее изготовления и комплект технологической документации. В качестве заготовки крестовины предлагается использование стандартной новой или восстановленной детали. Для этого существующие осевые отверстия в крестовине необходимо подвергнуть механической обработке и выполнить нарезание резьбы. Кроме этого, необходимо выполнить дополнительные каналы для смазки. Так как, торцевые поверхности шипов имеют твердость порядка 52...55 HRC, то необходимо использовать твердосплавные сверла (3512 HL OSAWA), фрезы (UH 600 OSAWA) и метчики (ONBWA5). Для выполнения всех операций механической обработки, подобрано оборудование – станок с ЧПУ LEADWELL V-120i.

Для изготовления поршней предлагается использовать Фторопласт-4 П ГОСТ 10007-80, для изготовления футорки пресс-масленки – конструкционную сталь. В качестве заглушек использовать стандартные винты М8×5 ГОСТ 11074-93. Материалы конструкции – смазка №158 ГОСТ 23258-78, фиксатор резьбы RC42 ANAEROBIC ADHESIVE, наполнитель - церезин ГОСТ 2488-79. На основании разработанной конструкторской и технологической документации составлена смета расхода материалов и затраты времени для экономической оценки.

Для крестовины карданного шарнира по ГОСТ Р 52923-2008 типа 3, ряда III, общие затраты в расчете на один карданный шарнир

$$C_C = O_T + C_M + \frac{O_T \times H_P}{100}, \quad (1)$$

где  $C_C$  – себестоимость изготовления, руб.;  $O_T$  – оплата труда, руб.;  $C_M$  – стоимость материалов, руб.;  $H_P$  – накладные расходы, % (примем  $H_P=10\%$ ).

Размер затрат на оплату труда

$$O_T = (T_H + T_C) \times K_C \times C_q, \quad (2)$$

где  $T_H$  – трудоемкость изготовления деталей, чел.-ч;  $T_C$  – трудоемкость сборочных операций, чел.-ч.

Себестоимость материалов

$$C_M = C_K + C_P + C_3, \quad (3)$$

где  $C_K$  – стоимость крестовины в сборе, руб.;  $C_P$  – стоимость расходных материалов, руб.;  $C_3$  – стоимость заготовок, руб.

Трудоемкость изготовления с учетом трудоемкости сборочных операций по маршрутно-операционному технологическому процессу равна  $T_{II} = 0,465$  ч;  $T_C = 0,06$  ч.

Приняв величину почасовой оплаты труда 215,6 руб., рассчитаем размер оплаты труда

$$O_T = (0,465 + 0,06) \times 1,3 \times 215,6 = 147,15 \text{ руб.}$$

В таблице 1 приведен расчет себестоимости материалов.

**Таблица 1 – Расчет себестоимости материалов крестовины**

№	Наименование	Стоимость, руб
1	Крестовина в сборе	380,0
2	Смазка № 158 ГОСТ 23258-78	38,25
3	Фиксатор резьбы RC42 ANAEROBIC ADHESIVE	26,0
4	Пруток фторопластовый ГОСТ 10007-80	2,97
5	Шестигранник	2,77
6	Винт М8 х 5 ГОСТ 11074-93	1,00
7	Церезин ГОСТ 2488-79	1,06
Итого		452,05

Общие затраты на изготовление равны

$$C_P = 147,15 + 452,05 + \frac{147,15 \times 10}{100} = 613,92 \text{ руб.}$$

Таким образом, общие затраты на изготовление карданного шарнира с автоматической системой смазки составляют 613,92 руб., что на 61,5% больше стоимости стандартной крестовины.

Выполним приведение полученных расходов к стоимости карданного вала в сборе: розничная стоимость карданного вала МТЗ-82.1 составляет 10945 руб., расходы на доработку двух крестовин равны  $(613,92 - 380) \times 2 = 467,84$  руб. В этом случае стоимость карданного вала в сборе будет превышать стандартный вариант на 4,3%. Повышение себестоимости оправдано экономическим эффектом от снижения эксплуатационных издержек за счет увеличения ресурса на 67...88% [18, 19].

**Выводы.** В результате обобщения представленных выше результатов можно сделать следующие выводы.

1. Выполнено технико-экономическое обоснование внедрения конструкции карданного шарнира с устройством для автоматической смазки игольчатых подшипников.
2. Разработана конструкция крестовины карданного шарнира с автоматической системой смазки, подготовлена конструкторская и технологическая документация.
3. Выполнена оценка затрат на изготовление крестовины с автоматической системой смазки, превышающие на 61,5% стоимость стандартной крестовины, при этом увеличение себестоимости карданного вала в сборе составит 4,3%, что не снижает технического и экономического эффекта от внедрения с учетом прогнозируемого увеличения ресурса на 67...88%.
4. Представленные результаты подтверждают промышленную применимость и технико-экономическую эффективность конструкции карданного шарнира с автоматической системой смазки.

### Библиография

1. Пастухов А.Г. Повышение надежности агрегатов механических трансмиссий сельскохозяйственной техники (на примере карданных передач) // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 101. С. 60–63.
2. Пастухов А.Г. Повышение долговечности карданных шарниров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 4. С. 24–25.
3. Пастухов А.Г. Обеспечение эффективной эксплуатации грузовых автомобилей путем повышения надежности карданных передач // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2010. № 1 (22). С. 13–19.
4. Erokhin M., Kazantsev S., Pastukhov A. Operability assessment of drive shafts of John Deere tractors in operational parameters // Engineering for Rural Development. Vol 17 / Latvia University of Life Sciences and Technologies / Jelgava, 2019 / Proceedings. Pp. 28–33. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N032/.
5. Gligorić R., Ašonja A., Pastukhov A., Kuznetsov Y., Degtyarev M., Molnar T. Measuring of reliability of cardan shaft // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 368–374.
6. Gabitov I., Negovora A., Nigmatullin S. [et al.]. Development of a method for diagnosing injectors of diesel engines // Komunikacie. – 2021. – Vol. 23. – № 1. – P. 46–57. – DOI 10.26552/COM.C.2021.1.B46-B57.
7. Procedure for Determining the Limit State Parameters of John Deere Tractor Transmission Units / M.N. Erokhin, A.G. Pastukhov, S.P. Kazantsev, I.N. Kravchenko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 27–28 августа 2020 года. – Zernograd, Rostov Region, 2021. – P. 012029. – DOI 10.1088/1755-1315/659/1/012029.
8. Ковалев, А.Н. Совершенствование стенда для разборки и сборки двигателей внутреннего сгорания / А.Н. Ковалев, А.В. Сахнов // Материалы международной студенческой научной конференции, Белгород, 31 марта – 01 апреля 2015 года. Том 2. – Белгород : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2015. – С. 42.
9. Скурятин, Н.Ф. Модернизация посевной секции сеялки пропашных культур / Н.Ф. Скурятин, П.П. Курсенко, А.В. Сахнов // Техника в сельском хозяйстве. – 2008. – № 4. – С. 6–8.

10. Клименко, В.О. Совершенствование стэнда для ремонта агрегатов машин / В.О. Клименко, А.В. Сахнов // *Материалы международной студенческой научной конференции, п. Майский, 07–08 февраля 2017 года. Том 2.* – п. Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2017. – С. 37.
11. Шишкин, Е.В. Разработка устройств для наплавки полуосей / Е.В. Шишкин, А.В. Сахнов // *Материалы международной студенческой научной конференции, Белгород, 31 марта – 01 апреля 2015 года. Том 2.* – Белгород : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2015. – С. 53.
12. Сахнов, А.В. Пыльник для герметизации шарнирных соединений / А.В. Сахнов // *Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее : Материалы XXIV Международной научно-производственной конференции. В 2 томах, Майский, 27–28 мая 2020 года. Том 1.* – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2020. – С. 67–68.
13. Высочин, Д.В. Способ ремонта шарниров равных угловых скоростей / Д.В. Высочин, А.В. Сахнов // *Горинские чтения. Инновационные решения для АПК : Материалы Международной студенческой научной конференции, Майский, 24–25 февраля 2021 года. Том 3.* – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. – С. 100.
14. Пастухов, А.Г. Технология термометрического неразрушающего контроля агрегатов механических трансмиссий / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов // *Агроинженерия.* – 2020. – № 2 (96). – С. 33–39.
15. Pastukhov, A.G. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint / A.G. Pastukhov, E.P. Timashov // *Traktori i Pogonske Mašine.* – 2018. – Vol. 23, № 1–2. – P. 43–50.
16. Тимашов, Е.П. Моделирование температурного режима подшипникового узла карданного шарнира / Е.П. Тимашов // *Инновации в АПК: проблемы и перспективы.* – 2019. – № 2 (22). – С. 87–100.
17. Патент № 2453744 С1 Российская Федерация, МПК F16D 3/41, F16C 11/06, F16D 3/28. Карданный шарнир и способ его технического обслуживания: № 2011108594/11: заявл. 04.03.2011: опубл. 20.06.2012 / А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов, А.В. Ефимцев; заявитель Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Белгородская государственная сельскохозяйственная академия».
18. Тимашов, Е.П. Исследование напряженно-деформированного состояния ремонтпригодной крестовины карданного шарнира / Е.П. Тимашов, А.Г. Пастухов // *Труды ГОСНИТИ.* – 2013. – Т. 112, № 2. – С. 100–105.
19. Пастухов, А.Г. Разработка и оценка ресурса карданного шарнира повышенной ремонтпригодности / А.Г. Пастухов // *Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения.* – 2003. – № 1 (2). – С. 200–207.

#### References

1. Pastukhov A.G. Povy'shenie nadezhnosti agregatov mexanicheskix transmissij sel'skoxozyajstvennoj texniki (na primere kardanny'x peredach) [Increase of reliability of units of mechanical transmissions of agricultural machinery (on the example of gimbals)]. *Trudy GOSNITI*, 2008. T. 101. S. 60–63.
2. Pastukhov A.G. Povy'shenie dolgovechnosti kardanny'x sharnirov [Increase of durability of cardan joints]. *Mexanizaciya i elektrifikaciya sel'skogo xozyajstva*. 2007. № 4. S. 24–25.
3. Pastukhov A.G. Obespechenie e'ffektivnoj e'kspluatacii gruzovy'x avtomobilej putem pov'y'sheniya nadezhnosti kardanny'x peredach [Ensuring efficient operation of trucks by improving the reliability of gimbal transmission]. *Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2010. № 1 (22). S. 13–19.
4. Erokhin M., Kazantsev S., Pastukhov A. Operability assessment of drive shafts of john deere tractors in operational parameters // *Engineering for Rural Development. Vol 17 / Latvia University of Life Sciences and Technologies / Jelgava, 2019 / Proceedings.* Pp. 28–33. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N032/.
5. Glišorić R., Ašonja A., Паcтyхов А., Kuznetsov Y., Degtyarev M., Molnar T. Measuring of reliability of cardan shaft // *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2014. № 1 (1). 368–374.
6. Gabitov I., Negovora A., Nigmatullin S. [et al.]. Development of a method for diagnosing injectors of diesel engines // *Komunikacie.* – 2021. – Vol. 23. – № 1. – P. 46–57. – DOI 10.26552/COM.C.2021.1.B46-B57.
7. Procedure for Determining the Limit State Parameters of John Deere Tractor Transmission Units / M.N. Erokhin, A.G. Pastukhov, S.P. Kazantsev, I.N. Kravchenko // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Zernograd, Rostov Region, 27–28 августа 2020 года.* – Zernograd, Rostov Region, 2021. – P. 012029. – DOI 10.1088/1755-1315/659/1/012029.
8. Kovalev, A.N. Sovershenstvovaniye stenda dlya razborki i sborki pishchevykh produktov [Improvement of the stand for disassembly and assembly of internal combustion engines] / A.N. Kovalev, A.V. Sakhnov // *Materialy mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii, Belgorod, 31 marta – 01 04 2015 goda. Tom 2.* – Belgorod : Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.YA. Gorina, 2015. – P. 42.
9. Skuryatin, N.F. Modernizatsiya posevnoy sektsii seyalki propashnykh kul'tur [Modernization of the sowing section of row crops seeder] / N.F. Skuryatin, P.R. Kursenko, A.V. Sakhnov // *Tekhnika v sel'skom khozyaystve.* – 2008. – № 4. – Pp. 6–8.
10. Klivenko, V.O. Sovershenstvovaniye stenda dlya remonta agregatov mashin [Improvement of the stand for the repair of machine units] / V.O. Klivenko, A.V. Sakhnov // *Materialy mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii, s. Mayskiy, 07–08 fevralya 2017 goda. Tom 2.* – Mayskiy : Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.YA. Gorina, 2017. – P. 37.
11. Shishkin, Ye.V. Razrabotka ustroystva dlya naplavki poluosey [Development of a device for surfacing semiaxes] / Ye.V. Shishkin, A.V. Sakhnov // *Materialy mezhdunarodnoy studencheskoy nauchnoy konferentsii, Belgorod, 31 marta – 01 04 2015 goda. Tom 2.* – Belgorod : Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.YA. Gorina, 2015. – P. 53.
12. Sakhnov, A.V. Pyl'nik dlya germetizatsii sustavnykh soyedineniy [Dust for sealing hinged joints] / A.V. Sakhnov // *Innovatsionnyye resheniya v agrarnoy nauke – vzglyad v budushcheye : Materialy XXIV mezhdunarodnoy nauchno-proizvodstvennoy konferentsii. V 2 tomakh, Mayskiy, 27–28 maya 2020 goda. Tom 1.* – Mayskiy : Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.YA. Gorina, 2020. – Pp. 67–68.
13. Vysochin, D.V. Sposob remonta sharnirno-krutykh uglovykh skorostey [A method of repairing equal angular velocity hinges] / D.V. Vysochin, A.V. Sakhnov // *Gorinskiye chteniya. Innovatsionnyye resheniya dlya APK: Materialy spetsial'noy studencheskoy nauchnoy konferentsii, Mayskiy, 24–25 fevralya 2021 goda. Tom 3.* – Mayskiy : Belgorodskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet imeni V.YA. Gorina, 2021. – P. 100.

14. Pastukhov, A.G. Tekhnologiya termometricheskogo nerazrushayushchego kontrolya agregatov mekhanicheskikh transmissiy [Technology of thermometric non-destructive testing of mechanical transmission units] / A.G. Pastukhov, E.P. Timashov // *Agroinzheneriya*. – 2020. – № 2 (96). – Pp. 33–39.

15. Pastukhov, A.G. Analytical model of temperature condition elementary interface of the cardan joint / A.G. Pastukhov, E.P. Timashov // *Traktori i Pogonske Mašine*. – 2018. – Vol. 23, № 1-2. – P. 43–50.

16. Timashov, E.P. Modelirovaniye temperaturnogo rezhima podshipnikov uzla kardannogo sharnira [Modeling the temperature regime of the cardan bearing unit] / E.P. Timashov // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. – 2019. – № 2 (22). – Pp. 87–100.

17. Patent № 2453744 C1 Rossiyskaya Federatsiya, MPK F16D 3/41, F16C 11/06, F16D 3/28. Kardanny sharnir i sposob yego tekhnicheskogo obsluzhivaniya [Cardan joint and method of its maintenance]: № 2011108594/11: zayavl. 04.03.2011: opubl. 20.06.2012 / A.G. Pastukhov, E.P. Timashov, A.V. Yefimtsev; zayavitel' Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vysshego professional'nogo obrazovaniya «Belgorodskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaystvennaya akademiya».

18. Timashov, E.P. Issledovaniye stress-deformirovannogo sostoyaniya remontprigodnoy krestoviny kardannogo sharnira [Investigation of the stress-strain state of a repairable universal joint cross] / E.P. Timashov, A.G. Pastukhov // *Trudy GOSNITI*. – 2013. – T. 112, № 2. – Pp. 100–105.

19. Pastukhov, A.G. Razrabotka i otsenka resursa kardannogo sharnira povyshennoy remontprigodnosti [Development and evaluation of the resource of a universal joint of increased maintainability] / A.G. Pastukhov // *Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' sel'skokhozyaystvennogo mashinnogo naznacheniya*. – 2003. – № 1 (2). – Pp. 200–207.

#### **Сведения об авторе**

Тимашов Евгений Петрович, доктор технических наук, доцент кафедры технической механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-12-33, e-mail: timachov@mail.ru.

#### **Information about author**

Timashov Evgeny Petrovich, doctor of technical sciences, docent of the department of technical mechanics and construction of machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», str. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, telephone +7 4722 39-12-33, e-mail: timachov@mail.ru.

УДК 669.018.95:621.791.92:001.891

Н.В. Титов, А.В. Коломейченко, В.Н. Логачев, П.Н. Грызин, В.В. Гаврилин

### ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА РАБОЧИХ ОРГАНОВ ПЛУГОВ, ИМЕЮЩИХ ЛУЧЕВИДНЫЙ ИЗНОС, КАРБОВИБРОДУГОВЫМ УПРОЧНЕНИЕМ

**Аннотация.** В работе показана эффективность использования карбовибродугового упрочнения с применением многокомпонентных паст, содержащих матричный порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе, для повышения ресурса рабочих органов плугов, имеющих лучевидный износ. Исследованы микроструктура и фазовый состав металлокерамических покрытий, формируемых при карбовибродуговом упрочнении, выявлено распределение их микротвердости от поверхности до металлической подложки. В металлокерамическом покрытии, полученном при опытном упрочнении, выделяются две характерные зоны – основная и переходная. Сформированное покрытие плотное, практически не имеет дефектов, характеризуется минимальной пористостью. В результате проведенных исследований установлено, что основная зона покрытия представляет собой композиционный материал, в котором твердосплавные частицы (упрочняющие фазы  $\text{CrFe}_4$  и  $\text{B}_{0,7}\text{Fe}_3\text{C}_{0,3}$ ) находятся в матрице, представляющей собой твердый раствор углерода в железе в виде  $\text{Fe}_{1,88}\text{C}_{0,12}$  и  $\text{Fe}_{1,945}\text{C}_{0,035}$ . Переходная зона покрытия не имеет явно выраженной области раздела структурных составляющих, что указывает на его хорошую прочность сцепления с материалом основы. Микротвердость вблизи поверхности покрытия достигает значений 1015...1020 HV, по мере приближения к подложке она снижается и на границе раздела покрытия с подложкой составляет 780...790 HV. Проведенные полевые эксплуатационные испытания позволили установить, что ресурс грудей отвалов оборотных плугов компании KUHN, упрочненных в зоне лучевидного износа, увеличивается в среднем в 2,3 раза по сравнению с серийными изделиями. Таким образом, использование предлагаемого вида упрочнения позволит снизить потребность сельских товаропроизводителей в приобретении дорогостоящих запасных частей, особенно к почвообрабатывающей технике зарубежного производства и будет способствовать решению проблемы импортозамещения.

**Ключевые слова:** карбовибродуговое упрочнение, ресурс, плуг, лучевидный износ, металлокерамическое покрытие, упрочняющие фазы.

### INCREASING THE RESOURCE OF THE WORKING BODIES OF PLOWS WITH RADIAL WEAR BY CARBO AND FORD ARC HARDENING

**Abstract.** The article shows the effectiveness of the use of carbo-vibro-arc hardening with the use of multicomponent pastes containing iron-based matrix powder ПГ-ФБХ6-2 to increase the resource of working bodies of plows with radial wear. The microstructure and phase composition of metal-ceramic coatings formed during of carbo-vibro-arc hardening have been studied, and the distribution of their microhardness from the surface to the metal substrate has been revealed. Two characteristic zones are distinguished in the ceramic-metal coating obtained by carbo-vibro-arc hardening, the main and transition zones. The formed coating is dense, has practically no defects, and is characterized by minimal porosity. As a result of the research, it was found that the main coating zone is a composite material in which hard-alloy particles (hardening phases  $\text{CrFe}_4$  and  $\text{B}_{0,7}\text{Fe}_3\text{C}_{0,3}$ ) are in a matrix that is a solid solution of carbon in iron in the form of  $\text{Fe}_{1,88}\text{C}_{0,12}$  and  $\text{Fe}_{1,945}\text{C}_{0,035}$ . The transition zone of the coating does not have a pronounced area of separation of the structural components, which indicates its good adhesion strength to the base material. Microhardness near the surface of the coating reaches 1015...1020 HV, as it approaches the substrate, it decreases and at the interface between the coating and the substrate is 780...790 HV. The conducted field operational tests made it possible to establish that the resource of the breasts of the KUHN reversible plow mouldboards, reinforced with carbo-vibro-arc hardening in the zone of radial wear, increases on average by 2,3 times compared to serial products. Thus, the use of carbo-vibro-arc hardening will reduce the need for rural producers to purchase expensive spare parts, especially for foreign-made tillage equipment, and will contribute to solving the problem of import substitution.

**Keywords:** carbo-vibro-arc hardening, resource, plow, radial wear, ceramic-metal coating, hardening phases.

**Введение.** В настоящее время значительное количество рабочих органов плугов (отвалы, груди отвалов, лемехи) теряют свое работоспособное состояние из-за лучевидного износа их рабочих поверхностей [1, 2]. При этом многие рабочие органы, имеющие данный вид износа, эксплуатируются вплоть до сквозного протирания (рис. 1), что совершенно недопустимо, т.к. ведет к резкому снижению качества выполняемых полевых работ и перерасходу топлива. Для восстановления данных рабочих органов чаще всего используют наплавку, однако применяемые электродные материалы не обеспечивают высокой износостойкости восстановленных поверхностей, вследствие чего их ресурс составляет не более 50...60% от ресурса новых.

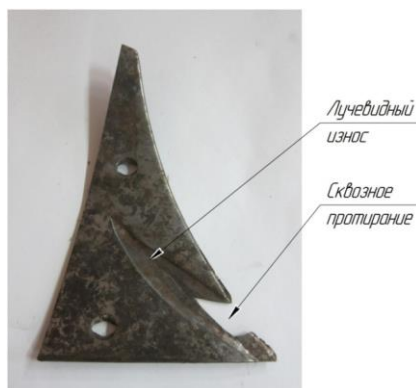


Рис. 1 – Грудь отвала оборотного плуга компании KUHN, имеющая лучевидный износ рабочей поверхности со сквозным протиранием

Для повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин, в т.ч. имеющих лучевидный износ, в настоящее время широко используют упрочняющие технологии [1-7]. Перспективным способом упрочнения, получающим в настоящее время все более широкое распространение и позволяющим значительно увеличить ресурс рабочих органов, является карбовибродуговое упрочнение (КВДУ). Сущность способа, используемые для его реализации оборудование и материалы подробно рассмотрены в работах [2, 7-15].

Окончательную оценку эффективности применения способа КВДУ для упрочнения рабочих органов плугов, имеющих лучевидный износ, могут дать только испытания экспериментальных деталей в условиях реальной эксплуатации в сочетании с исследованиями структуры и свойств покрытий. Поэтому в данной работе рассматривается возможность применения металлокерамических покрытий, полученных КВДУ на пастах, содержащих матричный порошок на железной основе, для увеличения ресурса груди отвалов плугов компании KUNN (Франция). Выбор данных рабочих органов для проведения полевых эксплуатационных испытаний обусловлен тем, что их ресурс во многом определяет долговечность плужного корпуса и, соответственно, всего плуга в целом.

**Методы исследования.** Для КВДУ использовали установку ВДГУ-2, в состав которой входит инверторный тиристорный источник тока, пульт управления и вибратор с закрепленным в нем угольным электродом диаметром 8 мм [7, 8, 10, 12, 13]. Многокомпонентную пасту для КВДУ готовили путем механического смешения следующих компонентов: порошок ПГ-ФБХ6-2 ГОСТ 21448 на железной основе (матрица) – 65%, карбид бора  $B_4C$  – 25%, криолит  $Na_3AlF_6$  – 10%. Связующим веществом являлся 50% водный раствор клея ПВА. По результатам предварительно проведенных исследований именно такое соотношение компонентов пасты является наиболее рациональным для упрочнения рабочих органов машин, работающих в условиях интенсивного абразивного изнашивания [7, 13, 16, 17].

После приготовления многокомпонентную пасту наносили на модельную металлическую подложку (образцы, изготовленные из стали 30ГР). Выбор данной марки стали обусловлен тем, что она является отечественным аналогом стали, из которой изготавливают рабочие органы зарубежной почвообрабатывающей техники, в т.ч. груди отвалов и лемехи плугов компании KUNN. Толщина нанесенного слоя пасты составляла 2,0...2,5 мм. Далее пасту высушивали в сушильном шкафу при температуре 90...95°C до затвердевания. КВДУ выполняли прямой дугой на следующих режимах: сила тока – 70...80 А, частота и амплитуда вибрации угольного электрода – 25 Гц и 0,5 мм, соответственно.

Исследования микроструктуры полученных металлокерамических покрытий проводили на подготовленных по стандартным методикам поперечных шлифах образцов на автоэмиссионном сканирующем электронном микроскопе сверхвысокого разрешения Zeiss Ultra plus на базе Ultra 55. Рентгенофазовый анализ проводили на порошковом рентгеновском дифрактометре ARL X'TRA (Thermo Fisher Scientific). Измерение микротвердости металлокерамических покрытий проводили на компьютеризированном микротвердомере ПМТ-3М-01.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Проведенные исследования позволили установить, что в металлокерамическом покрытии, полученном при КВДУ, можно выделить две характерные зоны – основную и переходную. Сформированное покрытие плотное, практически бездефектное, характеризуется минимальной пористостью. Структура основной зоны покрытия представлена на рис. 2.

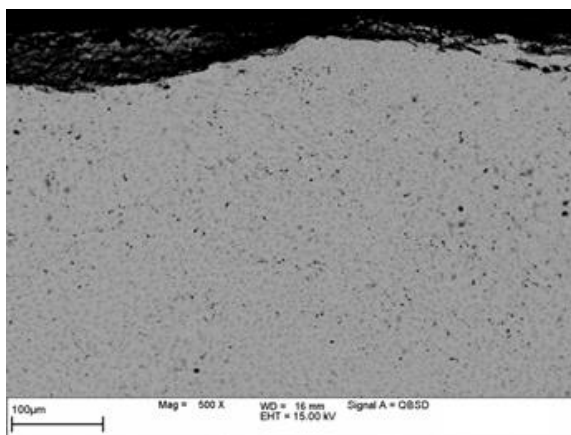


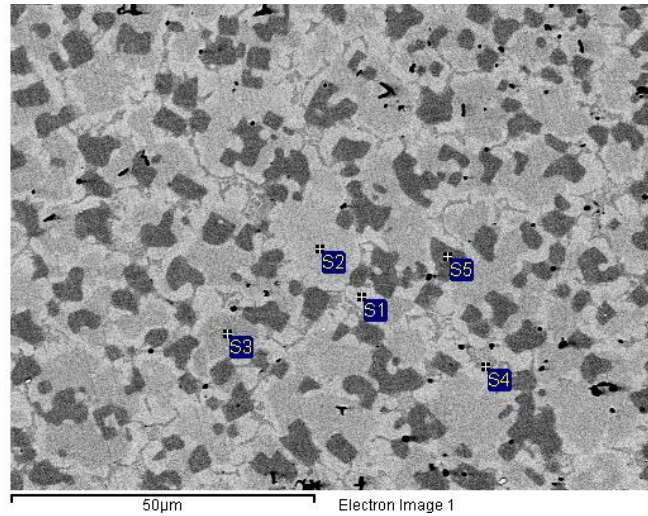
Рис. 2 – Структура основной зоны металлокерамического покрытия, полученного при КВДУ

Результаты проведенного рентгеноспектрального и рентгенофазового анализа (рис. 3) показывают, что основная зона металлокерамического покрытия, полученного при КВДУ, представляет собой композиционный материал, в котором твердосплавные частицы (упрочняющие фазы) находятся в матрице, которая представляет собой твердый раствор углерода в железе в виде  $Fe_{1,88}C_{0,12}$  и  $Fe_{1,945}C_{0,035}$  (спектры S1 и S2 на рис. 3). Упрочняющими фазами металлокерамического покрытия являются фаза  $CrFe_4$  (спектры S3, S4 на рис. 3) и тройное соединение  $B_{0,7}Fe_3C_{0,3}$  (спектры S5 и S8 на рис. 3). Фаза  $B_{0,7}Fe_3C_{0,3}$  представлена в виде зерен размерами 7...10 мкм, практически равномерно расположенных по всему объему основной зоны покрытия.

Переходная зона металлокерамического покрытия характеризует его взаимную диффузию с подложкой. Переходная зона равномерная, без выраженной области раздела структурных составляющих, что указывает на хорошую прочность сцепления металлокерамического покрытия и материала подложки при КВДУ. Рентгеноспектральный анализ по площади сканирования показал, что железо из подложки проникает на всю глубину металлокерамического покрытия. Размеры зерен упрочняющих фаз в переходной зоне покрытия уменьшаются до 3...5 мкм, что связано с более интенсивным теплоотводом в зоне подложки.

Исследования микротвердости металлокерамического покрытия показали, что вблизи его поверхности микротвердость достигает значений 1015...1020 HV. По мере приближения к подложке микротвердость покрытия снижается и на границе раздела покрытия с подложкой составляет 780...790 HV. Монотонное снижение значений микротвердости от поверхности покрытия к подложке также подтверждает наличие в нем переходной зоны.

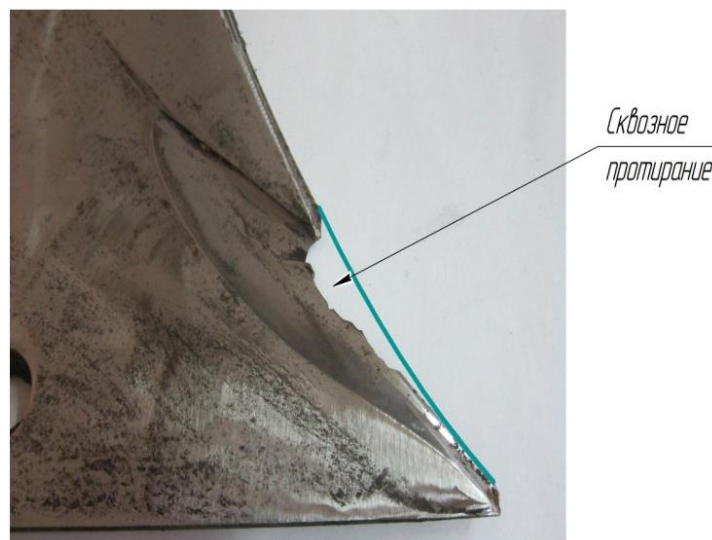
Эффективность применения металлокерамических покрытий, полученных при КВДУ на режущих поверхностях рабочих органов плугов, имеющих лучевидный износ, оценивалась применительно к упрочнению грудей отвалов навесного оборотного 5-ти корпусного плуга Multi Master 112 компании KUNH. Полевые испытания упрочненных деталей проводили в сравнении с новыми в состоянии поставки на почвах следующих типов: темно-серые лесные тяжелосуглинистые и черноземы оподзоленные тяжелосуглинистые плотностью 1200...1250 кг/м<sup>3</sup>. Плуг агрегатировался с трактором Landini Landpower 165. Средняя скорость движения плуга составляла 9...10 км/ч, глубина обработки – 20...22 см.



Спектры	Химические элементы						
	B	C	Si	Cr	Mn	Fe	Al
S1	–	5,43	–	3,79	1,08	89,69	–
S2	–	6,44	–	10,91	1,20	81,44	–
S3	3,39	8,03	–	9,91	1,28	77,39	–
S4	–	3,07	10,92	1,11	–	84,09	0,80
S5	10,36	4,47	–	7,92	1,05	76,20	–

**Рис. 3 – Микроструктура и рентгеноспектральный анализ основной зоны металлокерамического покрытия**

Проведенные полевые испытания позволили установить, что новые груди отвалов в состоянии поставки достигают своего предельного состояния и подлежат замене при средней наработке 65...67 га. При достижении данной наработки они имеют явно выраженный лучевидный износ, кроме этого, в месте наибольшего износа начинается сквозное протирание (рис. 4).



**Рис. 4 – Грудь отвала плуга Multi Master 112 компании KUNH в состоянии поставки после наработки 65 га**

Упрочнение испытуемых грудей отвалов КВДУ позволяет повысить их наработку на отказ до 148...150 га, что в среднем в 2,3 раза выше, чем у новых деталей. При наработке 65...67 га, когда груди отвалов в состоянии поставки достигают предельного состояния, рабочие поверхности упрочненных КВДУ грудей имеют лишь минимальный линейный износ (рис. 5).





Рис. 5 – Грудь отвала плуга Multi Master 112 компании KUNN, упрочненная КВДУ, после наработки 65 га

**Выводы.** Обобщение приведенных выше результатов позволяет сделать следующие выводы.

1. Металлокерамическое покрытие, полученное при КВДУ с использованием паст, содержащих матричный порошок ПГ-ФБХ6-2 на железной основе, состоит из двух зон – основной и переходной. Основная зона покрытия содержит в своем составе упрочняющие фазы  $\text{CrFe}_4$  и  $\text{V}_{0,7}\text{Fe}_3\text{C}_{0,3}$ , которые расположены в матрице, представляющей собой твердый раствор углерода в железе в виде  $\text{Fe}_{1,88}\text{C}_{0,12}$  и  $\text{Fe}_{1,945}\text{C}_{0,035}$ . Переходная зона покрытия равномерная, без выраженной области раздела структурных составляющих, что указывает на хорошую прочность сцепления с материалом подложки.

2. Микротвердость вблизи поверхности металлокерамического покрытия достигает значений 1015...1020 HV, по мере приближения к подложке снижается и на границе раздела покрытия с подложкой составляет 780...790 HV.

3. Эксплуатационные испытания упрочненных КВДУ грудей отвалов плугов компании KUNN показали, что их износостойкость и ресурс увеличиваются в среднем в 2,3 раза. В результате можно существенно снизить закупки оригинальных дорогостоящих рабочих органов зарубежного производства. Следовательно, использование КВДУ является перспективным направлением повышения ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин, имеющих лучевидный износ.

#### Библиография

1. Новиков В.С. Обеспечение долговечности рабочих органов почвообрабатывающих машин: монография. – М.: ИНФРА-М, 2019. – 155 с.
2. Лялякин В.П., Соловьев С.А., Аулов В.Ф. Состояние и перспектива упрочнения и восстановления деталей почвообрабатывающих машин сварочно-наплавочными методами // Труды ГОСНИТИ. – 2014. – Т. 115. – С. 96–104.
3. Пастухов А.Г., Шарая О.А., Волков М.И. Экспериментальная обработка технологического процесса электрометаллического упрочнения деталей из стали 65Г // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 2 (30). – С. 78–89.
4. Михальченков А.М., Гуцан А.А., Гапонова В.Е. Повышение износостойкости и межремонтного ресурса плужных лемехов совмещенным способом восстановления и упрочнения // Технология металлов. 2023. № 1. С. 44–48. DOI 10.31044/1684-2499-2023-0-1-44-48.
5. Пастухов А.Г., Бережная И.Ш. Выбор режимов для электроискрового наращивания компенсационного слоя на плунжер // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 2 (30). – С. 9–17.
6. Измайлов А.Ю., Сидоров С.А., Хорошенко В.К. и др. Технологии лазерного синтеза порошковых материалов для создания, восстановления и ремонта деталей сельхозмашин // Сельскохозяйственные машины и технологии. – 2014. – № 2. – С. 3–6.
7. Виноградов, В.В. Повышение износостойкости стрельчатых лап почвообрабатывающих орудий карбовибродуговым упрочнением их режущих поверхностей: автореф. дисс. канд. техн. наук / В.В. Виноградов // Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I. – Воронеж, 2017. – 16 с.
8. Bazhin P.M., Zhidovich A.O., Stolin A.M., Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Avdeeva V.V. Features of the carbo-vibroarc surfacing in the development of multicomponent cermet wear-resistant coatings // Surface and Coatings Technology. – 2022. Т. 429. – С. 127952. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127952>.
9. Sharifullin S.N., Adigamov N.R., Adigamov N.N. et al. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma // Journal of Physics: Conference Series. – 2016. – V. 669. – № 1. – P. 012049.
10. Титов Н.В., Колемейченко А.В., Логачев В.Н. и др. Технология карбовибродугового упрочнения и целесообразность её использования в агропромышленном комплексе // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 1 (33). – С. 117–124.
11. Задорожный Р.Н., Тужилин С.П. Металлографические исследования стальных образцов, упрочненных карбовибродуговой наплавкой // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 124. – № 2. – С. 57–61.
12. Мургазин Г.Р., Зиганшин Б.Г., Яхин С.М. Повышение ресурса рабочих органов почвообрабатывающих машин // Техника и оборудование для села. – 2015. – № 10. – С. 32–34.
13. Kolomeychenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. et al. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbo-vibroarc surfacing // Welding International. 2017. – Vol. 31. № 9. – Pp. 739–742. DOI: 10.1080/09507116.2017.1318494.

14. Шарифуллин С.Н., Соловьев Р.Ю., Аракчеева К.С. и др. Упрочнение поверхностей режущих элементов сельскохозяйственных агрегатов вибродуговой плазмой // Труды ГОСНИТИ. – 2016. – Т. 122. – С. 145–151.
15. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Соловьев Р.Ю. и др. Результаты производственной проверки экспериментальных упрочненных износостойкими материалами ножей скоростных плугов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 3 (27). – С. 90–97.
16. Титов Н.В., Коломейченко А.В., Виноградов В.В. и др. Исследование влияния режимов и параметров карбо-вибродугового упрочнения на толщину металлокерамического покрытия // Техника и оборудование для села. – 2016. – № 9. – С. 34–37.
17. Коломейченко А.В., Титов Н.В., Виноградов В.В. и др. Исследование микроструктуры композиционных металлокерамических покрытий, полученных карбо-вибродуговой наплавкой // Сварочное производство. – 2016. – № 11. – С. 3–7.

#### References

1. Novikov V.S. Obespecheniye dolgovechnosti rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin: monografiya [Ensuring the durability of the working bodies of soil-cultivating machines: monograph]. M. : INFRA-M, 2019. 155 p.
2. Lyalyakin V.P., Solov'ev S.A., Aulov V.F. Uprochnenie i vosstanovlenie detalej pochvoobrabatyvayushchikh mashin svarochno-naplavochnymi metodami (obzor) [Hardening and restoration of parts of tillage machines by welding-surfacing methods (review)] // Welding International. 2014. № 7. Pp. 32–36.
3. Pastukhov A.G., Sharaya O.A., Volkov M.I. Eksperimental'naya otrabotka tekhnologicheskogo protsessa elektromekhanicheskogo uprochneniya detaley iz stali 65G [Experimental development of the technological process of electromechanical hardening of parts made of steel 65G] // Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives. 2021. № 2 (30). Pp. 78–89.
4. Mikhal'chenkov A.M., Gutsan A.A., Gaponova V.Ye. Povysheniye iznosostoykosti i mezhremontnogo resursa pluzhnykh lemekhov sovmeshchennym sposobom vosstanovleniya i uprochneniya [Increase of wear resistance and overhaul life of plow shares by a combined method of restoration and hardening] // Tekhnologiya metallov. 2023. № 1. Pp. 44–48.
5. Pastukhov A.G., Berezhnaya I.SH. Vybora rezhimov dlya elektroiskrovogo narashchivaniya kompensatsionnogo sloya na plunzher [Choice of modes for electrospark growth of a compensation layer on a plunger] // Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives. 2021. № 2 (30). Pp. 9–17.
6. Izmaylov A.Yu., Sidorov S.A., Khoroshenkov V.K. idr. Tekhnologii lazernogo sinteza poroshkovykh materialov dlya sozdaniya, vosstanovleniya i remonta detaley sel'khoz mashin [Technologies of laser synthesis of powder materials for the creation, restoration and repair of parts of agricultural machines] // Agricultural machines and technologies. 2014. № 2. Pp. 3–6.
7. Vinogradov V.V. Povysheniye iznosostoykosti strel'chatykh lap pochvoobrabatyvayushchikh orudiy karbovibrodogovym uprochneniem ikh rezhushchikh poverkhnostey: avtoref. diss. kand. tekhn. nauk [Increasing the wear resistance of A-share of tillage implements by carbo-vibro-arc hardening of their cutting surfaces: Abstract of Ph.D. in Technical Sciences] // Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I. – Voronezh, 2017. – 16 p.
8. Bazhin P.M., Zhidovich A.O., Stolin A.M., Titov N.V., Kolomeichenko A.V., Avdeeva V.V. Features of the carbo-vibroarc surfacing in the development of multicomponent cermet wear-resistant coatings // Surface and Coatings Technology. 2022. T. 429. C. 127952. <https://doi.org/10.1016/j.surfcoat.2021.127952>.
9. Sharifullin S.N., Adigamov N.R., Adigamov N.N. et al. Surface hardening of cutting elements agricultural machinery vibro arc plasma // Journal of Physics: Conference Series. 2016. V. 669. № 1. P. 012049.
10. Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Logachev V.N. et al. Tekhnologiya karbovibrodogovogo uprochneniya i tselesoobraznost' yeyo ispol'zovaniya v agropromyshlennom komplekse [Technology of carbo-vibro-arc hardening and expediency of its use in the agro-industrial complex] // Innovations in Agricultural Complex: Problems and Perspectives. 2022. № 1 (33). Pp. 117–124.
11. Zadorozhnyj R.N., Tuzhilin S.P. Metallograficheskie issledovaniya stal'nykh obrabotok, uprochnennykh karbovibrodogovoy naplavkoj [Metallographic examination of steel samples hardened by carbo-vibro-arc surfacing] // Proceedings of GOSNITI. 2016. V. 124. № 2. Pp. 57–61.
12. Murtazin G.R., Ziganshin B.G., Yakhin S.M. Povysheniye resursa rabochikh organov pochvoobrabatyvayushchikh mashin [Increasing the service life of tillage machines] // Machinery and Equipment for Rural Area. 2015. № 10. Pp. 32–34.
13. Kolomeychenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. et al. The microstructure of composite cermet coatings produced by carbo-vibroarc surfacing // Welding International. 2017. Vol. 31. № 9. Pp. 739–742. DOI: 10.1080/09507116.2017.1318494.
14. Sharifullin S.N., Solov'ev R.Yu., Arakcheeva K.S. et al. Uprochnenie poverkhnostey rezhushchikh ehlementov sel'skokhozyajstvennykh agregatov vibrodugovoy plazmoj [Hardening the surfaces of cutting elements of agricultural aggregates by vibro-arc plasma] // Proceedings of GOSNITI. 2016. V. 122. Pp. 145–151.
15. Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Solov'ev R.Yu. i dr. Rezul'taty proizvodstvennoj proverki ehksperimental'nykh uprochnennykh iznosostoykimi materialami nozhey skorostnykh plugov [Results of production inspection of experimental blades of high-speed ploughs hardened with wear-resistant materials] // Innovations in Agriculture: Problems and Perspectives. 2020. № 3 (27). Pp. 90–97.
16. Titov N.V., Kolomeychenko A.V., Vinogradov V.V. i dr. Issledovanie vliyaniya rezhimov i parametrov karbovibrodogovogo uprochneniya na tolshhinu metallokeramicheskogo pokrytiya [Study of the influence of modes and parameters of carbo-vibro-arc hardening on the thickness of the ceramic-metal coating] // Machinery and Equipment for Rural Area. 2016. № 9. Pp. 34–37.
17. Kolomeychenko A.V., Titov N.V., Vinogradov V.V. i dr. Issledovanie mikrostrukturnykh kompozitsionnykh metallokeramicheskikh pokrytij, poluchennykh karbovibrodogovoy naplavkoj [Investigation of the microstructure of composite ceramic-metal coatings produced by carbo-vibro-arc surfacing] // Welding International. 2016. № 11. Pp. 3–7.

#### Сведения об авторах

Титов Николай Владимирович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Россия, 302019, тел. +7 4862 43-19-79, e-mail: ogau@mail.ru.

Коломейченко Александр Викторович, доктор технических наук, профессор, заведующий отделом перспективных технологий Центра сельскохозяйственного машиностроения, Государственный научный центр Российской Федерации ФГУП «НАМИ», ул. Автомоторная, д. 2, г. Москва, Россия, 125438, тел. +7 495 456-42-50, доб. 64-23, e-mail: a.kolomeychenko@nami.ru.

Логачев Владимир Николаевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Россия, 302019, тел. +7 4862 43-19-79, e-mail: logvovan@mail.ru.

Грызин Павел Николаевич, аспирант кафедры надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Россия, 302019, тел.+7 4862 43-19-79, e-mail: pavel\_gryzin@mail.ru.

Гаврилин Владислав Вячеславович, аспирант кафедры надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Россия, 302019, тел.+7 4862 43-19-79, e-mail: vgavrilin2020@yandex.ru.

#### **Information about authors**

Titov Nikolay Vladimirovich, Candidate of Technical Science, Associate Professor, Head of the Reliability and Machine Repair Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», General Rodin St. 69, Orel, Russia, 302019, tel. +7 4862 43-19-79, e-mail: ogau@mail.ru.

Kolomeichenko Aleksandr Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Center of Agricultural Engineering, Central research and development automobile and engine institute NAMI, 125438, Moscow, Russia, Avtomotornaya St., 2, +7 495 456-42-50, ext. 65-28, e-mail: a.kolomiychenko@nami.ru.

Logachev Vladimir Nikolayevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Reliability and Machine Repair Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», General Rodin St., 69, Orel, Russia, 302019, tel. +7 4862 43-19-79, 302019, e-mail: logvovan@mail.ru.

Gryzin Pavel Nikolaevich, Post-graduate Student of the Reliability and Machine Repair Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», General Rodin St. 69, Orel, Russia, 302019, tel. +7 4862 43-19-79, e-mail: pavel\_gryzin@mail.ru.

Gavrilin Vladislav Vyacheslavovich, Post-graduate Student of the Reliability and Machine Repair Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», General Rodin St. 69, Orel, Russia, 302019, tel. +7 4862 43-19-79, e-mail: vgavrilin2020@yandex.ru.

УДК 631.354.23.022

*В.И. Шаповалов, С.Ф. Вольвак*

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ИЗМЕЛЬЧАЮЩЕГО АППАРАТА СОЛОМИСТЫХ ПРОДУКТОВ С ШАРНИРНОЙ ПОДВЕСКОЙ НОЖЕЙ К ЗЕРНОУБОРОЧНОМУ КОМБАЙНУ

**Аннотация.** Решение вопросов по энергосбережению при уборке незерновой части урожая зерновых культур по гибким технологическим схемам позволит повысить эффективность сельскохозяйственного производства, что является весьма актуальным. Целью исследований является обоснование оптимальных параметров измельчающего аппарата с шарнирными ножами к зерноуборочному комбайну, обеспечивающих надёжность технологического процесса и качество измельчения в соответствии с агротехническими требованиями, а задачами – упрощение конструкции, снижение массы и определение наиболее эффективного конструктивного исполнения измельчающего аппарата. В результате проведённого анализа классифицированы, обоснованы, конструктивно разработаны и изготовлены несколько разновидностей конструкций ножей измельчающего аппарата незерновой части урожая к зерноуборочному комбайну. В результате проведённого многофакторного эксперимента получена математическая модель измельчающего аппарата с барабаном с шарнирными ножами и установлено, что надёжность технологического процесса измельчающего аппарата с шарнирной подвеской ножей и качество измельчения и расщепления незерновой части урожая в первую очередь зависит от влажности, массы ножа и скорости измельчения. При увеличении скорости измельчения и массы ножа и уменьшении влажности прогнозируется повышение коэффициента надёжности технологического процесса и качества измельчения. В результате проведённых сравнительных экспериментальных исследований измельчающих аппаратов с жёстким и шарнирным креплением ножей на барабане установлено, что при работе комбайнов на хлебной массе с влажностью соломы до 13-14% коэффициент надёжности технологического процесса по обоим исследуемым устройствам равнялся 1,0 и по качеству измельчения и расщепления соломы различий практически не было, а при влажности соломистой массы 25-28% измельчающие аппараты с шарнирным креплением ножей на барабане по технологической надёжности и качеству измельчения уступают аппаратам, снабжённым барабанами с жёстким креплением ножей. Предлагаемая конструкция измельчающего аппарата солоmistых продуктов с шарнирной подвеской ножей к зерноуборочным комбайнам наиболее приемлема при работе по технологиям с измельчением соломистой массы и равномерном разбросом её по полю в виде противозерозионной мульчи или удобрения или со сбором всей массы в прикреплённую к комбайну сменную тележку.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, измельчающий аппарат, шарнирный нож, незерновая часть урожая, многофакторный эксперимент, технологическая надёжность, качество измельчения.

## SUBSTANTIATION OF PARAMETERS OF CRUSHING APPARATUS OF STRAW PRODUCTS WITH HINGE SUSPENSION OF KNIVES TO GRAIN HARVESTER

**Abstract.** Solving energy-saving issues when harvesting the non-grain part of the harvest of grain crops according to flexible technological schemes will increase the efficiency of agricultural production, which is very relevant. The purpose of the research is to substantiate the optimal parameters of a grinding machine with hinged knives for a combine harvester, ensuring the reliability of the technological process and the quality of grinding in accordance with agrotechnical requirements, and the tasks are to simplify the design, reduce weight and determine the most effective design of the grinding machine. As a result of the analysis, several varieties of knife designs of the non-grain part of the harvest shredding apparatus for the combine harvester were classified, justified, structurally developed and manufactured. As a result of the conducted multifactorial experiment, a mathematical model of a grinding machine with a drum with hinged knives was obtained and it was found that the reliability of the technological process of a grinding machine with a hinged knife suspension and the quality of grinding and splitting of the non-grain part of the harvest primarily depends on the humidity of the NPH, the weight of the knife and the grinding speed. With an increase in the speed of grinding and the weight of the knife and a decrease in the humidity, an increase in the reliability coefficient of the technological process and the quality of grinding is predicted. As a result of comparative experimental studies of grinding machines with rigid and hinged fastening of knives on the drum, it was found that when working combines on bread mass with straw moisture up to 13-14%, the reliability coefficient of the technological process for both devices under study was 1.0 and there were practically no differences in the quality of grinding and splitting straw, and with straw mass humidity of 25-28% grinding machines with hinged fastening of knives on the drum are inferior in terms of technological reliability and quality of grinding to devices equipped with drums with rigid fastening of knives. The proposed design of the shredding apparatus of straw products with a hinged suspension of knives to combine harvesters is most acceptable when working with technologies with shredding straw mass and evenly spreading it across the field in the form of anti-erosion mulch or fertilizer, or with collecting the entire mass in a replaceable trolley attached to the combine.

**Keywords:** combine harvester, chopping machine, articulated knife, non-grain part of the harvest, multifactorial experiment, technological reliability, quality of grinding.

**Введение.** В настоящее время большинство стран с развитым сельскохозяйственным производством используют солому для заделки в почву в качестве органического удобрения либо в животноводстве с последующим внесением на поля соломисто-навозной массы. По данным ряда исследователей, заплата 5 т/га соломы повышает содержание гумуса на 0,04%, а удвоенная доза – на 0,09%. Технологии использования соломы в качестве экологически безопасного удобрения известны давно. Неслучайно, что в рамках восьми основных стратегических направлений существенного энергосбережения при уборке зерновых культур уборке незерновой части урожая (НЧУ) по гибким технологическим схемам отводится особая роль [1-3].

Режущие аппараты с шарнирной подвеской ножей исследовались в основном при резании свободно стоящего стебля. Определяющим фактором для осуществления бесподпорного резания является критическая скорость резания  $V_{кр}$ . При скорости резания ниже критической процесс резания не осуществляется. Впервые изучение бесподпорного среза растений провёл академик В.П. Горячкин [4], предложивший формулу для определения критической скорости резания. Затем этими вопросами занимались академики А.Ю. Ишлинский, И.Ф. Василенко, а также Б.М. Гутьяр, В.И. Фомин, В.Я. Каллос, Н.Е. Резник и др. Теорией зернодробилки с шарнирными молотками занимались И.В. Макаров [5], С.В. Мельников [6],

В.И. Сыроватка [7] и др. Исследования измельчителя стебельчатых кормов с шарнирно подвешенными комбинированными ножами приведены в работах [8-9].

Анализ различных типов и конструкций активных и противорежущих (неподвижных) ножей соломоизмельчителей зерноуборочных комбайнов отечественного и зарубежного производства и их классификация приведены в работе [1].

Работ по исследованию измельчающего аппарата незерновой части урожая с шарнирными ножами к зерноуборочному комбайну крайне мало [10, 11]. Известна работа Ю.М. Шидловского [12], который путём экспериментально-теоретических исследований установил, что для обеспечения требуемого качества измельчения и расщепления соломы и оптимальных энергетических затрат скорость резания должна составлять 48-50 м/с, центр тяжести молотка целесообразно располагать на расстоянии не менее 0,7 длины ножа от оси его подвеса, а масса ножа должна быть не менее 1,4 кг. Была предложена и обоснована конструкция шарнирного ножа, которая, как показал опыт, обеспечивала надёжное протекание технологического процесса при работе аппарата в основном на измельчении сухих хлебов, что являлось существенным недостатком.

Анализ работ и литературных данных показывает, что на данном этапе пока невозможно с достаточной для практических целей точностью теоретически рассчитать конструктивные параметры шарнирного ножа, например, его оптимальную массу. Это объясняется тем, что при уборке хлебов постоянно изменяются физико-механические свойства соломенной массы, её влажность, подача и т.д. Особое влияние на работоспособность измельчающего аппарата оказывает неравномерность подачи массы при уборке увлажнённых и влажных, а также засорённых хлебов. Нами, в Луганском государственном аграрном университете, совместно с Головным специализированным конструкторским бюро по комплексам зерноуборочных машин при заводе «Ростсельмаш», были продолжены исследования измельчающих аппаратов солоmistых продуктов с шарнирной подвеской ножей к зерноуборочным комбайнам при работе по технологиям с измельчением солоmistой массы и равномерном разбросом её по полю в виде противоэрозионной мульчи или удобрения или со сбором всей массы в прикреплённую к комбайну сменную тележку.

Целью исследований является обоснование оптимальных параметров измельчающего аппарата с шарнирными ножами к зерноуборочному комбайну, обеспечивающих надёжность технологического процесса и качество измельчения в соответствии с агротехническими требованиями, а задачами – упрощение конструкции, снижение массы и определение наиболее эффективного конструктивного исполнения измельчающего аппарата путём сравнения работоспособности жёстких и шарнирных ножей.

**Объект и методы исследований.** Ножи соломоизмельчителей зерноуборочных комбайнов предназначены для измельчения соломы, поступающей с соломотряса или непосредственно из молотильно-сепарирующего устройства, путём опорного и безопорного рубящего или скользящего ударного резания, при вращении ротора. Основной процесс резания осуществляется при взаимодействии материала с режущей парой – закреплённого на вращающемся роторе ножа и неподвижно закреплённого противорежущего элемента [1].

Конструкция, форма, способ крепления, материал ножей и технология их изготовления во многом определяют качество измельчения и распределения материала, затраты энергии на выполнение технологической операции, возможность снижения технологических простоев при эксплуатации комбайна и многое другое [1].

Способ выполнения технологической операции определяется типом установки ножей. Они могут устанавливаться на роторе неподвижно (жёстко закреплённые) или с возможностью качания (шарнирные или маятниковые). Как правило, если нож устанавливается без возможности качания, то в нем предусматривается дополнительное круглое или фигурное отверстие. Шарнирно устанавливаемые ножи также называют молотками [1].

Для обоснования параметров измельчающего аппарата солоmistых продуктов с шарнирной подвеской ножей к зерноуборочному комбайну целесообразно использовать методы анализа и классификации существующих конструкций измельчающих ножей, сравнительных экспериментальных исследований измельчающих аппаратов с жёстким и шарнирным креплением ножей на барабане, многофакторного эксперимента с целью отыскания рациональных параметров и режимов работы измельчающего барабана, при которых обеспечивается надёжность технологического процесса и качество измельчения в соответствии с агротехническими требованиями.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Главное назначение шарнирной подвески ножей – это исключить их поломку при попадании в измельчающий аппарат посторонних твёрдых предметов. Кроме того, при шарнирной подвеске ножей обеспечивается некоторое снижение перегрузок барабана при чрезмерной подаче солоmistой массы. При встрече с посторонними твёрдыми предметами шарнирные ножи полностью не передают жёстко удар валу ротора, что предохраняет его от поломок.

С целью облегчения анализа конструкции барабанов с шарнирными ножами нами была проведена их классификация. Все ножи, показанные на рисунке 1, кроме ножей «в» и «е», были нами обоснованы и конструктивно разработаны, а затем изготовлены для проведения исследований. Шарнирные ножи можно классифицировать по количеству лезвий на ноже, по возможности движения вокруг оси подвеса, по расположению центра тяжести, по способу создания воздушного потока, по форме заточки, и т.д.

При вращении измельчающего барабана под действием центробежных сил ножи устанавливаются в радиальном направлении и становятся практически неподвижными относительно ротора барабана. В определённых пределах шарнирные связи ножей можно рассматривать как жёсткие. При взаимодействии ножа с противорежущим устройством происходит потеря части живой силы ножа, которая расходуется на разрушение и деформацию солоmistой массы, при этом скорость ножа на мгновение падает, вследствие его отклонения от ударного импульса. Режим вращения барабана в этом случае не нарушается из-за шарнирного крепления ножей. Центробежная сила устанавливает нож в радиальном положении.

Эксперименты и наблюдения показали, что существенное влияние на надёжность технологического процесса измельчающего аппарата, снабжённого барабаном с шарнирными ножами, оказывает скорость измельчения  $V_{изм} - x_1$ , масса ножа  $M_n - x_2$ , а также влажность НЧУ  $B - x_3$ .

С целью отыскания рациональных параметров и режимов работы измельчающего барабана, при которых обеспечивается надёжность технологического процесса в соответствии с агротехническими требованиями, нами в Луганском ГАУ и Головном конструкторском бюро по уборочной технике при заводе «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону) проведены многофакторные эксперименты. При этом использовались методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства [13].

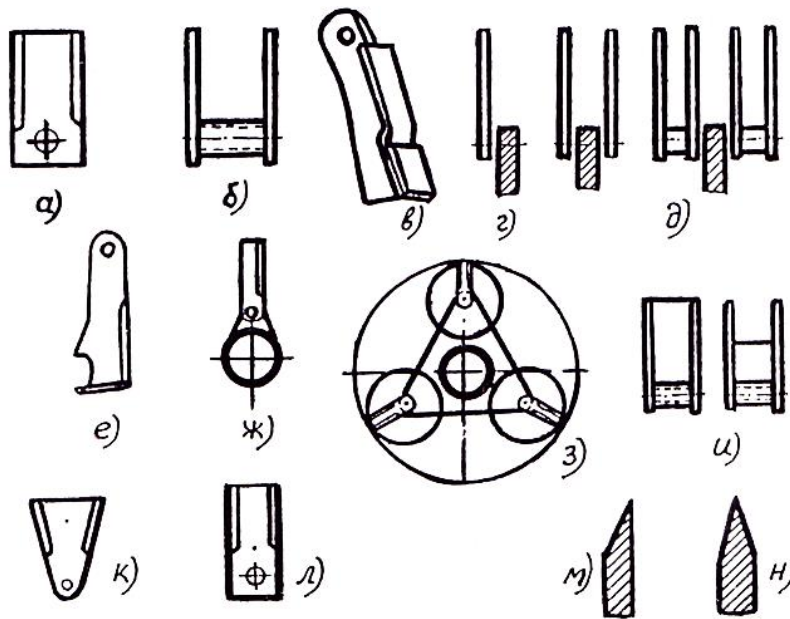


Рис. 1 – Разновидности конструкций ножей измельчающего аппарата незерновой части урожая к зерноуборочному комбайну

Параметрами оптимизации являлись коэффициент надёжности технологического процесса ( $K_{н.т.п.}$ ,  $\bar{y}_1$ ) и процент измельчённых частиц ( $I_ч$ ,  $\bar{y}_2$ ) в диапазоне длин от 0 до 50 мм, что предусмотрено агротехническими требованиями.

Для построения зависимостей  $\left. \begin{matrix} K_{н.т.п.} \\ I_ч \end{matrix} \right\} = \Phi(V_{изм}, M_n, B)$  и  $\left. \begin{matrix} \bar{y}_1 \\ \bar{y}_2 \end{matrix} \right\} = \Phi(x_1, x_2, x_3)$  использовано планирование

типа  $2^3$ . Эксперименты проводились при уборке валков пшеницы «Безостая 1». Первоначально серия экспериментов, согласно матрице планирования, проводилась на солоистой массе с влажностью около 8%, а затем на массе, влажность которой составляла около 30%. Конструктивное исполнение ножа соответствовало рисунку 1, л. Уровни и интервалы варьирования переменных данных приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Уровни и интервалы варьирования переменных факторов при исследовании измельчающего аппарата с шарнирной подвеской ножей

Независимые переменные	Уровни варьирования			Интервал варьирования
	+	0	-	
$V_{изм}, x_1$ (м/с)	74	63	52	11
$M_n, x_2$ (кг)	0,825	0,580	0,335	0,245
$B, x_3$ (%)	30	19	8	11

Были составлены матрицы вектор-столбцов результатов экспериментов и получено математическое ожидание вектор-столбцов опытных данных.

Получена математическая модель измельчающего аппарата с барабаном, снабжённым шарнирными ножами

$$\bar{y}_1 = 0,847 + 0,046x_1 + 0,085x_2 - 0,122x_3 + 0,011x_1x_2 + 0,035x_1x_3 + 0,056x_2x_3 + 0,021x_1x_2x_3, \quad (1)$$

$$\bar{y}_2 = 62,779 + 7,907x_1 + 8,696x_2 - 9,385x_3 + 2,404x_1x_2 - 2,498x_1x_3 - 5,536x_2x_3 - 4,803x_1x_2x_3, \quad (2)$$

где  $x_1 = (V_{изм} - 63) / 11$ ;  $x_2 = (M_n - 0,580) / 0,335$ ;  $x_3 = (B - 20) / 10$ .

Так как  $G_{P1} = 0,4200$ ;  $G_{P2} = 0,2125$ ;  $G_{таб} = 0,5157$ ;  $G_{P1}$  и  $G_{P2} < G_{таб}$ , то дисперсии однородны,  $F_{P1} = 0,74$ ;  $F_{P2} = 1,50$ ;  $F_{таб} = 3,01$ ;  $F_{P1}$  и  $F_{P2} < F_{таб}$ , откуда следует, что модели адекватны эксперименту.

В уравнении  $\bar{y}_1$  незначим коэффициент  $b_4$ , а в уравнении  $\bar{y}_2$  значимы все коэффициенты. Доверительный интервал для коэффициентов регрессии  $\bar{y}_1$  равен  $\Delta b_{i1} = \pm 0,014$ , а для коэффициентов регрессии  $\bar{y}_2$  равен  $\Delta b_{i2} = \pm 2,07$ .

Анализ модели надёжности измельчающего аппарата показывает, что величина функции отклика в первую очередь зависит от  $B$ , затем от  $M_n$  и  $V_{изм}$ . Влияние массы ножа  $M_n$  на  $V_{изм}$  больше в сравнении с фактором  $V_{изм}$  в 1,8 раза. Из эффектов взаимодействия факторов наибольшее влияние оказывает парное взаимодействие  $M_n B$ .  $K_{н.т.п.}$  повышается с увеличением значений  $V_{изм}$  и  $M_n$  и снижается при росте влажности НЧУ.

Из модели качества измельчения НЧУ следует, что величина параметра отклика в первую очередь зависит от влажности НЧУ, затем от массы ножа и скорости измельчения. Влияние влажности НЧУ на количественный выход измельчённых частиц в диапазоне длин до 50 мм в сравнении с факторами  $V_{изм}$  и  $M_n$  выше, соответственно, на 15,75% и 7,35%. Из эффектов взаимодействия факторов в наибольшей мере на параметр отклика влияет парное взаимодействие факторов  $M_n B$ .

Если  $B$  стремится к  $min$  или  $const$ , то имеем

$$\left. \begin{matrix} V_{изм} \\ M_n \end{matrix} \right\} \rightarrow max, \quad \text{то} \quad \left. \begin{matrix} K_{н.т.п.} \\ I_c \end{matrix} \right\} \rightarrow max \quad (3)$$

Оптимизация параметров и режимов измельчающего барабана с шарнирной подвеской ножей осуществлялась с применением ЭВМ. Изменяя с определённым шагом каждый из факторов и вычисляя при всех сочетаниях значений факторов значения функции отклика, можно найти оптимальные условия протекания процесса. При исследовании зависимостей  $\bar{y}_1 = \Phi(x_1, x_2, x_3)$  и  $\bar{y}_2 = \Phi(x_1, x_2, x_3)$  с помощью ЭВМ была составлена расчётная схема.

Данные исследований показали, что максимальное значение функции отклика  $\bar{y}_1$ , равное 0,9993 обеспечивается при кодированных значениях факторов:  $x_1 = +0,4$ ;  $x_2 = +1,6$  и  $x_3 = 0,95$ . Это соответствует натуральным значениям факторов:  $V_{изм} = 67,4$  м/с;  $M_n = 0,972$  кг и  $B = 29,45\%$ . Для данных значений факторов выход фракции НЧУ в диапазоне длин до 50 мм составит 77%. Увеличение  $V_{изм}$  до 74 м/с повысит выход фракций до 78-100% при измельчении НЧУ с влажностью от 11 до 29,45% при приемлемой надёжности технологического процесса. Таким образом, оптимальными параметрами измельчающего аппарата с шарнирной подвеской ножей являются:  $M_n = 0,972$  кг;  $V_{изм} = 67,4-74$  м/с.

Для проведения сравнительных экспериментальных исследований измельчающих аппаратов с жёстким и шарнирным креплением ножей на барабане были разработаны и изготовлены барабаны с жёсткими и шарнирными ножами, которые устанавливались на измельчители типа ПУН-5, навешанные на комбайны СК-5 «Нива». Шаг расстановки ножей массой 0,335 кг составлял 50 мм, количество ножей – 69 шт. Ножи крепились к треугольным дискам, смещённым относительно друг друга на угол 60°. Угол заточки лезвий составлял 25°. Лабораторно-полевые исследования и хозяйственные испытания проводились при уборке пшеницы «Безостая 1», урожайностью 3,5 т/га. Влажность НЧУ составляла 9-28%. Скорость резания обоих барабанов равнялась 74 м/с. Критерием оценки являлись надёжность технологического процесса и качество измельчения и расщепления соломенной массы.

Исследования показали, что при работе комбайнов на хлебной массе с влажностью соломы до 13-14%, коэффициент надёжности технологического процесса по обоим исследуемым устройствам равнялся 1,0, а по качеству измельчения и расщепления соломы различий практически не было. После выпадения дождей масса соломенной массы повысилась до 25-28%. На этом фоне забиваний измельчающих аппаратов не отмечалось, однако наблюдались забивания вентилятора-швырялки измельчителя, оснащённого барабаном с шарнирными ножами. Коэффициент надёжности технологического процесса по указанному устройству понизился до 0,95. Забиваний гибкого устройства, оборудованного барабаном с жёсткими ножами, не наблюдалось. Качество измельчения соломы барабаном с жёсткими ножами было выше.

Изучение процесса работы и забивания устройства, оснащённого барабаном с шарнирными ножами, показало, что при работе комбайна на увлажнённой хлебной массе питание молотилки, а, следовательно, и устройства происходит неравномерно, порционно, пучками. При попадании таких увлажнённых пучков под шарнирные ножи, последние частично теряют устойчивость и пропускают неизмельчённую солому на шнек, которая способствует забиванию вентилятора-швырялки, поворачивающего массу на 90°. Увеличение массы ножа до 0,9 кг исключило случаи забивания устройства. Установлено, что при массе ножа около 0,4 кг и скорости резания 70-74 м/с барабан обеспечивает требуемую ширину разброса соломы по полю и надёжность процесса. На основе проведённых нами совместно с ГСКБ завода «Ростсельмаш» был разработан измельчающий аппарат с шарнирными ножами к клещевиноуборочному комбайну ККС-6, который был поставлен на серийное производство на заводе «Ростсельмаш» (г. Ростов-на-Дону).

Исследование измельчающих барабанов с шарнирными ножами, осуществляющих измельчение и транспортировку соломенной массы в транспортные средства, показало, что лопатку для создания дополнительного воздушного потока необходимо выполнять по длине ножа и на участке, входящем в противорежущее устройство.

Установка лопаток площадью 60 см<sup>2</sup> по всей длине ножа массой 0,9 кг обеспечила существенное повышение надёжности технологического процесса при работе на увлажнённой хлебной массе. Уменьшение степени измельчения соломы, при необходимости, дополнительно осуществляется методом выключения части ножей, например, с фиксацией их на несущем элементе.

Полученные результаты экспериментальных и полевых исследований были использованы как основа при разработке с участием авторов конструкции нового измельчающего аппарата к гибкому устройству ПKN-1500, навешиваемого на зерноуборочный комбайн «Дон-1500Б», испытанного и поставленного на массовое производство на заводе «Ростсельмаш» [14, 15].

**Выводы.** Обобщая представленные выше результаты, сделаем следующие выводы.

1. Надёжность технологического процесса измельчающего аппарата с шарнирной подвеской ножей в первую очередь зависит от влажности НЧУ, массы ножа и скорости измельчения. Качество измельчения и расщепления НЧУ также зависит от влажности НЧУ, массы ножа и скорости измельчения. При увеличении скорости измельчения и массы ножа и уменьшении влажности НЧУ прогнозируется повышение коэффициента надёжности технологического процесса и качества измельчения.

2. При работе комбайнов на хлебной массе с влажностью соломенной массы до 13-14%, при постоянной скорости измельчения, у измельчающих аппаратов с шарнирным и жёстким креплением ножей на барабане коэффициент надёжности технологического процесса равнялся 1,0, а по качеству измельчения и расщепления соломы различий практически не было. При влажности соломенной массы 25-28% измельчающие аппараты с шарнирным креплением ножей на барабане по технологической надёжности и качеству измельчения уступают аппаратам, снабжённым барабанами с жёстким креплением ножей.

3. Шарнирная подвеска ножей в сравнении с жёсткой значительно снижает степень повреждений измельчающего аппарата при аварийных ситуациях, но полностью их не исключает.

4. При массе плоского ножа не менее 0,4 кг и скорости резания 70-74 м/с измельчающий барабан может обеспечить требуемую надёжность технологического процесса только при условии разброса массы по полю.

5. При массе ножа не менее 0,9 кг и скорости резания 67-74 м/с обеспечивается требуемая работоспособность и качественные показатели измельчающего аппарата на НЧУ с влажностью до 29% как в схеме измельчения соломы, так и по схеме измельчения и одновременного транспортирования НЧУ в транспортные средства, при этом лопатка на ноже для со-

здання додаткового повітряного потоку повинна мати площу не менше 60 см<sup>2</sup> і доводитися до периферії режущих лезвий.

6. Уменьшение степени измельчения соломы рекомендуется, при необходимости, дополнительно осуществлять методом выключения части ножей, например, с фиксацией их на несущем элементе.

#### Бібліографія

1. Ягельский М.Ю., Родимцев С.А. Типы и классификация ножей измельчителей-разбрасывателей соломы зерноуборочных комбайнов. URL: <https://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2017/05/114-122.pdf>.
2. Аношин Е.И. Эффективность соломы // Земледелие. 1976. № 1. С. 18–20.
3. Zhao Peng, Chen Fu. Short-term influences of straw and nitrogen cooperation on nitrogen use and soil nitrate content in North Henan // J. China Agr. Univ. 2008. Vol. 13. № 4.
4. Горячкин В.П. Теория соломорезки и силосорезки. Собрание сочинений: в 3 т. М. : Колос, 1968. Т. 3. 384 с.
5. Макаров И.В. Теория молотковой кормодробилки. Записки центральной научно-исследовательской лаборатории кормовой и комбикормовой промышленности и Детскосельской зоотехнической лаборатории. 1936. Вып. 12. С. 67–75.
6. Мельников С.В. Исследование рабочего процесса молотковой дробилки и разработка оснований к проектированию рационального типа машин для дробления кормов: дис. ... канд. техн. наук. Л., 1952. 172 с.
7. Сыроватка В.И. Основные закономерности процесса измельчения зерна в молотковой дробилке // Электрификация сельского хозяйства: Труды ВИЭСХ. М. : Колос, 1964. Т. 14. С. 89–145.
8. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А. Теоретические исследования измельчителя стебельчатых кормов с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 3 (11). С. 24–34. EDN YULRDJ.
9. Вольвак С.Ф., Бахарев Д.Н., Вертий А.А., Корчагина Е.Е. Теоретическое обоснование затрат мощности на измельчение стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2017. № 1 (13). С. 23–32. EDN WIADHR.
10. Шаповалов В.И. Комплексы машин для поточной уборки зерновых культур. М. : Колос, 1967. 112 с. EDN WDJLJP.
11. Шаповалов В.И., Вольвак С.Ф., Вихватнюк Р.В. Експериментальні дослідження подрібнюючих апаратів соломистих продуктів для зернозбирального комбайна // Вестник Уманского национального университета садоводства. 2013. № 1-2. С. 92–96. EDN RXDOGB.
12. Шидловский Ю.М. Исследование процесса измельчения соломистых материалов при поточной уборке зерновых культур комбайном: автореф. дис. ... канд. техн. наук. Кишинев, 1966. 24 с.
13. Завалишин Ф.С., Мацнев М.Г. Методы исследований по механизации сельскохозяйственного производства. М. : Колос. 1982. 231 с.
14. Шаповалов В.И., Вольвак С.Ф. Механизация переработки кормовых и пищевых продуктов путём разработки гибкого малогабаритного передвижного агрегата. Луганск : Элтон-2, 2009. 213 с. ISBN 978-966-8827-83-9. EDN WNRWQJ.
15. Шаповалов В.И. Механизация уборки незерновой части урожая зерновых культур путем разработки и внедрения в производство гибких технических средств к зерноуборочным комбайнам. Луганск : Світлиця, 2002. 281 с.

#### References

1. Yagel'skij M.Yu., Rodimcev S.A. Tipy` i klassifikaciya nozhej izmel'chitelej-razbrasyvatelej solomy` zernouborochny`x kombajnov [Types and classification of knives of shredders-straw spreaders of combine harvesters]. URL: <https://vestnik.vsau.ru/wp-content/uploads/2017/05/114-122.pdf>.
2. Anoshin E.I. E`ffektivnost` solomy` [Straw efficiency] // Agriculture. 1976. № 1. Pp. 18–20.
3. Zhao Peng, Chen Fu. Short-term influences of straw and nitrogen cooperation on nitrogen use and soil nitrate content in North Henan // J. China Agr. Univ. 2008. Vol. 13. № 4.
4. Goryachkin V.P. Teoriya solomozrezki i silosozrezki [Theory of straw cutting and silage cutting]. Collected works: in 3 volumes. M. : Kolos, 1968. Vol. 3. 384 p.
5. Makarov I.V. Teoriya molotkovoj kormodrobilki [Theory of hammer feed crusher]. Notes of the central research laboratory of the feed and feed industry and the Detskoselsky Zootechnical Laboratory. 1936. Issue. 12. Pp. 67-75.
6. Mel'nikov S.V. Issledovanie rabocheho processa molotkovoj drobilki i razrabotka osnovanij k proektirovaniyu racional'nogo tipa mashin dlya drobleniya kormov [The study of the working process of a hammer crusher and the development of the basis for the design of a rational type of machines for crushing feed]: dis. ... candidate of Technical Sciences. L., 1952. 172 p.
7. Sy'rovatka V.I. Osnovny`e zakonomernosti processa izmel'cheniya zerna v molotkovoj drobilke [Basic regularities of the grain grinding process in a hammer crusher] // Electrification of agriculture: Proceedings of RESH. M. : Kolos, 1964. Vol. 14. Pp. 89–145.
8. Vol'vak S.F., Baxarev D.N., Vertij A.A. Teoreticheskie issledovaniya izmel'chatelya stebel'chaty`x kormov s sharnirno podveshenny`mi kombinirovanny`mi nozhami [Theoretical studies of a shredder of stalked feeds with pivotally suspended combined knives] // Innovations in agriculture: problems and prospects. 2016. № 3 (11). Pp. 24–34. EDN YULRDJ.
9. Vol'vak S.F., Baxarev D.N., Vertij A.A., Korchagina E.E. Teoreticheskoe obosnovanie zatrat moshhnosti na izmel'chenie stebel'chaty`x kormov izmel'chitelem s sharnirno podveshenny`mi kombinirovanny`mi nozhami Theoretical substantiation of the power costs for shredding stalked feeds with a shredder with pivotally suspended combined knives // Innovations in agriculture: problems and prospects. 2017. № 1 (13). Pp. 23–32. EDN WIADHR.
10. Shapovalov V.I. Kompleksy` mashin dlya potочноj uborki zernovy`x kul'tur [Complexes of machines for in-line harvesting of grain crops]. Moscow : Kolos, 1967. 112 p. EDN WDJLJP.
11. Shapovalov V.I., Vol'vak S.F., Vixvatnyuk R.V. Eksperimental'ni doslidzhennya podribnyuyuchix aparativ solomistix produktiv dlya zernozbiral'nogo kombajna [Experimental studies of grinding apparatuses of straw products for a grain harvester] // Vestnik Uman National University of horticulture. 2013. № 1–2. Pp. 92–96. EDN RXDOGB.
12. Shidlovskij Yu.M. Issledovanie processa izmel'cheniya solomisty`x materialov pri potочноj uborke zernovy`x kul'tur kombajnom [Investigation of the process of grinding straw materials during in-line harvesting of grain crops by combine harvester]: abstract dis. ... candidate of Technical Sciences. Chisinau, 1966. 24 p.



13. Zavalishin F.S., Macznev M.G. Metody` issledovaniy po mexanizacii sel'skoxozyajstvennogo proizvodstva [Methods of research on the mechanization of agricultural production]. M. : Kolos. 1982. 231 p.

14. Shapovalov V.I., Vol'vak S.F. Mexanizaciya pererabotki kormovy`x i pishhevy`x produktov putyom razrabotki gibkogo malogabaritnogo peredvizhnogo agregata [Mechanization of feed and food processing by developing a flexible small-sized mobile unit]. Lugansk : Elton-2, 2009. 213 p. ISBN 978-966-8827-83-9. EDN WNRWQJ.

15. Shapovalov V.I. Mexanizaciya uborki nezernovoj chasti urozhaya zernovy`x kul'tur putem razrabotki i vnedreniya v proizvodstvo gibkix texnicheskix sredstv k zernouborochny`m kombajnam [Mechanization of harvesting of the non-grain part of the grain crop by developing and introducing into production flexible technical means for combine harvesters]. Lugansk : Svitlitsa, 2002. 281 p.

#### **Сведения об авторах**

Шаповалов Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, ФГБОУ ВО Луганский ГАУ, городок ЛГАУ 1, г. Луганск, ЛНР, 291008.

Вольвак Сергей Федорович, кандидат технических наук, профессор, профессор кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-12-80, e-mail: volvak.s@yandex.ru.

#### **Information about author**

Shapovalov Viktor Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the department of agricultural machinery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Luhansk State Agrarian University named after K. Voroshilov», the town of LGAU 1, Lugansk, LPR, 291008.

Volvak Sergey Fedorovich, candidate of technical sciences, professor of the department of electrical equipment and electrical technologies in the agro-industrial complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», str. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, telephone +7 4722 39-12-80, e-mail: volvak.s@yandex.ru.

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

УДК 504.064.36:546:631.862:636.52/.58

*В.И. Желтухина, С.И. Панин, М.А. Куликова, Е.Г. Котлярова*

### СЕЗОННЫЙ МОНИТОРИНГ СОСТАВА И СОДЕРЖАНИЯ ТЯЖЕЛЫХ МЕТАЛЛОВ В КУРИНОМ ПОМЕТЕ

**Аннотация.** Изучение сезонной динамики содержания тяжелых металлов в бесподстилочном курином помете птицефабрик Белгородской области для использования его в качестве органических удобрений при проектировании систем удобрения агробиоценозов наиболее актуально в условиях интенсификации сельскохозяйственного производства. Существует необходимость в дифференцированном подходе к оценке химического состава, их влиянию на почву, флору и фауну, подземные воды с целью безопасного использования отходов животноводства в сельскохозяйственном производстве. С экологической и с агрономической точки зрения для поддержания плодородия почв оптимальным путем утилизации органических отходов является использование их в качестве удобрения. Включение максимально возможного количества органических отходов в биологический круговорот путем контролируемого использования в агро сфере позволит регулировать антропогенные потоки веществ, снизить уровень негативного воздействия продуктов трансформации отходов на экосистемы и повысить плодородие почв.

В результате проведенных исследований физико-химических свойств помета куриного на птицефабриках Белгородской области в курином помете отмечается изменения концентраций органических и неорганических веществ по сезонам года.

Наиболее ясная сезонность наблюдалась в изменении концентрации тяжелых металлов. Кадмий, ртуть, мышьяк в наибольшем количестве содержатся в курином помете в январе, к летнему периоду их количество в помете снижается. Противоположную направленность имеет содержание свинца, минимум этого металла приходится на июнь.

В качестве органических удобрений рекомендуется использовать куриный помет, т.к. санитарно-гигиенические нормы соблюдены. Результаты проведенных мониторинговых исследований могут быть использованы для проектирования систем удобрения агробиоценозов.

**Ключевые слова:** куриный помет, удобрение, минеральные вещества, органические вещества, почва.

### SEASONAL MONITORING OF COMPOSITION AND CONTENT OF HEAVY METALS IN CHICKEN MANURE

**Abstract.** The study of the seasonal dynamics of the content of heavy metals in the unstitched chicken manure of poultry farms of the Belgorod region for its use as organic fertilizers in the design of fertilizer systems of agrobiocenoses is most relevant in the conditions of intensification of agricultural production. There is a need for a differentiated approach to the assessment of chemical composition, their impact on soil, flora and fauna, groundwater to safely use animal waste in agricultural production. From an ecological and agronomic point of view, to maintain soil fertility, the optimal way to dispose of organic waste is to use it as a fertilizer. The inclusion of the maximum possible amount of organic waste in the biological cycle through controlled use in the agricultural sphere will allow to regulate anthropogenic flows of substances, reduce the level of negative impact of waste transformation products on ecosystems and increase soil fertility.

As a result of the conducted studies of the physico-chemical properties of chicken manure at poultry farms in the Belgorod region, changes in the concentrations of organic and inorganic substances by seasons are noted in chicken manure.

The clearest seasonality was observed in the change in the concentration of heavy metals. Cadmium, mercury, arsenic is contained in the largest quantities in chicken manure in January, by the summer period their number in the litter decreases. The lead content has the opposite direction, the minimum of this metal falls in June.

It is recommended to use chicken manure as organic fertilizers, because sanitary and hygienic standards are met. The results of the monitoring studies can be used to design fertilizer systems for agrobiocenoses.

**Keywords:** chicken manure, fertilizer, minerals, organic substances, soil.

**Введение.** Высокие темпы индустриализации в промышленном и сельскохозяйственном производстве в России привели к появлению и увеличению антагонистических отношений человечества с окружающей средой. В настоящее время развитие производственной деятельности направлено на обеспечение экономической рентабельности с учетом экологической целесообразности получения различного вида продукции, а также на увеличение доли производства органической продукции в сельском хозяйстве. Жизненный цикл данной продукции должен включать в себя все этапы производства с последующей утилизацией, с целью отслеживания экологического следа при получении и использовании.

Также приоритетной задачей государственной продовольственной программы является обеспечение потребностей населения экологически безопасной и полезной продукцией сельскохозяйственного производства. Внедрение в производственные процессы экологических подходов является актуальным и перспективным направлением, с учетом прогностических моделей развития растениеводства и животноводства [1].

Данный подход предполагает эффективное использование экологического мониторинга при производстве сельскохозяйственной продукции. В качестве документа, регламентирующего организационные принципы системы управления состоянием окружающей среды, служит комплекс международных стандартов серии 14000 «Система управления качеством окружающей среды», введенный в 1.04.1999 г. в Российской Федерации в практику оценки соответствия экологической эффективности политике организации, плановым показателям и другим критериям производственной деятельности [2].

Не перестает быть актуальной проблема хранения, обезвреживания и утилизации отходов производства птицеводческой отрасли. Необходимо ориентировать процессы производства в данной отрасли на энергосберегаемость и малоотходность технологий, что позволит комплексно и полномасштабно использовать весь ресурсный потенциал птицеводческих отходов.

Использование современных методов утилизации отходов птицеводческих комплексов позволит исключить негативное воздействие на почву и другие компоненты окружающей среды, а также получить дополнительный доход при использовании эколого-экономического подхода [3].

Куриный помет относится к категории опасных отходов птицеводческой отрасли и при неправильном хранении, использовании и утилизации может стать источником загрязнения окружающей среды и социальной напряженности в расположенных вблизи населенных пунктах [4].

Правильное использование органических удобрений позволяет обеспечить микроорганизмы почвы источником пищи и, соответственно, энергетическим материалом. Помимо этого, органические удобрения – это необходимый фактор для регулирования основных показателей плодородия почв: содержания органического вещества, подвижных форм азота, фосфора, калия, кальция, алюминия, железа, марганца и многих других [5].

Увеличение содержания гумуса и улучшение его качественного состава является неотъемлемым показателем правильного использования органических удобрений.

**Цель исследования** – изучение сезонной динамики содержания тяжелых металлов в бесподстильном курином помете птицефабрик Белгородской области для использования его в качестве органических удобрений для проектирования систем удобрения агробиоценозов.

**Условия, материалы и методы.** Качество и количество питательных веществ в помете определяются содержанием птицы и условиями кормления. Органическое вещество птичьего помета, благодаря его агрохимическим свойствам, быстро минерализуется микрофлорой почвы. Основная часть азота в птичьем помете представлена мочевой кислотой, которая при хранении превращается вначале в мочевины, затем – в углекислый аммоний, который имеет свойство быстро разлагаться на аммиак, углекислый газ и воду, что приводит к значительным потерям азота. Фосфор, который присутствует в птичьем помете, представлен органическими соединениями и быстро усваивается растениями, т.е. используется лучше, чем фосфор в минеральных удобрениях. Поскольку помет – в основном азотно-фосфорное удобрение, то его применение обуславливает необходимость дополнительного внесения калийных удобрений [6].

Среди используемых удобрений птичий помет занимает особое место, т.к. в нем присутствует большое количество различных питательных веществ, которые легко усваиваются растениями.

Высокая численность поголовья в современных птицеводческих хозяйствах приводит к большим накоплениям помета. Его транспорт является экономически нерентабельным. С этой точки зрения использование куриного помета в качестве органического удобрения является очевидной. Почва как биокосное тело имеет особо важное свойство к самоочищению (безусловно, в разумных количествах). С экологической и с агрономической точки зрения для поддержания плодородия почв оптимальным путем утилизации органических отходов является использование их в качестве удобрения. Включение максимально возможного количества органических отходов в биологический круговорот путем контролируемого использования в агрофере позволит регулировать антропогенные потоки веществ, снизить уровень негативного воздействия продуктов трансформации отходов на экосистемы и повысить плодородие почв [7].

По действию на урожай помет ближе к минеральным удобрениям, чем к навозу, но последствие помета выше, в сравнении с минеральными туками, так как часть азота в нем находится в органической форме и постепенно переходит в доступное для растений состояние. Наиболее высокий эффект пометные удобрения дают в специализированных севооборотах интенсивного типа, прежде всего в кормовых севооборотах, насыщенных злаковыми травами, силосными и пропашными культурами [8].

Исследования проводились на пяти птицефабриках Белгородской области. Отбор проб производился в течение календарного года в соответствии с требованиями ГОСТ 26712–94: «Удобрения органические. Общие требования к методам анализа».

Лабораторный анализ физико-химических параметров куриного помета проводился ФГУ «ЦАС «Белгородский» согласно требованиям нормативных документов, регламентирующих проведение испытаний по содержанию в них основных органических и неорганических компонентов, а также тяжелых металлов.

**Результаты и обсуждение.** Присутствие отходов в птицеводческих и животноводческих отраслях, при получении продукции, является обязательной и неотъемлемой частью технологического процесса. Т.к. птичий помет является загрязнителем высокого класса опасности, который подвергает окружающую среду на появление различных неблагоприятных процессов, связанных с загрязнением данными отходами, а также может нести угрозу безопасности жизнедеятельности региона в целом, необходимо правильное хранение, транспортирование и самое главное последующее использование помёта как востребованного для агробиоценозов высококачественного органического удобрения.

В зависимости от условий существует несколько технологий переработки помета в органическое удобрение. Основные из них: пассивное и интенсивное компостирование, а также термическая и вакуумная сушка помёта. Существует необходимость в дифференцированном подходе к оценке химического состава, их влиянию на почву, флору и фауну, подземные воды с целью безопасного использования отходов животноводства.

Постоянный мониторинг физических и химических свойств помета и органического удобрения, созданного на его основе, является обязательной частью в сельскохозяйственном производстве. Исследования состава куриного помета показали наличие сезонной динамики компонентов куриного помета птицефабрик Белгородской области (табл. 1).

**Таблица 1 – Состав куриного помета**

Сроки взятия проб	рН	Массовая доля								
		влаги	сухого остатка	золы	орг. в-ва	общего азота	Р	К	Са	Na
Январь	7,1	24,41	75,58	17,11	38,47	1,45	2,62	0,95	3,17	0,21
Март	8,2	57,17	42,83	12,29	30,54	1,44	1,39	2,04	1,02	0,30
Июнь	7,3	39,15	60,85	12,19	48,66	3,19	2,41	2,05	1,67	0,36
Октябрь	7,8	39,93	60,07	11,36	48,69	3,07	2,57	1,52	3,31	0,29

При анализе водородного показателя (рН) нами не было отмечено каких-либо закономерностей (рис. 1). Наибольший минимум данный показатель достигает в январе, а максимум в марте. Различие между максимумом и минимумом составило 1,1 или 13,4%.

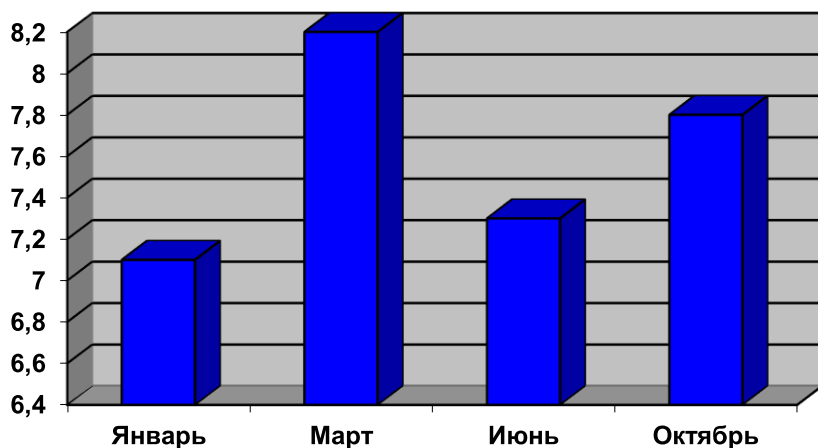


Рис. 1 – Динамика водородного показателя в помете

При анализе следующего показателя – массовой доли влаги в помете можно отметить, что наибольшей влажностью отличался помет весеннего периода, количество влаги в нем было выше в 2,3 раза по сравнению с пометом зимнего периода. Помет летнего и осеннего периода также не отличался большим количеством влаги, но данный показатель был на среднем уровне – 31,5 или 30,2% меньше по сравнению с весенним периодом (рис. 2).

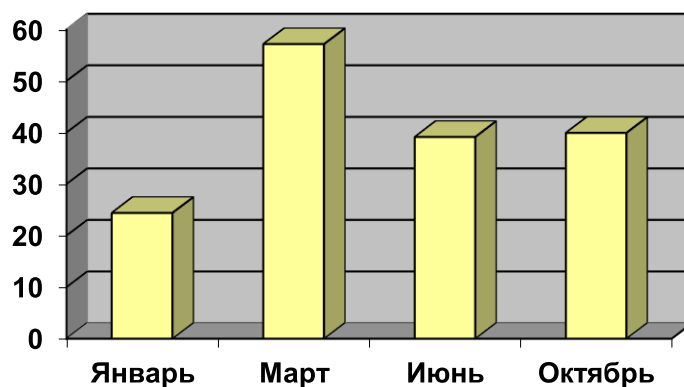


Рис. 2 – Массовая доля влаги в помете

Наблюдается прямая корреляция между количеством влаги и массовой долей сухого остатка. Соответственно максимум наблюдался в январе, а минимум – весной в марте (рис. 3) на 43,3% меньше по отношению к зимнему периоду.

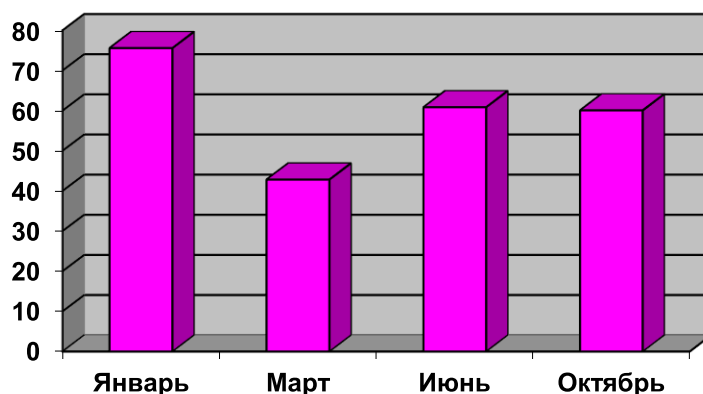


Рис. 3 – Массовая доля сухого остатка в помете

В июне и октябре сухой остаток оказался ниже январского уровня на 14,73 или на 19,5% и на 15,51 или на 20,5% соответственно.

Зольность помета (рис. 4) максимальная в январе, тогда как в марте замечено уменьшение этого показателя на 4,82 или на 28,2; в июне – на 4,92 или на 28,8 и в октябре на 5,75 или на 33,6%.

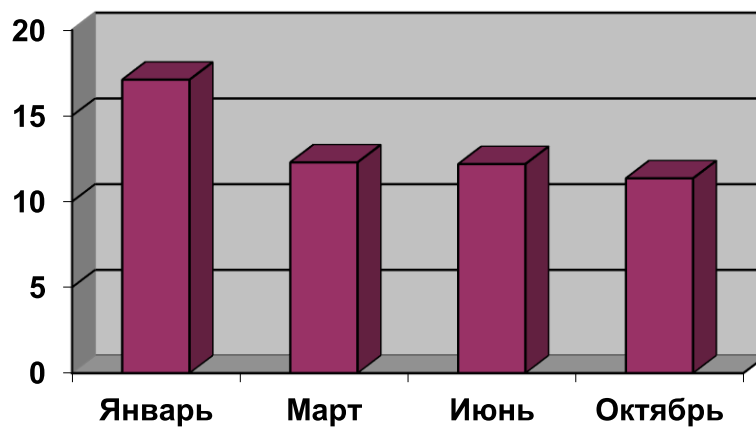


Рис. 4 – Массовая доля золы в помете

Динамика содержания органического вещества представлена на рисунке 5. Отмечается размах колебаний от наибольшего в октябре до наименьшего в марте, что составило 18,15. В январском помете массовая доля органического вещества снизилась на 10,22 или на 21,0%.

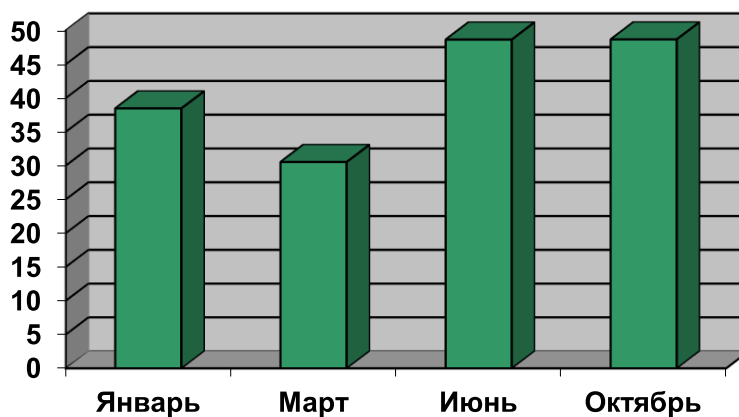


Рис. 5 – Массовая доля органического вещества в помете

При рассмотрении содержания общего азота в курином помете в июне и октябре отмечается положительная динамика, т.е. увеличение его количества. Тогда как в январе и марте наблюдается его снижение вдвое (рис. 6).

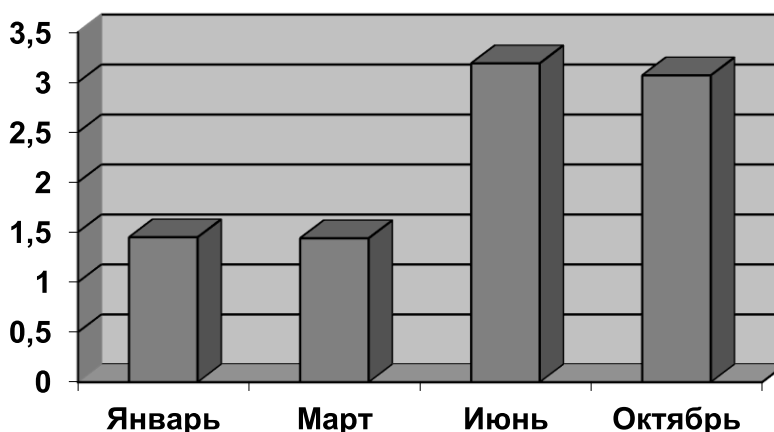


Рис. 6 – Массовая доля общего азота в помете

При рассмотрении содержания минеральных элементов с учетом сезонной динамики, видимые изменения были с калием и кальцием (рис. 6, 7). Для фосфора и натрия определенной закономерности не установлено.

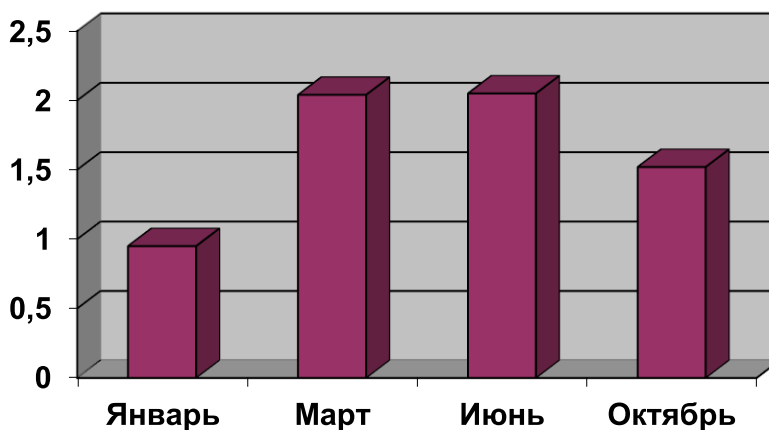


Рис. 7 – Массовая доля калия в помете

Наиболее высокое количество калия в помете отмечается весной и летом, максимум приходится на июнь – 2,05. В осенне-зимний период концентрация калия существенно снижается на 0,53 или на 25,9 и на 1,1 или в 2,2 по отношению весенне-летнему периоду.

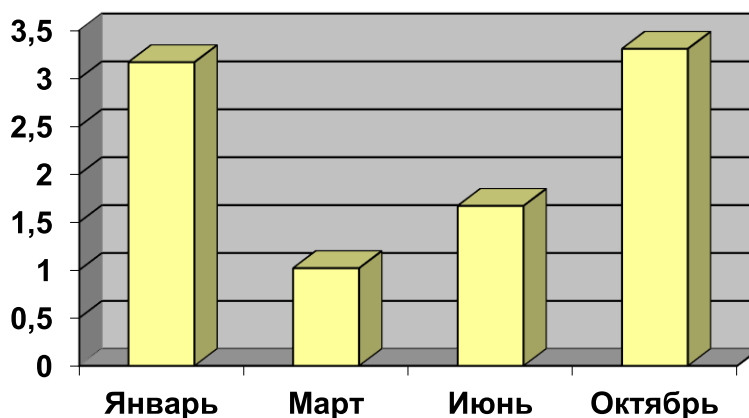


Рис. 8 – Массовая доля кальция в помете

При рассмотрении динамики кальция можно отметить противоположную тенденцию. В октябре количество данного металла существенно увеличилось и составило 3,31, тогда как в марте было на 2,29 или в 3,2 раза меньше (рис. 8).

Актуальной проблемой в настоящее время остается загрязнение почвы агробиоценозов тяжелыми металлами. Данный экологический токсикант различными путями, в том числе с отходами сельскохозяйственных предприятий попадает в почву. Животноводческие хозяйства представляют опасность для окружающей среды, т.к. могут быть источниками ее загрязнения. Высокая концентрация поголовья скота и птицы на небольшой территории делает эту проблему более острой. Многие тяжелые металлы имеют высокую способность к аккумуляции и накоплению в различных звеньях пищевой цепи. Наиболее уязвимыми являются последние трофические уровни, в которых происходит накопление и в последствие отравление организма в системе рацион-продукция. Концентрационная способность многих тяжелых металлов указывает на необходимость проведения мониторинга содержания тяжелых металлов в отходах животноводства на этапе функционирования объектов.

Проведенный нами анализ содержания тяжелых металлов в птичьем помете свидетельствует о присутствии сезонной динамики в изменении концентрации этих токсикантов. Данные о содержании тяжелых металлов в помете представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в помете, мг/кг

Сроки взятия проб	Свинец	Кадмий	Ртуть	Мышьяк
Январь	1,34	0,17	0,015	0,93
Март	1,58	0,10	0,0032	0,31
Июнь	1,81	0,12	0,0062	0,34
Октябрь	1,32	0,15	0,009	0,34

В результате анализа данных, представленных в таблице 3, отмечается снижение содержания свинца (рис. 9) в октябре и январе – 1,32 и 1,34 мг/кг. В весенние и летние месяцы наблюдается увеличение количества свинца в помете. В марте на 0,26 мг/кг или на 16,5%; июне – на 0,49 мг/кг или на 27,1% по отношению к количеству данного экотоксиканта в октябре.

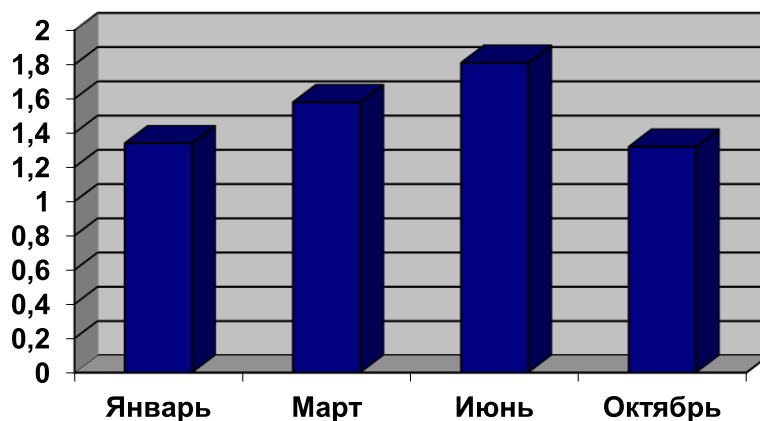


Рис. 9 – Динамика содержания свинца в помете, мг/кг

Концентрация кадмия имела другую динамику по сезонам года по сравнению со свинцом (рис. 10). Максимум данного металла наблюдается в январе. Разница в содержании этого металла составила 0,07 мг/кг и минимум был зафиксирован в марте – 0,10 мг/кг. Различие между мартовским содержанием кадмия и осенне-зимними месяцами: для октября – 0,05 мг/кг или 33,3; для января – 0,07 мг/кг или 41,2%.

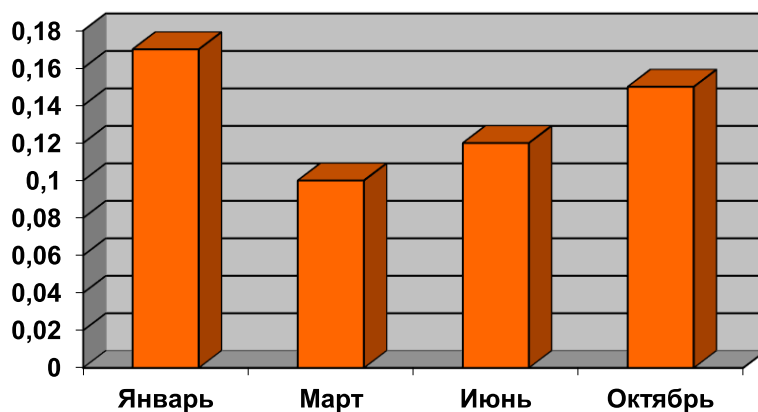


Рис. 10 – Динамика содержания кадмия в помете, мг/кг

На рисунке 11 представлено содержание ртути, на котором можно отметить увеличение концентрации данного токсиканта зимой, минимальное количество загрязнителя приходится на март. Данный показатель в марте снижается на 0,0118 мг/кг или в 4,7 раза. В летний период количество ртути снизилось; в июне – на 0,0088 мг/кг или в 2,4 раза и в октябре – на 0,006 мг/кг или на 40,0% по сравнению с уровнем концентрации ртути в январе.

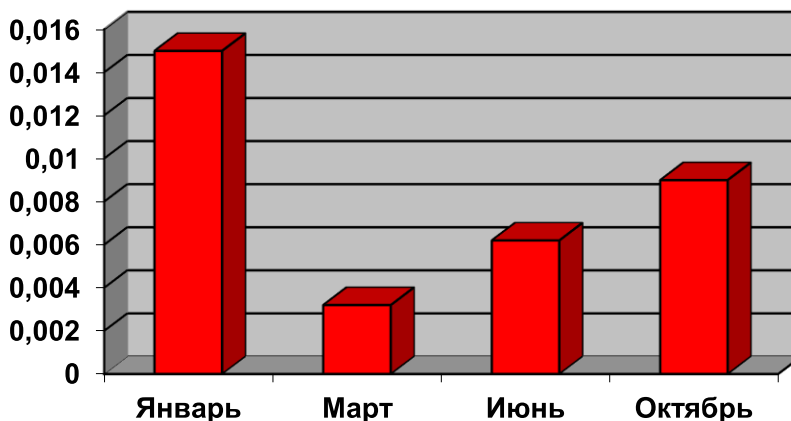


Рис. 11 – Динамика содержания ртути в помете, мг/кг

При изучении содержания мышьяка, так же как для ртути, в курином помете (рис. 12) отмечается уменьшение его концентрации к весеннему периоду, минимальное содержание было зафиксировано в марте и составило 0,31 мг/кг. Данный токсикант не имеет существенную динамику в летние и осенние месяцы, но достаточно высокая его концентрация отмечается в январе – в 3 раза выше, чем в марте.

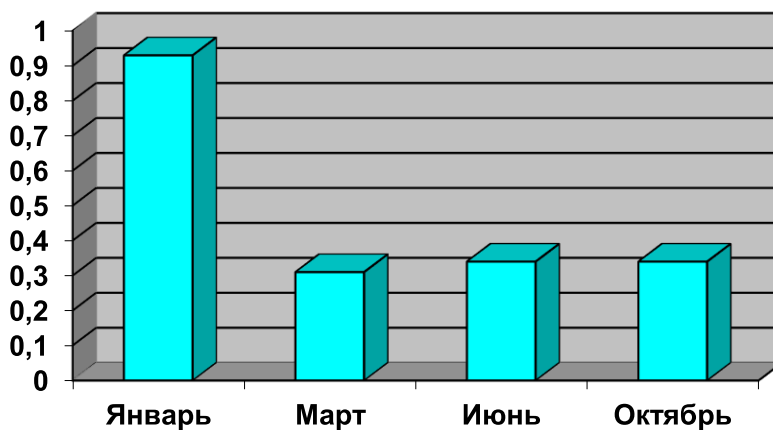


Рис. 12 – Динамика содержания мышьяка в помете, мг/кг

В результате проведенных исследований физико-химических свойств помета куриного на птицефабриках Белгородской области в курином помете отмечается изменение концентраций органических и неорганических веществ по сезонам года. Наибольшее количество органических компонентов, а также максимальное содержание сухого остатка и золы приходилось на зимний период, а в летний – уменьшалось. Количество в курином помете биогенных элементов изменялось в разном направлении: максимум калия приходился на летние месяцы, а содержание кальция имело обратную корреляцию и увеличивалось к зимнему периоду. Увеличение концентрации общего азота в курином помете было в июне и октябре. У фосфора сезонной динамики установить не удалось.

Наиболее ясная сезонность наблюдалась в изменении концентрации тяжелых металлов. Кадмий, ртуть, мышьяк в наибольшем количестве содержатся в курином помете в январе, к летнему периоду их количество в помете снижается. Противоположную направленность имеет содержание свинца, минимум этого металла приходится на июнь. Превышения уровней ПДК и ОДК для почв с различными физико-химическими свойствами.

**Выводы.** В качестве органических удобрений рекомендуется использовать куриный помет, т.к. санитарно-гигиенические нормы соблюдены. Результаты проведенных мониторинговых исследований могут быть использованы для проектирования систем удобрения агробиоценозов.

#### Библиография

1. Ганиев А.С. Технология получения органического удобрения из куриного помета / А.С. Ганиев, З.М. Халиуллина, Д.Э. Гадельшина // В сборнике: Реализация приоритетных программ развития АПК. Сборник научных трудов по итогам X Международной научно-практической конференции, посвященная памяти заслуженного деятеля науки РФ и КБР, профессора Бориса Хажмуратовича Жерукова. Нальчик. 2022. С. 29–32.
2. Гоптаренко Е.Н. Определение тяжелых металлов в минеральных удобрениях / Е.Н. Гоптаренко, Т.В. Левенец // В сборнике: Теория и практика инновационных исследований в области естественных наук. Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Оренбургский государственный университет. Оренбург. 2022. С. 119–122.
3. Желтухина В.И. Морфоструктурные характеристики сои в зависимости от внесения в почву различных доз подстилочного куриного помета / В.И. Желтухина, С.И. Панин, Л.А. Манохина // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2022. № 2 (34). С. 108–114.
4. Желтухина В.И. Поведение тяжелых металлов в почвенно-биотическом комплексе агроценозов / В.И. Желтухина, Т.С. Морозова, С.И. Панин, А.А. Мелентьев, М.А. Куликова // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 4 (32). С. 136–140.
5. Использование куриного помета в качестве удобрения / Е.С. Кириченко // В сборнике: Идеи молодых ученых – агропромышленному комплексу: агроинженерные и сельскохозяйственные науки. Материалы студенческой научной конференции Института агроинженерии, Института агроэкологии. Челябинск. 2020. С. 148–153.
6. Кокоева А.А., Кильчуков А.И. Способы переработки куриного помета в органическое удобрение / А.А. Кокоева, А.И. Кильчуков // В сборнике: Цифровая трансформация науки и образования. Сборник научных трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. 2022. С. 281–285.
7. Колесниченко Е.Ю. Динамика содержания тяжелых металлов в пахотной почве примагистральной экосистемы / Т.В. Олива, С.И. Панин // В книге: Актуальные решения аграрной науки по развитию сельскохозяйственного производства и укреплению продовольственной безопасности страны. Материалы Международной научной конференции. 2022. С. 61–63.
8. Соловьев И.И. Анализ динамики состава куриного помета в зависимости от сезонов года / И.И. Соловьев, А.Г. Ткач, В.И. Желтухина // В книге: Горинские чтения. Инновационные решения для АПК. Материалы Международной научной конференции. 2023. С. 302–303.

#### References

1. Ganiev A.S. Technology of obtaining organic fertilizer from chicken manure / A.S. Ganiev, Z.M. Khaliullina, D.E. Gadelshina // In the collection: Implementation of priority programs for the development of agriculture. Collection of scientific papers on the results of the X International Scientific and Practical Conference dedicated to the memory of the Honored Scientist of the Russian Federation and the CBD, Professor Boris Khazhmuratovich Zherukov. Nalchik. 2022. Pp. 29–32.
2. Goptarenko E.N. Determination of heavy metals in mineral fertilizers / E.N. Goptarenko, T.V. Levenets // In the collection: Theory and practice of innovative research in the field of natural sciences. Materials of the All-Russian scientific and practical conference with international participation. Orenburg State University. Orenburg. 2022. Pp. 119–122.



3. Zheltukhina V.I. Morphostructural characteristics of soybeans depending on the introduction of various doses of litter chicken manure into the soil / V.I. Zheltukhina, S.I. Panin, L.A. Manokhina // Innovations in agriculture: problems and prospects. 2022. № 2 (34). Pp. 108–114.
4. Zheltukhina V.I. Behavior of heavy metals in the soil-biotic complex of agrocenoses / V.I. Zheltukhina, T.S. Morozova, S.I. Panin, A.A. Melentyev, M.A. Kulikova // Innovations in agriculture: problems and prospects. 2021. № 4 (32). Pp. 136–140.
5. The use of chicken manure as fertilizer / E.S. Kirichenko // In the collection: Ideas of young scientists for the agro-industrial complex: agroengineering and agricultural sciences. Materials of the student scientific conference of the Institute of Agroengineering, Institute of Agroecology. Chelyabinsk. 2020. Pp. 148–153.
6. Kokoeva A.A., Kilchukov A.I. Methods of processing chicken manure into organic fertilizer / A.A. Kokoeva, A.I. Kilchukov // In the collection: Digital transformation of science and education collection of scientific papers of the III All-Russian Scientific and practical conference with international participation. 2022. Pp. 281–285.
7. Kolesnichenko E.Yu. Dynamics of heavy metals content in arable soil of the primagistral ecosystem / T.V. Oliva, S.I. Panin // In the book: Current solutions of agrarian science for the development of agricultural production and strengthening food security of the country. Materials of the International Scientific Conference. 2022. Pp. 61–63.
8. Solovyov I.I. Analysis of the dynamics of the composition of chicken manure depending on the seasons of the year / I.I. Solovyov, A.G. Tkach, V.I. Zheltukhina // In the book: Gorin readings. Innovative solutions for the agro-industrial complex. Materials of the International Scientific Conference. 2023. Pp. 302–303.

#### Сведения об авторах

Желтухина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, доцент кафедры земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-17-70, e-mail: Zheltuhina\_vi@bsaa.edu.ru.

Панин Сергей Иванович, кандидат биологических наук, доцент кафедры земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-17-70, e-mail: Panin\_si@bsaa.edu.ru.

Куликова Марина Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-17-70, e-mail: kursi-2010@mail.ru.

Котлярова Екатерина Геннадьевна, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: kotlyarovaeg@mail.ru.

#### Information about the authors

Zheltukhina Valentina Ivanovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: Zheltuhina\_vi@bsaa.edu.ru.

Panin Sergey Ivanovich, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: Panin\_si@bsaa.edu.ru.

Kulikova Marina Alekseevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», 1 Vavilova str., Maysky village, Belgorod region, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: kursi-2010@mail.ru.

Kotlyarova Ekaterina Gennadyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Agronomy Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, d. 1, Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. + 79065674459, e-mail: kotlyarovaeg@mail.ru.

УДК 633.111.1:631.559.2:631.582:551.579.5

С.Н. Зюба, С.И. Смуров, О.В. Григоров, О.В. Гапиенко, П.В. Андреев

## ВЛИЯНИЕ РЕЖИМА УВЛАЖНЕНИЯ И ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ НА ПРОДУКТИВНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ

**Аннотация.** При планировании современных систем земледелия остается актуальным вопрос сохранения и воспроизводства почвенного плодородия. Научно обоснованный севооборот повышает плодородие почвы, обеспечивает более эффективное использование питательных веществ и водных ресурсов почвы, значительно сокращает использование минеральных удобрений. С этой целью на базе ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в лаборатории по изучению систем земледелия были проведены исследования по влиянию режима увлажнения и предшественников на продуктивность озимой пшеницы. В статье представлен анализ результатов водного режима почвы в зависимости от различных предшественников и их влияния на урожайность озимой пшеницы. Предшественники были представлены следующими культурами: многолетние травы одногодичного одноукосного использования, горох на зерно, яровой ячмень и чёрный пар. В поле предшественников озимой пшеницы доза минеральных удобрений составляла  $N_{50}P_{50}K_{50}$ , а в поле озимой пшеницы  $N_{110}P_{50}K_{50}$ . Установлено, что наилучшее использование продуктивной влаги в весенне-летний период происходило в посевах озимой пшеницы после гороха на зерно и черного пара, что благоприятно сказалось на величине полученного урожая. В среднем за 2013-2022 гг. он равнялся 6,41 т/га и 6,50 т/га, соответственно предшественникам. Оптимальные запасы продуктивной влаги, как в слое 0-30 см, так и в слое 0-100 см перед посевом озимой пшеницы отмечались в 2013 году, 34-39 мм и 124-130 мм соответственно слоям, и не зависели от предшественника. Почвенная засуха отмечалась в 2016 и 2020 годах, когда запасы продуктивной влаги близились к нулю. Перед уходом в зиму и на время возобновления вегетации в обоих изучавшихся слоях отмечалось оптимальное увлажнение, а в фазу молочной спелости и к моменту уборки растения озимой пшеницы испытывали недостаток влаги.

**Ключевые слова:** предшественники, озимая пшеница, многолетние травы, горох на зерно, яровой ячмень, чёрный пар, режим увлажнения, сумма осадков за вегетацию, суммарный расход воды, коэффициент водопотребления, урожайность, качество клейковины, масса 1000 зёрен, натура зерна.

## THE INFLUENCE OF THE HUMIDIFICATION REGIME AND PRECURSORS ON THE PRODUCTIVITY OF WINTER WHEAT

**Abstract.** When planning modern farming systems, the issue of preserving and reproducing soil fertility remains relevant. Scientifically based crop rotation increases soil fertility, ensures more efficient use of nutrients and water resources of the soil, significantly reduces the use of mineral fertilizers. For this purpose, based on the Belgorod State Agrarian University in the laboratory for the study of agricultural systems, studies were conducted on the influence of the moisture regime and precursors on the productivity of winter wheat. The article presents an analysis of the results of soil water regimes depending on various precursors and their impact on the yield of winter wheat. The predecessors were represented by the following crops: perennial grasses of one-year single-crop use, peas for grain, spring barley and bare fallow. In the field of winter wheat precursors, the dose of mineral fertilizers was  $N_{50}P_{50}K_{50}$ , and in the field of winter wheat  $N_{110}P_{50}K_{50}$ . It was found that the best use of productive moisture in the spring-summer period occurred in winter wheat crops after peas for grain and bare fallow, which favorably affected the size of the resulting crop. On average for 2013-2022, it was 6.41 t/ha and 6.50 t/ha, respectively, to the predecessors. Optimal reserves of productive moisture, both in the 0-30 cm layer and in the 0-100 cm layer before sowing winter wheat, were observed in 2013, 34-39 mm and 124-130 mm respectively, layers and did not depend on the predecessor. Soil drought was observed in 2016 and 2020, when the reserves of productive moisture were close to zero. Before leaving for winter and at the time of the resumption of vegetation, optimal moisture was noted in both studied layers, and in the phase of milk ripeness and by the time of harvesting, winter wheat plants lacked moisture.

**Keywords:** precursors, winter wheat, perennial grasses, peas for grain, spring barley, bare fallow, humidification regime, amount of precipitation during vegetation, total water consumption, water consumption coefficient, yield, gluten quality, weight of 1000 grains, grain nature.

**Введение.** В Центрально-Чернозёмном регионе (ЦЧР) лимитирующим фактором урожайности является влага, поэтому накопление и рациональное её использование – главное условие и цель при разработке технологических приёмов выращивания полевых культур.

Одной из важных задач современного сельскохозяйственного производства является обеспечение продовольственной безопасности России, при этом необходимым условием является соблюдение мероприятий по воспроизводству и сохранению почв. Почвенный покров Белгородской области представлен чернозёмами. Эти почвы считаются самыми плодородными, как в России, так и во всём мире. В последние годы происходит деградация почв в результате снижения уровня земледелия [1, 2].

Ведущей, среди зерновых культур в России, является озимая пшеница. Она является основным продуктом питания как для человека, так и для сельскохозяйственных животных за счёт высокого качества зерна. В Центрально-Чернозёмном Регионе производство зерна озимой пшеницы является одним из основных направлений в земледелии. Достижение высоких урожаев культуры возможно только при оптимальном сочетании всех элементов технологии. К ним относятся размещение в севообороте, то есть выбор лучшего предшественника, выбор способа основной обработки почвы, сбалансированное внесение минеральных удобрений в соответствии с агрохимическим обследованием почв, а также подбора интегрированной системы защиты растений от вредителей, болезней и сорной растительности [3, 4].

Рост и развитие растений озимой пшеницы зависит от множества факторов, которые оказывают непосредственное влияние на водный режим. Прежде всего это выбор технологии возделывания, предшественника, агрофизическое состояние почвы, а также суммарное количество активных температур за период вегетации и количество выпадающих осадков. Не достаточное количество почвенной влаги приводит к снижению эффективности агротехнических приёмов и оказывает пагубное влияние на величину урожая [5, 6]. Наибольшее влияние на состоянии растений оказывают запасы продуктивной влаги в период посева и на момент прекращения весенней вегетации [7, 8].

Одним из главных факторов оценки предшественников является время освобождения поля, для того чтобы осуществить возможность качественной подготовки почвы под посев последующей культуры. Такое мероприятие гарантирует достаточное количество почвенной влаги, доступность элементов питания, хорошее агрофизическое состояние почвы, от которого зависит качество проведения посева, а вследствие получение дружных всходов. Также своевременная уборка предшественника и качественное проведение основной обработки почвы под озимую культуру способствует улучшению фитосанитарного состояния посевов. Большую роль выбор предшественника играет в острозасушливые годы в период посева.

Пары, многолетние бобовые травы, зернобобовые культуры являются основными предшественниками для озимой пшеницы, возделываемой в юго-западной части Белгородской области. Смещение температурного режима в сторону повышения сказалось на снижении урожайности гороха, вследствие чего хозяйства начали включать в зерновую группу такую культуру, как соя. Однако рациональное использование запасов продуктивной влаги остаётся важнейшим фактором при выборе технологии возделывания любой сельскохозяйственной культуры [9, 10, 11, 12, 13].

Теоретическое обоснование, приведённое выше, ставит задачу перед хозяйствами создать условия для наибольшего накопления почвенной влаги, а также рационально её использовать при возделывании как озимой пшеницы, так и других полевых культур с целью получения стабильного урожая с высоким качеством зерна.

**Целью исследований** было изучить степень влияния режима увлажнения на урожайность и качество зерна озимой пшеницы, возделываемой по четырём предшественникам в условиях юго-западной части Белгородской области, относящейся к Централльно-Чернозёмному региону.

**Материалы и методы.** Полевой опыт проводился в лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского ГАУ в 2013-2022 гг. в стационаре по изучению продуктивности основных полевых культур в зависимости от уровня минерального питания и севооборотов. Исследования выполнялись по четырём предшественникам – многолетние травы (люцерна) одногодичного использования на один укос, горох на зерно, яровой ячмень, чёрный пар. В поле предшественников озимой пшеницы доза минеральных удобрений составляла  $N_{50}P_{50}K_{50}$ , а в поле озимой пшеницы  $N_{110}P_{50}K_{50}$  в кг действующего вещества на 1 га.

Почва опытного участка – чернозём типичный, среднемошный, тяжелосуглинистый, на лессовидном суглинке. По результатам агрохимического обследования полей севооборотов проведённого в 2021 году содержание в пахотном горизонте доступных питательных веществ составляло: гумуса по предшественнику многолетние травы 4,7%, по гороху на зерно 4,8%, по яровому ячменю и чёрному пару 4,6%, гидролизующего азота по многолетним травам и яровому ячменю 159 мг на 1 кг почвы, по гороху на зерно и чёрному пару 156 мг на 1 кг почвы. Гидролитическая кислотность по многолетним травам была равной 2,08 мг/экв., по гороху на зерно 1,64 мг/экв., по яровому ячменю 3,03 мг/экв., а по чёрному пару 3,33 мг/экв. Водородный показатель pH находился на уровне 6,1, 5,5, 5,8 и 5,7, соответственно предшественникам.

В опыте семена культур высевались со следующими нормами: озимая пшеница в зависимости от погодных условий и увлажнения почвы 5,0 или 6,0 млн. шт./га, яровой ячмень 5,0 млн. шт./га, горох на зерно 1,5 млн. шт./га, люцерна 6,0 млн. шт./га.

Посевная площадь опытной делянки составляла 50,7 м<sup>2</sup>, учётной – 50 м<sup>2</sup>. Агротехника культур была традиционная для зоны. Исследования проводились по общепринятым методикам.

**Результаты исследований.** Важное значение в повышении урожайности озимой пшеницы имеет получение дружных всходов, которое создаёт предпосылки для развития растений перед уходом в зиму. При достижении растений фазы кушения, они проходят успешную перезимовку, что непосредственным образом влияет на их продуктивность. Основным лимитирующим фактором на момент начала посева озимой пшеницы является недостаток влаги. Происходит это за счёт повышенного температурного режима, складывающегося в летний период перед посевом культуры.

На запасы продуктивной влаги непосредственное значение оказывают предшественники озимой пшеницы. Получение дружных всходов культуры возможно только при наличии в верхнем слое почвы 0-10 см не менее 15 мм продуктивной влаги. Биологические особенности озимой пшеницы требуют для прорастания семян наличие в почве 20-25 мм доступной влаги. Следует отметить, что качественные всходы возможно получить только при 30 мм. Количество продуктивной влаги, полученное при накоплении предшествующей культурой, оказывает влияние на последующие этапы развития растений.

Оптимальные запасы влаги в слое 0-30 см перед посевом озимой пшеницы отмечались в 2013 и 2014 годах – 34-39 мм и не зависели от предшественника. Почвенная засуха отмечалась в 2016 и 2020 годах, когда запасы продуктивной влаги близились к нулю, а максимальное её количество было по предшественнику чёрный пар, 9 мм и 7 мм соответственно годам (таблица 1). В связи с этим были получены изреженные всходы, а фаза кушения наступила только весной.

Перед уходом в зиму и во время возобновления весенней вегетации культуры практически во все года проведения исследований режим увлажнения тридцатисантиметрового слоя почвы был оптимальным. Исключением был 2016 год, когда в нем перед уходом в зиму отмечалось недостаточное содержание влаги.

В фазу молочной спелости озимой пшеницы следует выделить два года: 2013 год, как год с лучшей обеспеченностью растений продуктивной влагой, и 2019 год с минимальным запасом почвенной влаги. В 2013 году оптимальное увлажнение отмечалось по всем предшественникам и количество доступной растениям влаги составляло по многолетним травам и чёрному пару, соответственно 42 мм и 46 мм, по гороху на зерно 40 мм, а по яровому ячменю 38 мм. В 2019 году по всем предшественникам наблюдалась почвенная засуха, запасы продуктивной влаги были на уровне 4-9 мм.

На время уборки наблюдалось недостаточное увлажнение почвы в слое 0-30 см под посевом озимой пшеницы во все годы исследований. Выделился 2013 год, который характеризовался как острозасушливый, и запасы продуктивной влаги в этот период были низкие, отмечалась слабая почвенная засуха.

В метровом слое почвы в 2016 и 2020 годах, на время посева озимой пшеницы, наблюдался недостаток почвенной влаги. Такое явление прослеживалось по всем предшественникам. Оптимальные запасы продуктивной влаги были в 2013 году, когда они составляли 124-130 мм, и в 2019 году, здесь они были на уровне 152-166 мм (табл. 2).

**Таблица 1 – Запасы продуктивной влаги при возделывании озимой пшеницы в зависимости от предшественников в слое 0-30 см, мм**

Предшественник	Года										Среднее
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Перед посевом											
Многолетние травы	38	37	31	7	30	26	30	4	22	35	26
Горох на зерно	34	36	26	0	28	24	31	5	24	24	23
Яровой ячмень	39	34	12	8	32	27	34	6	25	26	24
Чёрный пар	38	39	27	9	28	29	43	7	27	29	30
Перед уходом в зиму											
Многолетние травы	54	66	39	12	38	48	42	35	52	50	43
Горох на зерно	57	51	61	7	42	43	44	31	47	46	43
Яровой ячмень	60	52	52	15	44	47	37	37	42	41	43
Чёрный пар	71	69	67	24	50	51	39	40	49	48	51
Во время возобновления вегетации весной											
Многолетние травы	52	51	59	58	51	50	63	51	37	48	52
Горох на зерно	49	50	55	57	46	48	57	48	38	47	50
Яровой ячмень	53	54	54	60	54	52	58	46	35	51	52
Чёрный пар	58	53	53	63	58	53	56	51	35	53	53
В фазу молочной спелости											
Многолетние травы	42	30	13	13	25	32	9	16	18	16	21
Горох на зерно	40	33	15	11	24	30	5	13	15	12	20
Яровой ячмень	38	31	13	11	26	34	4	14	16	10	20
Чёрный пар	46	28	20	32	30	31	8	13	22	15	25
Во время уборки											
Многолетние травы	6	36	41	41	14	43	14	43	16	38	29
Горох на зерно	7	39	39	50	12	39	17	45	18	41	31
Яровой ячмень	9	34	39	36	10	39	16	44	19	39	29
Чёрный пар	8	37	30	50	14	45	15	48	20	40	31

**Таблица 2 – Запасы продуктивной влаги при возделывании озимой пшеницы в зависимости от предшественников в слое 0-100 см, мм**

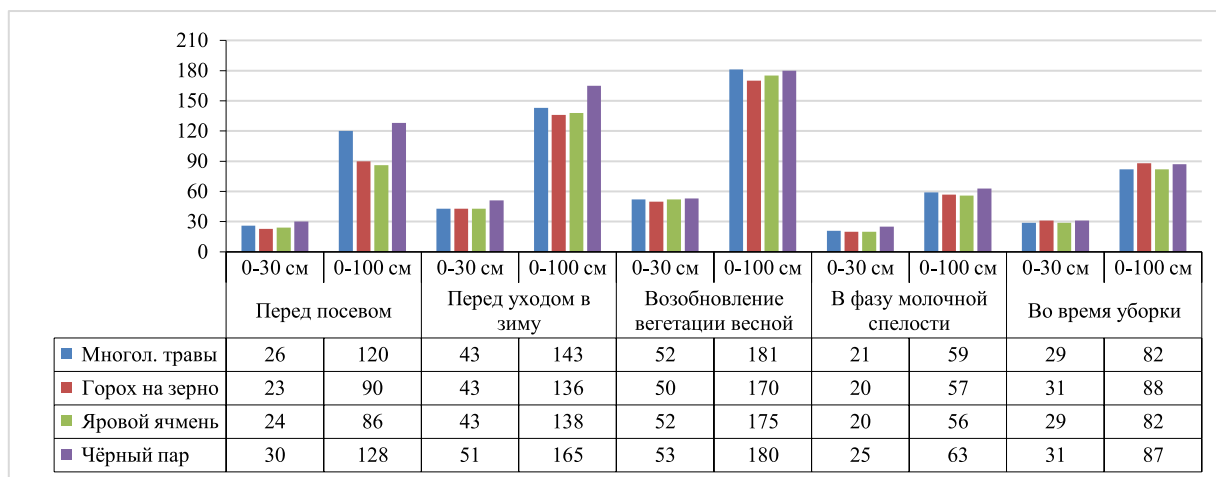
Предшественник	Года										Среднее
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	
Перед посевом											
Многолетние травы	129	90	125	51	92	65	158	86	106	117	120
Горох на зерно	124	97	106	33	122	74	152	32	104	57	90
Яровой ячмень	130	74	61	57	126	67	153	39	102	52	86
Чёрный пар	128	143	133	163	118	123	166	97	102	109	128
Перед уходом в зиму											
Многолетние травы	154	200	133	134	159	110	156	131	128	120	143
Горох на зерно	160	175	127	141	156	105	157	91	124	123	136
Яровой ячмень	172	162	99	143	155	113	154	120	117	125	138
Чёрный пар	187	200	147	205	152	159	155	165	126	154	165
Во время возобновления вегетации весной											
Многолетние травы	185	183	220	216	184	188	207	162	100	165	181
Горох на зерно	170	166	208	199	164	182	201	160	102	150	170
Яровой ячмень	175	179	200	221	158	187	206	172	104	151	175
Чёрный пар	173	171	201	214	197	185	199	179	103	169	180
В фазу молочной спелости											
Многолетние травы	64	75	59	81	70	72	36	41	40	52	59
Горох на зерно	62	77	58	84	74	64	35	37	32	44	57
Яровой ячмень	60	65	52	78	63	76	32	53	36	41	56
Чёрный пар	74	69	68	106	82	69	34	39	44	48	63
Во время уборки											
Многолетние травы	42	98	91	77	40	152	43	70	55	151	82
Горох на зерно	48	102	73	105	48	151	51	95	53	155	88
Яровой ячмень	45	73	67	109	32	148	49	92	56	153	82
Чёрный пар	47	96	57	114	38	161	47	97	56	156	87

Перед уходом в зиму и на момент возобновления весенней вегетации в слое 0-100 см, так же, как и в слое 0-30 см запасы продуктивной влаги были оптимальными.

В фазу молочной спелости растения озимой пшеницы испытывали недостаток влаги во все годы исследований. Так, по многолетним травам количество продуктивной влаги варьировало от 36 мм в 2019 году до 81 мм в 2016 году, по гороху на зерно от 32 мм в 2021 году до 84 мм в 2016 году, по яровому ячменю от 32 мм в 2019 году до 78 мм в 2016 году и по чёрному пару от 34 мм в 2019 году до 106 мм в 2016 году.

На момент уборки отмечалось слабое недостаточное увлажнение. В 2018 и 2022 гг. за счёт выпадения большого количества осадков оно было оптимальным. Среди предшественников наибольшее количество влаги отмечалось по чёрному пару, а наименьшее – по яровому ячменю.

В среднем за 2013–2022 гг., перед посевом озимой пшеницы наибольшие запасы влаги в тридцатисантиметровом и в метровом слоях почвы были по чёрному пару, соответственно 30 мм и 128 мм. После остальных предшественников они были ниже: на 4 мм и 8 мм по многолетним травам, на 7 мм и 38 мм по гороху на зерно и на 6 мм и 42 мм по яровому ячменю. При этом для получения дружных и полноценных всходов озимой пшеницы продуктивной влаги было достаточно только по черному пару (рис. 1).



**Рис. 1 – Влияние предшественников на запасы продуктивной влаги при возделывании озимой пшеницы в пахотном и метровом слоях почвы (в среднем за 2013–2022 гг.), мм**

На момент прекращения вегетации перед уходом в зиму запасы продуктивной влаги в среднем за годы исследований лучшими как в тридцатисантиметровом, так и в метровом слоях были по чёрному пару 51 мм и 165 мм, соответственно. По остальным предшественникам в верхнем обрабатываемом слое они равнялись 43 мм, а в метровом по многолетним травам 143 мм, по гороху на зерно 136 мм, по яровому ячменю 138 мм.

Во время возобновления вегетации запасы продуктивной влаги по всем предшественникам были хорошие. Наибольшие величины этого показателя отмечались по чёрному пару – в слое 0-30 см 53 мм, в метровом 180 мм. Несколько ниже были запасы продуктивной влаги по остальным предшественникам – в тридцатисантиметровом слое многолетним травам и яровому ячменю они были равными 52 мм, а по гороху на зерно снижались до 50 мм. В метровом слое количество продуктивной влаги по предшественнику многолетние травы было равным 181 мм, по гороху 170 мм, а по яровому ячменю 175 мм.

В периоды стеблевания, колошения, формирования и налива зерна растения озимой пшеницы интенсивно потребляли влагу из почвы и ко времени молочной спелости запасы воды снизились до 20-25 мм в тридцатисантиметровом слое и до 56-63 мм в метровом слое.

От стадии созревания зерна до уборки запасы влаги, как в слое 0-30 см, так и в слое почвы 0-100 см возросли благодаря выпадению осадков и снижению их потребления культурой в этот период, и во время сбора урожая они были практически на одном уровне без существенных различий между предшественниками. В слое 0-30 см содержалось 29-31 мм воды, а в слое 0-100 см – 82-88 мм.

В таблице 3 представлены данные по влиянию предшественников на режим увлажнения при возделывании озимой пшеницы в среднем за 2013-2022 года.

Суммарный расход воды за вегетацию посевами озимой пшеницы по чёрному пару составлял 372 мм, из них из почвы было использовано 41 мм, а 331 мм из выпавших осадков. После многолетних трав, гороха на зерно и ярового ячменя расход влаги составлял 332-351 мм.

Коэффициент водопотребления является главным показателем результативного использования воды культурой. В среднем, за 2013-2022 гг. для формирования одной тонны урожая по предшественнику чёрный пар было затрачено 602 м<sup>3</sup>. По таким предшественникам как многолетние травы потребление воды снижалось до 562 м<sup>3</sup>, а по гороху на зерно и яровому ячменю до 516 м<sup>3</sup> и 590 м<sup>3</sup>, соответственно.

**Таблица 3 – Влияние предшественников на режим увлажнения при возделывании озимой пшеницы (в среднем за 2013-2022 гг.), мм**

Предшественник	Содержание влаги в начале вегетации в слое 0-100 см, мм	Содержание влаги в конце вегетации в слое 0-100 см, мм	Сумма осадков за вегетацию, мм	Суммарный расход воды за вегетацию, мм	Коэффициент водопотребления, м <sup>3</sup> /т
Многолетние травы	120	82	331	351	562
Горох на зерно	90	88	331	332	516
Яровой ячмень	86	82	331	334	590
Чёрный пар	128	87	331	372	602

Результаты исследований по урожайности за 2013-2022 года подтверждают высокую продуктивность озимой пшеницы сорта Майская юбилейная (табл. 4). Урожайность культуры претерпевала изменения по годам. Происходило это в основном за счёт различий в условиях увлажнения.

**Таблица 4 – Урожайность озимой пшеницы сорта Майская юбилейная в зависимости от предшественников, т/га**

Предшественник	Года										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Средние
Многолетние травы	5,26	6,10	5,52	3,80	8,49	6,61	6,26	7,95	5,54	7,24	6,28
Горох на зерно	5,06	6,20	6,31	5,40	8,90	6,03	6,15	7,43	5,77	6,87	6,41
Яровой ячмень	5,35	6,51	5,28	4,06	7,57	5,79	5,46	6,99	6,13	6,92	6,01
Чёрный пар	4,59	6,15	6,51	5,49	8,55	7,88	5,85	7,51	5,84	6,62	6,50
НСР <sub>05</sub> =0,37 т/га											

В наиболее увлажнённый вегетационный период, который отмечался в 2017 году, была получена лучшая урожайность озимой пшеницы. Погодные условия, благоприятно сложившиеся осенью 2016 года, после посева озимой пшеницы позволили растениям озимой пшеницы хорошо развиваться. В результате чего они хорошо перезимовали и сформировали высокую продуктивность зерна, в полной степени реализовав потенциальные возможности сорта. Урожайность озимой пшеницы после гороха на зерно составляла 8,90 т/га, по другим предшественникам она находилась на уровне 7,57-8,55 т/га. Высокий сбор зерна также был получен в 2020 году. Он находился в пределах от 6,99 т/га по предшественнику ячмень на зерно до 7,95 т/га по многолетним травам.

Возделывание озимой пшеницы, в среднем за 2013-2022 год, позволило установить важное значение чёрного пара в качестве предшественника, где урожай зерна составил 6,50 т/га, что было больше на 0,22 т/га, чем после многолетних трав, на 0,09 т/га, чем после гороха на зерно, и на 0,49 т/га выше, чем по яровому ячменю. Снижение урожайности озимой пшеницы относительно черного пара по остальным предшественникам было достоверно ниже лишь по яровому ячменю так как наименьшая существенная разница для опыта равнялась 0,37 т/га.

Элементами структуры урожая, как озимой пшеницы, так и других сельскохозяйственных культур принято считать продуктивные органы растения, которые способны определить его величину. Основными продуктивными органами у зерновых культур являются длина колоса, число колосков в колосе, число зёрен в колосе и масса зёрен с одного колоса. Каждый элемент способен изменяться как в большую, так и меньшую сторону, в зависимости от сложившихся условий внешней среды. Анализ структуры урожая позволяет внести соответствующие коррективы в технологию возделывания культуры (табл. 5).

**Таблица 5 – Структура урожая озимой пшеницы сорта Майская юбилейная в зависимости от предшественников (в среднем за 2013-2022 гг.)**

Предшественник	Высота растений, см	Масса зерен с 1 колоса, г	Колос		
			Длина, см	Число колосков, шт.	Число зёрен, шт.
Многолетние травы	108,3	1,6	8,0	16	32
Горох на зерно	107,4	1,6	7,7	16	32
Яровой ячмень	105,8	1,5	7,6	16	32
Чёрный пар	110,2	1,7	8,0	16	34

Высота растений озимой пшеницы зависела от выбора предшественника. Наиболее высокорослые растения были по предшественнику чёрный пар, 110,2 см, а низкорослые по яровому ячменю, 105,8 см. По многолетним травам высота стеблестоя была 108,3 см и по гороху на зерно 107,4 см. Такие показатели, как масса зёрен с одного колоса, длина колоса, число колосков и количество зёрен также зависели от предшественника. По предшественникам многолетние травы и горох на зерно масса зёрен с одного колоса была одинаковой 1,6 грамма. На 0,1 грамм она была ниже у зёрен озимой пшеницы, возделываемой по яровому ячменю, и составляла 1,5 грамма, а по чёрному пару возрастала до 1,7 грамма.

Длина колоса по предшественникам многолетние травы и чёрный пар составляла 8,0 см. Самый короткий колос был у растений озимой пшеницы по предшественнику яровой ячмень 7,6 см, а по гороху на зерно 7,7 см. Количество зёрен в колосе варьировало от 32 штук по предшественникам многолетние травы, горох на зерно яровой ячмень до 34 штук по чёрному пару.

Что касается качественных показателей, то по разным предшественникам растения озимой пшеницы сформировали зерно различное по содержанию «сырой» клейковины, массе 1000 зёрен и натуре (таблицы 6, 7, 8).

Результаты исследований показывают, что зерно озимой пшеницы, полученное по гороху на зерно в 2021 году, имело самое высокое содержание клейковины – 36,8% относительно других лет. По чёрному пару лучшим содержанием «сырой» клейковины было в 2013 и 2021 гг., 34,4%. В 2018 году по всем предшественникам, за исключением гороха на зерно, по которому самое низкое содержание клейковины отмечалось в 2016 году с показателем равным 25,2%, было получено минимальное процентное содержание клейковины за все годы исследований. Так, по предшественнику многолетние травы оно было равным 27,1%, по яровому ячменю 21,4%, а по чёрному пару 26,9%.

**Таблица 6 – Содержание клейковины в зерне озимой пшеницы сорта Майская юбилейная в зависимости от предшественников, %**

Предшественник	Года										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Средние
Многолетние травы	31,2	33,2	31,6	29,6	29,3	27,1	31,0	33,3	33,9	26,5	30,7
Горох на зерно	29,6	34,0	32,2	25,2	29,0	26,6	29,0	26,8	36,8	32,2	30,1
Яровой ячмень	30,6	27,8	28,0	28,4	22,7	21,4	24,0	26,0	34,3	26,8	27,0
Чёрный пар	34,4	27,8	32,8	29,1	30,0	26,9	30,0	33,8	34,4	31,8	31,1

В среднем за 2013-2022 гг. наибольшее количество клейковины отмечалось по предшественнику чёрный пар, 31,1%, по многолетним травам и гороху на зерно оно было на одном уровне, 30,7% и 30,1% соответственно. Размещение озимой

пшеницы после ярового ячменя неблагоприятно повлияло на накопление клейковины в зерне, её содержание составило только 27,0%.

Самая высокая масса 1000 зерен озимой пшеницы получилась в 2017 году. При возделывании по предшественнику горох на зерно она была максимальной и равнялась 49,4 грамма, по яровому ячменю 49,0 граммов, по многолетним травам 48,6 грамма, а по чёрному пару 47,6 грамма. Наименьшие показатели массы 1000 зёрен были в 2015 году. По черному пару она была на уровне 40,5 грамма, по гороху на зерно 38,4 грамма, по яровому ячменю 37,8 грамма, а по многолетним травам 36,6 грамма.

**Таблица 7 – Масса 1000 зёрен озимой пшеницы сорта Майская юбилейная в зависимости от предшественников, грамм**

Предшественник	Года										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Средние
Многолетние травы	47,0	41,1	36,6	38,6	48,6	45,0	40,3	44,3	44,0	45,2	43,1
Горох на зерно	48,4	40,5	38,4	39,2	49,4	45,4	42,0	42,7	41,8	43,0	43,1
Яровой ячмень	47,2	43,0	37,8	39,6	49,0	42,8	44,0	43,0	45,7	44,2	43,6
Чёрный пар	48,6	41,5	40,5	40,6	47,6	45,2	45,6	43,8	41,6	46,2	44,2

Натура зерна в наименее увлажнённый 2017 год была максимальной за время проведения опыта по всем предшественникам и варьировала от 827 г/л по предшественнику яровой ячмень до 834 г/л по гороху на зерно.

**Таблица 8 – Натура озимой пшеницы сорта Майская юбилейная в зависимости от предшественников, г/л**

Предшественник	Года										
	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	Средние
Многолетние травы	812	766	740	681	828	703	772	778	766	760	761
Горох на зерно	813	762	740	696	834	697	774	782	776	762	764
Яровой ячмень	818	771	755	676	827	688	778	788	790	777	767
Чёрный пар	821	766	748	709	832	712	786	803	782	755	771

Низкая натура зерна озимой пшеницы сорта Майская юбилейная, 676-709 г/л, отмечался в 2016 году, причём нижний его уровень был по предшественнику яровой ячмень, а верхний по чёрному пару. Следует отметить, что за десять лет проведения исследований натура зерна озимой пшеницы имела существенные различия между предшественниками. В среднем за 2013-2022 гг., по предшественнику чёрный пар она имела наибольший объёмный вес 771 г/л, по яровому ячменю была ниже на 4 г/л и равнялась 767 г/л. Объёмный вес зерна по предшественнику многолетние травы и горох на зерно составлял 761 г/л и 764 г/л, соответственно.

**Заключение.** Таким образом, предшественники озимой пшеницы чёрный пар, горох на зерно и многолетние травы обеспечивали накопление достаточного количества продуктивной влаги для получения дружных всходов и дальнейшего обеспечения ею растений озимой пшеницы на протяжении всей вегетации, а также позволили получить максимальный урожай озимой пшеницы с высоким качеством зерна, достоверно превышающий вариант по яровому ячменю. Урожайность озимой пшеницы сорта Майская юбилейная, в среднем за 2013-2022 гг., по чёрному пару была равной 6,50 т/га, по гороху на зерно 6,41 т/га, по многолетним травам 6,28 т/га, а по яровому ячменю 6,01 т/га. На момент посева культуры почвенная засуха отмечалась в 2016 и 2020 гг. Запасы почвенной влаги в эти годы не превышали 9 мм в слое 0-30 см. Перед уходом в зиму и на время возобновления вегетации в обоих изучавшихся слоях отмечалось оптимальное увлажнение. В фазу молочной спелости, критический период для растений озимой пшеницы, ощущалось слабое недостаточное увлажнение по всем предшественникам. К моменту уборки увлажнение также было недостаточное, за исключением 2022 года. Обилие выпавших осадков в этот год создало предпосылки для создания оптимального режима увлажнения почвы. Качественные показатели зерна находились в прямой зависимости от режима увлажнения, а также от предшествующей культуры.

#### Библиография

1. Хлесткова, Е.А. Использование некоторых показателей гумусного состояния почв в целях диагностики / Е.А. Хлесткова // Почвоведение. – 1991. – № 6. – С. 38–46.
2. Жабин, М.А. Изменение и состояние агрохимических показателей в почвах агроландшафтов юго-восточных и южных районов Воронежской области / М.А. Жабин, С.В. Мухина, Ю.А. Коновалов [и др.] // Земледелие. – 2017. – № 5. – С. 11–13.
3. Адаптивно-ландшафтные системы земледелия Воронежской области / Под общ. ред. А.В. Гордеева. – Воронеж : Кварта, 2013. – С. 125–131.
4. Шарипова, Р.Б. Влияние предшественников и сроков посева на перезимовку и урожайность озимой пшеницы в изменяющихся условиях регионального климата / Р.Б. Шарипова, Р.А. Хакимов, Н.В. Хакимова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 66–71.
5. Грабовец, А.И. Озимая пшеница / А.И. Грабовец, М.А. Фоменко. – Ростов-на-Дону : ООО Издательство Юг, 2007. – 534 с.
6. Гилев, С.Д. Жизненное кредо Терентия Семеновича Мальцева: забота о земле кормилице, её плодородии (к 125-летию со дня рождения) / С.Д. Гилев, И.Н. Цымбаленко, А.Н. Копылов [и др.] // Плодородие. – 2020. – № 4 (115). – С. 3–7.
7. Нечаев, В.И. Адаптивные высокопродуктивные технологии возделывания озимой пшеницы / В.И. Нечаев, А.А. Гортлевский // Зерновые культуры. – 2001. – № 4. – С. 18–20.
8. Котлярова, О.Г. Ландшафтное земледелие: Избранные труды / О.Г. Котлярова. – Пос. Майский : Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2017. – С. 269–270.
9. Кирюшин, В.И. Управление плодородием почв и продуктивностью агроценозов в адаптивно-ландшафтных системах земледелия / В.И. Кирюшин // Почвоведение. – 2019. – № 9. – С. 1130–1139.
10. Холодов, В.А. Изменения соотношения фракции агрегатов в гумусовых горизонтах черноземов в различных условиях землепользования / В.А. Холодов, Н.В. Ярославцева, Ю.Р. Фарходов // Почвоведение. – 2019. – № 2. – С. 184–193.

11. Смирнова, Л.Г. Почвенный покров юга лесостепи Среднерусской возвышенности на фоне внутривековых климатических изменений / Л.Г. Смирнова, Н.С. Кухарук, Ю.Г. Чендев // Почвоведение. – 2016. – № 7. – С. 775–784.
12. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур (на примере Белгородской области) [Текст] / А.В. Турьянский, В.И. Мельников, Л.А. Селезнева, Н.Р. Асыка, В.Ф. Ужик и др. – Белгород : Изд. Константа, 2014. – 462 с.
13. Павлов М.И. Оценка адаптивных и продуктивных характеристик перспективных линий озимой мягкой пшеницы [Текст] / М.И. Павлов, И.В. Оразаяева, А.А. Муравьев // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 43–48. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36649>.

#### References

1. Hlestkova, E.A. Ispol'zovanie nekotorykh pokazatelej gumusnogo sostoyaniya pochv v celyah diagnostiki [The use of some indicators of the humus state of soils for diagnostic purposes] / E.A. Hlestkova // Pochvovedenie. – 1991. – № 6. – С. 38–46.
2. Zhabin, M.A. Izmenenie i sostoyanie agrohimiicheskikh pokazatelej v pochvah agrolandshtafrov yugo-vostochnykh i yuzhnykh rajonov Voronezhskoj oblasti [Change and state of agrochemical indicators in soils of agricultural landscapes of the southeastern and southern districts of the Voronezh region] / M.A. ZHabin, S.V. Muhina, Yu.A. Kononov [i dr.] // Zemledelie. – 2017. – № 5. – С. 11–13.
3. Adaptivno-landshaftnye sistemy zemledeliya Voronezhskoj oblasti [Adaptive landscape systems of agriculture of the Voronezh region] / Pod obshch. red. A.V. Gordeeva. – Voronezh : Kvarta, 2013. – С. 125–131.
4. Sharipova, R.B. Vliyanie predshestvennikov i srokov poseva na perezimovku i urozhajnost' ozimoy pshenicy v izmenyayushchihsya usloviyah regional'nogo klimata [Influence of predecessors and sowing dates on overwintering and yield of winter wheat in changing conditions of the regional climate] / R.B. SHaripova, R.A. Hakimov, N.V. Hakimova // Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – Т. 15. – № 2 (58). – С. 66–71.
5. Grabovec, A.I. Ozimaya pshenica [Winter wheat] / A.I. Grabovec, M.A. Fomenko. Rostov-na-Donu : OOO Izdatel'stvo Yug, 2007. – 534 s.
6. Gilev, S.D. Zhiznennoe kredo Terentiya Semenovicha Mal'ceva: zabota o zemle kormilice, eyo plodorodii (k 125-letiyu so dnya rozhdeniya) [The life credo of Terenty Semyonovich Maltsev: caring for the land of the nurse, her fertility (to the 125th anniversary of her birth)] / S.D. Gilev, I.N. Cymbalenko, A.N. Kopylov [i dr.] // Plodorodie. – 2020. – № 4 (115). – С. 3–7.
7. Nechaev, V.I. Adaptivnye vysokoproduktivnye tekhnologii vozdelvaniya ozimoy pshenicy [Adaptive highly productive technologies of winter wheat cultivation] / V.I. Nechaev, A.A. Gortlevskij // Zernovye kul'tury. – 2001. – № 4. – С. 18–20.
8. Kotlyarova, O.G. Landshaftnoe zemledelie: Izbrannye trudy [Landscape agriculture: Selected works] / O.G. Kotlyarova. – Pos. Majskij : Izd-vo FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2017. – С. 269–270.
9. Kiryushin, V.I. Upravlenie plodorodiem pochv i produktivnost'yu agrocenozov v adaptivno-landshaftnykh sistemah zemledeliya [Management of soil fertility and productivity of agrocenoses in adaptive landscape farming systems] / V.I. Kiryushin // Pochvovedenie. – 2019. – № 9. – С. 1130–1139.
10. Holodov, V.A. Izmeneniya sootnosheniya frakcii agregatov v gumusovykh gorizontah chernozemov v razlichnykh usloviyah zemlepol'zovaniya [Changes in the ratio of the fraction of aggregates in humus horizons of chernozems in various land use conditions] / V.A. Holodov, N.V. YAroslavceva, Yu.R. Farhodov // Pochvovedenie. – 2019. – № 2. – С. 184–193.
11. Smirnova, L.G. Pochvennyj pokrov yuga lesostepi Srednerusskoj vozvshennosti na fone vntrivekovykh klimaticheskikh izmenenij [Soil cover of the south of the forest-steppe of the Central Russian upland against the background of intra-century climatic changes] / L.G. Smirnova, N.S. Kuharuk, Yu.G. Chendev // Pochvovedenie. – 2016. – № 7. – С. 775–784.
12. Organizational and technological standards for the cultivation of agricultural crops (on the example of the Belgorod region) [Text] / A.V. Turyansky, V.I. Melnikov, L.A. Selezneva, N.R. Asyka, V.F. Uzhik and others. – Belgorod : Ed. Constant, 2014. – 462 p.
13. Pavlov M.I. Evaluation of adaptive and productive characteristics of promising lines of winter soft wheat [Text] / M.I. Pavlov, I.V. Orazayeva, A.A. Muravyov // Successes of modern natural sciences. – 2018. – № 1. – P. 43–48. URL: <http://www.natural-sciences.ru/ru/article/view?id=36649>.

#### Сведения об авторах

Зюба Светлана Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Смулов Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Григоров Олег Владимирович, ведущий специалист лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Гапченко Олег Владимирович, старший специалист лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Андреев Павел Владимирович, агроном лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

#### Information about authors

Zyuba Svetlana Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher, Laboratory for the Study of Farming Systems, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, p. Maisky, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503.

Smurov Sergey Ivanovich, Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for the Study of Farming Systems, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, p. Maisky, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503.

Grigorov Oleg Vladimirovich, leading specialist of the laboratory for the study of farming systems, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, p. Maisky, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503.

Gapienko Oleg Vladimirovich, Senior Specialist of the Laboratory for the Study of Farming Systems, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, p. Maisky, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503.

Andreev Pavel Vladimirovich, agronomist of the laboratory for the study of farming systems, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, p. Maisky, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503.



## ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ И КАЧЕСТВА ЗЕРНА ЯРОВОЙ ТРИТИКАЛЕ ПОД ВЛИЯНИЕМ ВНЕКОРНЕВЫХ ПОДКОРМОК В УСЛОВИЯХ ЮГО-ЗАПАДНОЙ ЧАСТИ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** В статье приведены данные по изучению влияния подкормки азотным удобрением внекорневых подкормок Текнокель Амино Микс, Нутривант Плюс и Келик Магний на урожайность и качество зерна яровой тритикале в условиях юго-западной части Белгородской области. Подкормку проводили аммиачной селитрой в фазе начала выхода в трубку. Некорневую подкормку азотными удобрениями в фазу начало колошения повторно через 7 дней, путем обработки посева растворами препаратов ранцевым аккумуляторным опрыскивателем. Подкормка растений аммиачной селитрой в фазу выхода в трубку в сочетании некорневая подкормка оказала существенное влияния на морфогенез и закладку продуктивных характеристик главного колоса. Отмечено также увеличение высоты растений на вариантах с подкормкой аммиачной селитрой: в среднем высота растений была на 5,32 см выше, чем на вариантах с применением азотной подкормки. Применение подкормки N30 совместно с внекорневой подкормкой не оказало статистически существенного влияния на длину колоса яровой тритикале, в среднем по вариантам она составила 11,58 см. Обработка растений комплексными микроудобрениями на фоне применения подкормки азотным удобрением обеспечила наибольшее количество зерен в колосе – 51,55-52,36 шт. Наибольшую прибавку урожайности в среднем за 2 года на фоне подкормки N30 обеспечило применение удобрения Текнокель Амино Микс – 0,22 т/га, также и без применения азотной подкормки – 4,22 т/га. Как внесение подкормки N30, так и обработка растений макро и микроудобрениями оказывало влияние на повышенное накопление белка в зерне яровой тритикале. Так, содержание белка в зерне яровой тритикале без применения удобрений составило 14,01%, а при внесении удобрений и подкормки в среднем повышалось на 1,21-1,51%.

**Ключевые слова:** яровая тритикале, микроудобрения, листовые подкормки.

## FORMATION OF YIELD AND GRAIN QUALITY OF SPRING TRITICALE UNDER THE INFLUENCE OF FOLIAR FERTILIZING IN THE CONDITIONS OF THE SOUTH-WESTERN PART OF THE BELGOROD REGION

**Abstract.** The article presents data on the study of the effect of top dressing with nitrogen fertilizer of foliar top dressing Teknokel Amino Mix, Nutrivant Plus and Kelik Magnesium on the yield and grain quality of spring triticale in the conditions of the south-western part of the Belgorod region. Top dressing was carried out with ammonium nitrate in the phase of the beginning of the exit into the tube. Foliar fertilizing with fertilizers in the phase of the beginning of earing again after 7 days, by treating the sowing with solutions of preparations with a knapsack battery sprayer. Top dressing of plants with ammonium nitrate in the phase of entering the tube in combination with foliar top dressing had a significant impact on morphogenesis and the laying of productive characteristics of the main ear. There was also an increase in the height of plants in the variants with ammonium nitrate fertilization, on average, the height of plants was 5.32 cm higher than in the variants with nitrogen fertilization. The use of top dressing N30 together with foliar top dressing did not have a statistically significant effect on the length of the ear of spring triticale, on average, according to the variants, it was 11.58 cm. The treatment of plants with complex micro-fertilizers against the background of the application of fertilizing with nitrogen fertilizer provided the largest number of grains in the ear – 51.55-52.36 pcs. The greatest increase in yield on average for 2 years against the background of fertilizing N30 was provided by the use of Teknokel Amino Mix fertilizer – 0.22 t/ha, also without the use of nitrogen fertilizing – 4.22 t/ha. Both the introduction of top dressing N30 and the treatment of plants with macro and micro fertilizers had an effect on the increased accumulation of protein in the grain of spring triticale. Thus, the protein content in the grain of spring triticale without the use of fertilizers was 14.01%, and when fertilizing and fertilizing, it increased on average by 1.21-1.51%.

**Keywords:** spring triticale, micro fertilizers, leaf fertilizing.

**Введение.** Яровая тритикале (*X Triticosecale* Wittm. ex A. Camus) является важной зерновой культурой, набирающей масштабы производства в России и во всем мире. В связи с увеличением темпов роста населения и сокращением площадей пахотных земель повышение урожайности зерна является способом удовлетворения спроса на продовольствие. Урожайность зерновых культур складывается из следующих компонентов: количество стеблей на единицу площади, количество зерен в колосе и вес тысячи зерен. Ее можно увеличить за счет использования улучшенных сортов и рационального использования питательных веществ. Оптимальное внесение удобрений необходимо для поддержания устойчивых урожаев, повышения эффективности использования питательных веществ в удобрениях и экономии ресурсов удобрений [2, 5, 3].

Макро- и микроэлементы играют важную роль в питании сельскохозяйственных культур, и поэтому они важны для достижения более высоких урожаев, лучшего роста и развития растений [7, 2].

Азот (N), фосфор (P) и калий (K) являются основными питательными веществами в питании сельскохозяйственных культур. Азот является основным компонентом белков, ферментов, хлорофилла и метаболических процессов, участвующих в синтезе и передаче энергии [2, 3]. Фосфор (P) – это компонент энергетических соединений (например, АТФ и АДФ) и, таким образом, он участвует в биохимических путях. Ортофосфаты играют важную роль в метаболических процессах растений, таких как фотосинтез и дыхание [4]. Калий жизненно важен для роста в качестве активатора ферментов, способствующих метаболизму. Он обеспечивает устойчивость к абиотическому стрессу (например, при стрессе от засухи), регулирует открытие устьиц и помогает растениям адаптироваться к дефициту воды [8, 9]. Кальций (Ca) является регулятором физиологических и биохимических процессов в растениях, особенно в ответ на абиотические стрессы [1, 6]. Этот элемент известен как второй посредник и может задерживать или стимулировать старение листьев [5]. Считается также, что Ca оказывает влияние на выработку белков теплового шока, которые помогают растению переносить стресс от длительной жары (Госвами и др., 2014). Микроэлементы (например, железо, Cu, Zn, B, Mn и Mo) необходимы для роста растений [6]. По словам Стемпиня и Войтковяк (2016), такие микроэлементы, как Cu, Mn и Zn, в основном необходимы растениям. Многие исследования показали, что небольшие количества микроэлементов, вносимых при внекорневой подкормке (отдельно или в сочетании с другими) значительно повышают урожайность, ее компоненты и улучшают рост и качество зерна пшеницы и тритикале. Цинк (Zn) отвечает за образование гормонов роста (ауксина), формирование семян и зерен, рост растений, синтез бел-

ка, трансформацию и потребление углеводов. Известно, что Zn играет важную роль в качестве металлического компонента ферментов или в качестве функционального, структурного или регуляторного кофактора широкого ряда ферментов [4, 9]. Медь (Cu) является активатором фермента, играет важную роль в метаболизме N-соединений и в выработке хлорофилла, увеличивает содержание сахара. Такие микроэлементы, как Mn и Zn, оказывают влияние на биосинтез белка, регулируя активность пептидаз и контролируя белковый метаболизм [8].

Железо (Fe) способствует образованию хлорофилла, а также ферментативному механизму, который управляет дыхательной системой клеток и участвует в реакциях клеточного деления и роста [8, 9].

Известно несколько типов внесения удобрений. Одним из методов является распределение удобрений по поверхности почвы [9]. Другим методом является внекорневая подкормка, также известная как внекорневая подкормка. Это метод подкормки растений путем внесения жидких удобрений непосредственно на листья или стебель. Удобрения, используемые для внекорневой подкормки, находятся в растворе или суспензии.

Благодаря быстрому всасыванию питательных веществ через кутикулу листа или устьица дефицит макро- и микроэлементов может быть быстро устранен после диагностики путем наблюдения или анализа листьев. Низкие нормы внесения и равномерное распределение питательных веществ являются основными преимуществами такого типа внесения. Несмотря на то, что внекорневая подкормка является дополнительной и не может заменить основную подкормку, она очень эффективна. Внекорневую подкормку следует проводить в периоды низкой температуры и относительно высокой влажности. Наилучшие результаты подкормки можно получить в пасмурную погоду, ранним утром или вечером. Внесение внекорневых жидких удобрений в концентрациях, превышающих рекомендуемые дозы, может вызвать ожог листьев и некроз.

Основными типами жидких удобрений являются прозрачные жидкости и суспензионные удобрения. Прозрачные жидкости полностью растворимы в воде, в то время как суспензии частично растворяются в воде, а питательные вещества находятся во взвешенном состоянии в насыщенном растворе. Суспензионные удобрения характеризуются более высокой концентрацией питательных веществ, чем растворы жидких прозрачных удобрений.

**Цель и задачи исследований.** Целью исследования было сравнить эффективность некорневых подкормок на урожайность и качество зерна яровой тритикале в почвенно-климатических условиях юго-западной части Белгородской области.

Для этого были поставлены следующие задачи:

1. Изучить влияние некорневых подкормок микро- и микроудобрениями на урожайность и качество зерна яровой тритикале пшеницы.
2. Определить влияние совместного действия макро- и микроудобрений и азотной подкормки на урожайность и качество зерна яровой тритикале.

**Материал и методика исследований.** Исследования проводили путем закладки полевых опытов с комплексными макро- и микроудобрениями на базе Центра селекции в растениеводстве проблемной лаборатории селекции и промышленного семеноводства озимой пшеницы Белгородского ГАУ им. В.Я. Горина. В качестве объектов исследований явились сорта и перспективные линии яровой тритикале – Саур. Предшественником в опыте в 2021 и 2022 годах – соя.

Почва опытного участка – чернозем типичный слабогумусированный, слабосмытый, среднесуглинистый, характеризующийся повышенным уровнем обеспеченности фосфором и высоким калием, а также нейтральной реакцией среды.

Схема опыта:

1. Без удобрения (контроль).
2. Текнокель Амино Микс – 2,0 л/га.
3. Нутривант Плюс – 2 кг/га.
4. Келик Магний – 200 мл/га.
5. N30.
6. N30 + Текнокель Амино Микс – 2 л/га.
7. N30 + Нутривант Плюс – 2 кг/га.
8. N30 + Келик Магний – 200 мл/га.

Посевная площадь делянок, составляла 25 м<sup>2</sup>, ширина делянки – 1,2 м, длина – 21 м, форма делянки удлиненная, повторность вариантов опыта – 4-кратная, размещение делянок в опыте систематическое. Посев проводился сеялкой СКС– 6-10. Корневу. Подкормку проводили аммиачной селитрой в фазе начала выхода в трубку. Некорневую подкормку удобрениями в фазу начало колошения повторно через 7 дней, путем обработки посева растворами препаратов ранцевым аккумуляторным опрыскивателем. Норма высева на 1 га 5,0 млн. всхожих семян, заделка их на глубину 4-5 см. Уход за посевами озимой пшеницы включал в себя прикатывание, азотные подкормки, обработку посевов комплексными микро- и макроудобрениями, обработку межделяночных дорожек. Уборку делянок осуществляли при достижении растений полной спелости, поделаноно селекционным комбайном «Terrion 2010».

**Результаты исследований.** Влияние внекорневых подкормок на урожайность яровой тритикале и компоненты продуктивности – количество продуктивных стеблей, количество зерен в колосе и масса 1000 зерен представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Влияние удобрений на изменение элементов структуры урожая яровой тритикале в среднем за 2021-2022 гг.**

Удобрение (Фактор А)	Обработка растений (Фактор В)	Высота растений, см	Длина колоса, см	Число зерен в колосе, шт.	Масса 1000 семян, г
Без удобрения	Без удобрения (контроль)	91,15	11,24	49,63	46,25
	Текнокель Амино Микс	91,49	11,03	49,22	46,20
	Нутривант Плюс	90,15	11,74	49,89	46,78
	Келик Магний	91,01	11,20	50,01	46,06
N30	Без удобрения (контроль)	96,22	11,96	51,23	47,52
	Текнокель Амино Микс	97,32	11,98	51,55	47,96
	Нутривант Плюс	96,21	11,24	52,36	47,64
	Келик Магний	95,33	11,22	51,32	48,25
<b>НСР 05</b>		<b>0,98</b>	<b>0,74</b>	<b>1,01</b>	<b>0,17</b>

НСР05 для фактора А = 3,52

НСР05 для фактора В = 0,81

НСР05 для фактора АВ = 0,15

Высота стебля – генетический признак, однако условия агротехники, удобрения и некорневые подкормки. Внекорневая подкормка оказала существенное влияние на высоту растений. Согласно средним данным за 2021-2022 гг., внекорневая подкормка яровой тритикале статистически значимо увеличивала высоту растений. Наибольшая высота растений отмечена на варианте с подкормкой N<sub>30</sub> и обработкой Текнокель Амино Микс. В среднем применение подкормки увеличивало высоту растений на 5,32 см, по сравнению с вариантом без подкормки. Как подкормка N<sub>30</sub>, так и внекорневая подкормка не оказали существенного влияния на длину колоса яровой тритикале.

При анализе числа зерен в колосе было установлено, что обработка растений комплексным микроудобрением Нутривант Плюс и применение подкормки азотным удобрением обеспечила наибольшее количество зерен в колосе – 52,36 шт., высокий результат показал препарат Текнокель Амино Плюс – 51,55 шт., также на варианте с применением подкормки.

Применение удобрений по сравнению с вариантами без их внесения способствовало повышению массы 1000 зерен. Наибольшая масса 1000 зерен у яровой тритикале (48,25 г) наблюдалась с применением микроудобрения Келик Магний на фоне подкормки. Это связано, вероятно, с повышенным минеральным питанием и применением микроудобрения.

Наибольшую прибавку урожайности в среднем за 2 года на фоне подкормки N<sub>30</sub> обеспечило применение удобрения Текнокель Амино Микс – 0,22 т/га или. Вторым по эффективности было применение микроудобрения Нутривант Плюс, внесение которого способствовало повышению урожайности на 0,12 т/га. В сочетании же с подкормкой эффект от Текнокель Амино Микс составил 0,42 т/га, а от Нутривант Плюс – 0,32 т/га (табл. 2).

**Таблица 2 – Влияние удобрений на урожайность яровой тритикале в среднем за 2021-2022 гг.**

Удобрение (Фактор А)	Обработка растений (Фактор В)	Урожайность, т/га	± к контролю
Без удобрения	Без удобрения (контроль)	4,02	-
	Текнокель Амино Микс	4,22	0,20
	Нутривант Плюс	4,19	0,17
	Келик Магний	4,13	0,11
N <sub>30</sub>	Без удобрения (контроль)	4,22	-
	Текнокель Амино Микс	4,44	0,22
	Нутривант Плюс	4,34	0,12
	Келик Магний	4,30	0,08
<b>НСР 05</b>		<b>0,19</b>	-

НСР05 для фактора А = 0,10

НСР05 для фактора В = 0,15

НСР05 для фактора АВ = 0,19

В настоящее время актуальной остается и проблема повышения качества зерна. Наиболее важными показателями качества зерна яровой тритикале является содержание в зерне белка (табл. 3).

**Таблица 3 – Влияние удобрений на содержание белка в зерне яровой тритикале в среднем за 2021-2022 гг.**

Удобрение (Фактор А)	Обработка растений (Фактор В)	Белок, %	± к контролю
Без удобрения	Без удобрения (контроль)	14,01	-
	Текнокель Амино Микс	14,22	0,21
	Нутривант Плюс	14,23	0,22
	Келик Магний	14,52	0,51
N <sub>30</sub>	Без удобрения (контроль)	14,96	-
	Текнокель Амино Микс	15,05	0,09
	Нутривант Плюс	14,94	0,03
	Келик Магний	15,11	0,15
<b>НСР 05</b>		<b>0,19</b>	-

В среднем по вариантам содержание белка в зерне яровой тритикале составило 14,64%. Содержание белка в зерне яровой тритикале без применения удобрений составило 14,01%, а при внесении удобрений и подкормки оно достигало 15,05-15,11%.

**Заключение.** При возделывании яровой тритикале на черноземе типичном в условиях юго-западной части Белгородской области в целях повышения урожайности и качества зерна рекомендуется проведение некорневых подкормок удобрениями в фазу весеннего кущения – начала трубкования растений в сочетании с внекорневыми подкормками. В качестве удобрений следует применять препараты Текнокель Амино Микс в дозе 2,0 л/га, в состав которого входит комплекс микроэлементов.

### Библиография

1. Кобяков, А.С. Влияние биопрепаратов и микроудобрений на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Центральном Черноземье / А.С. Кобяков, И.В. Оразаева // Горинские чтения. Наука молодых – инновационному развитию АПК : Материалы Международной студенческой научной конференции «Горинские чтения, Майский, 28–29 марта 2019 года. Том 1. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2019. – С. 12–13. – EDN LDROGU.
2. Муравьев, А.А. Зависимость урожайности яровой пшеницы от обработки биопрепаратом / А.А. Муравьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 3 (23). – С. 142–148. – EDN ZKNZJI.
3. Муравьев, А.А. Эффективность листовых подкормок на яровой пшенице / А.А. Муравьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 1 (25). – С. 154–161. – EDN НТКJYH.

4. Рамазанова, Р.Х. Биологическая активность темно-каштановой почвы при применении азотных удобрений под яровую тритикале / Р.Х. Рамазанова, А. Касипхан, Ж.Т. Ботбаева // Почвоведение и агрохимия. – 2023. – № 1. – С. 36–52. – DOI 10.51886/1999-740X\_2023\_1\_36. – EDN RJIEFW.
5. Вильдфлуш, И.Р. Влияние микроэлементов в хелатной форме на урожайность и качество зерна озимой тритикале / И.Р. Вильдфлуш, А.С. Мастеров, Е.М. Мастерова // Вестник Белорусской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 1. – С. 48–52. – EDN YLSAXR.
6. Мефодьев, Г.А. Корреляция количественных признаков у яровой тритикале / Г.А. Мефодьев, А.Н. Александрова, М.И. Яковлева // Вестник Чувашской государственной сельскохозяйственной академии. – 2020. – № 2 (13). – С. 36–40. – DOI 10.17022/9taq-qv29. – EDN IQPSTB.
7. Морозова, Т.С. Урожайность и качество зерна озимой пшеницы в зависимости от видов и доз удобрений на черноземе типичном в условиях юго-западной части ЦЧР / Т.С. Морозова, С.Д. Лицуков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2018. – № 4 (20). – С. 119–128. – EDN YTPAGL.
8. Акинчин, А.В. Влияние азотных подкормок на урожай и качество озимой пшеницы / А.В. Акинчин, С.А. Линков, А.Ф. Самойлова // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2019. – № 4 (24). – С. 186–192. – EDN NYHIRA.
9. Imran, M., & Gurmani, Z.A. (2011). Role of macro and micro nutrients in the plant growth and development. National Agricultural Research Centre. Retrieved March 3, 2018, from: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=PK2012000898>.
10. Goswami, S., Kumar, R.R., Sharma, S.K., Kala, Y.K., Singh, K., Gupta, R., Dhavan, G., Rai, G.K., Singh, G.P., Pathak, H., & Rai, R.D. (2014). Calcium triggers protein kinases-induced signal transduction for augmenting the thermotolerance of developing wheat (*Triticum aestivum*) grain under the heat stress. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 8(5), 697–705. DOI: 10.1007/s13562-014-0295-1.

#### References

1. Kobayakov, A.S. The influence of biological preparations and fertilizers on the yield and quality of winter wheat grain in the Central Chernozem region / A.S. Kobayakov, I.V. Orazzaeva // Gorin readings. The science of the young – innovative development of the agro-industrial complex : Materials of the International Student Scientific Conference, May, March 28–29, 2019. Volume 1. – Maysky : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2019. – Pp. 12–13. – EDN LDROGU.
2. Muravyov, A.A. Dependence of spring wheat yield on processing with a biological product / A.A. Muravyov // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2019. – № 3 (23). – Pp. 142–148. – EDN ZKNZI.
3. Muravyov, A.A. The effectiveness of leaf fertilizing on spring wheat / A.A. Muravyov // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2020. – № 1 (25). – Pp. 154–161. – EDN HTKJYH.
4. Ramazanova, R.H. Biological activity of dark chestnut soil in the application of nitrogen fertilizers for spring triticale / R.H. Ramazanova, A. Kasipkhan, J.T. Botbaeva // Soil science and agrochemistry. – 2023. – № 1. – Pp. 36–52. – DOI 10.51886/1999-740X\_2023\_1\_36. – EDN RJIEFW.
5. Wildflush, I.R. The influence of trace elements in chelated form on the yield and quality of winter triticale grain / I.R. Wildflush, A.S. Masters, E.M. Masterova // Bulletin of the Belarusian State Agricultural Academy. – 2013. – № 1. – Pp. 48–52. – EDN ILSAKSR.
6. Methodiev, G.A. Correlation of quantitative signs in spring triticale / G.A. Methodiev, A.N. Alexandrova, M.I. Yakovleva // Bulletin of the Chuvash State Agricultural Academy. – 2020. – № 2 (13). – Pp. 36–40. – DOI 10.17022/9taq-qv29. – EDN IQPSTB.
7. Morozova, T.S. Productivity and quality of winter wheat grain depending on the types and doses of fertilizers on typical chernozem in the conditions of the south-western part of the Central Asian Republic / T.S. Morozova, S.D. Litsukov // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2018. – № 4 (20). – Pp. 119–128. – EDN ITPAGL.
8. Akinchin, A.V. The influence of nitrogen fertilizing on the yield and quality of winter wheat / A.V. Akinchin, S.A. Linkov, A.F. Samoilova // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2019. – № 4 (24). – Pp. 186–192. – EDN HIHIRA.
9. Imran, M., and Gurmani, Z.A. (2011). The role of macro- and microelements in the growth and development of plants. National Center for Agricultural Research. Verified on March 3, 2018 at: <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?RecordID=PK2012000898>.
10. Goswami, S., Kumar, R.R., Sharma, S.K., Kala, Y.K., Singh, K., Gupta, R., Dhawan, G., Rai, G.K., Singh, G.P., Pathak, H., & Rai, R.D. (2014). Calcium triggers protein kinase-induced signal transmission to increase the thermal tolerance of developing wheat grain (*Triticum aestivum*) under thermal stress. *Journal of Plant Biochemistry and Biotechnology*. 8 (5), 697–705. DOI:10.1007/s13562-014-0295-1.

#### Сведения об авторах

Кобяков Александр Сергеевич, преподаватель агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел.: 8-980-528-70-90, e-mail: [kobyakov\\_as@bsaa.edu.ru](mailto:kobyakov_as@bsaa.edu.ru).

Оразаева Ирина Владимировна, кандидат с.-х. наук, доцент, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел.: 8-906-604-88-82, e-mail: [i-orazaeva@yandex.ru](mailto:i-orazaeva@yandex.ru).

#### Information about authors

Kobayakov Alexander Sergeevich, Lecturer of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, contact phone: 8-980-528-70-90, e-mail: [kobyakov\\_as@bsaa.edu.ru](mailto:kobyakov_as@bsaa.edu.ru).

Orazzaeva Irina Vladimirovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, contact phone 8-906-604-88-82, e-mail: [i-orazaeva@yandex.ru](mailto:i-orazaeva@yandex.ru).

## МОНИТОРИНГОВЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕИСПОЛЬЗУЕМЫХ ЗЕМЕЛЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО НАЗНАЧЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ЦЕНТРА ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ В СФЕРЕ АПК

**Аннотация.** Сельскохозяйственные угодья играют первостепенное значение среди земель сельскохозяйственного назначения. Мониторинговые исследования с помощью Центра цифровой трансформации в сфере АПК на территории Белгородской области показали, что в ряде сельскохозяйственных предприятий и других форм хозяйствования наблюдается большое количество площадей неиспользуемых земель. Отслеживать их целесообразно с помощью единой федеральной информационной системой Минсельхоза РФ (ЕФИС ЗСН), используя активный слой «космического снимка высокого разрешения». Исследование показало, что на территории Белгородской области из 1536 сельскохозяйственных предприятий неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения расположены в границах 114 из них (7,42% от общего числа сельскохозяйственных предприятий), представлены различными организационно-правовыми формами, такими как: сельскохозяйственные производственные кооперативы (42,41% от общей площади неиспользуемых земель); акционерные общества закрытого типа (17,36%); открытые акционерные общества (9,44%); колхозы (8,96%); общества открытого типа (7,55%); акционерные общества (7,41%); федеральные государственные образовательные учреждения среднего профессионального образования (3,20%); совхозы (2,82%); закрытые акционерные общества (0,74%), областные государственные унитарные предприятия. В основном, неиспользуемые земли из категории сельскохозяйственных земель на территории Белгородской области представлены сенокосами, пастбищами, залежью, имеются также заброшенные участки с многолетними насаждениями, встречаются и пахотные поля, заросшие кустарником и сорняком. Проведённый анализ неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области показал, что существуют земельные участки, которые остаются бесхозными несмотря на то, что документально они закреплены в границах той или иной формы хозяйствования.

**Ключевые слова:** мониторинг, сельскохозяйственные угодья, космический снимок, неиспользуемые земли, формы хозяйственного использования.

## MONITORING STUDIES OF UNUSED AGRICULTURAL LAND WITH THE HELP OF THE CENTER OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE SPHERE OF AIC

**Abstract.** Agricultural land, play paramount importance, among agricultural land. Monitoring studies using the Center for Digital Transformation in the Agro-Industrial Complex, in the Belgorod Region, showed that in a number of agricultural enterprises and other forms of management, a large number of areas of unused land are observed. It is advisable to track them using the unified federal information system of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (EFIS ZSN) using the active layer of the «high-resolution space image». The study showed that in the Belgorod region, out of 1536 agricultural enterprises, unused agricultural land is located within 114 of them (7.42% of the total number of agricultural enterprises), represented by various organizational and legal forms, such as: agricultural production cooperatives (42.41% of the total area of unused land); closed joint stock companies (17.36%); open joint stock companies (9.44%); collective farms (8.96%); open society (7.55%); joint stock companies (7.41%); federal state educational institutions of secondary vocational education (3.20%); state farms (2.82%); closed joint stock companies (0.74%), regional state unitary enterprises. Basically, unused land from the category of agricultural land in the Belgorod region is represented by hayfields, pastures, deposits, there are also abandoned areas with perennial plantations, there are also arable fields overgrown with shrubs and weeds. An analysis of unused agricultural land in the Belgorod region showed that there are land plots that remain ownerless, despite the fact that they are documented within the boundaries of one form or another of management.

**Keywords:** monitoring, farmland, space snapshot, unused land, forms of economic use.

**Введение.** Несмотря на тот факт, что Россия является крупнейшим обладателем земельных ресурсов, а также входит в первую пятёрку стран планеты по площади пашни на душу населения (1,07 га), в несколько раз превосходя среднемировой показатель, эффективность землепользования невероятно низка: согласно статистике, в расчете на 1 га пашни в России производится продукции сельского хозяйства почти в 32 раза меньше, чем в Нидерландах, в 10 раз меньше, чем в ФРГ, и в 2,4 раза меньше, чем в США [5].

Одной из ключевых причин столь плачевной статистики является проблема неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, истоки которой базируются в моменте начала периода активных земельных преобразований на территории РФ – в 90-е гг. XX в. Большая часть вышеупомянутых земель до сих пор является неиспользуемой в силу различных экономических, социальных, природных и юридических факторов.

Так, по данным Росреестра, за организациями и гражданами числится 193,2 млн. га сельскохозяйственных угодий, при этом всего в России 222 млн. га таких земель. Получается, что не используется из них почти 100 млн. га. Согласно расчётам сельскохозяйственной переписи 2016 года, за сельскохозяйственными предприятиями, которые нашли переписчики, числится 142,7 млн. га, из них не используется 17,7 млн. га [4]. В большинстве случаев, это участки, оставленные в силу естественных причин, в том числе большие массивы пастбищ пустеют из-за сокращения поголовья скота (по данным, опубликованным РБК в феврале 2020 г., поголовье крупного рогатого скота в стране с 2013 по 2018 год сократилось почти на 6%).

Белгородская область не является исключением из регионов Российской Федерации по отношению к вопросу неиспользуемых земель, хотя, по показателям агропромышленного комплекса, обладая чуть более 1% общероссийской площади пашни и примерно такой же долей населения, регион производит более 4,6% валовой сельскохозяйственной продукции РФ.

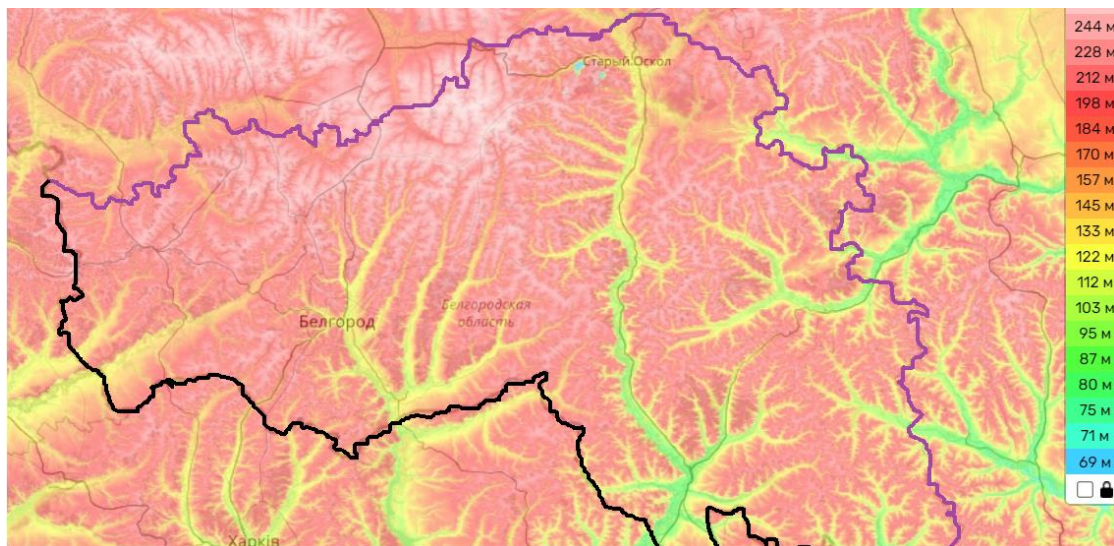
Белгородская область расположена в центре Европейской территории России, на южных и юго-восточных склонах Среднерусской возвышенности, входит в состав Центрально-Черноземного экономического района (ЦЧР) и Центрального Федерального округа Российской Федерации (рис. 1). В Белгородской области проживает 1547,4 тыс. человек, в том числе городского населения – 1043,8 тыс. человек (67,3%), сельского – 503,6 тыс. человек (33,9%).



Рис. 1 – Расположение Белгородской области на Европейской территории России

Поверхность территории Белгородской области представляет собой несколько приподнятую равнину, по которой проходят юго-западные отроги Орловско-Курского плато Среднерусской возвышенности, расчлененного многочисленными речными долинами и густой овражно-балочной сетью. Это плато – главная водораздельная возвышенность, отделяющая речную систему притоков Днепра (реки: Сейм, Псёл, Ворскла) от речной системы притоков Дона. Вся территория области изрезана сетью рек бассейнов Северского Донца, Дона и Днепра. Общая протяжённость речной сети составляет 5000 км [1]. Самая высокая точка – 359 м над уровнем моря находится в Прохоровском районе. Самая низкая – в днище долин рек Оскола и Северского Донца (24 м) (рис. 2).

Площадь земельных угодий в регионе – 2,7 млн. га, из них на пахотные земли приходится 1,9 млн. га, причём 77% из них черноземы. Динамика изменения земель сельскохозяйственных угодий за 20-летний период показывает, что площади земель сократились на 11,5 га (рис. 3).



Условные обозначения: — граница Белгородской области, граничащая с регионами РФ;  
— граница Белгородской области, граничащая с Украиной.

Рис. 2 – Высотное расчленение Белгородской области (составлено авторами)

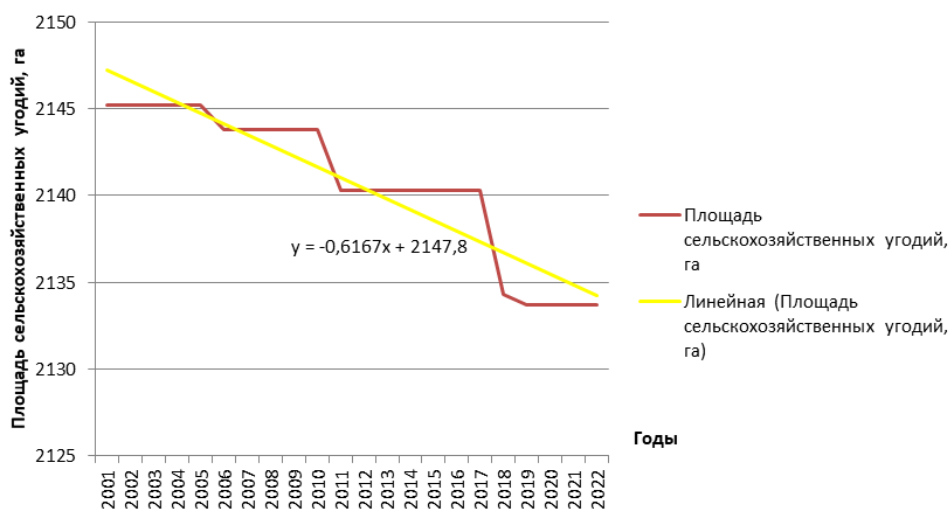


Рис. 3 – Линия тренда изменения площадей сельскохозяйственных угодий за 20-летний период на территории Белгородской области (составлено авторами)

**Материалы и методы исследования.** При выполнении работы использовались следующие методы: обзор и анализ научной литературы; сравнительный, сравнительно-географический, картографический, ГИС-технологии (уникальная научная установка – ВЕГА-Science, входящая в состав Центра коллективного пользования «ИКИ-Мониторинг»), предназначенного для решения научных задач изучения и мониторинга окружающей среды с использованием методов и технологий спутникового дистанционного зондирования [3]; модуля работы с данными дистанционного зондирования Единой федеральной информационной системы о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) [2], созданной и развиваемой Минсельхозом России).

В Аналитическом центре Минсельхоза России представлена карта визуализация векторных контуров земель сельскохозяйственного назначения, по которым можно вести мониторинг муниципальных образований, и различных форм хозяйствования, а также наблюдать динамику изменений статистических данных по отчётам видов угодий, структуры посевных площадей по годам, поэтому базовым методом являлась визуализация идентификации.

**Результаты и обсуждение.** Мониторинг неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, находящихся в государственной собственности Белгородской области за период 2022 года общей площадью 18048,94 га, показал, что наибольшее количество неиспользуемой пашни отмечается в Алексеевском районе 5415,35 га (30,01% от общей площади неиспользуемых земель). На втором месте расположились три района – Красненский (2728,81 га (15,12%)), Новооскольский (2501,00 га (13,85%)) и Красногвардейский (2374,52 га (13,15%)). Самые наименьшие площади неиспользуемых земель, отмечены в Ракитянском (22,04 га (0,12%)), Чернянском (27,06 га (0,15%)) и Ивнянском (29,93 га (0,16%)) районах (рис. 4).

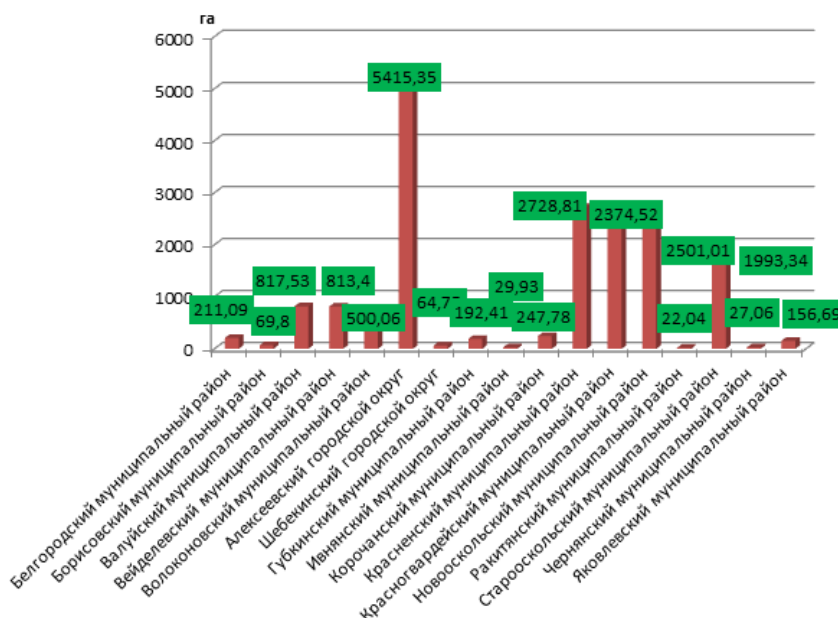


Рис. 4 – Гистограмма неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения, находящихся в государственной собственности Белгородской области (составлено авторами)

На территории Белгородской области из 1536 сельскохозяйственных предприятий неиспользуемые земли сельскохозяйственного назначения расположены в границах 114 из них (7,42% от общего числа сельскохозяйственных предприятий), представленные различными организационно-правовыми формами (рис. 5).

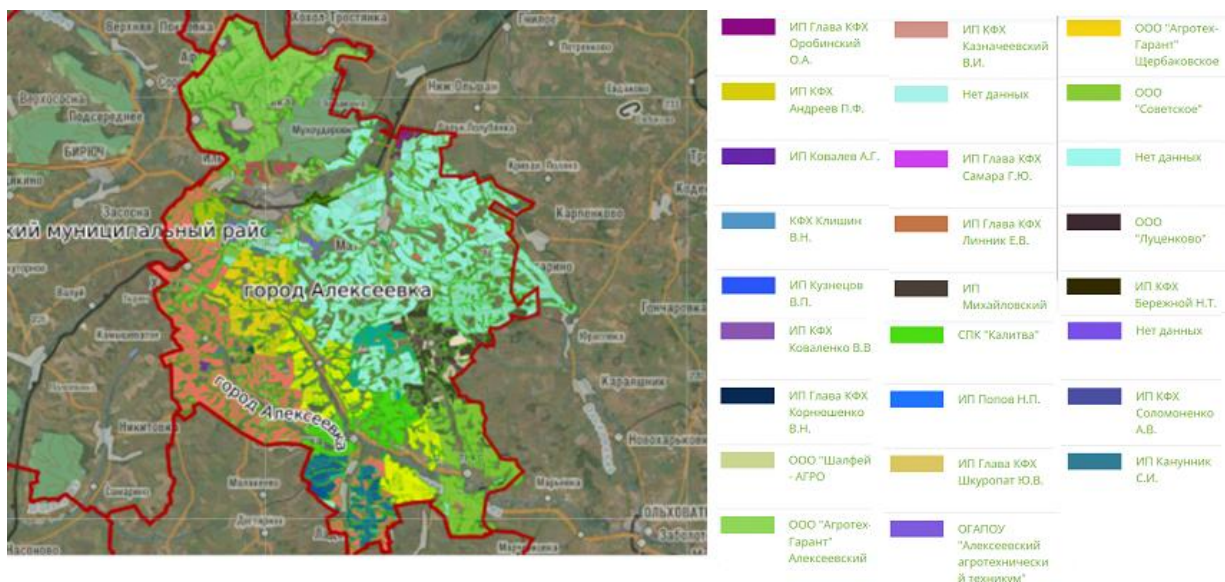


Рис. 5 – Наглядное представление расположения организационно-правовых форм хозяйствования на территории Алексеевского городского округа в системе ЕФИС ЗСН

Причём, наибольшие площади неиспользуемых земель на территории Белгородской области сосредоточены в сельскохозяйственных производственных кооперативах (42,41% от общей площади неиспользуемых земель), акционерных обществах закрытого типа (17,36%); вторую позицию занимают открытые акционерные общества (9,44%), колхозы (8,96%), общества открытого типа (7,55%), акционерные общества (7,41%); наименьшие площади неиспользуемых земель располагаются в федеральных государственных образовательных учреждениях среднего профессионального образования (3,20%), совхозах (2,82%), закрытых акционерных обществах (0,74%), областных государственных унитарных предприятиях (0,11%) (рис. 6).

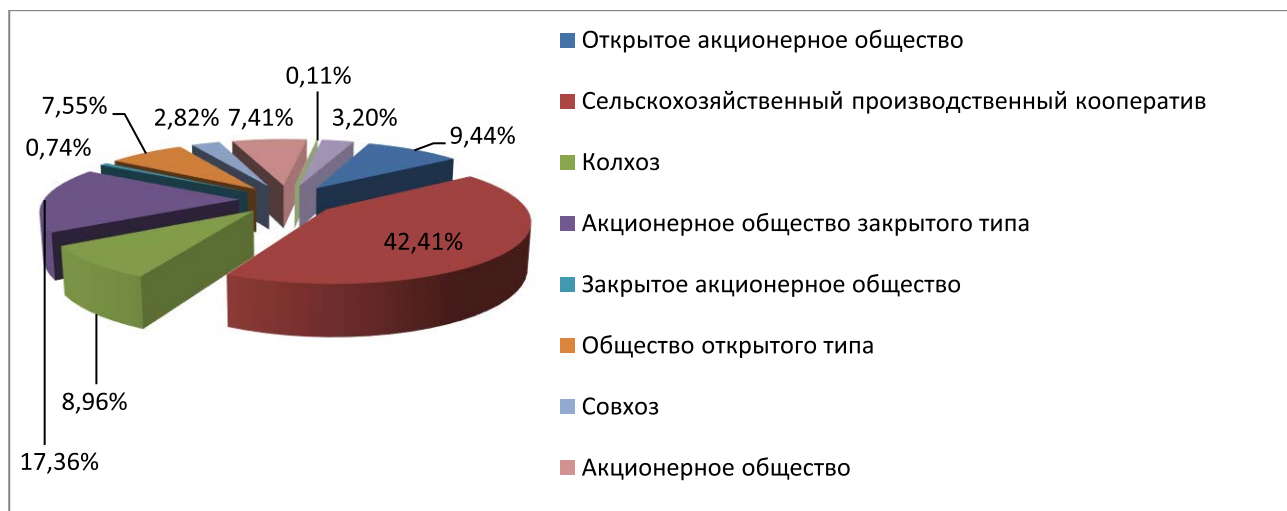


Рис. 6 – Диаграмма распределения неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения по организационно-правовым формам хозяйствования на территории Белгородской области, 2022 г. (составлено авторами)

Самая большая неиспользуемая площадь земель сельскохозяйственного назначения на территории одной формы хозяйствования отмечены на нескольких земельных участках: в границах ООО «Земское» Красненского района с кадастровым номером земельного участка 31:07:0000000:152 (914,12 га); колхозе «Дружба» Новооскольского района с кадастровым номером земельного участка 31:19:0000000:241 (900 га); АО «Палотовское» Красногвардейского района с кадастровым номером 31:21:0000000:227 (883,5 га). Также надо отметить, что выявлен земельный участок с кадастровым номером 31:21:0000000:208, общей площадью 451,71 га, расположенный в границах ФГОУ СПО Красногвардейского сельскохозяйственного техникума, который также не использует земли сельскохозяйственного назначения. Все эти участки по виду разрешённого использования выдавались для обеспечения сельскохозяйственного производства.

**Заключение.** В основном неиспользуемые земли из категории сельскохозяйственных земель на территории Белгородской области представлены сенокосами, пастбищами, залежью, имеются также заброшенные участки с многолетними насаждениями, встречаются и пахотные поля, заросшие кустарником и сорняком.

По виду разрешённого использования, неиспользуемые в настоящее время земли, предоставлялись для сельскохозяйственного использования: выращивание основных сельскохозяйственных культур, овощеводство, садоводство (приходится 15% от общей неиспользуемой площади земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области); скотоводство, птицеводство, свиноводство, рыбоводство, сенокосения, выпаса сельскохозяйственных животных (5%); хранение и переработку сельскохозяйственной продукции (8%); ведения личных подсобных хозяйств на полевых участках (1%); обеспечение сельскохозяйственного производства (71%).



Проведённый анализ неиспользуемых земель сельскохозяйственного назначения на территории Белгородской области показал, что существуют земельные участки, которые остаются бесхозными несмотря на то, что документально они закреплены в границах той или иной формы хозяйствования. Как показывает практика, ещё не налажен механизм, который навед бы порядок по изыманию земель у недобросовестных собственников, которые не используют земельные участки по виду предоставленного им разрешённого использования.

#### Библиография

1. Белоусова Л.И., Киреева-Гененко И.А., Петина В.И., Шевченко В.Н., Фурманова Т.Н. Оценка эколого-геоморфологической опасности территории Белгородской области // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5. URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10467>.
2. Козубенко И.С., Бегляров Р.Р., Вандышева Н.М., Бабак В.А., Денисов П.В., Трошко К.А. Использование материалов дистанционного зондирования Земли в Единой федеральной информационной системе о землях сельскохозяйственного назначения (ЕФИС ЗСН) // Материалы 2-й Всерос. науч. конф. с международным участием «Применение средств дистанционного зондирования Земли в сельском хозяйстве». Санкт-Петербург, 26–28 сент., 2018. СПб. : ФГБНУ АФИ, 2018. С. 19–25.
3. Лупян Е.А., Прошин А.А., Бурцев М.А., Балашов И.В., Барталев С.А., Ефремов В.Ю., Кашницкий А.В., Мазуров А.А., Матвеев А.М., Суднева О.А., Сычугов И.Г., Толпин В.А., Уваров И.А. Центр коллективного пользования системами архивации, обработки и анализа спутниковых данных ИКИ РАН для решения задач изучения и мониторинга окружающей среды // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2015. Т. 12. № 5. С. 263–284.
4. Министерство сельского хозяйства Российской Федерации: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/oborotnaya-storona-zemli-pochemu-v-rossii-ostayutsya-nevostrebovannymi-selkhozugodya/>. – Текст: электронный.
5. Центр цифровой трансформации в сфере АПК: официальный сайт. – Москва. – URL: <https://efis.mcx.ru/landing/>. – Текст: электронный.

#### References

1. Belousova L.I., Kireeva-Genenko I.A., Petina V.I., Shevchenko V.N., Furmanova T.N. Assessment of the ecological and geomorphological danger of the territory of the Belgorod region // Modern problems of science and education. 2013. № 5. Access Mode: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=10467>.
2. Kozubenko I.S., Beglyarov R.R., Vandysheva N.M., Babak V.A., Denisov P.V., Troshko K.A. 2018. Use of Earth remote sensing materials in the Unified Federal Information System on Agricultural Lands (EFIS ZSN ) // Materials 2nd All. scientific. conf. with international participation «Application of Earth remote sensing in agriculture». St. Petersburg, 26–28 Sep., 2018. St. Petersburg : FSBNU AFI. P. 19–25.
3. Lupyay E.A., Proshin A.A., Burtsev M.A., Balashov I.V., Bartalev S.A., Efremov V.Yu., Kashnitsky A.V., Mazurov A.A., Matveev A.M., Sudneva O.A. 2015. Sychugov. T. 12. № 5. P. 263–284.
4. Ministry of Agriculture of the Russian Federation: official website. – Moscow. – URL: <https://mcx.gov.ru/press-service/news/oborotnaya-storona-zemli-pochemu-v-rossii-ostayutsya-nevostrebovannymi-selkhozugodya/>. – Text: electronic.
5. Center for Digital Transformation in the Agro-Industrial Complex: official website. – Moscow. – URL: <https://efis.mcx.ru/landing/>. – Text: electronic.

#### Сведения об авторах

Ковалёва Елена Владимировна, кандидат географических наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-23-96, e-mail: [ele-serikova@yandex.ru](mailto:ele-serikova@yandex.ru).

Котлярова Екатерина Геннадьевна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-23-96, e-mail: [kotlyarovaeg@mail.ru](mailto:kotlyarovaeg@mail.ru).

Степанова Вера Игоревна, руководитель картографической группы Института биологического приборостроения с опытным производством РАН – обособленное подразделение ФГБУН «Федерального исследовательского центра «Пушчинский научный центр биологических исследований РАН» (ИБП РАН)», 142290, г. Пушкино, Московская обл., тел.: (4967) 73-04-78, (495) 924-57-49, e-mail: [ibp@ibp-ran.ru](mailto:ibp@ibp-ran.ru).

Кузьмина Ольга Сергеевна, старший преподаватель агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-23-96, e-mail: [osk9592@mail.ru](mailto:osk9592@mail.ru).

#### Information about authors

Kovalyova Elena Vladimirovna, Candidate of Geographical Sciences, Associate Professor, Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU, st. Vavilova, 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. + 74722 39-23-96, e-mail: [ele-serikova@yandex.ru](mailto:ele-serikova@yandex.ru).

Kotlyarova Ekaterina Gennadiyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU, st. Vavilova, 1, Maysky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-23-96, e-mail: [kotlyarovaeg@mail.ru](mailto:kotlyarovaeg@mail.ru).

Stepanova Vera Igorevna, head of the mapping group of the Institute of Biological Instrumentation with experimental production of the Russian Academy of Sciences – a separate division of the Federal State Budgetary Institution «Federal Research Center» Pushchinsky Scientific Center for Biological Research of the Russian Academy of Sciences» (UPS RAS)», 142290, Pushchino, Moscow Region, tel.: (4967) 73-04-78, (495) 924-57-49, e-mail: [ibp@ibp-ran.ru](mailto:ibp@ibp-ran.ru).

Kuzmina Olga Sergeevna, Senior Lecturer, Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU, Vavilova str., 1, Maysky vilage, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. + 74722 39-23-96, e-mail: [osk9592@mail.ru](mailto:osk9592@mail.ru).

УДК 631.459

*В.В. Лоткова, В.Б. Азаров, М.А. Шамси*

## ВЛИЯНИЕ БИОЛОГИЧЕСКИХ ПРЕПАРАТОВ НА АГРОФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЧВЫ ПОД ПОСЕВАМИ СОИ НА РАЗНЫХ ФОНАХ ПИТАНИЯ

**Аннотация.** В условиях стационарного полевого опыта в юго-западной части Центрально-Черноземной зоны России проведены исследования по выявлению зависимости агрофизических свойств почвы от элементов технологии возделывания сои. Изучались биологические препараты для обработки семян сои активными штаммами азотфиксирующих микроорганизмов, кратные обработки биологически активными препаратами линейки Биогор производства НТЦ «БИО» и листовой подкормки по вегетации сои микроудобрениями. По результатам трехлетних исследований доказано, что биологически активные препараты как при обработке семенного материала, так и при использовании их по вегетации сои не оказывали отрицательного действия на плотность почвы, сохраняя оптимальные для корневой системы значения  $1,07-1,15 \text{ г/см}^3$  в верхнем 20-сантиметровом слое почвы. С углублением профиля почва закономерно увеличивает свою плотность до  $1,25 \text{ г/см}^3$ , не превышая, однако, критических значений переуплотнения. Необходимо выделить положительную тенденцию разуплотнения почвы при использовании препаратов Биогор вне зависимости от вида использования и кратности обработки. Также зафиксирован незначительный отрицательный эффект от использования по вегетации сои жидких удобрений, содержащих комплекс микроэлементов. В этом случае полученные значения плотности почвы были практически идентичны значениям на контрольном варианте без использования удобрений и биопрепаратов. Степень насыщенности вариантов опыта минеральными удобрениями, создающими разные фоны минерального питания, также незначительно повлияла на изменение плотности чернозема типичного под посевами сои. Важным агрофизическим показателем, помимо плотности почвы, является её структурность. Коэффициент структурности на вариантах без использования биологических препаратов составил от 3,3 до 4,9 единиц с преимуществом более интенсивных фонов минерального питания. Интенсивность насыщенности почвы минеральным питанием способствовала лучшей структурности и улучшению агрофизических свойств почвы по всем вариантам использования биопрепаратов.

**Ключевые слова:** соя, биологические препараты, микроудобрения, фон питания, плотность почвы, структурность.

## THE EFFECT OF BIOLOGICAL PREPARATIONS ON THE AGROPHYSICAL PROPERTIES OF THE SOIL UNDER SOYBEAN CROPS ON DIFFERENT FOOD BACKGROUNDS

**Abstract.** Under the conditions of stationary field experience in the southwestern part of the Central Chernozem zone of Russia, studies were conducted to identify the dependence of the agrophysical properties of the soil on the elements of soybean cultivation technology. Biological preparations for the treatment of soybean seeds with active strains of nitrogen-fixing microorganisms, multiple treatments with biologically active preparations of the Biogor line produced by STC «BIO» and leaf dressing for soybean vegetation with micro fertilizers were studied. According to the results of three-year studies, it was proved that biologically active preparations both during the processing of seed material and when using them during the growing season of soybeans did not have a negative effect on soil density, maintaining optimal values for the root system of  $1.07-1.15 \text{ g/cm}^3$  in the upper 20-centimeter soil layer. With the deepening of the profile, the soil naturally increases its density to  $1.25 \text{ g/cm}^3$ , without exceeding, however, the critical values of over-compaction. It is necessary to highlight the positive trend of soil decompression when using Biogor preparations, regardless of the type of use and the frequency of processing. There was also a slight negative effect from the use of liquid fertilizers containing a complex of trace elements during the growing season of soybeans. In this case, the obtained values of soil density were almost identical to the values in the control variant without the use of fertilizers and biological products. The degree of saturation of the experiment options with mineral fertilizers that create different backgrounds of mineral nutrition also slightly affected the change in the density of chernozem typical under soybean crops. An important agrophysical indicator, in addition to the density of the soil, is its structurality. The structural coefficient for variants without the use of biological preparations ranged from 3.3 to 4.9 units with the advantage of more intense mineral nutrition backgrounds. The intensity of the saturation of the soil with mineral nutrition contributed to a better structurality and improvement of the agrophysical properties of the soil in all variants of the use of biological products.

**Keywords:** soy, biological preparations, micro fertilizers, nutrition background, soil density, structurality.

**Введение.** Обеспечение отрасли животноводства высокопитательными белковыми кормами является сейчас главной задачей зерновых компаний, входящих в холдинговые структуры агропромышленного комплекса Белгородского региона. В этой связи расширяются посевы сои, как культуры, способной удовлетворить потребность в протеиновой составляющей концентрированных кормов [1, 2]. Элементы технологии ее возделывания изучались учеными в части подбора сорта и минерального питания достаточно успешно [3, 4]. Вместе с тем изучение действия на бобово-ризобияльный комплекс сои биологических препаратов, их влияние на урожайность, качество зерна и показатели почвенного плодородия оставались без внимания научного сообщества.

Растения сои ввиду своих биологических особенностей способны усваивать атмосферный азот и переводить его в доступные для растений соединения. Этот природный феномен всесторонне используется в земледелии при возделывании зернобобовых культур. Однако, в аборигенной почвенной биоте содержится незначительное количество бактерий, способных к симбиотической азотфиксации [5]. В этой ситуации широко используется такой прием, как обработка семенного материала активными штаммами клубеньковых бактерий для усиления азотфиксации [6, 7, 8]. При большом количестве подобных препаратов на рынке агрохимических средств эффективность их на конкретных культурах в определенных почвенно-климатических условиях изучена недостаточно хорошо, что и предопределило цели и задачи наших исследований.

**Цели и задачи.** Главной целью наших исследований являлось обоснование и совершенствование агротехнологии возделывания сои в условиях юго-запада ЦЧЗ, обеспечивающей повышение продуктивности семян и способствующей воспроизводству плодородия чернозема типичного.

Поставленная цель достигается выполнением следующих задач:

– обосновать характер влияния изучаемых факторов на влажность почвы и агрофизические свойства чернозема типичного;

- выявить зависимость запасов минерального азота по почве от биопрепаратов и минеральных удобрений;
- установить тенденцию влияния Нитрагина, Биогора, Метаболика и уровня минерального питания на урожайность зерна сои;
- определить качество зерна сои в зависимости от биопрепаратов и норм минеральных удобрений;
- определить экономическую и биоэнергетическую эффективность изучаемых элементов агротехнологии при возделывании сои в почвенно-климатических условиях Центрально-Черноземного региона.

**Материалы и методы.** В основу разработки методики проведения исследований положены общепринятые методические рекомендации по проведению полевых опытов, действующие ГОСТы, а также методические рекомендации, разработанные ранее в лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского аграрного университета.

В стационаре по изучению севооборотов на разных фонах минерального питания поддерживается следующее чередование культур:

- 1 поле – предшественники озимых культур;
- 2 поле – озимые культуры;
- 3 поле – пропашные культуры;
- 4 поле – яровые колосовые культуры.

В первом поле в качестве предшественников озимых культур размещались многолетние травы однолетнего использования, горох на зерно, ячмень на зерно и черный пар; во втором поле – сорта озимой пшеницы; в третьем поле – сахарная свёкла, соя, кукуруза и подсолнечник; в четвёртом поле – яровая пшеница с подсевом многолетних трав и яровой ячмень.

Все поля севооборота разбиты на четыре фона минерального питания:

- 1) 20 кг ДВ\* азота и по 7,5 кг ДВ фосфора и калия – условно низкий фон питания;
- 2) 50 кг ДВ азота и по 37,5 кг ДВ фосфора и калия – условно средний фон питания;
- 3) 80 кг ДВ азота и по 67,5 кг ДВ фосфора и калия – условно высокий фон питания;
- 4) 112,5 кг ДВ азота и по 82,5 кг ДВ фосфора и калия – условно интенсивный фон питания.

Количество факторов опыта – 2.

Фактор А – биологический препарат. В опыте проводится исследование эффективности препаратов Биогор КМ, Нитрагин КМ и Метаболик.

В качестве метаболистического препарата выступали микроудобрения, содержащие набор элементов, специально разработанных для сои. В разные годы использовались препараты различных торговых марок со сходными агрохимическими характеристиками.

Фактор Б – фон минерального питания.

Площадь учетной делянки: 50 м<sup>2</sup>.

Повторность трехкратная.

1. Контроль.
2. Обработка семян Биогор КМ, 1000 г/гектарную норму семян.
3. Обработка семян Нитрагином КМ, 90 г/гектарную норму семян.
4. Обработка семян смесью Нитрагин КМ, 90 г/га + Биогор КМ, 1000 г/га.
5. Обр-ка семян Нитрагином КМ, 90 г/га + лист. обр-ка Биогором Развитие, 1 л/га, в фазу 1-3 тройч. листьев.
6. Обр-ка семян Нитрагином КМ, 90 г/га + 2 лист. обр-ки: Биогором Развитие, 1 л/га, в фазу 1-3 тройч. листьев; Биогором Развитие, 1 л/га в фазу бут.-цветения.
7. Обр-ка семян Нитрагином КМ, 90 г/га + 3 лист. обр-ки: Биогором Развитие, 1 л/га, в фазу 1-3 узлов; Биогором Развитие, 1 л/га, в фазу бут.-цветения; Биогором Финиш, 1 л/га в фазу налива зерна.
8. Обр-ка семян Нитрагином КМ, 90 г/га + лист. обр-ка Метаболиком, 1 л/га, в фазу 1-3 тр. листьев.
9. Обр-ка семян Нитрагином КМ, 90 г/га + 2 лист. обр-ки: Метаболиком, 1 л/га, в фазу 1-3 тр. листьев; Метаболиком, 1 л/га в фазу бут.-цветения.
10. Обр-ка семян Нитрагином КМ, 90 г/га + 3 лист. обр-ки: Метаболиком, 1 л/га, в фазу 1-3 тр. листьев; Метаболиком, 1 л/га, в фазу бутонизации-цветения; Метаболиком, 1 л/га в фазу налива зерна.

**Результаты и обсуждение.** При возделывании сельскохозяйственных культур, помимо обеспеченности такими основополагающими элементами агротехнологии, как минеральное питание, средства защиты растений и качественный семенной материал, необходимо создание оптимальных параметров почвенного плодородия, основным из которых является аэрация, создание благоприятной структуры и разуплотнение корнеобитаемого слоя. На данные характеристики пахотных земель влияют как природные, естественные факторы, так и антропогенные, зависящие от набора компонентов в системе возделывания сельскохозяйственных культур.

Агрофизические свойства почвы чрезвычайно важны для сои, как культуры, остро реагирующей на недостаток почвенного воздуха из-за излишней плотности пахотного горизонта. Клубеньковые бактерии, осуществляющие процессы симбиотической азотфиксации на корнях соевых растений являются облигатными аэробами и не могут функционировать и полноценно развиваться в условиях отсутствия достаточного количества кислорода почвенного воздуха.

Факторы, изучаемые в опыте, призваны создать хорошие условия для доминирования почвенных симбионтов в микробиологическом пантеоне почвенных субстратов. Для выявления оптимальных вариантов обработок биологическими препаратами на фоне различной насыщенности минеральными удобрениями мы в своих исследованиях провели анализ изменений плотности почвы по слоям 0-20 и 20-40 см. Отбор почвенных образцов осуществлялся во второй половине июня для выявления наиболее контрастных вариантов.

Как показали результаты исследований (табл. 1) на контроле без использования удобрений плотность почвы в верхнем слое показала почти равные значения вне зависимости от интенсивности фона питания – 1,14-1,18 г/см<sup>3</sup>.

**Таблица 1 – Плотность почвы под посевами сои в зависимости от изучаемых факторов, слой почвы 0-20 см, г/см<sup>3</sup>, Средние данные 2020-2022 гг.**

Варианты опыта	Низкий фон питания	Средний фон питания	Высокий фон питания	Интенсивный фон питания
Контроль	1,15	1,16	1,14	1,18
Биогор КМ	1,16	1,17	1,19	1,14
Нитрагин КМ (Н)	1,14	1,16	1,14	1,13
Нитрагин+Биогор обр. семян	1,15	1,16	1,18	1,16
Н+Биогор 1 обр.	1,10	1,07	1,09	1,10
Н+Биогор 2 обр.	1,11	1,08	1,13	1,17
Н+Биогор 3 обр.	1,07	1,07	1,11	1,10
Н+Метаболик 1 обр.	1,16	1,17	1,15	1,18
Н+Метаболик 2обр.	1,17	1,19	1,17	1,16
Н+Метаболик 3 обр.	1,19	1,20	1,17	1,16
НСР <sub>05</sub> по фактору А 0,03; по фактору Б 0,05; взаимодействие АБ 0,06 г/см <sup>3</sup>				

В период отбора почвенных образцов почва под посевами сои представляла собой хорошо дренированную массу, пронизанную корнями культуры с обилием ходов землероев, комковато-зернистой агрономически ценной структурой. Это обстоятельство не могло не повлиять на показатели плотности верхнего 20-сантиметрового слоя почвы.

Анализируя полученные экспериментальные данные, мы можем констатировать зависимость показателя плотности почвы от системы применения биологических препаратов. Чётко прослеживается тенденция разуплотнения верхнего слоя почвы на делянках с использованием препарата Биогор по вегетации сои вне зависимости от кратности обработок. Разница в этом случае по сравнению с остальными системами использования биопрепаратов составляет достоверную величину 0,07-0,11 г/см<sup>3</sup>. Необходимо отметить, что влияние биопрепарата на изменение плотности почвы было опосредованное, через лучшее развитие корневой системы на вариантах с вегетативной обработкой Биогором.

Обработка посевов сои метаболиком в виде микроудобрений не способствовала улучшению показателей плотности почвы в период вегетации сои. Значения в абсолютных величинах на уровне 1,15-1,20 г/см<sup>3</sup> показывают, что данное средство усиления физиологических процессов в растениях сои не повлекло за собой мощное развитие корневой системы в верхнем слое почвы. Зафиксированный в этом случае показатель находится на верхних пределах оптимальных значений плотности и, при наметившейся тенденции, способен к концу вегетации сои еще больше уплотнить почву.

С точки зрения оптимального развития растений сои наиболее интересно выявить динамику изменений плотности почвы в слое 20-40 см, т.к. на этой глубине осуществляют свою поглотительную деятельность основная масса корневой системы сои, а также происходит симбиотическая азотфиксация посредством активной микробиологической деятельности.

Как показывают данные таблицы 2, масса почвы, сосредоточенная в одном кубическом сантиметре, по своим значениям отличается от величины, зафиксированной нами в верхнем слое почвы. Общие закономерности большей зависимости плотности почвы от применения биопрепаратов нежели от интенсивности минерального питания прослеживаются и в нижележащем слое при несколько больших абсолютных величинах.

Так, на вариантах с контролем без использования биологических препаратов плотность почвы на низком фоне питания составила 1,19 г/см<sup>3</sup>, незначительно изменяясь по мере увеличения доз вносимых удобрений.

**Таблица 2 – Плотность почвы под посевами сои в зависимости от изучаемых факторов, слой почвы 20-40 см, г/см<sup>3</sup>, Средние данные 2020-2022 гг.**

Варианты опыта	Низкий фон питания	Средний фон питания	Высокий фон питания	Интенсивный фон питания
Контроль	1,19	1,17	1,20	1,16
Биогор КМ	1,16	1,14	1,14	1,16
Нитрагин КМ (Н)	1,22	1,19	1,18	1,19
Нитрагин+Биогор обр. семян	1,20	1,17	1,22	1,21
Н+Биогор 1 обр.	1,15	1,16	1,17	1,16
Н+Биогор 2 обр.	1,14	1,18	1,17	1,16
Н+Биогор 3 обр.	1,17	1,15	1,15	1,16
Н+Метаболик 1 обр.	1,22	1,23	1,20	1,19
Н+Метаболик 2обр.	1,21	1,19	1,17	1,24
Н+Метаболик 3 обр.	1,23	1,21	1,20	1,25
НСР <sub>05</sub> по фактору А 0,05; по фактору Б 0,06; взаимодействие АБ 0,08 г/см <sup>3</sup>				

При сохранении общих тенденций, отмеченных нами при анализе величин плотности почвы в верхнем слое почвы, значения в нижнем слое почвы несколько больше, на уровне 1,15-1,25 г/см<sup>3</sup>, что уже говорит о некотором переуплотнении, особенно на делянках, где программой исследований предусматривалось применение биологического препарата Метаболик. Однако, при визуальном осмотре посевов сои на опытном поле нами отмечено полноценное развитие растений, разветвленная, глубокопрорастающая корневая система на всех вариантах эксперимента.

Обобщая полученный экспериментальный материал, можно с уверенностью отметить, что плотность почвы не является лимитирующим фактором, негативно влияющим на продуктивность сои и находится на близких к оптимальному значению величинах практически на всех изучаемых вариантах.

Наряду с показателями плотности почвы, важным агрофизическим показателем, характеризующим качество почвенных отдельностей, влияющим на состояние почвенных коллоидов и их поглотительную способность, является структура почвы, т.е. размер частиц, её составляющих. Это значение лучше всего отражает показатель отношения агрономически ценных почвенных агрегатов, частиц фракции 0,25-10 мм к сумме глыбистой и пылеватой части по общей массе. Данная величина, получившая определение коэффициента структурности, зависит от многих факторов и является интегрированным показателем структуры почвы.

В нашем опыте мы определяли значение коэффициента структурности пахотного горизонта почвы в зависимости от изучаемых факторов в начале июня, когда растения сои интенсивно формируют корневую систему, потребляют питательные вещества и нуждаются в физически качественной, структурированной почве.

За три года исследований условия вегетационного периода хотя и различались по климатическим параметрам, были в целом схожи в отношении почвенных показателей. Значения структурности, определенное в отдельные годы незначительно варьировали по абсолютным значениям.

Как показали наши учёты и наблюдения, коэффициент структурности на вариантах без использования биологических препаратов составил от 3,3 до 4,9 единиц с преимуществом более интенсивных фонов минерального питания (табл. 3).

Объяснение данному факту следует искать в многолетнем применении повышенных доз минеральных удобрений именно на этих делянках. В таких условиях формировались высокие урожаи всех культур севооборота с разветвленной корневой системой, образованием густой сети почвенных коллоидов, в поглощающем комплексе которых преобладали катионы кальция, имеющие, как известно, коагулирующий эффект.

**Таблица 3 – Коэффициент структурности почвы под посевами сои в зависимости от изучаемых факторов. Слой почвы 0-30 см, г/см<sup>3</sup>, средние данные 2020-2022 гг.**

Варианты опыта	Низкий фон питания	Средний фон питания	Высокий фон питания	Интенсивный фон питания
Контроль	3,3	3,8	4,0	4,9
Биогор КМ	3,6	3,7	3,9	5,4
Нитрагин КМ (Н)	4,0	3,7	4,4	4,6
Нитрагин+Биогор обр. семян	3,3	5,1	4,6	4,9
Н+Биогор 1 обр.	4,1	4,5	4,4	5,5
Н+Биогор 2 обр.	3,9	4,5	4,1	5,2
Н+Биогор 3 обр.	4,3	4,7	5,0	5,3
Н+Метаболик 1 обр.	3,2	3,8	3,5	4,2
Н+Метаболик 2обр.	4,0	4,1	3,6	4,0
Н+Метаболик 3 обр.	3,7	3,9	4,5	4,4
НСР <sub>05</sub> по фактору А 0,3; по фактору Б 0,9; взаимодействие АБ 0,5				

Применение биологически активных препаратов не повлияло радикальным образом на изменение структуры почвенного покрова. В этом плане возможно отметить только тенденцию увеличения показателя коэффициента структурности на вариантах с использованием препарата Биогор, что объясняется достаточно сильной корреляцией между значениями плотности почвы и её структурности.

**Заключение.** Таким образом, структура чернозема, сформированная под посевами сои на опытных вариантах, отвечает потребностям растений в азоте, способствует лучшему усвоению влаги и питательных веществ, развитию микробиологического сообщества почвы и полезной почвенной фауны. Значения коэффициента структурности выше 3,5 говорят о формировании агрономически ценной структуры. Интенсивность насыщенности почвы минеральным питанием способствовала лучшей оструктуренности и улучшению агрофизических свойств почвы по всем вариантам использования биопрепаратов.

#### Библиография

1. Вавилов П.П., Посыпанов Г.С. Бобовые культуры и проблема растительного белка. М., 1983. 64 с.
2. Родионов В.Я., Клостер Н.И. Удобрения в современной земледелии / В.Я. Родионов. – Белгород, 2013. – 213 с.
3. Георгиу, В. Основные формы ризосферных бактерий сои, их физиологические особенности и взаимоотношения с клубеньковыми бактериями сои и растением : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата биологических наук / Георгиу Валентин. – Москва, 1956. – 22 с.
4. Азаров Б.Ф., Акулов П.Г., Азаров В.Б., Соловиченко В.Д. Вклад симбиотического азота бобовых в плодородие почв центрального Черноземья // Достижения науки и техники АПК. 2008. № 9.
5. Ореховская А.А., Ступаков А.Г. Влияние агротехнических приемов на продуктивность озимой пшеницы в условиях ЦЧР // Вестник Международного института питания растений. 2015. № 1. – С. 6–9.
6. Резвякова С.В., Гурин А.Г., Ревин Н.Ю., Резвякова Е.С. Приемы повышения продуктивности и экологической устойчивости растений на биологической основе // Экономические и гуманитарные науки. 2017. С. 179.
7. Муравьев А.А. Особенности формирования урожайности и качества семян различных сортов сои при использовании биопрепарата Биогор, Ж // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 5. С. 45–48. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10507.

8. Муравьев А.А., Сергеева В.А. Влияние инокуляции семян белгородским нитрагином КМ на урожай и качество зерна сортов сои в лесостепи ЦЧР // Аграрная наука. 2017. № 9-10. С. 24–28.

#### References

1. Vavilov P.P., Posypanov G.S. Legumes and the problem of vegetable protein. M., 1983. 64 p.
2. Rodionov V.Ya., Kloster N.I. Fertilizers in modern agriculture / V.Ya. Rodionov. – Belgorod, 2013. – 213 p.
3. Georgiu, V. The main forms of soybean rhizosphere bacteria, their physiological features and relationships with soybean nodule bacteria and plants : abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Biological Sciences / Georgiu Valentin. – Moscow, 1956. – 22 p.
4. Azarov B.F., Akulov P.G., Azarov V.B., Solovichenko V.D. Contribution of symbiotic nitrogen of legumes to soil fertility of the central Chernozem region // Achievements of science and technology of the Agroindustrial complex. 2008. № 9.
5. Orekhovskaya A.A., Stupakov A.G. The influence of agrotechnical techniques on the productivity of winter wheat in the conditions of the Central Forest // Bulletin of the International Institute of Plant Nutrition. 2015. № 1. Pp. 6–9.
6. Rezvyakova S.V., Gurin A.G., Revin N.Yu., Rezvyakova E.S. Methods of increasing productivity and ecological stability of plants on a biological basis // Economic and humanitarian sciences. 2017. P. 179.
7. Muravyov A.A. Peculiarities of the formation of yield and quality of seeds of different soybean varieties using the bio-preparation Biogor, J // Achievements of science and technology of APK. 2021. V. 35. № 5. S. 45–48. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10507.
8. Muravyov A.A., Sergeeva V.A. Influence of seed inoculation with Belgorod KM nitragin on the yield and grain quality of soybean varieties in the forest-steppe of the Central Chernobyl Region // Agrarnaya nauka. 2017. № 9–10. Pp. 24–28.

#### Сведения об авторах

Лоткова Виктория Викторовна, студентка агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: lotkova2001@mail.ru.

Азаров Владимир Борисович, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: azarov.v.b@mail.ru.

Шамси Мохаммад Ариф, аспирант агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: ShamsiMA@mail.ru.

#### Information about authors

Lotkova Victoria Viktorovna, student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, d. 1, Maisky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: lotkova2001@mail.ru.

Azarov Vladimir Borisovich, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, d. 1, Maisky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: azarov.v.b@mail.ru.

Shamsi Mohammad Arif, post-graduate student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, 1, Maisky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: ShamsiMA@mail.ru.

## К РАЗРАБОТКЕ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИСУЛЬФИДНЫХ СВЯЗЕЙ БЕЛКОВОГО КОМПЛЕКСА ЗЕРНА

**Аннотация.** Обобщены данные по молекулярной структуре белков зерна и условиях, способствующих агрегации и дезагрегации пептидов в клейковинном комплексе. Представлена техника определения количества дисульфидных связей белкового комплекса муки и показана необходимость проведения этого анализа. Методология основана на модификации методов седиментации. Существующие методы седиментации оценивают набухаемость муки, как результирующую, обусловленную слабыми физическими связями (водородными, дисперсионными) и химическими (в нашем случае дисульфидными). Слабые связи влияют на степень набухаемости муки, но не оказывают влияния на ее технологические качества. Этим они вносят дополнительные ошибки в оценке качества зерна. Представленный подход позволяет выявить степень набухаемости муки, связанный только с дисульфидными связями.

Даны некоторые результаты по использованию данного подхода для оценки качества зерна озимой пшеницы в Белгородском ФАНЦ РАН. Изучена коллекция сортов озимой мягкой пшеницы за 2018-2020 годы по физическим свойствам клейковины и количеством -S-S- связей в сухой клейковине. Показано, что число дисульфидных связей в белковом комплексе отражает качество клейковины (ИДК). Статистический анализ 51 сортаобразца показал отрицательную корреляцию между числом дисульфидных связей и индексом деформации клейковины (ИДК) ( $r=-0,327\pm 0,135$ ;  $t=2,43^*$ ,  $t_{0,95}=2,00$ ). Наличие ржаных белков в эндосперме (сорта Богданка, Синтетик, Hoff) по сравнению с формами обычной пшеницы (Альмера, Ариадна, Везелка) приводит к уменьшению -S-S- связей в белковом комплексе. Установлено действие на агрегацию белков с помощью -S-S- связей наследственной и средовой изменчивости. Складывающиеся условия года могут нивелировать наследственные различия между сортами по способности к агрегации с помощью дисульфидных связей белкового комплекса эндосперма пшеницы. Доля влияния среды выше при оценке количества дисульфидных связей по сравнению с показателем ИДК, но в обоих случаях доминируют особенности генотипа. Для достоверной характеристики этого показателя у исследуемых форм требуется сравнительная оценка результатов за несколько лет. По урожайности за эти годы влияние среды доминировало по сравнению с сортовыми различиями.

**Ключевые слова:** клейковина, белки зерна, пшеница, цистеин, дисульфидные связи.

## TO THE DEVELOPMENT OF THE DISULFIDE BONDS DETERMINATION IN GRAIN PROTEIN COMPLEX

**Abstract.** Data on the molecular structure of grain proteins and conditions conducive to aggregation and disaggregation of peptides in the gluten complex are summarized. A technique for determining the amount of disulfide bonds in the protein complex of flour is presented and the need for this analysis is shown. The methodology is based on a change in sedimentation methods. Existing methods of sedimentation evaluate the swelling of flour as a resultant, due to weak physical bonds (hydrogen, dispersion) and chemical (in our case, disulfide). Weak bonds affect the degree of swelling of the flour, but do not affect its technological qualities. In this way, they introduce additional errors in assessing the quality of grain. The rearranged approach makes it possible to reveal the degree of flour swelling associated only with disulfide bonds.

Some results are given on the use of this approach to assess the quality of winter wheat grain in the Belgorod Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences. The collection of winter common wheat varieties for 2018-2020 was studied by the physical properties of gluten and the number of -S-S- bonds in dry gluten. It has been shown that the number of disulfide bonds in the protein complex reflects the quality of gluten (IDK). Statistical analysis of 51 varieties showed a negative correlation between the number of disulfide bonds and the gluten deformation index (IDK) ( $r=-0.327\pm 0.135$ ;  $t=2.43^*$ ,  $t_{0.95}=2.00$ ). The presence of rye proteins in the endosperm (varieties Bogdanka, Sintetik, Hoff) in comparison with the forms of ordinary wheat (Almera, Ariadna, Vezelka) leads to a decrease in -S-S- bonds in the protein complex. The effect of hereditary and environmental variability on protein aggregation with the help of -S-S- bonds is shown. The share of the environment influence is higher when assessing the number of disulfide bonds in comparison with the index of IDK, but in both cases the features of the genotype dominate. For a reliable characterization of this indicator in the studied forms, a comparative assessment of the results over several years is required. In terms of yield over these years, the influence of the environment dominated in comparison with varietal differences.

**Keywords:** gluten, grain proteins, wheat, cysteine, disulfide bonds.

**Введение.** Один из наиболее экспрессных и мало затратных методов оценки качества зерна пшеницы известен, как метод седиментации [1]. Он основан на способности муки набухать в слабых растворах органических кислот. Эта способность связана с физико-химической особенностью белкового и углеводного комплексов эндосперма. Набухаемость муки в значительной степени зависит от количества и качества белка. Качество белка связано со способностью его к агрегации с помощью различных связей. Ведущими из них являются -S-S- связи. Слабые связи, в частности, водородные для оценки качества не важны, но вносят дополнительный вклад в набухаемость образца муки. В представленном сообщении дается техника определения набухаемости муки, связанной исключительно с наличием дисульфидных связей. Также представлены данные по практическому использованию данного подхода для оценки качества клейковины зерна озимой пшеницы.

**Молекулярная структура клейковинных белков и генов, которые их кодируют.** Аминокислотный состав этих белков показывает высокое содержание в них глутаминовой кислоты и пролина и важных незаменимых аминокислот (лизин, метионин, триптофан). Молекулярная структура клейковинных белков также специфична, что показали исследования первичной последовательности аминокислот в пептидах, клонирование и севенирование фрагментов ДНК, которые соответствуют *Glu / Gli* генам.

Ряд генов, которые кодируют биосинтез клейковинных белков, были клонированы и показали близкую молекулярную структуру. Все они кодируют полипептиды, имеющие уникальные С-терминальные последовательности. Высокомолекулярные глютеины также имеют уникальные N-терминальные последовательности.

У некоторых глиадинов молекулярная структура имеет парное количество аминокислотных остатков цистеина, в состав которого входит активная сульфгидрильная группа -SH, которая в результате окисления образует с другими сульфгидрильными группами ковалентные связи -S-S-, известные как дисульфидные мостики. В связи с этим, ряд молекул

глиадин имеет интрамолекулярную замкнутую –S–S– связями структуру, которая не способна образовывать подобные связи с другими молекулами, и поэтому не может участвовать в образовании макромолекулярных высокополимерных агрегатов. Глютенины, в отличие от таких глиадинов, имеют в структуре молекулы нечетное количество остатков цистеина, или сульфгидрильных групп –SH, а потому способны к межмолекулярной агрегации, образуя высокополимерные структуры с высокой молекулярной массой.

На рисунке 1 схематически показана структура различных белковых субъединиц белков глютена.

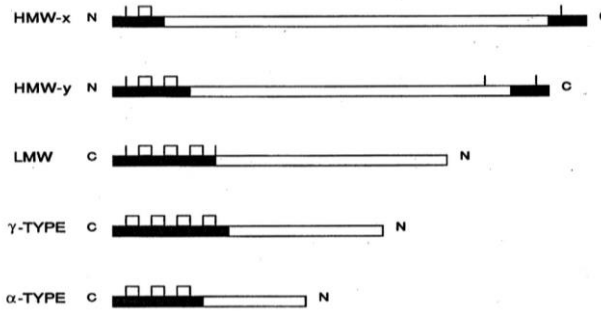


Рис. 1 – Схематическое изображение субъединицы глиадина и глютенина

Темные зоны представляют собой уникальные последовательности, а не окрашенные – повторяющиеся последовательности. Вертикальные штрихи показывают межмолекулярные дисульфидные связи. Закрытые штрихи указывают на внутримолекулярные дисульфидные связи. N = N-концевой конец молекулы. C = C-концевой конец молекулы. HMW-x, HMW-y, LMW являются субъединицами высокомолекулярного и низкомолекулярного глютенина. γ-TYPE, α-TYPE – соответственно, γ- и α последовательности аминокислот глиадина.

Все известные гены, кодирующие биосинтез клейковинных белков, не имеют в своей структуре интронов. Это делает гены, особенно для высокомолекулярных глютенинов, одной из самых длинных известных непрерывных нуклеотидных последовательностей [2].

Генные кластеры высокомолекулярных глютенинов кодируют, как правило, синтез двух белковых субъединиц. Менее подвижная в полиакриламиде SDS геля и более тяжелая субъединица называется x-субъединицей, а более подвижная и более легкая по молекулярной массе субъединица называется u-субъединицей. Последовательности аминокислот высокомолекулярных глютениновых субъединиц как x-типа, так и u-типа содержат три отличительных домена – центральный домен с повторениями фланцевых N- и C-концевых доменов без повторений. Центральный домен с повторениями содержит гексапептиды и нанопептиды в субъединицах обоих типов, а также трипептиды в субъединицах x-типа. Молекулярные структуры типичных высокомолекулярных субъединиц глютенинов показаны на рисунке 2.

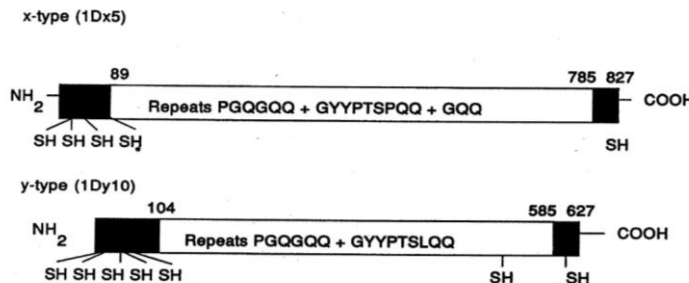


Рис. 2 – Молекулярная структура типичных субъединиц высокомолекулярных глютенинов [3]

Разница в количестве гекса- и трипептидов в основном определяет различия между молекулами в их размерах. Например, все субъединицы глютенина, кодируемые генами D-генома, содержат 21 нанопептид. Субъединицы 1Dx также содержат 73 гексапептида и 20, или 23 трипептида, в то время как субъединицы 1D содержат только 47 или 49 гексапептидов [3]. ПЦР-анализ показывает, что ген, кодирующий один из важнейших для положительного влияния на качество муки субъединицу 1Dx5, больше, чем тот, который кодирует худшую с точки зрения качества муки субъединицу 1Dx2. И наоборот, ген, который кодирует лучшую по отношению к качеству субъединицу муки 1Du10, меньше по размеру, чем ген, который кодирует худшую по отношению к качеству субъединицу 1Du12 [4].

Последовательность генов, кодирующих субъединицу Ax (геном A) высокомолекулярного глютенина, аналогична последовательностям гомеологичных генов для субъединиц D-генома, в то время как последовательности генов для субъединицы B (B-генома) совершенно различны. Это также указывает на то, что генетическое расстояние между геномами A и D ближе, например, субъединица 1Bx7 содержит больше гексапептидов, и только четыре трипептида, в то время как субъединица 1Ax1 имеет 15, 1Ax2\* имеет 16, 1Dx5 имеет 23, а 1Dx2 имеет 20 трипептидов.

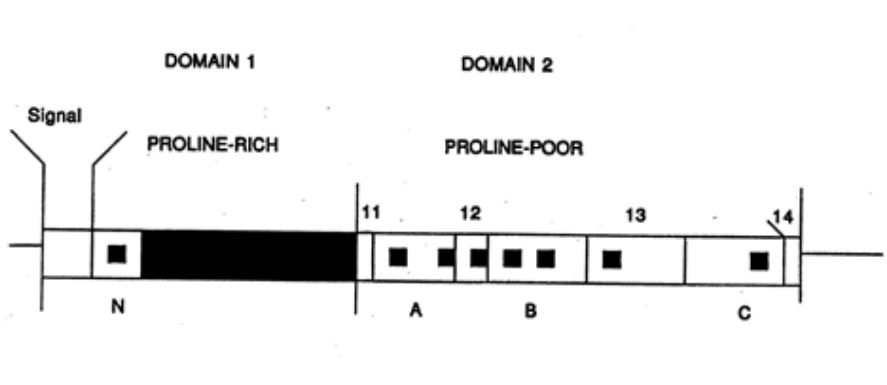
Домен молекулы с повторениями высокомолекулярных глютенинов имеет форму стержня, образованного β-спиралью. Диаметр этого стержня составляет около 19,5 ангстрем с периодом длиной в 14,9 ангстрем. N- и C-концевые домены, не имеющие повторений, образуют глобулярную структуру, в основе которой лежит α-спираль [3].

Семейство низкомолекулярных глютенинов пшеницы, как и семейство высокомолекулярных глютенинов, отличается по молекулярной структуре от глиадинов, и довольно похоже на B-гордеины ячменя. Как и другие клейковинные белки,



низкомолекулярные глютенины содержат центральную область с повторениями в структуре молекулы, а также N- и C-концевые домены без повторения [5].

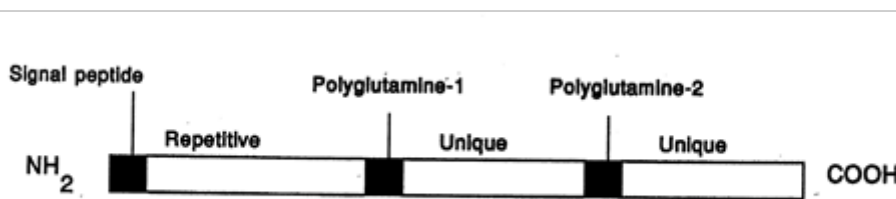
Особенностью структуры молекулы низкомолекулярных глютенинов является сохранение восьми остатков аминокислоты цистеина, которые способны образовывать внутримолекулярные дисульфидные мостики. Шесть остатков цистеина на 100% консервируются и помещаются в кластеры в середине молекулы. Консенсусная последовательность кодирующей области имеет две структурные области: домен 1 насыщен пролином и глутамином, но эта область бедна цистеином; домен 2 не содержит дубликатов, беден пролином, но насыщен цистеином С-концевой области [6]. Эта структура показана на рис. 3.



**Рис. 3 – Консенсусная структура молекулы низкомолекулярных глютенинов кодирующей области. Затемненная зона представляет область с повторениями. Черные квадраты – это остатки цистерна [3]**

Многочисленные глиадин-кодирующие гены различных семейств глиадинов также были клонированы с целью изучения их молекулярной структуры [7]. Результаты этих и других подобных исследований свидетельствуют о том, что молекулярная структура генов, кодирующих биосинтез глиадина, формируется при участии таких процессов, как рекомбинация внутреннего локуса, небольшие делеции, амплификация ДНК и инактивация генов, их мутация в состояние неактивных, так называемых «немых» генов, которые «молчат» или не экспрессируются.

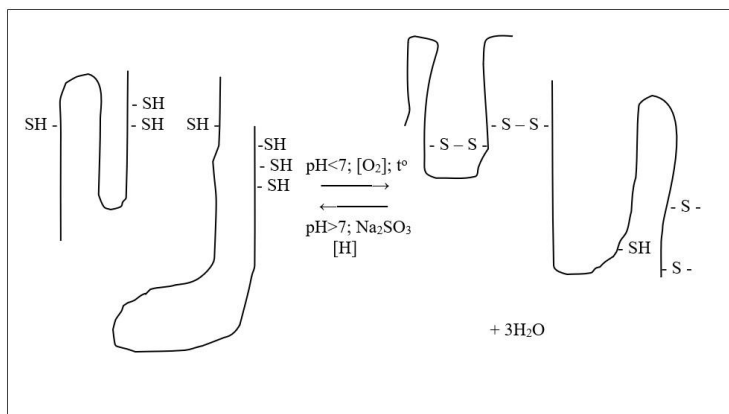
Последовательности глиадинов, которые являются «молчащими», были обнаружены, по крайней мере, в семействах генов, которые кодируют биосинтез  $\gamma$ -глиадинов и  $\alpha$ -глиадинов. В последнем семействе до 50% генов являются псевдогенами по критериям наличия внутренних стоп-кодонов и/или отсутствия фланкирующих сигнальных последовательностей [8, 9]. Типичная молекулярная структура  $\alpha$ -глиадинов показана на рис. 4.



**Рис. 4 – Общая молекулярная структура  $\alpha$ -глиадинов [8]**

Как видно из рис. 4 молекула глиадина, как и другие ранее охарактеризованные клейковинные белки, содержит сигнальный пептид от N-конца молекулы, имеет повторяющиеся области, уникальные последовательности и полиглутаминные пептиды.

**Клейковинный комплекс зерна и факторы, влияющие на его формирование.** В процессе созревания зерна пшеницы формируется клейковинный комплекс. В общем виде реакцию агрегации полипептидов в белковые агрегаты можно представить в виде рис. 5.



**Рис. 5 – Схема формирования дисульфидных мостиков между пептидами белкового комплекса эндосперма**

Агрегации способствуют следующие факторы: кислая среда, наличие кислорода и повышенная температура. Если сравнивать приведенные факторы, то главным варьирующим при созревании зерна в разных климатических регионах и в разные годы является температура. Поэтому на юге формируется более качественная (крепкая) клейковина по сравнению с регионами, расположенными севернее.

Количество остатков цистерна в молекуле пептидов характеризуют наследственный фактор, способствующий формированию качественной клейковины. Вариация по данному свойству среди мягкой пшеницы варьирует от 7 до 9 остатков этой аминокислоты.

Приведенная схема формирования белковых агрегатов обратима. Разрушению белковых агрегатов способствует  $pH > 7$  и наличие восстанавливающих агентов. В качестве восстанавливающих агентов может выступать бета-меркаптоэтанол, дитиотреитол или сульфит натрия (рис. 6).

Следует отметить, что количество цистерна на молекулу белка не гарантирует формирования качественной клейковины. Это подтверждается тем, что в жаркие годы в период налива и созревания зерна один и тот же генотип формирует более качественную (крепкую) клейковину, по сравнению с годами, когда в этот период более прохладная погода. Более того, например, трансгенная форма пшеницы из США с количеством цистерна более 11 остатков на молекулу белка формировала слабую клейковину в условиях Одессы. Оказалось, что она несла ржаную транслокацию, контролирующую синтез глиаина (личное сообщение А.И. Рыбалка, СГИ). Следовательно, ржаные белки плохо агрегируют с белками пшеницы. Это наблюдается и с обычными сортами мягкой пшеницы, несущими ржаные транслокации 1RS.1BL и 1RS.1AL. Они, как правило, уступают по качеству клейковины сортам, свободным от таких транслокаций.

Таким образом, не только количество остатков цистерна определяет качество клейковины, но и способность пептидов эндосперма формировать клековинный комплекс за счет формирования дисульфидных связей. Учитывая зависимость агрегации пептидов, как от наследственных, так и средовых факторов возникает необходимость разработки технологии оценки количества дисульфидных связей белкового комплекса в анализируемом зерновом материале.

#### Описание технологии определения количества дисульфидных связей в белке эндосперма

Наиболее распространенный метод седиментации при определении качества зерна (муки), приведен Созиновым и др., 1977 [1].

Величина осадка при его использовании зависит от количества белка и его способности к агрегации с помощью различных видов связей (химических и физических). В нашем случае, основным видом химической связи являются дисульфидные. В то же время, белки способны агрегировать с помощью, например, водородных связей, которые при нагревании разрываются. Соответственно, водородные связи не представляют ценности с точки зрения формирования качества, но вносят ошибки при анализе с помощью стандартных методов седиментации. В связи с этим ставилась задача учесть и отбросить влияние слабых связей на формирование качества муки и выделить ту долю величины набухаемости муки, которая связана только с дисульфидными связями. Это стало возможным, учитывая обратимость реакции агрегации белкового комплекса (рис. 5). Уровень набухаемости образца муки определяем в 100 мл мерном цилиндре (рис. 6).

Следовательно, оценив степень набухаемости навески муки в стандартных условиях и после дезагрегации пептидов, путем разрыва дисульфидных связей, можно оценить долю набухаемости, связанную с наличием дисульфидных связей.

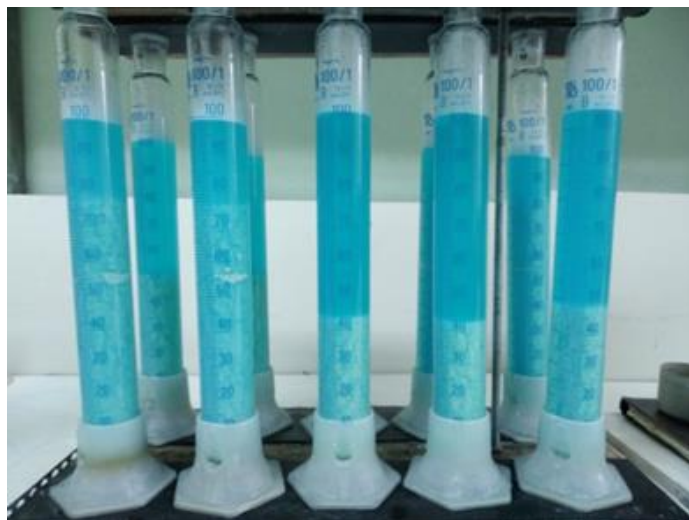


Рис. 6 – Определение уровня осадка навески муки, отражающего степень ее набухаемости

В качестве восстанавливающего агента использовали сульфит натрия, который более удобен для работы в лаборатории.

Используя данный подход, технология определения дисульфидных связей включает следующие этапы:

#### Первый этап. SDS-седиментация [10].

Для седиментации отбиралась навеска муки 3,2 г в 100 мл мерный цилиндр. После этого в цилиндр добавлялось 50 мл 2% уксусной кислоты. Содержимое перемешивали покачиванием 30 секунд и отстаивали 5 мин. Затем добавляли в цилиндр еще 50 мл следующего раствора (содержимое второго раствора: 100 г SDS в 5 л 2% уксусной кислоты). После добавления второго раствора полученную смесь перемешивали покачиванием 10 сек., после чего отстаивали 5 мин. и проводили первый замер показателя седиментации (набухаемости) в мл. Данную процедуру повторяли еще раз, т.е. взбалтывали второй раз 10 сек., отстаивали 5 мин и снимали второе показание объема набухшей суспензии в мл. Средние показания по двум параллелям являлись характеристикой образца по данному виду анализа.

Следующий этап, разработанный нами, дополнительный способ оценки седиментации. Он заключается в том, что учитывается обратимость реакции агрегации. Если в первом случае для активизации агрегации требуются кислые условия,

то для разрыва дисульфидных связей необходимы восстанавливающие агенты и  $pH > 7.0$ . В качестве восстанавливающего агента использовали сульфит натрия. Раствор  $Na_2SO_3$  имеет слабощелочную реакцию. Выдержка в таком растворе приводит к разрыву дисульфидных связей. После чего в него добавляем химические компоненты так, чтобы pH раствора был сопоставим с раствором первого этапа анализа и оцениваем набухаемость навески с восстановленным белковым комплексом.

**Второй этап** (разработанный и апробированный в Белгородском ФАНЦ РАН). Навеска муки 6 г в 100 мл мерном цилиндре. Затем к навеске добавляли 50 мл 1% раствора сульфита натрия ( $Na_2SO_3$ ) и содержимое перемешивали в течение 30 сек. и отстаивали 30 мин. при комнатной температуре. После этого в цилиндр добавляли 50 мл следующего раствора (100 г SDS в 5 л 4% уксусной кислоты). Полученную смесь перемешивали покачиванием 10 сек., после чего отстаивали 5 мин. и проводили первый замер показателя седиментации (набухаемости) в мл. Данную процедуру повторяли еще раз, т.е. взбалтывали второй раз 10 сек., отстаивали 5 мин и снимали второе показание объема набухшей суспензии муки в мл. Средние показания по двум параллелям являлись характеристикой образца по данному виду анализа.

Таким образом, используя первый этап, мы получаем оценку качества, связанную со всеми видами взаимодействия пептидов между собой. На втором этапе мы разрываем дисульфидные связи между пептидами и величина седиментации в данном случае оценивает связи, не связанные с количеством дисульфидных мостиков в белковом комплексе.

Разность между показателями, полученными на первом и втором этапах, дает нам величину осадка, связанную только с дисульфидными связями. Определив количество белка в зерне, определяем число дисульфидных связей в белке. На практике, можно вычислять также количество дисульфидных связей на количество сухой клейковины, используя результаты анализа количества и качества клейковины.

**Результаты использования данной разработки.** Разработанная технология оценки количества дисульфидных связей апробирована на селекционном материале лаборатории селекции и семеноводства пшеницы ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН» [11] и на сортах яровой пшеницы Государственного аграрного университета Северного Зауралья (Тюмень) [12]. Некоторые результаты оценки количества дисульфидных связей в сухой клейковине представлены в табл. 1.

**Таблица 1 – Урожайность и показатели качества клейковины у некоторых сортов озимой мягкой пшеницы за 2018-2020 годы**

Название сорта	Урожайность, ц/га			Количество -S-S- связей в сухой клейковине, у.е.			ИДК, ед.		
	2018	2019	2020	2018	2019	2020	2018	2019	2020
Альмера	55,9	54,1	86,8	7,1	7,7	7,3	66,5	73,7	66,3
Селянка од.	57,4	57,0	75,7	5,6	6,5	5,3	83,5	78,8	82,8
Синтетик	52,8	58,7	84,9	5,2	5,8	4,4	96,0	90,5	98,2
Коротышка	55,3	61,3	82,6	5,0	6,8	4,7	86,4	85,7	88,2
Ариадна	59,7	62,2	78,4	5,7	6,8	4,5	95,8	82,6	87,5
Волжская 100	53,7	60,6	84,2	7,1	5,6	5,5	84,6	90,0	76,7
Богданка	66,9	55,2	75,4	5,7	6,1	5,8	75,2	84,6	84,6
Корочанка	55,8	55,2	74,7	5,8	7,7	4,2	75,2	76,0	82,9
Везёлка	60,6	54,2	77,9	5,9	6,6	6,2	82,6	78,4	78,1
Софийка	53,6	48,7	63,6	4,8	7,9	6,0	59,2	63,5	72,6
Ольшанка	63,3	58,8	75,6	5,3	6,1	6,7	86,2	87,5	88,1
Льговская 4	53,4	44,7	70,6	6,1	6,5	4,5	77,3	79,0	95,4
Ермак	44,7	43,5	50,6	5,5	5,9	5,0	74,5	81,7	90,6
Нoff	78,1	45,4	73,6	4,0	6,8	6,5	68,7	81,0	83,3
Капризуля	46,2	51,1	61,8	4,1	6,1	5,4	70,7	85,0	84,2
Адмирал	42,3	49,6	51,0	6,5	5,5	6,7	62,9	82,6	70,6
Зерноградка	48,4	51,2	56,7	6,3	5,1	6,3	72,4	81,0	83,9
Среднее	55,8	54,2	72,0	5,6	6,5	6,0	77,6	81,2	82,6
НСР <sub>0,95</sub>	4,2			0,6			4,0		
Индекс детерминации, %	Год – 46,8 Сорт – 35,9 Случайные – 17,3			Год – 18,2 Сорт – 26,7 Случайные – 55,1			Год – 5,9 Сорт – 66,3 Случайные – 27,7		

Как видно, доля влияния среды выше при оценке количества дисульфидных связей по сравнению с показателем ИДК, но в обоих случаях доминируют особенности генотипа. Коэффициент корреляции между количеством дисульфидных связей в сухой клейковине и индексом деформации клейковины (ИДК) составил при анализе 51 образца озимой пшеницы за три года  $-0,327 \pm 0,135$  ( $t=2,43^*$ ,  $t_{0,95}=2,00$ ). Следовательно, число дисульфидных связей в белковом комплексе отражает качество клейковины.

Характерно, что способность к агрегации с помощью дисульфидных связей белкового комплекса зависит от факторов среды, складывающихся в разные годы, что отмечено выше. Соответственно, корреляции между показателями числа этих связей в сравниваемые годы могут дать низкие значения. Так, r между 2018-2019 годом по числу дисульфидных мостиков составил  $0,223 \pm 0,252$  ( $n=17$ ,  $t=0,881$ ), между 2018-2020 годами –  $0,312 \pm 0,245$  ( $n=17$ ,  $t=1,271$ ), 2019-2020 годами –  $0,049 \pm 0,253$  ( $n=17$ ,  $t=0,090$ ).

В исследованном наборе образцов присутствовали формы мягкой пшеницы, различающиеся углеводным комплексом. Так, например, сорт Волжская 100 несет ген мягкозерности (soft), а сорт Софийка является носителем трех рецессивных генов вакси (wx), обуславливающих формирование крахмала амилопектинового типа. Эти наследственные факторы могут вносить дополнительную вариацию по ряду показателей качества. При использовании данного подхода влияние их нивелируется.

Определение количества дисульфидных связей среди сортов с обычным генотипом по сравнению с носителями ржаных транслокаций, несущих гены, отвечающие за синтез запасных белков эндосперма, представлены в табл. 2.

**Таблица 2 – Количество -S-S- связей в сухой клейковине озимой мягкой пшеницы за 2018-2020 годы**

Название сорта	Цитогенетическая характеристика	Количество -S-S- связей в сухой клейковине по годам, у.е.			
		2018	2019	2020	среднее
Альмера	норма	7,1	7,7	7,3	7,4
Ариадна	норма	5,7	6,8	4,5	5,7
Везёлка	норма	5,9	6,6	6,2	6,2
Корочанка	норма	5,8	7,7	4,2	5,9
Богданка	1RS.1AL	5,7	6,1	5,8	5,9
Hoff	1RS.1AL	4,0	6,8	6,5	5,8
Синтетик	1RS.1BL	5,2	5,8	4,4	5,1
Среднее	-	5,6	6,8	5,6	6,0
Доля влияния, %: года – 36,4; сорта – 28,2; случайн. – 35,4				НСР <sub>0,95</sub>	1,5

Как видно, в среднем за три года, сорта пшеницы, имеющие нормальный генотип, имели в сухой клейковине 6,3 у.е. дисульфидных связей, а сорта пшеницы с ржаными транслокациями – 5,6 у.е. этих связей. Эта тенденция свидетельствует о меньшей агрегационной способности носителей ржанных белков с пшеничными в эндосперме этой культуры. Ранее было показано, что в годы, мало способствующие агрегации белков, данные различия существенны [11, 13]. В рассмотренный период различия между сортами, имеющими нормальный генотип и несущими ржанные транслокации, были незначительны в 2018 г. (соответственно 6,1±0,3 и 5,6±0,5 у.е.) и 2020 г. (соответственно 5,6±0,7 и 5,6±0,6 у.е.). В то же время, в 2019 г. различия между данными группами сортов были существенны. Так, сорта с нормальным кариотипом имели 7,2±0,3 у.е. -S-S- связей в сухой клейковине, а с ржаными транслокациями – 6,2±0,3 у.е. этого показателя (t=2,33\*; P>0,95).

**Выводы.** Представлено обоснование и техника оценки качества зерна на основе анализа количества дисульфидных связей белкового комплекса эндосперма мягкой пшеницы.

Достоинством ее является экспрессность анализа, небольшое количество муки для его проведения, низкая стоимость. Это позволяет проводить массовую оценку качества белка на ранних этапах селекционного процесса.

Показано, что складывающиеся условия года могут нивелировать наследственные различия между сортами по способности к агрегации с помощью дисульфидных связей белкового комплекса эндосперма пшеницы.

#### Библиография

1. Созинов А.А., Блюхин Н.И., Василенко И.И. и др. Методические рекомендации по оценке качества зерна. Москва, ВАСХНИЛ, 1977, 172 с.
2. Anderson O., Greene F. The characterization and comparative analysis of high-molecular-weight glutenin genes from genomes A and B of a hexaploid bread wheat // *Theor. Appl. Genet.* – 1989. – Vol. 77. – P. 689–700.
3. Shewry P., Halford N., Tatham A. High-molecular-weight subunits of wheat glutenin // *J. Cereal Sci.* – 1992. – Vol. 15. – P. 105–120.
4. D'Ovidio R., Porceddu E., Lafandra D. PCR analysis of genes encoding allelic variants of high-molecular-weight glutenin subunits at the Glu-D1 locus // *Theor. Appl. Genet.* – 1994. – Vol. 88. – P. 175–180.
5. Colot V., Bartels D., Thompson R., Flavel R. Molecular characterization of an active wheat LMW glutenin gene and its relation to other wheat and barley prolamin genes // *Mol. Gen. Genet.* – 1989. – V. 216. – P. 81–90.
6. Cassidi B., Dvorak J. Molecular characterization of a low-molecular-weight glutenin cDNA clone from *Triticum durum* // *Theor. Appl. Genet.* – 1991. – Vol. 81. – P. 653–660.
7. Shewry P., Tatham A. The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution // *Biochem. J.* – 1990. – Vol. 267. – P. 1–12.
8. Anderson O., Greene F., Litts J. Structure of the  $\alpha$ -gliadin gene family from the bread wheat cultivar Cheyenne // *Gluten Proteins.* – ААСС, St.Paul Minnesota, 1991. – P. 640–645.
9. Vaccino P., Metakovsky E. RFLP patterns of gliadin alleles in *Triticum aestivum* L. : implication for analysis of the organization and evolution of complex loci // *Theor. Appl. Genet.* – 1995. – Vol. 90. – P. 173–181.
10. Рыбалка А.И. Генетичне поліпшення якості пшениці. Дисс. ... докт. біол. наук, СГІ, 2008. 350 с.
11. Нецветаев В.П., Рыжкова Т.А., Третьяков М.Ю. Качество мягкой пшеницы: генетика и селекция. Монография, Белгород : Отчий край, 2015. – 160 с.
12. Ахтариева М.К., Нецветаев В.П., Белкина Р.И. Качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы различного эколого-географического происхождения в северном Зауралье. Монография. Тюмень : ГАУ Северного Зауралья, 2021. – 136 с.
13. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур (на примере Белгородской области) [Текст] / А.В. Турьянский, В.И. Мельников, Л.А. Селезнева, Н.Р. Асыка, В.Ф. Ужик и др. – Белгород : Изд. Константа, 2014. – 462 с.

#### References

1. Sozinov A.A., Blokhin N.I., Vasilenko I.I. et al. Metodicheskie rekomendatsii po otsenke kachestva zerna [Methodic recommendations grain quality assessment]. Moscow : VASKhNIL. 1977. 172 p.
2. Anderson O., Greene F. The characterization and comparative analysis of high-molecular-weight glutenin genes from genomes A and B of a hexaploid bread wheat // *Theor. Appl. Genet.* – 1989. – Vol. 77. – P. 689–700.
3. Shewry P., Halford N., Tatham A. High-molecular-weight subunits of wheat glutenin // *J. Cereal Sci.* – 1992. – Vol. 15. – P. 105–120.
4. D'Ovidio R., Porceddu E., Lafandra D. PCR analysis of genes encoding allelic variants of high-molecular-weight glutenin subunits at the Glu-D1 locus // *Theor. Appl. Genet.* – 1994. – Vol. 88. – P. 175–180.
5. Colot V., Bartels D., Thompson R., Flavel R. Molecular characterization of an active wheat LMW glutenin gene and its relation to other wheat and barley prolamin genes // *Mol. Gen. Genet.* – 1989. – V. 216. – P. 81–90.

6. Cassidi B., Dvorak J. Molecular characterization of a low-molecular-weight glutenin cDNA clone from *Triticum durum* // *Theor. Appl. Genet.* – 1991. – Vol. 81. – P. 653–660.
7. Shewry P., Tatham A. The prolamin storage proteins of cereal seeds: structure and evolution // *Biochem. J.* – 1990. – Vol. 267. – P. 1–12.
8. Anderson O., Greene F., Litts J. Structure of the  $\alpha$ -gliadin gene family from the bread wheat cultivar Cheyenne // *Gluten Proteins.* – AACC, St. Paul Minnesota, 1991. – P. 640–645.
9. Vaccino P., Metakovsky E. RFLP patterns of gliadin alleles in *Triticum aestivum* L. : implication for analysis of the organization and evolution of complex loci // *Theor. Appl. Genet.* – 1995. – Vol. 90. – P. 173–181.
10. Rybalka A.I. Genetichne polipshenne jakosti pshenitsy [Genetic improvement of wheat quality]. Diss. ... doc. biol. Sciences, SGI. 2008. 350 p.
11. Netsvetaev V.P., Ryzhkova T.A., Tretjakov M.Ju. Kachestvo mjadkoy pshenitsy: genetika i selektsiya [Quality common wheat: genetics and breeding]. Monograph. Belgorod : Otchiy kray. 2015. 160 p.
12. Akhtarjeva M.K., Netsvetaev V.P., Belkina R.I. Kachestvo zerna sortov jarovoy mjadkoy pshenitsy razlichnogo ekologo-geografskogo proiskhozhdeniya v severnom Zauralie [Grain quality in spring common wheat varieties of different ecological and geographical origin in the northern Trans-Urals]. Monograph. Tiumen. 2021. 136 p.
13. Organizational and technological standards for the cultivation of agricultural crops (on the example of the Belgorod region) [Text] / A.V. Turyansky, V.I. Melnikov, L.A. Selezneva, N.R. Asyka, V.F. Uzhik and others. – Belgorod : Ed. Constant, 2014. – 462 p.

#### Сведения об авторах

Нецветаев Владимир Павлович, доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», ул. Октябрьская, 58, г. Белгород, Россия, 308001, профессор кафедры биологии НИУ «БелГУ», ул. Победы, 85, г. Белгород, Россия, 308015; тел. 8-909-201-05-79, e-mail: v.netsvetaev@yandex.ru.

Петренко Александр Владимирович, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», ул. Октябрьская, 58, г. Белгород, Россия, 308001, тел.: 8904-533-57-00.

Акиншина Ольга Владимировна, кандидат биологических наук, научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», ул. Октябрьская, 58, г. Белгород, Россия, 308001, e-mail: akinshinaolga@bk.ru.

Козелец Яна Олеговна, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», ул. Октябрьская, 58, г. Белгород, Россия, 308001, аспирантка НИУ «БелГУ», ул. Победы, 85, г. Белгород, Россия, 308015, e-mail: ya.o.kozelets@mail.ru.

Ащеулова Анна Павловна, младший научный сотрудник отдела селекции и семеноводства, ФГБНУ «Белгородский ФАНЦ РАН», ул. Октябрьская, 58, г. Белгород, Россия, 308001, аспирантка НИУ «БелГУ», ул. Победы, 85, г. Белгород, Россия, 308015, e-mail: ashcheylova.anna@bk.ru.

#### Information about authors

Netsvetaev Vladimir P., Senior Researcher of the Breeding and Seed Production Department, Doctor of Biological Sciences, Professor, Federal State Budgetary Scientific Institution «Belgorod Federal Agricultural Research Centre of the Russian Academy of Science», Oktyabrskaya Str., 58, Belgorod, 308000, Russian Federation; Professor of the Biology Department, tel. 8-909-201-05-79, e-mail: v.netsvetaev@yandex.ru.

Petrenko Alexandr V., Researcher of the Breeding and Seed Production Department, Federal State Budgetary Scientific Institution «Belgorod Federal Agricultural Research Centre of the Russian Academy of Science», Oktyabrskaya Str., 58, Belgorod, 308000, Russian Federation, tel.: 8904-533-57-00.

Akinshina Olga V., candidate of biological sciences, Breeding and Seed Production Department, Federal State Budgetary Scientific Institution «Belgorod Federal Agricultural Research Centre of the Russian Academy of Science», Oktyabrskaya Str., 58, Belgorod, 308000, Russian Federation, e-mail: akinshinaolga@bk.ru.

Kozelets Yana O., Junior Researcher of the Wheat Breeding and Seed Production Laboratory, Federal State Budgetary Scientific Institution «Belgorod Federal Agricultural Research Centre of the Russian Academy of Science», Oktyabrskaya Str., 58, Belgorod, 308000, Russian Federation; graduate student of the Belgorod State University, Belgorod, 308015, Russia, e-mail: ya.o.kozelets@mail.ru.

Ashcheylova Anna P., Junior Researcher of the Wheat Breeding and Seed Production Laboratory, Federal State Budgetary Scientific Institution «Belgorod Federal Agricultural Research Centre of the Russian Academy of Science», Oktyabrskaya Str., 58, Belgorod, 308000, Russian Federation; graduate student of the Belgorod State University, Belgorod, 308015, Russia.

УДК 631.81.095.337

А.А. Попов, В.Б. Азаров, Н.И. Клостер, В.В. Лоткова

### ВЛИЯНИЕ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ЛИСТОВЫХ ПОДКОРМОК НА ФЕНОТИПИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ РАСТЕНИЙ

**Аннотация.** В статье приведены данные по изучению влияния трех доз минерального питания (Фактор А):  $N_0P_0K_0$ ,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  и  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$  в комбинации с препаратами, содержащими полезные микроэлементы для культуры подсолнечник в качестве листовой подкормки (Фактор В): МИКРОСТИМ BOR (150 г/л бора + не менее 50 г/л гуминовых веществ азота), ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС (4,1 суммарная массовая доля бор(В) в виде бора кальция 61 г/л, 4,8%, суммарная массовая доля марганца (Mn) в виде оксида марганца 71 г/л, 0,5% водоросстваримого молибдена (Mo) в виде молибдена натрия 7 г/л, 9,2% серы(S) 136 г/л) и АПИЛУХЛ-СЕРА 800 (Сера (SO<sub>3</sub>)-750 г/л+K<sub>2</sub>O-300г/л+Na<sub>2</sub>O-95+гуминовые и фульвовые кислоты-10%). Каждый препарат был применен в дозе 1 л/га. В ходе работы осуществлены учеты фенотипических параметров растений подсолнечника в условиях юго-запада Центрального Черноземья. Замеры проводились в две фазы вегетации – цветение и техническая спелость. Отмечена тенденция снижения значений изучаемых показателей к моменту созревания культуры. На рост растений лучший эффект продемонстрировал вариант с применением препарата ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС (В (61 г/л) Mn (71г/л) Mo (7 г/л) S (136 г/л), где отмечено на фоне питания  $N_{60}P_{60}K_{60}$  158 см высоты растений и 171,5 см на фоне  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$ . Максимальная продуктивная площадь корзины составила 197,3 см<sup>2</sup> на вариантах с  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$  + АПИЛУХЛ-СЕРА 800. При подкормке посевов МИКРОСТИМ BOR и ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС высота растений не превышала 194,9 см. Наилучшие значения в отношении фотосинтетического потенциала получены при использовании минеральных удобрений в дозе  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$  и варьируют 15,4 до 17,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. В целом отмечено, что применение четырехкомпонентного препарата ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС, а также серосодержащего АПИЛУХЛ-СЕРА 800 наиболее результативно, чем внесение боросодержащего МИКРОСТИМ BOR.

**Ключевые слова:** подсолнечник, листовые подкормки, микроэлементы, минеральные удобрения, бор, молибден, марганец, сера.

### THE EFFECT OF DOSES OF MINERAL FERTILIZERS AND LEAF FERTILIZING ON THE PHENOTYPIC PARAMETERS OF PLANTS

**Abstract.** The article presents data on the study of the effect of three doses of mineral nutrition (Factor A):  $N_0P_0K_0$ ,  $N_{60}P_{60}K_{60}$  and  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$  in combination with preparations containing useful trace elements for sunflower culture as leaf dressing (Factor B): MICROTIM BOR (150 g/l boron + at least 50 g/l humic nitrogen substances), LEBOZOL-RAPSMIX (4.1 total mass fraction of boron (B) in the form of calcium boron 61 g/l, 4.8%, total mass fraction of manganese (Mn) in the form of manganese oxide 71 g/l, 0.5% water-soluble molybdenum (Mo) in the form of sodium molybdenum 7 g/l, 9.2% sulfur(S) 136g/l) and APILUXL-SULFUR 800 (Sulfur (SO<sub>3</sub>)-750 g/l+K<sub>2</sub>O-300 g/l+Na<sub>2</sub>O-95+humic and fulvic acids-10%). Each drug was applied at a dose of 1 l/ha. In the course of the work, the phenotypic parameters of sunflower plants were taken into account in the conditions of the south-west of the Central Chernozem region. Measurements were carried out in two phases of vegetation – flowering and technical ripeness. There is a tendency to decrease the values of the studied indicators by the time of culture maturation. The best effect on plant growth was demonstrated by the variant with the use of the drug LEBOZOL-RAPSMIX (B (61 g/l) Mn (71 g/l) Mo (7 g/l) S (136 g/l), where 158 cm of plant height was noted against the background of nutrition  $N_{60}P_{60}K_{60}$  and 171.5 cm against the background of  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$ . The maximum productive area of the basket was 197.3 cm<sup>2</sup> on variants with  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$ +APILUXL-SULFUR 800. When fertilizing crops with MICROTIM BOR and LEBOZOL-RAPSMIX, the height of plants did not exceed 194.9 cm. The best values for photosynthetic potential were obtained when using mineral fertilizers at a dose of  $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{30}$  and vary from 15.4 to 17.2 thousand m<sup>2</sup>/ha. In general, it was noted that the use of the four-component drug LEBOZOL-RAPSMIX, as well as the sulfur-containing APILUXL-SULFUR 800, is more effective than the introduction of boron-containing MICROTIM BOR.

**Keywords:** sunflower, leaf fertilizing, trace elements, mineral fertilizers, boron, molybdenum, manganese, sulfur.

**Введение.** Культура подсолнечника является одной из наиболее высококорентабельных и маргинальных. По питательности и содержанию растительных жиров растениеводческое сырье не уступает прочим масличным представителям. Универсальность использования продукции, а именно переработка семян на масло, использование их же в качестве компонента ассортимента столовой продукции, добавок в мучные изделия и как кормовой компонент в рыбоводстве и животноводстве делает подсолнечник востребованным на рынке [1, 4, 9].

Передовые технологии возделывания данной культуры предполагают получение высокой продуктивности при минимизации трудовых и материальных затрат. Гарантированное получение сырья высокого качества возможно регулировать таким доступным приемом, как использование микроэлементов во время вегетации культуры. Низкая обеспеченность растений микроэлементами преимущественно определена некоторыми недостатками естественных характеристик почв. Широко распространено низкое содержание марганца на песчаных, легких почвах, а также на почвах с высоким водородным показателем pH, провоцирующее хлороз между жилками листа. Недосток бора выражен на легких грунтах с щелочной реакцией почвы, служит причиной деформации листьев, трещин на стеблях и корнях, плохого цветения и неравномерного созревания подсолнечника. Молибден – недостающее вещество на легких и кислых почвах, нехватка которого обуславливает деформацию листьев (кнутаовище). Сера, в свою очередь, мало доступна на кислых почвах, рыхлых и песчаных с малым количеством перегноя. Ее дефицит выражен в возникновении серых, желтых прожилок на молодых листьях, низкорослости, задержки созревания [2, 3, 5, 6, 7, 8]. Для изучения данного вопроса и подбора оптимального варианта питания подсолнечника в условиях Юго-Западной ЦЧР организовано полевое исследование, результаты которого представлены в данной статье.

**Цели и задачи.** Изучить совместное влияние фонов минерального питания и листовых подкормок компонентами, содержащими микроэлементы бор, серу, молибден и марганец на фенотипические характеристики гибрида подсолнечника Sumiko в условиях юго-запада Центрально-Черноземного региона России.

*Фактор А* – минеральный фон питания.

— Без удобрений

- N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> (4 ц/га азофоски 15:15:15)
- N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>(4 ц/га азофоски 15:15:15+ 1 ц/га аммиачной селитры )

Фактор В – препарат, используемый в качестве листовой подкормки.

- Контроль (Без листовой подкормки)
- МИКРОСТИМ ВОР (150 г/л и гуминовых веществ и азота не менее 50 г/л) 1 л/га
- ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС (4,1 суммарная массовая доля бор(В) в виде бора кальция 61 г/л, 4,8%, суммарная массовая доля марганца (Mn) в виде оксида марганца 71 г/л, 0,5% водоростваримого молибдена (Мо) в виде молибдена натрия 7 г/л, 9,2% серы(S)136г/л) 1 л/га.
- АРІLUXЛ-СЕРА 800 (Сера (SO<sub>3</sub>)-750 г/л+K<sub>2</sub>O-300 г/л+Na<sub>2</sub>O-95+гуминовые и фульвовые кислоты-10%) 1 л/га

В качестве абсолютного контроля использовали вариант без применения удобрений и листовых подкормок. Схема опыта состояла из 12 вариантов, повторность двукратная. Площадь делянки – 49,5 м<sup>2</sup>, размещение систематическое.

1. Без удобрений (контроль)
2. Без удобрений + МИКРОСТИМ ВОР
3. Без удобрений + ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС
4. Без удобрений + АРІLUXЛ-СЕРА
5. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
6. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> МИКРОСТИМ ВОР
7. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС
8. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> АРІLUXЛ-СЕРА 800
9. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>
10. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> МИКРОСТИМ ВОР
11. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС
12. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> АРІLUXЛ-СЕРА 800

Предшественником изучаемой культуры послужила озимая пшеница. Основная обработка почвы заключалась в лущении стерни с последующим внесением удобрений под отвальную вспашку на глубину 25-30 см. Весной для закрытия влаги проводили боронование, затем предпосевную культивацию. Для посева применяли семена со всхожестью 95-97%, отвечающие качествам 1 класса. Норма высева семян составила 60 тыс./га. Гибридные семена обрабатывали инсектицидом, фунгицидом.

Объект исследования – гибрид подсолнечника СУМИКО (SUMIKO).

В опыте изучалось влияние факторов на высоту растений, диаметр соцветий (корзинок), площадь листовой пластины, вычислялся связанный с этим фотосинтерический потенциал растений.

Замеры высоты растений были произведены две фазы вегетации – в фазу цветения и в фазу технической спелости. Данные учетов приведены в таблице 1.

**Таблица 1 – Высота растения на момент цветения и полной технической спелости, средняя за 2020-2022 гг.**

Фактор А (фоны минерального питания)	Фактор В (листовые подкормки)	Фаза цветения, см	Фаза технической спелости, см	Превышение над контролем фаза цветения, см	Превышение над контролем фаза технической спелости, см
Без удобрений	Контроль	148,5	150	-	+1,5
	В(150 г/л),N(50 г/л)	149	153	+0,5	+3
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	149	155	+0,5	+5
	S(750 г/л) К (300 г/л)	149	153	+0,5	+3
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	157	160,8	+8,5	10,8
	В(150 г/л),N(50 г/л)	157,5	161	+9	+11,1
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	158	164	+9,5	+14
	S(750 г/л) К (300 г/л)	157,2	162,5	+8,7	+12,5
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>	-	169,7	174,3	+21,2	+24,3
	В(150 г/л),N(50 г/л)	170	174,3	+21,5	+24,3
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	171,5	175	+23	+25
	S(750 г/л) К (300 г/л)	170,7	174	22,2	+24
НСР <sub>0,5</sub>		5,19	4,84		

Растения подсолнечника эффективно использовали действующее вещество листовых подкормок, что обусловило положительную тенденцию роста и развития культуры. В период цветения высота растений варьировалась от 148,5 до 171,5 см в зависимости от доз удобрений и вариантов подкормок. Наибольшую высоту растения имели при дозе минеральных удобрений N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>. Здесь даже на варианте без применения микроудобрений зафиксировано среднее значение 169 см. Такая высота не достигнута даже при наличии подкормок на фоне удобренности в дозе N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>. Как наилучший в отношении воздействия на рост растений продемонстрировал себя вариант с применением препарата ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС (В (61 г/л) Mn (71 г/л) Мо (7 г/л) S (136 г/л). В данном случае на втором фоне питания (фактор А) зафиксировано 158 см высоты подсолнечника и 171,5 см на третьем фоне.

Прибавка роста ко второму сроку отбора была незначительной и составляла порядка 5 см по всем вариантам. Тенденции, отмеченные в фазу цветения, наблюдались и на момент технической спелости культуры.

Немаловажным является продуктивный потенциал растений, который в первую очередь определяется параметрами соцветия. Диаметр корзинок подсолнечника изменялся от 15,4 см на варианте без удобрений и подкормок до 16,1 см в случае достаточного количества макро и микроэлементов (табл. 2).

**Таблица 2 – Диаметр и площадь корзинки (среднее за 2020-2022 гг.)**

Фактор А (фоны минерального питания)	Фактор В (лиственные подкормки)	Диаметр корзинки, см	Продуктивная площадь корзинки см <sup>2</sup>
Без удобрений	Контроль -	15,4	180,5
	В(150 г/л),N(50 г/л)	15,5	182,9
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	15,5	182,9
	S(750 г/л) К (300 г/л)	15,4	180,5
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	15,7	187,6
	В(150 г/л),N(50 г/л)	15,7	187,6
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	15,8	190
	S(750 г/л) К (300 г/л)	15,7	187,6
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>	-	16,1	197,3
	В(150 г/л),N(50 г/л)	16	194,9
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	16	194,9
	S(750 г/л) К (300 г/л)	16,1	197,3
НСР <sub>0,5</sub> по фактору А		0,42	5,8
НСР <sub>0,5</sub> по фактору В		0,13	3,0

Максимальная продуктивная площадь корзины составила 197,3 см<sup>2</sup> на вариантах с +N<sub>30</sub> + APILUXЛ-СЕРА 800. При подкормке посевов МИКРОСТИМ ВОР и ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС высота растений не превышала 194,9 см при указанном уровне насыщенности удобрениями. В случае с N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> наилучшее действие оказал препарат ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС, где были получены 190-сантиметровые растения.

Урожайность определяется и фотосинтетическим потенциалом культуры, впрочем, как и качество урожая. Поэтому учет данного показателя является важным компонентом исследования. В таблице 3 приведены результаты замера площади листовой пластины и теоретические расчетные данные о фотосинтетическом потенциале посевов.

Отмечены тенденции снижения фотосинтетического потенциала и уменьшения площади листовой поверхности с течением вегетации. Можем заключить о важности своевременной обработки микроэлементами культуры – до наступления фазы цветения. Дальнейшее применение средств питания малоэффективно.

**Таблица 3 – Определение фотосинтетического потенциала растения по площади листа, см<sup>2</sup> (среднее за 2020-2022 гг.)**

Фактор А (фоны минерального питания)	Фактор В (лиственные подкормки)	Площадь листа. Фаза цветения, см <sup>2</sup>	тыс.м <sup>2</sup> /га	Площадь листа. Фаза технической спелости, см <sup>2</sup>	тыс.м <sup>2</sup> /га
Без удобрений	-	3890,60	24,5	2217,64	14,0
	В(150 г/л), N(50 г/л)	3930,60	24,8	2319,05	14,6
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	3950,60	25,0	2299,40	14,6
	S(750 г/л) К (300 г/л)	3930,6	24,7	2291,34	14,4
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	3977,8	25,2	2358,36	15,0
	В(150 г/л),N(50 г/л)	4018,0	25,6	2426,45	15,5
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	4175,4	26,3	2611,70	16,5
	S(750 г/л) К (300 г/л)	3992,4	25,2	2601,69	16,4
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>	-	4038,0	25,6	2435,3	15,4
	В(150 г/л),N(50 г/л)	4099,6	26,0	2584,32	16,4
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Мо(7 г/л) S(136 г/л)	4072,2	25,7	2728,37	17,2
	S(750 г/л) К (300 г/л)	4066,2	25,8	2687,65	17,0
НСР <sub>0,5</sub> по фактору А		51,4		82,4	
НСР <sub>0,5</sub> по фактору В		26,1		49,9	

Максимальные показатели по опыту отмечены при внесении минеральных удобрений в дозе N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> и варьируют 15,4 до 17,2 тыс.м<sup>2</sup>/га фотосинтетического потенциала.

**Вывод.** Таким образом, применение четырехкомпонентного препарата ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС, а также серосодержащего APILUXЛ-СЕРА 800 наиболее результативно, чем внесение боросодержащего МИКРОСТИМ ВОР.

#### Библиография

1. Азаров В.Б. Мониторинг плодородия почв Центрального Черноземья / В.Б. Азаров. – Белгород, 2004. – 204 с.
2. Изменение физических свойств чернозема типичного и продуктивность культур при переходе от традиционного к органическому земледелию / С.И. Смуров, С.Н. Зюба, О.В. Григоров, Д.А. Михайлов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 4 (32). – С. 202–211.
3. Клостер, Н.И. Органические удобрения / Н.И. Клостер, В.Б. Азаров, В.В. Лоткова. – Белгород : Отчий край, 2022. – 216 с. – ISBN 978-5-85153-172-9.



4. Муравьев, А.А. Опыт возделывания подсолнечника в ИП ГКФХ Макаренко Е.И / А.А. Муравьев, М.Н. Мырмыр // Актуальные решения аграрной науки по развитию сельскохозяйственного производства и укреплению продовольственной безопасности страны : Материалы Международной научной конференции, Майский, 29 сентября 2022 года. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2022. – С. 118–120.
5. Муравьев А.А. Опыт возделывания подсолнечника в КФХ Кораблев А.В. Касторненского района Курской области [Текст] / А.А. Муравьев, Е.А. Кораблева // Сборник докладов национальной научной конференции «Вопросы генетики, селекции и ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур». 2021. С. 57–59.
6. Мусаидова, Д.С. Влияние удобрений и различных способов обработки почвы на урожайность ячменя / Д.С. Мусаидова, Л.Н. Кузнецова // Молодёжный аграрный форум - 2018 : Материалы международной студенческой научной конференции, Белгород, 20–24 марта 2018 года. Том 2. – Белгород : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. – С. 15.
7. Титовская, Л.С. Биологические свойства чернозема типичного в зависимости от способа основной обработки подсолнечник / Л.С. Титовская, Е.Г. Котлярова // Кадастровое и эколого-ландшафтное обеспечение землеустройства в современных условиях : Материалы международной научно-практической конференции факультета землеустройства и кадастров ВГАУ, Воронеж, 20 апреля 2018 года. – Воронеж : Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2018. – С. 239–243.
8. Эффективность серосодержащих удобрений на озимой пшенице в Центрально-Черноземной зоне России / Н.И. Клостер, В.Б. Азаров, В.В. Лоткова [и др.] // Агрехимический вестник. – 2023. – № 1. – С. 19–22. – DOI 10.24412/1029-2551-2023-1-003.
9. Lotkova, V. Prospects for the introduction of biologization techniques in agriculture of the Belgorod region / V. Lotkova, V. Azarov // Innovative technologies in agriculture : International scientific and practical conference, Orel, 23–24 марта 2022 года. – Orel : Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 2022. – P. 51.

#### References

1. Azarov V.B. Monitoring of soil fertility in the Central Chernozem region / V.B. Azarov. – Belgorod, 2004. – 204 p.
2. Changes in the physical properties of typical chernozem and crop productivity during the transition from traditional to organic farming / S.I. Smurov, S.N. Zyuba, O.V. Grigorov, D.A. Mikhailov // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2021. – № 4 (32). – Pp. 202–211.
3. Kloster, N.I. Organic fertilizers / N.I. Kloster, V.B. Azarov, V.V. Lotkova. – Belgorod : Fatherland, 2022. – 216 p.
4. Muravyev, A.A. Experience of sunflower cultivation in IP GCFH Makarenko E.I. / A.A. Muravyev, M.N. Myr'myr // Actual solutions of agrarian science for the development of agricultural production and strengthening of food security of the country : Materials of the International Scientific Conference, May, September 29, 2022. – Maysky : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2022. – Pp. 118–120.
5. Muravyov A.A. Experience of sunflower cultivation in the peasant farm Korablev A.V. Kastornensky district of the Kursk region [Text] / A.A. Muravyov, E.A. Korableva // Collection of reports of the national scientific conference on issues of genetics, selection and resource-saving technologies of cultivation of agricultural crops. 2021. S. 57–59.
6. Musaidova, D.S. The influence of fertilizers and various methods of tillage on the yield of barley / D.S. Musaidova, L.N. Kuznetsova // Youth Agrarian Forum - 2018 : Materials of the international student scientific conference, Belgorod, March 20-24, 2018. Volume 2. – Belgorod : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2018. – P. 15.
7. Titovskaya, L.S. Biological properties of typical chernozem depending on the method of basic processing for sunflower / L.S. Titovskaya, E.G. Kotlyarova // Cadastral and ecological-landscape support of land management in modern conditions : Materials of the international scientific and practical conference of the Faculty of Land Management and Cadastre of the VGAU, Voronezh, April 20, 2018. – Voronezh : Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, 2018. – Pp. 239–243.
8. The effectiveness of sulfur-containing fertilizers on winter wheat in the Central Chernozem zone of Russia / N.I. Kloster, V.B. Azarov, V.V. Lotkova [et al.] // Agrochemical Bulletin. – 2023. – № 1. – Pp. 19–22. – DOI 10.24412/1029-2551-2023-1-003.
9. Lotkova, V. Prospects for the introduction of biologization techniques in agriculture of the Belgorod region / V. Lotkova, V. Azarov // Innovative technologies in agriculture : International scientific and practical conference, Orel, March 23-24, 2022. – Orel : All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding, 2022. – P. 51.

#### Сведения об авторах

Андрей Александрович Попов, аспирант агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: andreypopov96@yandex.ru.

Владимир Борисович Азаров, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, профессор агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: azarov.v.b@mail.ru.

Наталья Ивановна Клостер, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета ФГОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: kloster@bsaa.edu.ru.

Виктория Викторовна Лоткова, студентка агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: lotkova200@mail.ru.

#### Information about authors

Andrey Alexandrovich Popov, Post-graduate student of the Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, 1, Maysky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: andreypopov96@yandex.ru.

Vladimir Borisovich Azarov, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, Maysky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: azarov.v.b@mail.ru.

Natalya Ivanovna Kloster, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, 1, Maysky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: kloster@bsaa.edu.ru.

Victoria Viktorovna Lotkova, student of the Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: lotkova200@mail.ru.

УДК 631.81.335

А.А. Попов, В.В. Лоткова

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ПОДСОЛНЕЧНИКА В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МИКРОУДОБРЕНИЙ

**Аннотация.** В статье приводятся экспериментальные данные по влиянию микроудобрений МИКРОСТИМ ВОР (150 г/л бора + не менее 50 г/л гуминовых веществ азота), ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС (4,1 суммарная массовая доля бор(В) в виде бора кальция 61 г/л, 4,8%, суммарная массовая доля марганца (Mn) в виде оксида марганца 71 г/л, 0,5% водоразстворимого молибдена (Mo) в виде молибдена натрия 7 г/л, 9,2% серы(S)136г/л) и APILUXЛ-СЕРА 800 (Сера (SO<sub>3</sub>)-750 г/л+K<sub>2</sub>O-300 г/л+Na<sub>2</sub>O-95+гуминовые и фульво кислоты-10%) на урожайность и качественные показатели подсолнечника при условии его возделывания в юго-западной части Центрально-Черноземной зоны России. Каждый препарат был применен в дозе 1 л/га. В качестве фактора А выступали три уровня минерального питания растений с различным насыщением посевов минеральными удобрениями. В качестве фактора В учитывались исследуемые биопрепараты. Применение удобрений осуществлялось по трем фонам минерального питания посредством листовых подкормок по вегетирующим растениям подсолнечника. Установлено, что рост урожайности подсолнечника происходит при использовании листовых подкормок на определенных фонах минерального питания. Самая большая урожайность выявлена на фоне минерального питания N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>+ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС – 32,7 ц/га, что превзошло контроль на 15,7 ц/га. Необходимо отметить закономерность – с применением фактора А возрастает урожайность прямолинейно, кроме того, наблюдается повышение урожайности в зависимости от варианта с использованием фактора В. Анализируя полученные данные фактора А, выявлено, что внесение минеральных удобрений положительно сказывается на урожайности подсолнечника при фоне минерального питания N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>. Прибавка относительно контроля составила 12,4 ц/га, что для сельскохозяйственной культуры подсолнечника является очень значительной.

Урожайность подсолнечника также изменялась в положительную сторону с добавлением фактора В. Данные за 3 года отражают, что применение листовых подкормок подсолнечника вызвало интенсивное развитие за весь свой период вегетации, это в конечном итоге явилось причиной прибавки в урожайности на факторе А+В 1,5-15,7ц/га, что подтверждает оправданность применения листовых подкормок.

В группе без удобрений показатели содержания протеина были на низком уровне, даже при применении различных листовых подкормок данный показатель не увеличился, а контрольный участок был наилучшим в этой группе исследования. Самым не эффективным препаратом группы стал МИКРОСТИМ ВОР, результаты применения которого были ниже показателей контроля на 0,16%

**Ключевые слова:** подсолнечник, листовые подкормки, микроэлементы, минеральные удобрения, бор, молибден, марганец, сера.

## SUNFLOWER PRODUCTIVITY DEPENDING ON THE USE OF MICRONUTRIENTS

**Abstract.** The article presents experimental data on the effect of micro-fertilizers MICROSTIM BOR (150 g/l of boron + at least 50 g/l of humic nitrogen substances), LEBOZOL-RAPSMIX (4.1 total mass fraction of boron(B) in the form of calcium boron 61 g/l, 4.8%, total mass fraction of manganese (Mn) in the form of manganese oxide 71 g/l, 0.5% water-soluble molybdenum (Mo) in the form of sodium molybdenum 7g/l, 9.2% sulfur(S)136 g/l) and APILUXL-SULFUR 800 (Sulfur (SO<sub>3</sub>)-750 g/l+K<sub>2</sub>O-300 g/l+Na<sub>2</sub>O-95+humic and fulvic acids-10%) on the yield and quality indicators of sunflower, provided it is cultivated in the southwestern part of the CentralChernozem zone of Russia. Each drug was applied at a dose of 1 l/ha. Three levels of mineral nutrition of plants with different saturation of crops with mineral fertilizers were used as factor A. The studied biological products were taken into account as factor B. The application of fertilizers was carried out on three backgrounds of mineral nutrition by means of leaf fertilizing on vegetating sunflower plants. It has been established that the increase in sunflower yield occurs when using leaf fertilizing on certain backgrounds of mineral nutrition. The largest yield was revealed against the background of mineral nutrition N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>+LEBOZOL-RAPSMIX – 32,7 c/ha, which exceeded the control by 15.7 c/ha. It is necessary to note a pattern – with the use of factor A, the yield increases in a straight line, in addition, there is an increase in yield depending on the variant using factor B. Analyzing the obtained data of factor A, it was revealed that the introduction of mineral fertilizers has a positive effect on sunflower yield against the background of mineral nutrition N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>. The increase relative to the control was 12.4 c/ha, which is very significant for sunflower crops.

Sunflower yield also changed in a positive direction, with the addition of factor B. Data for 3 years reflect that the use of sunflower leaf dressing caused intensive development over its entire growing season, this ultimately caused an increase in yield on factor A + of 1.5-15.7 c / ha, which confirms the justification for the use of leaf dressing.

In the group without fertilizers, protein content indicators were at a low level, even with the use of various leaf feedings, this indicator did not increase, and the control site was the best in this study group. The most ineffective drug of the group was MICROSTIM BOR, the results of which were lower than the control indicators by 0.16%

**Keywords:** sunflower, leaf fertilizing, trace elements, mineral fertilizers, boron, molybdenum, manganese, sulfur.

**Введение.** Одним из наиболее прибыльных, обеспечивающих хорошую продовольственную базу, направлений в отрасли растениеводства является возделывание масличных культур, в частности, возделывание подсолнечника. Подсолнечное масло является одним из ценных пищевых продуктов питания, содержащим большое количество полезных веществ, незаменимых ненасыщенных жирных кислот. Например, в составе имеется линолевая, олеиновая, стеариновая и пальмитиновая кислоты, отличающиеся высокой биологической активностью [1]. На данный момент в масложировом подкомплексе АПК страны главным направлением является наращивание сырьевой базы для активно расширяющихся производственных мощностей перерабатывающей сферы за счет роста урожайности подсолнечника.

Современная технология возделывания этой культуры предусматривает достижение высокой продуктивности с минимальными затратами труда. Подсолнечник является достаточно требовательной культурой к уровню плодородия почвы и достаточной обеспеченности удобрениями [2, 3]. Однако стабильное получение высококачественного сырья зависит от нескольких важных факторов, одним из которых является низкий уровень насыщения микроэлементами растений, обуслов-

ленный некоторыми недостатками природных условий и почв. Так, например, малое содержание марганца, вызывающее хлороз между жилками листа, наблюдается на песчаных, легких почвах, а также на почвах с высоким водородным показателем pH. Недостаток бора, проявляющийся на легких грунтах с высокой реакцией почвы, является причиной деформации листьев, трещин на стеблях и корнях, плохого цветения и неравномерного созревания подсолнечника. Молибден – недостающее вещество на легких и кислых почвах, нехватка которого обуславливает деформацию листьев (кнутовище). Сера плохо доступна в кислых почвах, рыхлых и песчаных с малым количеством перегноя, ее дефицит является причиной возникновения серых, желтых прожилок на молодых листьях, низкорослости, задержки созревания. В условиях Юго-Западной ЦЧР отмечается дифференциация почв по уровню плодородия, в связи с чем является актуальным изучение агрохимического обоснования продуктивности подсолнечника при внесении микроэлементов в условиях данной территории.

Подсолнечник является важной масличной культурой, выращивание которой обширно распространено по всей стране. С целью повышения получаемых урожаев необходимо использование удобрений. Однако различные почвенно-климатические условия, появление более требовательных гибридов, внедрение новых энерго-ресурсосберегающих способов обработки почвы требует решения организационных, технологических и экономических вопросов применения удобрений на основе выделения наиболее значимых факторов повышения их эффективности [4]. В связи с этим нами изучено применение серы и микроэлементов – бора, марганца и молибдена на посевах подсолнечника в условиях Юго-Западной ЦЧР.

Подсолнечник не только обладает ценными технологическими качествами, но и является выгодной с экономической точки зрения культурой. Однако увеличение посевных площадей подсолнечника способствует расбалансировке культур в севооборотах, что обуславливает основное направление работы, заключающееся в повышении урожайности подсолнечника путем применения технологий использования высокопотенциальных гибридов, фонов минерального питания, а также листовых подкормок [5, 6].

Перечисленные условия, в свою очередь, будут положительно сказываться на показателях качества маслосемян, что является важным критерием на всех перерабатывающих предприятиях.

**Целью данной работы** является агрохимическое обоснование применения микроудобрений при возделывании подсолнечника в условиях Юго- Западной части ЦЧР.

**Задачи исследований:**

1. Изучить влияние удобрений с применением микроэлементов на динамику развития подсолнечника.
2. Установить характер действия микроэлементов на урожайность и качество семян подсолнечника.
3. Определить зависимость содержания элементов питания в почве и в растениях от листовых подкормок микроэлементами на разных фонах минерального питания.
4. Рассчитать экономическую эффективность применения микроэлементов при возделывании подсолнечника.

В полевом опыте изучались два фактора, влияющие на продуктивность подсолнечника:

Фактор А – минеральный фон питания.

- Без удобрений

- N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>

- N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>

Фактор В – препарат, используемый в качестве листовой подкормки.

— Контроль (Без листовой подкормки)

— МИКРОСТИМ ВОР (150 г/л и гуминовых веществ и азота не менее 50 г/л) 1 л/га

— ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС (4,1 суммарная массовая доля бор(В) в виде бора кальция 61 г/л, 4,8%, суммарная массовая доля марганца (Mn) в виде оксида марганца 71 г/л, 0,5% водоростваримого молибдена (Mo) в виде молибдена натрия 7 г/л, 9,2% серы(S)136г/л) 1 л/га.

— АРІLUXЛ-СЕРА 800 (Сера (SO<sub>3</sub>)-750 г/л+K<sub>2</sub>O-300г/л+Na<sub>2</sub>O-95+гуминовые и фульвовые кислоты-10%) 1 л/га.

В качестве абсолютного контроля использовали вариант без применения удобрений и листовых подкормок. Схема опыта состояла из 12 вариантов, повторность двукратная. Площадь делянки – 49,5 м<sup>2</sup>, размещение систематическое.

1. Без удобрений (контроль)
2. Без удобрений + МИКРОСТИМ ВОР
3. Без удобрений + ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС
4. Без удобрений + АРІLUXЛ-СЕРА
5. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>
6. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> МИКРОСТИМ ВОР
7. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС
8. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> АРІLUXЛ-СЕРА 800
9. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>
10. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> МИКРОСТИМ ВОР
11. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС
12. N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>АРІLUXЛ-СЕРА 800

Согласно данным таблицы 1, можно отметить закономерность, так, с применением фактора А возрастает урожайность прямолинейно, кроме того, наблюдается повышение урожайности в зависимости от варианта с использованием фактора В. Данные, полученные на различных фонах минерального питания, позволяют сделать выводы об использовании микроудобрений, оказавшими положительное влияние на рост урожайности подсолнечника. Анализируя полученные данные фактора А выявлено, что внесение минеральных удобрений положительно сказывается на урожайности подсолнечника при фоне минерального питания N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>.

Прибавка относительно контроля составила 12,4 ц/га, что для сельскохозяйственной культуры подсолнечника является очень значительной.

Урожайность подсолнечника также изменялась в положительную сторону, с добавлением фактора В, данные за 3 года отражают, что применение листовых подкормок подсолнечника вызвало интенсивное развитие за весь период вегетации, это в конечном итоге явилось причиной прибавки в урожайности на факторе А+В 1,5-15,7ц/га, что подтверждает оправданность применения листовых подкормок.

**Таблица 1 – Урожайность подсолнечника в зависимости от уровня минерального питания и использования микроудобрений. Средние данные 2019-2021 гг, т/га**

Применение различных микроудобрений	Хозяйственная урожайность				
	Фактор В (листовая подкормка)	Контроль	В(150г/л), N(50 г/л)	В(61г/л) Mn(71г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	S(750 г/л) К (300 г/л)
Фактор А (фон минерального питания )					
Без удобрений		17	18,5	18	18,2
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>		25,5	28,3	28,9	28,6
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>		29,4	31,9	32,7	32
НСП <sub>05</sub>		1,11			
НСП <sub>05</sub> АВ		1,28			

Одним из важнейших параметров в выращивании подсолнечника является масличность семян, что зависит от многих факторов, а именно от биологических особенностей сорта или гибрида, от агротехнических приемов выращивания. Масличность семян подсолнечника сильно зависит от почвенных запасов влаги, но важную роль в выращивании подсолнечника играет наличие минеральных и листовых подкормок, что положительно сказывается на дальнейшем росте и развитии растения. В период вегетации растению требуется температурный режим, а также наличие влаги, выпадающей в период роста растения. Некоторые исследователи отмечают зависимость содержания масла в семенах подсолнечника от развития и густоты стояния. Так, на изреженных посевах культуры мы можем наблюдать снижение в ядрах масла семян на 1,5%-2,0%, что в свою очередь играет значимую роль для товаропроизводителя на его себестоимость одной тонны продукции. В случае с оптимальными нормами высева такого не происходит, и площадь питания растения становится оптимальной, а вот в изреженных посевах, наоборот, проявляется тенденция к большой вегетативной массе и потребность большего количества воды для формирования 1 тонны урожая, что не всегда дает хороший результат по урожайности и качеству масла семян. В наших исследованиях использован гибрид Сумико, который является масличным и в целом за 3 года исследований количество масла в семях было на хорошем уровне – 45-50%.

Данные, представленные в таблице 2, позволяют проследить некоторую зависимость влияния различных факторов на содержание масла семян. При использовании фактора А наблюдаются некоторые изменения, однако, они не так сильно проявляются относительно фактора В. Если сравнить 3 фона, на которых мы проводили исследования, N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> за 3 года показал неплохие результаты относительно данных контроля и превысил его на протяжении всего периода испытания на 0,2%, в то время как N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub> был больше контроля на 1,4%.

**Таблица 2 – Масличность семян подсолнечника**

Фактор А (фоны минерального питания)	Фактор В (листовые подкормки)	2020 год	2021 год	2022 год	В среднем за 3 года
Без удобрений	Контроль	45,8	47,3	44,1	45,7
	В(150 г/л),N(50 г/л)	46,1	47,2	44,3	45,9
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	46,5	47,2	45,0	46,2
	S(750 г/л) К (300 г/л)	46,6	48,0	45,1	46,5
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	46,2	47,2	44,5	45,9
	В(150 г/л),N(50 г/л)	46,8	47,5	46,0	46,7
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	47,9	48,5	46,5	47,6
	S(750 г/л) К (300 г/л)	48,2	48,9	46,2	47,7
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>	-	46,2	47,2	45,3	46,2
	В(150 г/л),N(50 г/л)	47,1	47,5	46,8	47,1
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	48,9	48,2	48,2	48,4
	S(750 г/л) К (300 г/л)	50,0	50,3	50,0	50,1
НСП <sub>05</sub> (фактор А)		3,3	3,0	3,4	
НСП <sub>05</sub> (фактор В)		2,1	1,9	2,0	

Таким образом, можно отметить, что данный фон минеральной питания был почти всегда выше контроля (45,7% масличности), а иногда даже превосходил фактора А+В одновременно.

При совместном использовании факторов А+В выявлена определенная закономерность 2 препаратов в опыте ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС, АРЛУХЛ-СЕРА 800. При применении этих листовых подкормок на различных фонах питания можно было увидеть относительную или частичную прибавку уровня масличности, что положительно влияло на выход масла.

Опираясь на полученные данные, установлено, что в 2021 г была получена самая высокая масличность маслосемян подсолнечника, что составляло от 47,3 до 50,3% выхода масла, а вот в 2022 г. был получен самый низкий процент масличности на уровне 45,7-49,3.

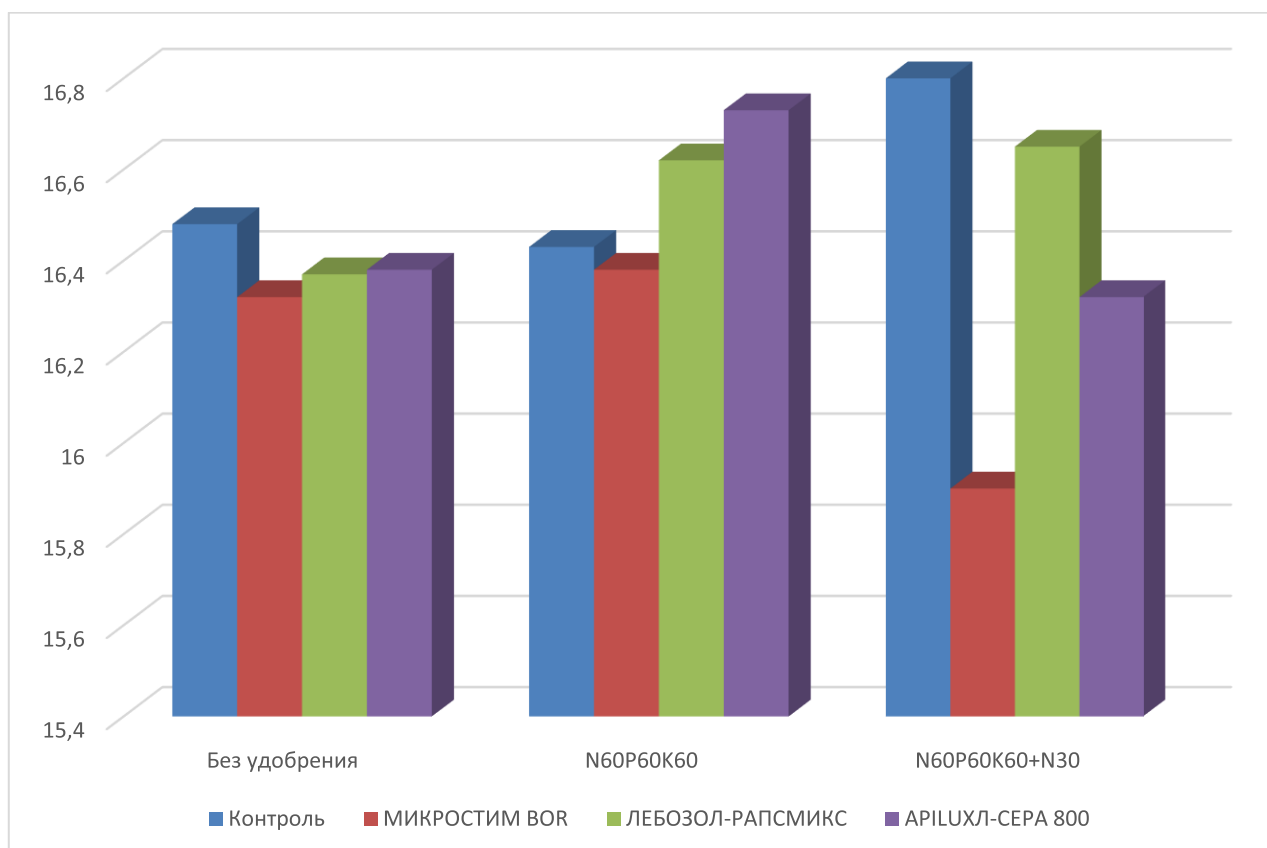
Содержание протеина в семенах за период исследований было на среднем уровне, главным показателем для увеличения протеина семян было увеличение минерального питания растения. При обработке листовыми подкормками данный показатель возрастал, но не все препараты давали желаемый результат. В исследованиях при применении листовых подкормок выделялся один препарат, влияющий на показатели протеина – ЛЕБАЗОЛ-РАПСМИКС.

**Таблица 3 – Массовая доля сырого протеина % на сухое вещество в семенах основной продукции подсолнечника**

Фактор А (фоны минерального питания)	Фактор В (лиственные подкормки)	В среднем за 3 года	Отклонение от контроля
Без удобрений	Контроль	16,48	-
	В(150 г/л),N(50 г/л)	16,32	-0,16
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	16,37	-0,11
	S(750 г/л) К (300 г/л)	16,38	-0,10
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub>	-	16,43	-0,05
	В(150 г/л),N(50 г/л)	16,38	-0,10
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	16,62	+0,14
	S(750 г/л) К (300 г/л)	16,73	+0,25
N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>60</sub> +N <sub>30</sub>	-	16,80	+0,32
	В(150 г/л), N(50 г/л)	15,90	-0,58
	В(61 г/л) Mn(71 г/л) Mo(7 г/л) S(136 г/л)	16,65	+0,17
	S(750 г/л) К (300 г/л)	16,32	-0,16
НСР <sub>05</sub> (фактор А)		0,20	
НСР <sub>05</sub> (фактор В)		0,13	

В группе без удобрений показатели содержания протеина были на низком уровне, даже при применении различных листовых подкормок данный показатель не увеличился, а контрольный участок был наилучшим в этой группе исследования. Самым неэффективным препаратом группы стал МИКРОСТИМ ВОР, результаты применения которого были ниже показателей контроля на 0,16%.

На фоне минерального питания N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub> выделялся препарат, оказавший влияние на показатели сырого протеина в семенах подсолнечника, ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС, значения которого были больше контроля на 0,14%, а также в этой группе исследования без использования листовой подкормки показатель относительно контрольной группы 0,19%. Вторым препаратом, воздействующим на показатели в основной продукции подсолнечника, является APILUXJI-CEPA 800. Это лучший применимый препарат в данной группе исследования, относительно контрольного участка данная обработка превышала 0,25%, также относительно этой группы 0,30%.



**Рис. 1 – Содержание протеина в семенах подсолнечника**

В группе с применением фона минерального питания N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>60</sub>+N<sub>30</sub>, показатели относительно контроля возрастали. В этой группе исследования фон минерального питания без использования листовой подкормки стал наиболее влияющим на этот показатель относительно других препаратов, величина его в сравнении с контрольным участком составила 0,32%, что является одним из высоких показателей во всем опыте. На фоне минерального питания ЛЕБОЗОЛ-РАПСМИКС превысил показатель контроля на 0,17%, но относительно фона минерального питания в этой группе исследования этот препарат не дал значительной прибавки, что составило 0,15%.

**Вывод.** Исследования по содержанию сырого протеина выявили, что полученное в результате опыта увеличение содержания протеина в семенах напрямую зависит от питания растения, влагообеспеченности и зоны выращивания гибрида подсолнечника.

#### Библиография

1. Малюга Н.Г. Подсолнечник. Биология и агротехника выращивания на юге России / Н.Г. Малюга, А.А. Квашин, А.В. Загоруйко. – Краснодар, 2011.
2. Клостер, Н.И. Органические удобрения / Н.И. Клостер, В.Б. Азаров, В.В. Лоткова. – Белгород : Отчий край, 2022. – 216 с. – ISBN 978-5-85153-172-9.
3. Муравьев, А.А. Опыт возделывания подсолнечника в ИП ГКФХ Макаренко Е.И / А.А. Муравьев, М.Н. Мырмыр // Актуальные решения аграрной науки по развитию сельскохозяйственного производства и укреплению продовольственной безопасности страны : Материалы Международной научной конференции, Майский, 29 сентября 2022 года. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2022. – С. 118–120.
4. Lotkova, V. Prospects for the introduction of biologization techniques in agriculture of the Belgorod region / V. Lotkova, V. Azarov // Innovative technologies in agriculture : International scientific and practical conference, Orel, 23–24 марта 2022 года. – Orel : Всероссийский научно-исследовательский институт селекции плодовых культур, 2022. – P. 51.
5. Научно-обоснованная система земледелия Белгородской области. Рекомендации специалистам сельского хозяйства и землепользователям. – Белгород, 1999. – 242 с.
6. Муравьев А.А. Опыт возделывания подсолнечника в КФХ Кораблев А.В. Касторненского района Курской области [Текст] / А.А. Муравьев, Е.А. Кораблева // Сборник докладов национальной научной конференции вопросы генетики, селекции и ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур. 2021. С. 57–59.

#### References

1. Malyuga N.G. Sunflower. Biology and agrotechnics of cultivation in the South of Russia / N.G. Malyuga, A.A. Kvashin, A.V. Zagorulko. – Krasnodar, 2011.
2. Kloster, N.I. Organic fertilizers / N.I. Kloster, V.B. Azarov, V.V. Lotkova. – Belgorod : Fatherland, 2022. – 216 p. – ISBN 978-5-85153-172-9.
3. Muravyev, A.A. Experience of sunflower cultivation in IP GCFH Makarenko E.I. / A.A. Muravyev, M.N. Myr'myr // Actual solutions of agrarian science for the development of agricultural production and strengthening of food security of the country : Materials of the International Scientific Conference, May, September 29, 2022. – Maysky : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin, 2022. – Pp. 118–120.
4. Lotkova, V. Prospects for the introduction of biologization techniques in agriculture of the Belgorod region / V. Lotkova, V. Azarov // Innovative technologies in agriculture : International scientific and practical conference, Orel, March 23–24, 2022. – Orel : All-Russian Scientific Research Institute of Fruit Crop Breeding, 2022. – P. 51.
5. Scientifically based farming system of the Belgorod region. Recommendations to agricultural specialists and land users. – Belgorod, 1999. – 242 p.
6. Muravyov A.A. Experience of sunflower cultivation in the peasant farm Korablev A.V. Kastornensky district of the Kursk region [Text] / A.A. Muravyov, E.A. Korableva // Collection of reports of the national scientific conference on issues of genetics, selection and resource-saving technologies of cultivation of agricultural crops. 2021. P. 57–59.

#### Сведения об авторах

Андрей Александрович Попов, аспирант агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: andreypopov96@yandex.ru.

Виктория Викторовна Лоткова, студентка агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: lotkova2001@mail.ru.

#### Information about authors

Andrey Alexandrovich Popov, Post-graduate student of the Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, 1, Maysky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: andreypopov96@yandex.ru.

Victoria Viktorovna Lotkova, student of the Faculty of Agronomy, Belgorod State Agrarian University, st. Vavilova, d. 1, Maysky village, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: lotkova2001@mail.ru.

## БИОЛОГИЗИРОВАННАЯ ЗАЩИТА СОИ ОТ ГРИБНЫХ БОЛЕЗНЕЙ И УРОЖАЙНОСТЬ КУЛЬТУРЫ

**Аннотация.** Целью настоящих исследований является совершенствование технологии защиты сои от грибных болезней на основе использования химических и биологических фунгицидов. Предшественником сои была озимая пшеница. Опыт заложен на темно-серой лесной почве, которая характеризуется по механическому составу как средний суглинок. Кислотность почвы составляет 5,7 единиц. Почва содержит фосфора ( $P_2O_5$ ) – 11,5 мг/100 г почвы, калия ( $K_2O$ ) – 10,9 мг/100 г почвы, гумуса 4,1%. Использовали районированный сорт сои Мезенка, семена 1-й репродукции. Химический фунгицид Винтаж, МЭ, биофунгицид Фитоспорин МЖ(АС) и Фитоспорин+Биополимик-Сu применены в фазу бутонизации. Распространенность грибных болезней на конец июля составила по вариантам от 10 до 20%. Применение химического фунгицида Винтаж и смеси химического и биологического (Фитоспорин) фунгицидов позволило удержать распространенность болезней на уровне 10%. Биологическая эффективность на этих вариантах составила 57,1%. На варианте с обработкой растений Фитоспорином данный показатель составил 28,3%. К концу августа увеличилась распространенность грибных болезней в пределах от 20% на вариантах с использованием химического фунгицида Винтаж до 36,7% на варианте с применением смеси Фитоспорин+Биополимик Сu 30 г/га. На контрольном варианте распространенность болезней достигла 40%. При этом биологическая эффективность приемов обработки варьировала в пределах от 12,8 до 50%. Лучшие результаты получены на вариантах с химическим фунгицидом Винтаж. Учеты урожайности показали преимущество обработок пестицидом Винтаж и Винтаж совместно с Фитоспорином. Прибавка урожайности составила 38,1 и 36,3% соответственно. Обработка посевов сои биологическим препаратом Фитоспорин также способствовала повышению урожайности культуры. Прибавка составила 15,7%. Несмотря на прибавку урожайности, анализ результатов свидетельствует о недостаточности одной обработки посевов сои от грибных болезней, т.к. к концу августа распространенность грибковой инфекции увеличивается в два раза, а биологическая эффективность применения фунгицидов снизилась.

**Ключевые слова:** соя, фунгициды, биологизированная защита, хозяйственная и биологическая эффективность, урожайность.

## BIOLOGICAL PROTECTION OF SOYBEAN AGAINST FUNGAL DISEASES AND CROP YIELD

**Abstract.** The aim of the present research is to improve the technology of soybean protection against fungal diseases based on the use of chemical and biological fungicides. Soybean was preceded by winter wheat. The experiment was laid on dark gray forest soil, which is characterized by the mechanical composition as medium loam. Soil acidity was 5.7 units. The soil contains phosphorus ( $P_2O_5$ ) – 11.5 mg/100 g soil, potassium ( $K_2O$ ) – 10.9 mg/100 g soil, humus 4.1%. We used the released variety of soybean Mezenka, 1st reproduction seeds. The chemical fungicide Vintage, ME, the biofungicide Phytosporin MZ(AS) and Phytosporin+Biopolimik-Sz were applied in the phase of budding. The prevalence of fungal diseases at the end of July by variants was 10 to 20%. Application of the chemical fungicide Vintage and a mixture of chemical and biological (Phytosporin) fungicides allowed to keep the prevalence of diseases at 10%. The biological effectiveness in these variants was 57.1%. In the variant with treatment of plants with Phytosporin this figure was 28.3%. By the end of August the prevalence of fungal diseases increased in the range from 20% in variants with the chemical fungicide Vintage to 36.7% in the variant with Fitosporin + Biopolimik Сu 30 g/ha. In the control variant the prevalence of diseases reached 40%. At the same time, the biological effectiveness of treatments ranged from 12.8 to 50%. The best results were obtained in the variants with the chemical fungicide Vintage. Yield records showed the advantage of treatments with the pesticide Vintage and Vintage together with Phytosporin. The increase in yield was 38.1 and 36.3%, respectively. Treatment of soybean crops with the biological preparation Phytosporin also contributed to an increase in crop yield. Increase was 15.7%. Despite the yield increase, the analysis of the results shows the insufficiency of one treatment of soybean crops against fungal diseases, because by the end of August the prevalence of fungal infection doubled, and the biological effectiveness of fungicides decreased.

**Keywords:** soybean, fungicides, biological protection, economic and biological efficiency, yield.

**Введение.** Соя является ценной и широко распространенной зернобобовой культурой. В мировом земледелии соя занимает четвертое место после пшеницы, кукурузы и риса и первое среди зерновых бобовых культур. Её используют в пищевой промышленности и животноводстве. Она является сырьём для производства многих промышленных и медицинских товаров [1-3].

В 1 кг семян сои содержится 250-340 г перевариваемого белка, 100-150 г жира и 1,36-1,45 к.ед. Соевый жмых после извлечения жира содержит 380-425 г перевариваемого протеина, 100-150 г сырого жира и 1,26 к.ед. Зелёная масса сои также отличный корм, содержащий 4,5% протеина, 1% жира, 6,2% клетчатки, 2% минеральных веществ, 11% биологически активных веществ [4, 5].

Белок сои содержит все незаменимые аминокислоты в сумме около 41 мг в 100 г семян. Соя отличный предшественник для многих сельскохозяйственных культур. После сои в почве остаётся достаточное количество азота, что снижает необходимость внесения предпосевного минерального удобрения под культуру [6].

В разных климатических зонах селекционерами созданы новые сорта сои с высокими адаптационными характеристиками в отношении абиотических факторов конкретной зоны возделывания [1, 3, 7, 9, 10]. Новые сорта отличаются относительной устойчивостью к возбудителям грибных болезней. Однако ежегодно в посевах сои в той или иной степени отмечается их развитие [8, 9].

**Цель исследований.** Целью настоящих исследований является совершенствование технологии защиты сои от грибных болезней на основе использования химических и биологических фунгицидов. Для достижения цели необходимо было оценить фитосанитарную ситуацию посевов, провести учет болезней, степень их распространения и поражения посевов сои. А также определить эффективность проведения защитных мероприятий.

Актуальность проводимых нами исследований обусловлена существенным возрастанием площадей, занимаемых в Орловской области соей.

**Материалы и методика.** Предшественником сои была озимая пшеница. Опыт заложен на темно-серой лесной почве, которая характеризуется по механическому составу как средней суглинок. Кислотность почвы составляет 5,7 единиц. Почва содержит фосфора (P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>) – 11,5 мг/100 г почвы, калия (K<sub>2</sub>O) – 10,9 мг/100 г почвы, гумуса 4,1%. Использовали районированный сорт сои Мезенка, семена 1-й репродукции. Из-за неблагоприятных погодных условий по количеству осадков посев провели 2 июня 2022 года.

Химический фунгицид Винтаж, МЭ, биофунгицид Фитоспорин МЖ(АС) и Фитоспорин+Биополимик-Cu применены 17 июля 2022 г. в фазу бутонизации. Учет болезней проведен непосредственно перед обработкой и через 14 и 36 день после обработки.

Учеты степени развития и поражения посевов сои болезнями, а также биологическая эффективность применения фунгицидов проведены в соответствии с общепринятой методикой. Уборка урожая сои проведена 18.10.2022 г.

Размер каждой из обрабатываемых делянок составляет 54 м<sup>2</sup>. Размер учетных делянок – 50 м<sup>2</sup>. Расход рабочей жидкости из расчета 200 л/га.

Характеристика фунгицидов приведена в таблице 1.

**Таблица 1 – Характеристика объектов исследования**

Используемые фунгициды, действующее вещество, механизм действия	Болезни, на которые действует фунгицид	Норма и особенности применения
<b>Фитоспорин МЖ (АС)</b> (титр не менее 1 млрд. живых клеток и спор/мл) <i>Vaccillus subtilis</i> , штамм 26 Д. Применяется для протравливания семян и опрыскивания посевов сои во время вегетации. Блокирует зооспорангии грибковых болезней.	Фузариозные корневые гнили, септориоз, аскохитоз, пероноспороз, бактериоз	Протравитель 20-30 г/т, расход воды 10 л/т. Опрыскивание 20-40 г/га.
<b>Винтаж, МЭ</b> Дифеноконазол+Флутриафол (65 г/л+25 г/л) Препарат обладает системным действием, моментально уничтожает патогены.	Аскохитоз, антракноз, септориоз, фузариоз	Опрыскивание в период вегетации: норма 0,6-8л/га.
<b>Биополимик – Cu</b> – хелатный комплекс с содержанием меди 60 г/л и серы 30 г/л	Обладает фунгицидными свойствами, подавляет грибковые и бактериальные заболевания растений	Опрыскивание в период вегетации: 0,5-1 л/га

В фазу ветвления проведены учеты распространенности болезней. В фазу бутонизация-начало цветения за день до обработки и через 14 дней (30.07.2022) и 36 дней после обработки (22.08.22).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Распространенность грибных болезней на конец июля составила по вариантам от 10 до 20%. Применение химического фунгицида Винтаж и смеси химического и биологического (Фитоспорин) фунгицидов позволило удержать распространенность болезней на уровне 10%. Биологическая эффективность на этих вариантах составила 57,1%. На варианте с обработкой растений Фитоспорином данный показатель составил 28,3% (табл. 2).

**Таблица 2 – Эффективность обработок фунгицидами в посевах сои**

Вариант	Распространенность болезней, % 30.07.2022	Биологич. эффективность, % 30.07.2022	Распространенность болезней, % 22.08.22	Биологич. эффективность, % 22.08.22
Контроль	23,3	-	40,0	-
Винтаж	10,0	57,1	20,0	50,0
Винтаж + Фитоспорин	10,0	57,1	20,0	50,0
Фитоспорин	16,7	28,3	33,3	16,8
Фитоспорин+Биополимик Cu 30 г/га	20,0	14,2	36,7	14,3
Фитоспорин+Биополимик Cu 60 г/га	20,0	14,2	38,3	12,8
НСР <sub>05</sub>	3,1	-	3,2	-

К концу августа увеличилась распространенность грибных болезней в пределах от 20% на вариантах с использованием химического фунгицида Винтаж до 36,7% на варианте с применением смеси Фитоспорин+Биополимик Cu 30 г/га. На контрольном варианте распространенность болезней достигла 40%. При этом биологическая эффективность приемов обработки варьировала в пределах от 12,8 до 50%. Лучшие результаты получены на вариантах с химическим фунгицидом Винтаж.

Проявление грибных болезней сои по вариантам опыта показано на рисунке 1.





Рис. 1 – Проявление грибных болезней сои по вариантам опыта

Учеты урожайности показали преимущество обработок пестицидом Винтаж и Винтаж совместно с Фитоспорином. Прибавка урожайности составила 38,1 и 36,3% соответственно (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность сои в связи с защитными мероприятиями

№	Вариант	Урожайность (ц/га)	± к контролю, ц/га	± к контролю, %
1	Контроль	19,44	-	-
2	Винтаж	26,85	7,41	38,1
3	Винтаж+Фитоспорин	26,50	7,06	36,3
4	Фитоспорин	22,50	3,06	15,7
5	Фитоспорин+Биополимик Cu 30 г/га	23,50	4,06	20,88
6	Фитоспорин+Биополимик Cu 60 г/га	20,5	1,06	5,4
НСР <sub>05</sub>		2,2	-	-

Обработка посевов сои биологическим препаратом Фитоспорин также способствовала повышению урожайности культуры. Прибавка составила 15,7%. На вариантах с использованием Фитоспорина совместно с разными концентрациями препарата Биополимик-Сu получены неоднозначные результаты. Повышение концентрации меди до 60 г/га оказало некоторое фитотоксическое действие на растения. В результате прибавка урожайности минимальная – 5,4%.

**Заключение.** Несмотря на прибавку урожайности, анализ результатов свидетельствует о недостаточности одной обработки посевов сои от грибных болезней, т.к. к концу августа распространенность грибковой инфекции увеличивается в два раза, а биологическая эффективность применения фунгицидов снижается.

#### Библиография

1. Зотиков В.И. Зернобобовые культуры – источник растительного белка. Орел : ГНУ ВНИИЗБК. 2010. 265 с.
2. Зайцев Н.И., Бочкарёв Н.И., Зеленцов С.В. Перспективы и направления селекции сои в России в условиях реализации национальной стратегии импортозамещения // Масличные культуры. 2016. Вып. 2. С. 10–12.
3. Панарина В.И. Соя в России: современное положение на рынке // Материалы 11-ой Всероссийской конференции молодых учёных и специалистов. ФГБНУ ФНЦ ВНИИМК. 2021. С. 287–291.
4. Головина Е.В., Зотиков В.И. Продукционный процесс и адаптивные реакции к абиотическим факторам сортов сои северного экотипа в условиях Центрально-Черноземного региона РФ. Орел : Изд-во «Картуш». 2019. 320 с.
5. Созонова А.Н. Хозяйственно-биологическая и селекционная ценность скороспелых сортов сои в лесостепной зоне Зауралья: дисс. ...канд. с.-х. н. Тюмень. 2019. 188 с.
6. Гончаров А. Соя на самообеспечении: нужен ли дополнительный азот? // Зерно. 2015. № 6. С. 127–135.
7. Зеленская Т.И., Шевченко Н.С., Закурдаева Н.Н. Селекционно-семеноводческие разработки по импортозамещению сои в Белгородском ГАУ // Первый международный форум «Зернобобовые культуры – развивающееся направление в России» (19-22 июля 2016 г.). Омск. 2016. С. 28–31.
8. Резвякова С.В., Еремин Л.П. Повышение урожайности сои на основе защиты от грибных болезней // Вестник аграрной науки. 2021. № 3 (90). С. 77–83.
9. Муравьев А.А. Особенности формирования урожайности и качества семян различных сортов сои при использовании биопрепарата Биогор, Ж // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 5. С. 45–48. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10507.
10. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур (на примере Белгородской области) [Текст] / А.В. Турьянский, В.И. Мельников, Л.А. Селезнева, Н.Р. Асыка, В.Ф. Ужик и др. – Белгород : Изд. Константа, 2014. – 462 с.

#### References

1. Zotikov V.I. Cereal legumes as a source of vegetable protein. Orel : GNU VNIIZBK. 2010. 265 p.

2. Zaitsev N.I., Bochkaryov N.I., Zelentsov S.V. Prospects and directions of soybean breeding in Russia in the context of the national strategy of import substitution // Oilseeds. 2016. Issue. 2. P. 10–12.
3. Panarina V.I. Soybean in Russia: current situation on the market // Proceedings of the 11th All-Russian Conference of Young Scientists and Specialists. FGBNU FNC VNIIMK. 2021. P. 287–291.
4. Golovina E.V., Zotikov V.I. Productive process and adaptive responses to abiotic factors of soybean varieties of northern ecotype in conditions of Central Black Earth region of Russia. Orel : ed. «Kartush». 2019. 320 p.
5. Sozonova A.N. The economic-biological and breeding value of early-ripening soybean varieties in the forest-steppe zone of the Trans-Ural region: diss. Candidate of agricultural sciences Tyumen. 2019. 188 p.
6. Goncharov A. Soybean on self-sufficiency: do we need additional nitrogen? // Grain. 2015. № 6. С. 127–135.
7. Zelenskaya T.I., Shevchenko N.S., Zakurdaeva N.N. Breeding and seed development for soybean import substitution in Belgorod SAU // First International Forum «Leguminous crops – a developing trend in Russia» (19–22 July 2016). Omsk. 2016. P. 28–31.
8. Rezvyakova S.V., Eremin L.P. Increasing soybean yield based on protection against fungal diseases // Bulletin of Agrarian Science. 2021. № 3 (90). P. 77–83.
9. Muravyov A.A. Features of the formation of yield and quality of seeds of different soybean varieties using the biopreparation Biogor, Zh // Achievements of science and technology of the APK. 2021. V. 35. № 5. P. 45–48. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10507.
10. Organizational and technological standards for the cultivation of agricultural crops (on the example of the Belgorod region) [Text] / A.V. Turyansky, V.I. Melnikov, L.A. Selezneva, N.R. Asyka, V.F. Uzhik and others. – Belgorod : Ed. Constant, 2014. – 462 p.

#### Сведения об авторах

С.В. Резвякова, д. с.-х. н., доцент, заведующая кафедрой защиты растений и экотоксикологии, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69; <https://orcid.org/0000-0002-7681-4516> тел.+79538145489, e-mail: lana8545@yandex.ru.

Л.П. Еремин, канд. с.-х. н., доцент кафедры защиты растений и экотоксикологии, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, тел. +79536205608.

О.П. Чернова, аспирант, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, тел. 89192692029.

#### Information about authors

S.V. Rezvyakova, Doctor of Agricultural Sciences Sc., Associate Professor, Head of the Department of Plant Protection and Ecotoxicology, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. Generala Rodina, 69; <https://orcid.org/0000-0002-7681-4516> tel. +79538145489, e-mail: lana8545@yandex.ru.

L.P. Eremin, Ph.D. s.-x. in Economics, Associate Professor of the Department of Plant Protection and Ecotoxicology, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. General Rodina, 69 tel. +79536205608.

O.P. Chernova, Postgraduate Student, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. General Rodina, 69, tel. 89192692029.

## ВЛИЯНИЕ ГЕРБИЦИДОВ НА ЗАСОРЁННОСТЬ И УРОЖАЙНОСТЬ СМОРОДИНЫ ЧЁРНОЙ

**Аннотация.** Целью исследований является расширение спектра гербицидов отечественного производства и выявление влияния защитных мероприятий на продуктивность смородины чёрной. Исследования проводились в 2020-2022 гг. во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур, Орловская область, Орловский район, п/о Жилина. В качестве объекта исследования использовались сорт смородины чёрной Очарование и химические средства защиты ягодного ценоза от сорных растений. Опыт заложен на темно-серой лесной среднесуглинистой почве со схемой посадки растений 3x1 м. Делянки расположены систематически в трехкратной повторности. В одной делянке по 5 растений. В середине апреля проводили обработку гербицидами с помощью ранцевого опрыскивателя. Засорённость насаждений определяли количественно-весовым методом с учетных площадок согласно «Методическим указаниям по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве» и «Методическим указаниями по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве» (Долженко, 2013). Изучались следующие препараты: АРГО, МЭ (Клодинафоп-пропаргил 24 г/л+ Мефенпир-диэтил 30 г/л + Феноксапроп-П-этил 80 г/л); Примадонна, СЭ (2,4-Д (2-этилгексилловый эфир) 200 г/л + Флорасулам 3,7 г/л); Унико, ККР (Флорасулам 2,5 г/л + Флуороксибир 100 г/л). Видовой состав сорной растительности в насаждениях смородины чёрной перед началом применения гербицидов был преимущественно представлен многолетними двудольными – вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.); осот полевой (*Sonchus arvensis* L.); золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.); пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.); подорожник большой (*Plantago major* L.) и многолетними однодольными – пырей ползучий (*Elytrigia répens* L.). Результаты показали возможность использования изученных гербицидов на плантации смородины чёрной. Ни на одном варианте не отмечено фитотоксического действия в отношении культуры. Перед уборкой биологическая эффективность гербицида Унико, ККР составила 67,3%. Урожайность ягод увеличилась от 15,2 до 21,6%. Увеличение массы ягоды отмечено в пределах от 16,1 до 24,2%.

**Ключевые слова:** смородина чёрная, гербициды, биологическая эффективность, сорные растения, урожайность.

## EFFECT OF HERBICIDES ON BLACK CURRANT WEEDS AND YIELDS

**Abstract.** The aim of the research is to expand the range of domestically produced herbicides and to identify the effect of protective measures on the productivity of black currant. Studies were conducted in 2020-2022 at the All-Russian Research Institute of Fruit Crops Breeding, Orel Region, Orel District, p/o Zhilina. Black currant variety Charming and chemical means of protection of berry cenoza from weeds were used as an object of research. The experiment was laid on dark-gray forest medium-loam soil with the scheme of planting plants 3x1 m. The plots were arranged systematically in threefold replications. There were 5 plants per plot. Herbicide treatment with a knapsack sprayer was carried out in the middle of April. The contamination of plantings was determined by quantitative and weight method from the accounting sites according to the «Guidelines for field testing of herbicides in crop production» and the guidelines for field testing of herbicides in crop production (Dolzenko, 2013). The following drugs were studied: ARGO, ME (Clodinafop-propargil 24 g/l + Mefenpir-diethyl 30 g/l + Phenoxypropp-P-ethyl 80 g/l); Diva, SE (2,4-D (2-ethylhexyl ether) 200 g/l + Florasulam 3.7 g/l); Unico, KKR (Florasulam 2.5 g/l + Fluroxypir 100 g/l). The species composition of weeds in black currant plantations before the application of herbicides was mainly represented by perennial dicotyledons – field loosestrife (*Convolvulus arvensis* L.); field thistle (*Sonchus arvensis* L.); common goldenrod (*Solidago virgaurea* L.); common tansy (*Tanacetum vulgare* L.); large plantain (*Plantago major* L.) and perennial annuals – creeping couch (*Elytrigia répens* L.). The results showed the possibility of using the studied herbicides in black currant plantations. No phytotoxic effect on the crop was observed in any of the variants. Before harvesting, the biological effectiveness of Unico herbicide, KKR was 67.3%. Berry yield increased from 15.2 to 21.6%. The increase in berry weight was noted in the range from 16.1 to 24.2%.

**Keywords:** black currant, herbicides, biological efficiency, weeds, productivity.

**Введение.** В средней зоне садоводства ягодные культуры являются источником ранней витаминной продукции, так необходимой для восстановления и поддержания нормальной жизнедеятельности человека после продолжительного зимнего и весеннего периода, когда доступны только привозные овощи и фрукты, а также заготовки из них. Однако доказано, что наиболее полезны для организма продукты, выращенные в зоне проживания человека. Ягодные культуры отличаются скороплодностью, плоды рано созревают и регулярно дают достаточно высокие урожаи [1]. Смородина чёрная (*Ribes nigrum*) является одной из таких культур. Она отличается высокой продуктивностью, скороплодностью, неприхотливостью технологии возделывания, простотой и высоким коэффициентом размножения, а также высокой витаминной ценностью плодов [2, 3].

Проблема сорных растений существует только в связи с хозяйственной деятельностью человека, поэтому вред растений оценивается исключительно антропоморфно. Вследствие этого непросто определить понятие «сорняк». В широком толковании сорняками можно называть растения, которые оказывают отрицательное влияние на сельскохозяйственные площади [4].

Сорные растения конкурируют с культурными за солнечный свет, влагу, питательные элементы. Зачастую они являются рассадником возбудителей болезней и местообитанием вредителей. В Центрально-Черноземном регионе наиболее распространены такие сорные растения, как одуванчик лекарственный, пырей ползучий и пастушья сумка. Также в больших количествах произрастают осот огородный, марь белая, фиалка полевая, звездчатка средняя, вьюнок полевой, подорожники, мятлик однолетний, подмаренники [5].

Доказано также, что задернение почвы в садовых агроэкосистемах сеянками травами или естественной растительностью оказывает и положительное влияние посредством усиления средообразующей роли растительности. Кроме того, они являются источником свежего органического вещества для почвенной биоты, средой обитания полезных микроорганизмов, напочвенной и почвенной мезофауны [6, 7].

Попова В.П. (2004) отмечает, что в условиях юга России в плодовых садах выявлено порядка 100 видов сегетальных растений из 30 семейств, в которых двудольные составляют около 87% и около 13% приходится на долю однодольных. Ав-

тор указывает, что сорные растений накапливают в агроценозах до 5-6 т/га сухой массы и потребляют порядка 120 кг азота, 35 кг фосфора, 185 кг калия. При этом расходуют от 1000 до 4000 т/га воды [8].

Для борьбы с сорняками используют различные методы – механические, химические, в последние десятилетия – физические и биологические. Из механических преобладают ручная и машинная прополка. Первая – очень трудоемкая, вторая – энергозатратная и, к тому же, повреждает залегающую близко к поверхности почвы корневую систему. Из физических методов получены положительные результаты по применению электрического импульса для истребления сорняков [9, 10]. Биологические методы основаны на использовании растительных экстрактов и микроорганизмов [11]. Однако эти методы не получили широкого распространения в практическом садоводстве. Основным остается химическое подавление сорной растительности.

Большое значение в снижении засоренности плантации имеет подготовка почвы до посадки саженцев. Так, по заключению Соломахиной (2006), внесение почвенного гербицида Стомп (пендиметалин) в дозе 6 л/га на черноземе выщелоченном с заделкой на 8-10 см позволило снизить засоренность ягодных кустарников до 70% за счет подавления нормально развития проростков сорняков и сохранения активности в почве длительный период [12].

Также получен положительный результат по использованию на плантации смородины черной общеистребительных гербицидов раундап, 4-6 л/га, баста (глюкосинаатаммония), 2,5-3 л/га и реглон (дикват) до 3 л/га [13].

В развитых странах, где практикуется интенсивное и высокомеханизованное земледелие, гербициды почти вытеснили механические способы уничтожения сорняков. Использование гербицидов более эффективно и экономически выгодно, чем ручная прополка, культивация или вспашка. Наибольшим спросом гербициды пользуются в Северной Америке, Западной Европе, Японии и Австралии, где их совместное применение с удобрениями и другими агрохимическими препаратами позволяет получать стабильно высокие урожаи [14]. Наиболее эффективные раундап и баста при двукратном применении в течение вегетации [7].

Согласно литературным данным, сорняки могут наносить до 28% ущерба урожаю садовых культур [15].

**Целью** настоящих исследований является расширение спектра гербицидов отечественного производства и выявление влияния защитных мероприятий на продуктивность чёрной смородины.

**Материалы и методы.** Исследования проводились в 2020-2022 годах, во Всероссийском НИИ селекции плодовых культур, Орловская область, Орловский район, п/о Жилина. В качестве объекта исследования использовалась черная смородина сорта Очарование и химические средства защиты насаждений от сорных растений. Почва опытного участка – темно-серая лесная среднесуглинистая. Схема посадки черной смородины 3х1 м. Расположение делянок – систематическое. Повторность опытов трехкратная. В опыте по 5 растений. Обработку проводили ранцевым опрыскивателем в середине апреля. Обработку проводили ранцевым опрыскивателем в середине апреля. Обработку проводили ранцевым опрыскивателем в середине апреля. Засоренность насаждений определяли количественно-весовым методом с учетных площадок согласно «Методическим указаниям по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве» и «Методическим указаниями по полевому испытанию гербицидов в растениеводстве» [16].

Изучались следующие препараты: Арго, МЭ (Клюдинафоп-пропаргил 24 г/л + Мефенпир-диэтил 30 г/л + Феноксапроп-П-этил 80 г/л); Примадонна, СЭ (2,4-Д (2-этилгексилэтиловый эфир) 200 г/л + Флорасулам 3,7 г/л); Унико, ККР (Флорасулам 2,5 г/л + Флуороксибир 100 г/л).

Все изучаемые гербициды отечественного производства фирмы АО «Щелково Агрохим», производителем они рекомендованы для использования на зерновых культурах. Дозы были подобраны исходя из регламента применения в сельском хозяйстве [17].

Статистическая обработка выполнена согласно рекомендациям Б.А. Доспехова (1985).

**Результаты исследований и их обсуждение.** Основным показателем эффективности используемого гербицида является засоренность посевов после применения гербицида и сравнение полученных результатов с необработанным участком. Способность гербицидов уничтожать или даже значительно снижать засоренность культурных растений является показателем качества гербицида.

Согласно проведенному анализу, количественно-видовой состав сорной растительности в насаждениях смородины чёрной перед началом применения гербицидов был преимущественно представлен следующими сорными растениями: многолетними двудольными – вьюнок полевой (*Convolvulus arvensis* L.); осот полевой (*Sonchus arvensis* L.); золотарник обыкновенный (*Solidago virgaurea* L.); пижма обыкновенная (*Tanacetum vulgare* L.); подорожник большой (*Plantago major* L.); многолетними однодольными – пырей ползучий (*Elytrigia repens* L.).

Нами выявлено, что через 30 дней после обработки на контрольном варианте количество сорняков составило 145,8 шт./м<sup>2</sup>. На варианте с использованием гербицида Унико, ККР в дозе 1,5 л/га отмечена минимальная засоренность – 38,2 шт./м<sup>2</sup>. Снижение засоренности составило 73,8%. По показателям общий сухой вес прослеживается аналогичная закономерность. В количественном выражении данный показатель снизился с 349,2 до 96,4 г/м<sup>2</sup>, т.е. на 72,4% (табл. 1).

На вариантах с применением гербицидов Арго и Примадонна численность сорняков снизилась соответственно на 56,3 и 64,1%, сухая масса – на 28,8 и 63,8%.

Учеты, проведенные перед уборкой ягод, показали, что на контрольном варианте засоренность плантации составила 203,2 шт./м<sup>2</sup>. Обработка смородины черной гербицидом Унико, ККР в дозе 1,5 л/га позволила снизить данный показатель на 66,7% и сухую массу сорняков на 67,9%. При использовании гербицидов Арго и Примадонна также получена статистически достоверная разница по сравнению с контрольным вариантом по изучаемым признакам. Численность сорняков снизилась соответственно на 48,8 и 58,3%, сухая масса – на 50,4 и 60,5%.

**Таблица 1 – Сухая масса вегетальных растений в насаждениях смородины черной в зависимости от применяемых гербицидов, в среднем за 2020-2022 гг.**

Варианты	Сухая масса			
	Через 30 дней после обработки		Перед уборкой	
	г	%	г	%
Контроль	349,2±14,6	100	521,8±21,0	100
Арго, МЭ 1 л/га	248,5±12,8	71,2	258,9±14,4	49,6
Примадонна, СЭ 0,9 л/га	126,3±15,1	36,2	206,2±12,8	39,5
Унико, ККР 1,5 л/га	96,4±10,3	27,6	167,7±13,6	32,1

Биологическая эффективность гербицида Арго, МЭ и Примадонна, СЭ через месяц после обработки составила соответственно 56,3% и 64,1%, перед уборкой снизилась до 48,8 и 58,3% (рис. 1).

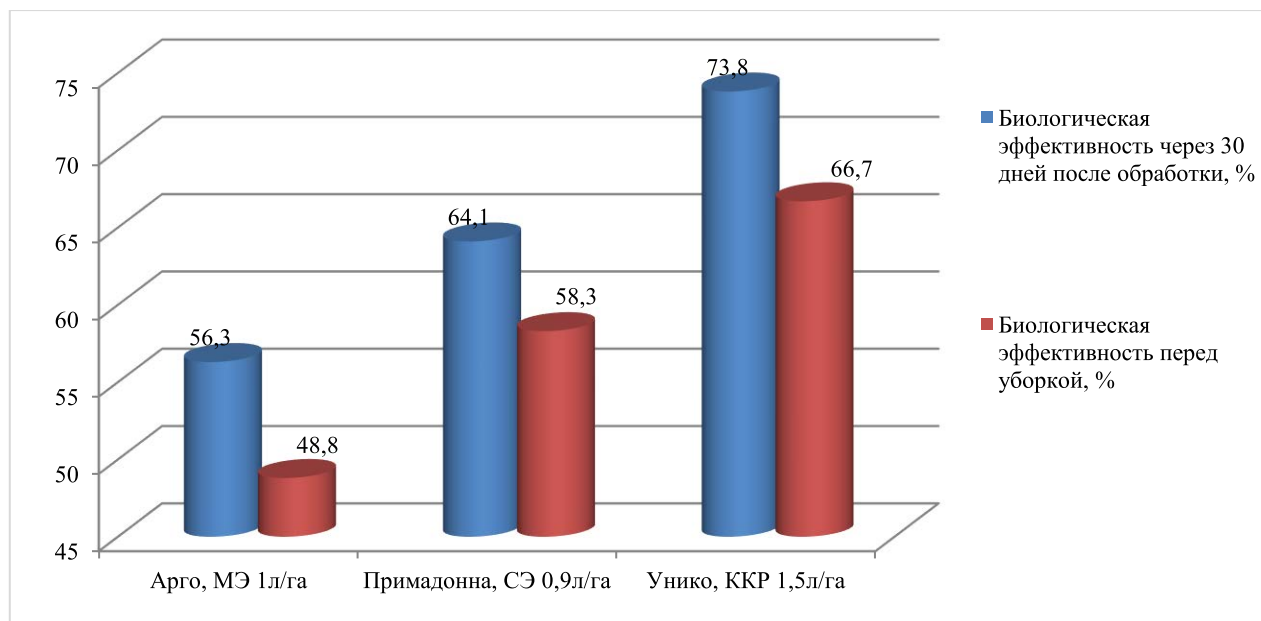


Рис. 1 – Биологическая эффективность гербицидов

Выявлено, что гербицид Унико, ККР характеризуется более высокой биологической эффективностью, которая спустя 30 дней после обработки составила 73,8% и перед уборкой – 66,7% по сравнению с контролем.

Ни на одном варианте не отмечено фитотоксического действия в отношении смородины черной сорта Очарование. Развитие растений проходило в обычные сроки, на листовом аппарате не отмечено проявлений физиологических или физических повреждений.

Любое агротехническое мероприятие направлено на повышение урожайности возделываемых культур. В нашем опыте разница в урожайности ягод смородины черной по сравнению с контрольным вариантом обусловлена использованием различных гербицидов (табл. 2).

Анализируя данные таблицы 2, выявлено статистически достоверное влияние гербицидных обработок на показатели урожайности культуры. Так, на вариантах с применением гербицидов Арго, МЭ, Примадонна, СЭ и Унико, ККР увеличение урожайности в сравнении с контролем составило от 15,2 до 21,6%. Это связано со снижением конкуренции смородины черной и сорных растений за воду и питательные вещества. Кроме того, уменьшение засоренности в целом способствует оздоровлению фитосанитарного состояния агроценоза. Наилучший результат был отмечен в варианте с Унико, ККР 1,5л/га, урожайность с 1 га повысилась на 0,9 т.

Также на всех вариантах было отмечено достоверное увеличение массы ягоды на 16,1-24,2%.

Таблица 2 – Урожайность и масса ягод сорта смородины черной Очарование в зависимости от гербицидных обработок, средняя за 2020-2022гг.

Варианты	Урожайность с одного куста		Масса 1 ягоды		Урожайность с 1 га	
	кг/куст	± к контролю,%	г	± к контролю,%	т/га	± к контролю,%
Контроль	1,25	-	1,36	-	4,16	-
Арго, МЭ 1 л/га	1,44	15,2	1,58	16,1	4,79	15,2
Примадонна, СЭ 0,9 л/га	1,49	19,2	1,64	20,5	4,96	19,2
Унико, ККР 1,5 л/га	1,52	21,6	1,69	24,2	5,06	21,6
НСР <sub>05</sub>	0,11	-	0,18	-	0,37	-

**Выводы.** Таким образом, полученные результаты и их анализ показали перспективность использования изученных отечественных гербицидов в агроценозе смородины черной. Ни на одном варианте не отмечено фитотоксического действия в отношении культуры. При этом урожайность ягод увеличилась в зависимости от применяемого гербицида от 15,2 до 21,6%. Масса ягоды – от 16,1 до 24,2%.

#### Библиография

1. Евдокименко С.Н., Сазонов Ф.Ф., Андропова Н.В. Новые сорта ягодных культур для центрального региона России // Садоводство и виноградарство. 2017. № 1. С. 31–38.
2. Бахотская А.Ю., Князев С.Д. Устойчивые к биотическим факторам сорта смородины чёрной – основа высокопродуктивных агроценозов // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2018. Т. 19. С. 87–90.
3. Шавыркина М.А., Князев С.Д. Оценка образцов смородины чёрной по морфоструктурным компонентам продуктивности // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2015. № 5 (56). С. 46–50.

4. Князев С.Д., Келдибекова М.А., Товарицкая М.В. Достижения и перспективы селекции смородины черной во ВНИИСПК // Современное садоводство – Contemporary horticulture, 2017. № 3. С. 20–25.
5. Конобеева А.Б., Брюхина С.А. Сорные растения садов и огородов в окрестностях г. Мичуринска // Растения и животные Тамбовской области: кадастр и мониторинг / Мичурин, гос. пед. ин-т. – Мичуринск, 2004. Вып. 2. С. 98–102.
6. Попова В.П. Сорные растения в садовых агроценозах // Агро XXI. 2000. № 6. С. 10–11.
7. Мельникова О.В., Торпков В.Е. Сорняки в агроценозах и меры борьбы с ними: монография. Санкт-Петербург, Лань. 2022. 204 с.
8. Попова, В.П. Агроэкологические аспекты формирования продуктивных садовых экосистем: монография. Краснодар : Изд-во СКЗНИИСиВ, 2005. 242 с.
9. Таскаева А.Г., Попов В.М. Использование электрической энергии в борьбе с сорной растительностью // Состояние и развитие гербологии на пороге XXI столетия. Голицыно. 2000. С. 240–243.
10. Юдаев И., Бренина Т. Электрический импульс истребляет сорняки // Сельский механизатор. 2006. № 8. С. 12–13.
11. Берестецкий А.О. Токсины микроорганизмов и разработка экологически безопасных средств борьбы с сорными растениями // Микотоксины в экосистемах Санкт-Петербурга и Ленингр. обл. СПб, 2003. С. 54–59.
12. Соломахин А.А. Применение гербицидов на черной смородине // Состояние и перспективы развития ягодоводства в России / Всероссийский НИИ селекции плодовых культур. Орел, 2006. С. 279–283.
13. Алиев Таймасхан Гасан-Гусейнович. Агробиологическое обоснование применения гербицидов в плодовых и ягодных насаждениях // Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора сельскохозяйственных наук. Мичуринск – Научоград. 2007. 47 с.
14. Захаренко В.А. Состояние и задачи научного обеспечения гербологии в XXI веке // Состояние и развитие гербологии на пороге XXI столетия. Голицыно. 2000. С. 300–321.
15. Архипов Ю.А. Разработка системы содержания почвы в насаждениях смородины и крыжовника в ЦЧР на основе применения гербицидов // Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата сельскохозяйственных наук. 2011. Мичуринск – наукоград РФ. 23 с.
16. Долженко В.И. Методические указания по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве. Российская академия с.-х. наук. Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений. СПб. 2013. 280 с.
17. Список пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории РФ 2020-2022 гг. Справочное издание. 636 с.

#### References

1. Evdokimenko S.N., Sazonov F.F., Andronova N.V. New varieties of berry crops for the central region of Russia // Horticulture and Viticulture. 2017. № 1. P. 31–38.
2. Bakhotskaya A.Y., Knyazev S.D. Biotic factor-resistant black currant varieties – the basis of highly productive agroecosystems // Scientific Proceedings of the North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, Winemaking. 2018. Т. 19. P. 87–90.
3. Shavyrkina M.A., Knyazev S.D. Evaluation of black currant samples by morphostructural components of productivity // Bulletin of Orel State Agrarian University. 2015. № 5 (56). P. 46–50.
4. Knyazev S.D., Keldibekova M.A., Tovarnitskaya M.V. Achievements and prospects of black currant breeding in VNIISPK // Modern horticulture – Contemporary horticulture, 2017. № 3. P. 20–25.
5. Konobeeva A.B., Brukhina S.A. Weed plants of gardens and vegetable gardens in the vicinity of Michurinsk // Plants and animals of the Tambov region: cadastre and monitoring / Michurin, State Pedagogical Institute. – Michurinsk, 2004. Vol. 2. P. 98–102.
6. Popova V.P. Weed plants in garden agroecosystems // Arpo XXI. 2000. № 6. P. 10–11.
7. Melnikova O.V., Torpkov V.E. Weeds in agroecosystems and measures to combat them: a monograph. Saint-Petersburg, Lan'. 2022. 204 p.
8. Popova V.P. Agroecological aspects of the formation of productive garden ecosystems: monograph. Krasnodar : SKZ-NIISiV Publishing House, 2005. 242 с.
9. Taskaeva A.G., Popov V.M. The use of electric energy in weed control // The state and development of herbology on the threshold of the XXI century. Golitsyno. 2000. P. 240–243.
10. Yudaev I., Brenina T. Electric impulse exterminates weeds // Rural mechanizer. 2006. № 8. P. 12–13.
11. Berestetsky A.O. Microbial toxins and development of environmentally safe means to control weeds // Mycotoxins in ecosystems of St. Petersburg and Leningrad Oblast. SPb, 2003. P. 54–59.
12. Solomakhin A.A. Application of herbicides on black currant // State and prospects of berrying development in Russia / All-Russian Research Institute of Breeding of Fruit Crops. Orel, 2006. P. 279–283.
13. Aliev Taimaskhan Hasan-Guseinovich. Agrobiological justification of herbicides application in fruit and berry plantations // Author's abstract of dissertation for the degree of doctor of agricultural sciences. Michurinsk – Naukograd. 2007. 47 с.
14. Zakharenko V.A. State and tasks of scientific support of herbology in the XXI century // State and development of herbology on the threshold of the XXI century. Golitsyno. 2000. P. 300–321.
15. Arkhipov Yu.A. Development of soil maintenance system in currant and gooseberry plantations in the Central Chernobyl region based on the use of herbicides // Ph. 2011. Michurinsk – Russian science city. 23 p.
16. Dolzhenko V.I. Methodological guidelines for registration trials of herbicides in agriculture. Russian Academy of Agricultural Sciences. All-Russian Research Institute of Plant Protection. SPb. 2013. 280 p.
17. List of Pesticides and Agrochemicals Permitted for Use in Russia 2020-2022. Reference edition. 636 p.

#### Сведения об авторах

С.В. Резвякова, д. с.-х. н., доцент, заведующая кафедрой защиты растений и экотоксикологии, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, <https://orcid.org/0000-0002-7681-4516>, тел.+79538145489, e-mail: lana8545@yandex.ru.

Д.С. Юдин, аспирант, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, тел. +79536257992.

Е.В. Митина, канд. с.-х. н., доцент кафедры защиты растений и экотоксикологии, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, тел. +79536205608.

О.П. Чернова, аспирант, Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», 302019, г. Орел, ул. Генерала Родина, 69, тел. 89192692029.

#### **Information about authors**

S.V. Rezyakova, Doctor of Agricultural Sciences Sc., Associate Professor, Head of the Department of Plant Protection and Ecotoxicology, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. Generala Rodin, 69, <https://orcid.org/0000-0002-7681-4516>, tel.+79538145489, e-mail: lana8545@yandex.ru

D.S. Yudin, postgraduate student, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. General Rodina, 69, tel. +79536257992.

E.V. Mitina, Ph.D. s.-x. in Economics, Associate Professor of the Department of Plant Protection and Ecotoxicology, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. General Rodina, 69, tel. +79536205608.

O.P. Chernova, postgraduate student, Federal Budgetary Educational Institution of Higher Education «Oryol State Agrarian University named after N.V. Parakhina», 302019, Orel, st. Generala Rodina, 69, tel. 89192692029.

УДК 631.432.2:633.11:631.559

С.И. Смуров, О.В. Григоров, С.Н. Зюба, П.В. Андреев, О.В. Гапиевко, С.Н. Ермолаев

## МОНИТОРИНГ ЗАПАСОВ ПОЧВЕННОЙ ВЛАГИ В ПОСЕВЕ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТЕХНОЛОГИЙ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ И ПРЕДШЕСТВЕННИКОВ И В ПРИЛЕГАЮЩИХ К СТАЦИОНАРАМ ЛЕСУ И ЛЕСОПОЛОСЕ

**Аннотация.** Целью исследований был мониторинг и анализ данных по содержанию продуктивной влаги в пахотном и метровом слоях почвы в посевах озимой пшеницы в зависимости от различных технологий возделывания. Исследования проводились в 2013-2020 годах на базе длительных стационарных опытов лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского государственного аграрного университета имени В.Я. Горина.

В работе показаны результаты наблюдений за влиянием ресурсосберегающих технологий, способов основной обработки почвы, приемов биологизации земледелия, севооборотов при разных уровнях минерального питания и предшественниках за запасами почвенной влаги в посевах озимой пшеницы, а также в прилегающих широколиственных листопадных лесу и полесной лесополосе в течение вегетации культуры. Также сделан анализ урожайности озимой пшеницы в зависимости от этих факторов.

На накопление продуктивной влаги в верхнем слое почвы в посевах озимой пшеницы значительное влияние оказывали предшественники, особенно если в предпосевной период складываются острозасушливые условия. Лучшая обеспеченность продуктивной почвенной влагой была по предшественникам чёрный и сидеральный пар и по многолетним травам одногодичного одноукосного использования. Меньше всего влаги содержалось после ярового ячменя и сои по технологии Mini-Till. Существенных различий по способам основной подготовки почвы не было.

Урожайность озимой пшеницы зависела как от технологии выращивания, так и от предшествующей культуры. При этом по ранобуряемым предшественникам практически всегда прослеживается прямая корреляция – сбор зерна получается выше там, где от посева до уборки запасы продуктивной влаги в почве были больше.

**Ключевые слова:** запасы почвенной влаги, озимая пшеница, ресурсосберегающие технологии, основная обработка почвы, слой почвы, предшественник, урожайность, лес, лесополоса.

## MONITORING OF SOIL MOISTURE RESERVES IN WINTER WHEAT SOWING DEPENDING ON CULTIVATION TECHNOLOGIES AND PRECURSORS AND IN THE FOREST AND FOREST BELT ADJACENT TO STATIONARY EXPERIMENTS

**Abstract.** The purpose of the research was to monitor and analyze data on the content of productive moisture in the arable and meter layers of soil in winter wheat crops, depending on various cultivation technologies. The research was carried out in 2013-2020 on the basis of long-term stationary experiments of the laboratory for the Study of agricultural Systems of the Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorin.

The paper shows the results of observations of the influence of resource-saving technologies, methods of basic tillage, methods of biologization of agriculture, crop rotation at different levels of mineral nutrition and precursors for soil moisture reserves in winter wheat crops, as well as in adjacent broad-leaved deciduous forests and protective forest belt during the growing season of the crop. The analysis of winter wheat yield depending on these factors is also made.

The accumulation of productive moisture in the upper layer of the soil in winter wheat sowing was significantly influenced by predecessors, especially if acute arid conditions develop during the pre-sowing period. The best provision of productive soil moisture was for the predecessors of black and green fallow and for perennial grasses of one-year single-use. The least moisture was contained after spring barley and soybeans using Mini-Till technology. There were no significant differences in the methods of basic soil preparation.

The yield of winter wheat depended on both the cultivation technology and the previous crop. At the same time, there is almost always a direct correlation with the harvested predecessors – grain harvest is higher where the reserves of productive moisture in the soil were greater from sowing to harvesting.

**Keywords:** soil moisture reserves, winter wheat, resource-saving technologies, basic tillage, soil layer, precursor, yield, forest, forest belt.

**Введение.** Юго-западная зона Центрально-Черноземного региона расположена в зоне неустойчивого увлажнения, поэтому дефицит влаги чаще всего является здесь одним из основных лимитирующих факторов формирования урожая. В связи с этим ценность агротехнических приемов должна определяться с учетом их влияния на накопление влаги в почве и рационального использования атмосферных осадков. Как указывал В.Р. Вильямс, именно запасами влаги в почве определяется уровень урожайности сельскохозяйственных культур [1].

Анализ литературных данных показывает, что единого мнения о влиянии способов обработки почвы на влагонакопление и сохранение влаги в ней нет. Одни ученые указывают на улучшение водного режима почвы при безотвальных обработках [2, 3], другие исследователи отмечают преимущества отвальной вспашки почвы в сравнении с бесплужными видами обработки [4].

Наличие и количество воды в почве имеет исключительное значение. Она является важным фактором жизни растений, одним из условий почвенного плодородия. Для нормального роста и развития растений необходим постоянный водообмен, который состоит из согласованных один с другим процессов поступления и отдачи воды растениям. Насыщающая клетки вода непрерывно испаряется в больших количествах. Эти потери воды на испарение (транспирацию) должны постоянно пополняться [5].

Озимая пшеница требовательная к влаге культура. Исследования показывают зависимость состояния зерновых культур от количества продуктивной влаги в почве в отдельные периоды вегетации. В период всходов влажность должна быть больше, чем в период созревания сельскохозяйственных культур. Вериге С.А., Разумова Л.А. и Носатовский А.И. установили, что в период формирования всходов (до кущения), когда только начинает развиваться листовая надземная масса, корневая система состоит из зародышевых корней, которые обычно проникают не глубже 20 см, поэтому состояние посевов



озимых культур всецело определяется содержанием продуктивной влаги в верхнем слое почвы [6, 7]. В монографии Пруцкова Ф.М. отмечено, что если запасы продуктивной влаги в пахотном горизонте менее 5 мм, то всходы озимой пшеницы совсем не появляются [9].

Оптимальные условия для всходов характеризуются запасами влаги в слое 0-20 см около 30 мм [6, 7]. Это обусловлено тем, что корни пшеницы не могут расти в почве, иссушенной до влажности завядания. Для нормального развития корневой системы озимой пшеницы важно, чтобы в почве не было физиологически сухих прослоек, которые препятствуют проникновению корней вглубь [5].

Необходимая для растений влага извлекается ими из почвы как в самой начальной стадии процесса набухания семян, так и во все последующие фазы их развития, достигая своего максимума для большинства растений хлебных злаков около времени их цветения. За время созревания, с засыханием листьев у растений, это потребление сводится к минимуму [10].

Урожайность озимой культуры статистически достоверно зависит от выпадения осенних осадков. Чем хуже предшественник, тем выше зависимость величины урожая от влагообеспеченности осеннего и летнего периодов [11, 16, 17].

Афендулов К.П. и Лантухова А.И. отмечают, что в разные годы из-за неодинаковых погодных условий, в частности неравномерности выпадения осадков (избыток или недостаток влаги), колебаний и среднего уровня температуры в течение вегетации, отклонение урожая от запланированных могут достигать 10% и даже 25%, как в сторону увеличения, так и в сторону уменьшения. Причем, чем выше уровень агротехники, тем меньше эти отклонения [12].

В условиях высокого увлажнения растения развивают большую вегетативную массу и требуют большего количества питательных веществ, кроме того, происходит вымывание азота в более глубокие горизонты почвы. В то же время вегетационный период и периоды формирования и налива зерна при высоком увлажнении затягиваются, что влечёт за собой снижение содержания белка [13].

**Цель исследований.** Целью нашего исследования был мониторинг и анализ содержания продуктивной влаги в пахотном и метровом слоях почвы в посевах озимой пшеницы в зависимости от технологий возделывания.

**Материалы и методы исследования.** Полевые опыты проводились в 2013-2020 годах на стационарах лаборатории по изучению систем земледелия ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в юго-западной части Центрально-Черноземного региона. Почва опытных полей – чернозем типичный, среднетяжелый, тяжелосуглинистый на лессовидном суглинке.

Места отбора проб:

1. В посевах озимой пшеницы, выращиваемой по технологии No-Till.
2. В посевах озимой пшеницы, выращиваемой по технологии с минимальным рыхлением почвы (Mini-Till).
3. В посевах озимой пшеницы, выращиваемой на фоне последствий трех основных обработок почвы под предшественник – вспашки, мелкой и глубокой безотвальной;
4. В посевах озимой пшеницы, выращиваемой по сидеральному пару из культур семейства Капустные (горчица белая, редька масличная).
5. В посевах озимой пшеницы, выращиваемой по четырем предшественникам: многолетним травам однолетнего одноукосного использования, гороху на зерно, яровому ячменю на зерно и черному пару.
6. В широколиственном листопадном лесу.
7. В полевых полосах из широколиственных древесных и кустарниковых насаждений.

Образцы почвы отбирались почвенным буром АМ-16 до глубины 100 см через каждые 10 см в следующие периоды – во время сева озимой пшеницы; во время окончания осенней вегетации озимой пшеницы; во время возобновления весенней вегетации озимой пшеницы; в фазу наступления молочно-восковой спелости озимой пшеницы; во время уборки озимой пшеницы.

Влажность почвы определялась термостатно-весовым методом.

Метеорологические условия в годы исследований отличались от среднемноголетних и по количеству осадков, и по температурному режиму (табл. 1).

**Таблица 1 – Метеорологические условия в годы исследований**

Период вегетации, год	Среднесуточная температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
	Средняя многолетняя	Факт	Отклонение от средней многолетней	Средняя многолетняя	Факт	Отклонение от средней многолетней, %
2013-2014	12,4	13,3	+0,9	352	370	105
2014-2015	12,2	13,7	+1,5	314	248	79
2015-2016	10,2	12,9	+2,7	376	357	95
2016-2017	11,8	12,8	+1,0	328	246	75
2017-2018	13,1	16,1	+3,0	354	439	124
2018-2019	13,2	14,8	+1,6	455	355	78
2019-2020	10,8	13,5	+2,7	341	273	80

Отмечались как засушливые периоды (август-сентябрь в 2014 г., в 2015 г., в 2017 г., в 2018 г., в 2019 г. и в 2020 г.), так и периоды с избыточным увлажнением (июнь 2014 г., июль-август 2016 г., июль 2018 г., конец сентября – начало октября 2019 г., май 2020 г.). Были годы с сильным зимним промерзанием почвы (2013-2014 гг., 2016-2017 гг.) и зимы с частыми оттепелями (2014-2015 гг., 2015-2016 гг., 2017-2018 гг., 2019-2020 гг.). В целом, вегетация озимой пшеницы проходила в контрастных погодных условиях, характерных для Белгородской области Российской Федерации.

**Результаты и обсуждение.** В среднем за восемь лет исследований в период посева озимой пшеницы после сои по технологии No-Till в слое 0-30 см накапливалось влаги на 7 мм больше, чем по технологии Mini-Till. Соответственно указанным технологиям запасы продуктивной влаги составляли 23 мм и 16 мм (табл. 2).

**Таблица 2 – Запасы продуктивной влаги в почве по фазам развития озимой пшеницы в среднем за 2013-2020 гг., мм**

Место отбора проб	Обработка почвы	Предшественники	Фазы развития озимой пшеницы и слой почвы, см									
			Посев		Уход в зиму		Возобновление весенней вегетации		Молочно-восковая спелость		Уборка	
			0-30	0-100	0-30	0-100	0-30	0-100	0-30	0-100	0-30	0-100
Стационар по изучению мелкой и нулевой обработки почвы	No-Till	Соя	23	78	45	133	59	201	21	72	35	92
	Mini-Till		16	67	40	129	57	200	19	58	32	88
Стационар по изучению отвальной и безотвальных способов основной подготовки почвы*	Вспашка**	Горох на зерно	27	97	46	152	55	198	27	74	37	100
	Культивация**		28	106	45	154	56	199	22	68	35	96
	Чизелевание**		29	103	45	153	54	199	25	72	36	98
Стационар по изучению приемов биологизации земледелия	Mini-Till	Сидеральный пар	25	105	37	135	53	177	25	67	35	92
Стационар по изучению севооборотов на различных фонах минерального питания	Mini-Till	Многолетние травы	23	95	41	136	55	196	20	62	33	82
		Горох на зерно	21	88	37	125	53	188	20	61	34	89
		Яровой ячмень	22	82	37	125	54	192	18	59	31	81
		Чёрный пар	29	131	43	158	55	190	23	64	34	87
Лес			20	53	44	102	78	220	41	103	40	92
Лесополоса			17	54	46	99	74	196	27	75	28	79

\* – под озимую пшеницу использовалась мелкая обработка почвы

\*\* – обработка проводилась под предшественник

Во время сева озимых в стационаре по изучению отвальной и безотвальных способов основной подготовки почвы по гороху на зерно большее количество продуктивной влаги в слое 0-30 см, 29 мм, содержалось при глубоком безотвальном рыхлении чизелем под предшественник, при этом по мелкой безотвальной обработке под него воды было меньше только на 1 мм, а по вспашке на 2 мм.

По предшественнику сидеральный пар в стационаре по изучению приемов биологизации земледелия количество накопленной доступной влаги при посеве озимой пшеницы равнялось 25 мм, а в стационарном опыте по изучению севооборотов её наибольшие запасы были по чёрному пару 29 мм, по предшественнику многолетние травы они составляли 23 мм, а по гороху на зерно и яровому ячменю соответственно 21 мм и 22 мм.

В метровом слое почвы по ранее описанным вариантам выращивания озимой пшеницы количество продуктивной влаги было в пределах 67-131 мм, при этом в разрезе предшественников наименьшее её количество было после сои, 67 мм по Mini-Till и 78 мм по No-Till, а самое высокое после черного пара 131 мм. В прилегающих к опытным полям листопадном лесу и лесополосе запасы доступной растениям влаги в слое 0-30 см составляли соответственно 20 мм и 17 мм, а в слое 0-100 см 53 мм и 54 мм. В целом, запасы влаги по грациям, используемым в агрометеорологии [14, 15], можно охарактеризовать как хорошие.

Перед уходом в зиму разница между ресурсосберегающими технологиями по количеству продуктивной влаги составляла 4-5 мм в пользу No-Till, где в учитываемых слоях почвы накапливалось 45 мм и 133 мм влаги, в то время как по минимальной обработке, Mini-Till, её было соответственно 40 мм и 129 мм. После гороха на зерно в опыте с изучением последствий способов основной подготовки почвы под предшественник содержание доступной влаги по вариантам было практически одинаковым и составляло в верхнем слое 45-46 мм, а в метровом 152-154 мм.

По сидеральному пару во время прекращения вегетации озимых количество продуктивной влаги в почве по слоям было 37 мм и 135 мм. В опыте с предшественниками доступной растениям озимой пшеницы воды по гороху на зерно и яровому ячменю было меньше, чем по многолетним травам и черному пару как в слое 0-30 см, так и в метровом, и они составляли соответственно слоям почвы 37 мм и 125 мм. Несколько больше влаги было после многолетних трав, 41 мм в слое до 30 см и 136 мм в слое глубиной до одного метра, а самый большой запас продуктивной влаги среди предшественников озимой пшеницы накапливался по черному пару, 43 мм и 158 мм в соответствии со слоями отбора проб почвы.

В лесу и лесополосе в это время количество эффективной влаги в верхнем слое почвы по сравнению со стационарами было на уровне лучших вариантов и составляло 44-46 мм, а вот в метровом слое было самым низким из всех наблюдаемых объектов 99-102 мм.

Во время весеннего возобновления вегетации озимой пшеницы степень увлажнения метрового слоя почвы по всем опытным участкам была оптимальной, а запасы продуктивной влаги в это время характеризовались как хорошие. Они колебались от 177 мм в стационаре по изучению приемов биологизации земледелия на варианте с сидеральным паром, до 201 мм по технологии No-Till в стационаре по изучению мелкой и нулевой обработки почвы. Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-30 см также были высокими и находились в пределах от 53 мм до 59 мм в зависимости от стационарных опытов.

В связи с тем, что в лесу и лесной полосе зимние осадки в виде снега лучше накапливаются и сохраняются дольше, так как среди деревьев они менее подвержены таянию во время зимних оттепелей, чем в поле, то весной в них по сравнению с участками, где выращивалась озимая пшеница, были самые высокие запасы влаги в почве, 74-78 мм в тридцатисантимет-

ровом слое, а в метровом слое они составляли 220 мм в лесу и 196 мм в лесополосе, что соответствовало наименьшей полевой влагоёмкости.

В фазу молочно-восковой спелости культуры использование технологии No-Till позволило сохранить 21 мм продуктивной влаги в тридцатисантиметровом слое и 72 мм в метровом, в то время как при минимальной технологии обработки почвы её запасы со времени весеннего возобновления вегетации культуры снизились соответственно слоям до 19 мм и 58 мм. Среди способов основной подготовки почвы под предшественник озимой пшеницы горох на зерно наиболее высокие запасы влаги в метровом слое наблюдались при последней вспашке 74 мм, а наименьшие – после мелкой обработки 68 мм. В стационаре с различными предшественниками озимой пшеницы количество продуктивной влаги в слое глубиной до одного метра по черному пару составляло 64 мм, по гороху на зерно и многолетним травам соответственно 61 мм и 62 мм, а по яровому ячменю 59 мм. Сидеральный пар, как предшественник озимой пшеницы, позволил сохранить к этому сроку учета 67 мм воды. В зависимости от места учета запасы продуктивной влаги в слое почвы 0-30 см варьировали в пределах от 18 мм до 25 мм, и изменялись в такой же зависимости, как и в метровом слое. В лесу запасы влаги находились на уровне 41 мм в слое 0-30 см и 103 мм в слое 0-100 см, а в лесополосе их было намного меньше, соответственно 27 мм и 75 мм. В целом, запасы продуктивной влаги в метровом слое по всем технологиям и стационарам находились в пределах от 58 мм до 72 мм и для рассматриваемой фазы развития культуры их можно охарактеризовать как удовлетворительные.

К уборке количество продуктивной влаги в почве, в связи со снижением её потребления культурой, увеличивалось. Так, по ресурсосберегающим технологиям No-Till и Mini-Till запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы поднялись до 92 мм и 88 мм соответственно. После гороха на зерно большее количество влаги, 100 мм, было на варианте со вспашкой под него, а после чизелевания оно равнялось 98 мм.

По предшественникам озимой пшеницы лучшие запасы продуктивной влаги в почве в слое глубиной один метр были после сидерального пара и составляли 92 мм. Несколько меньшее количество, но близкое к описанному варианту, наблюдались по гороху на зерно и черному пару, здесь величины были соответственно 89 мм и 87 мм. Меньше всего запасов почвенной влаги сохранилось после ярового ячменя, 81 мм. Почти такими же они были по многолетним травам, 82 мм. В лесу количество влаги равнялось 40 мм в слое 0-30 см и 92 мм в слое 0-100 см, а в лесопосадке наблюдались самые низкие запасы влаги в опыте – в верхнем слое они составляли 28 мм, а в метровом 79 мм.

Практически ежегодно под древесными насаждениями в лесополосе в периоды уборки и сева озимой пшеницы накапливалось значительно меньше влаги, чем на опытных полях, при этом в лесу количество влаги во время наблюдений было больше, чем в лесополосе.

Следует отметить, что в фазы весеннего возобновления вегетации озимой пшеницы, молочно-восковой спелости её зерна и во время уборки, в лесу, как в метровом, так и тридцатисантиметровом слоях почвы, запасы почвенной влаги превосходили их количество на полях стационаров. Особенно большие различия отмечались в верхнем слое. Так весной во время возобновления вегетации культуры разница составляла 23 мм или 41,8%, летом во время молочно-восковой спелости зерна она равнялась 19 мм или 86,4%, а в период уборки находилась на уровне 6 мм или 17,6%. В метровом слое наиболее значимые превышения были в фазу молочно-восковой спелости культуры (табл. 3).

**Таблица 3 – Отклонения запасов продуктивной влаги в лесу от их среднего количества в стационарах**

Место отбора проб	Единицы измерений	Фазы развития озимой пшеницы и слой почвы, см					
		Возобновление весенней вегетации		Молочно-восковая спелость		Уборка	
		0-30	0-100	0-30	0-100	0-30	0-100
В стационарах	мм	55	194	22	66	34	91
Лес	мм	78	220	41	103	40	92
Разница в пользу леса	мм	+23	+26	+19	+37	+6	+1
	%	+41,8	+13,4	+86,4	+56,1	+17,6	+1,1

Результаты учетов урожая озимой пшеницы показали зависимость зерновой продуктивности культуры от вариантов обработки почвы и предшественников и, соответственно, от накопления и сохранения запасов продуктивной влаги в зависимости от них (таблицы 4 и 2).

Наибольшие сборы зерна в среднем за годы проведения исследований были получены в стационаре по изучению отвальной и безотвальных способов основной подготовки почвы (таблица 4). Здесь урожайность озимой пшеницы сорта Майская юбилейная составляла 6,91-6,93 т/га. В этом стационаре относительно других, как показал проведенный мониторинг запасов продуктивной влаги, в течение всего периода вегетации культуры, от посева и до уборки, наблюдалась практически самая высокая обеспеченность озимых почвенной влагой.

**Таблица 4 – Урожайность озимой пшеницы сорта Майская юбилейная в годы исследований, т/га**

Стационарный опыт	Обработка почвы	Предшественник	Период выращивания, год							
			2013-2014	2014-2015	2015-2016	2016-2017	2017-2018	2018-2019	2019-2020	Среднее
Стационар по изучению мелкой и нулевой обработки почвы	No-Till	Соя	5,90	5,72	6,31	7,68	6,62	5,57	7,27	5,99
	Mini-Till		6,15	5,99	5,76	7,84	6,40	5,71	7,79	6,09

Стационар по изучению отвальной и безотвальных способов основной подготовки почвы*	Вспашка**	Горох на зерно	7,02	6,02	5,74	9,09	6,85	6,55	8,19	6,93
	Культивация**		7,58	5,91	5,51	9,07	6,54	6,32	7,97	6,91
	Чизелевание**		7,45	6,08	5,49	9,20	6,51	6,46	8,24	6,93
Стационар по изучению приемов биологизации земледелия	Mini-Till	Сидеральный пар	7,15	6,70	4,19	7,36	6,99	6,79	8,18	6,77
Стационар по изучению севооборотов на различных фонах минерального питания	Mini-Till	Многолетние травы	6,10	5,52	3,80	8,49	6,61	6,26	7,95	6,39
		Горох на зерно	6,20	6,31	5,40	8,90	6,03	6,15	7,43	6,63
		Яровой ячмень	6,51	5,28	4,06	7,57	5,79	5,46	6,99	5,95
		Чёрный пар	6,15	6,51	5,49	8,55	7,88	5,85	7,51	6,85
В среднем			6,62	6,00	5,18	8,38	6,62	6,11	7,75	6,67

\* – под озимую пшеницу использовалась мелкая обработка почвы

\*\* – обработка проводилась под предшественник

Аналогичные запасы продуктивной влаги были только по черному пару в стационаре по изучению севооборотов (табл. 2). Поэтому здесь в среднем за все годы ведения опыта был получен и близкий по величине сбор зерна с единицы площади 6,85 т/га, что было на 0,06-0,08 т/га меньше лучших показателей.

**Выводы.** Мониторинг запасов продуктивной влаги, проведенный с 2013 года по 2020 год включительно, показал, что при посеве озимой пшеницы после сои их было больше при использовании приемов и методов системы No-Till, чем при технологии с мелким рыхлением почвы.

На накопление продуктивной влаги в верхнем слое почвы в период посева озимых культур значительное влияние оказывают их предшественники, особенно если в предпосевной период складываются острозасушливые условия. При этом определяющим является срок уборки предшествующей культуры – чем раньше освобождается поле от неё, тем выше получаются запасы доступной влаги. В данном опыте такой культурой являлись многолетние травы одногодичного одноукосного использования.

Ко времени ухода озимой пшеницы в зиму разница между вариантами по запасам влаги несколько уменьшается, особенно в слое 0-30 см. В метровом слое почвы тенденция по влагонакоплению остается такой же, как и при предыдущем определении.

Запасы продуктивной влаги на время возобновления весенней вегетации по всем вариантам опыта были близки к наименьшей полевой влагоёмкости. В фазу молочно-восковой спелости озимой пшеницы и к моменту её уборки влияние, как технологий возделывания, так и предшественников на запасы влаги значительно уменьшалось.

В среднем по срокам отбора при использовании технологии No-Till, запасы продуктивной влаги относительно мелкой обработки почвы были выше на 12,1% в тридцатисантиметровом и на 6,5% в метровом слоях. В опыте с изучением последствий способов основной подготовки почвы под предшественник на содержание доступной влаги под озимой пшеницей во все сроки определения её количество по вариантам было практически одинаковым. Среди предшественников лучшие запасы продуктивной влаги в почве в поле озимых были после чёрного и сидерального пара, а также многолетних трав одногодичного одноукосного использования. Меньше всего влаги содержалось после ярового ячменя и сои по технологии Mini-Till.

Урожайность озимой пшеницы зависела как от технологии выращивания, так и от предшествующей культуры, при этом по ранобураемым предшественникам практически всегда прослеживается прямая корреляция – сбор зерна получается выше там, где от посева до уборки запасы продуктивной влаги в почве больше.

### Библиография

1. Вильямс, В.Р. Земледелие с основами почвоведения / В.Р. Вильямс. – М. : Гос. изд. с.-х. литературы, 1949. – 568 с.
2. Сановский, В.И. Чизельная обработка почвы и урожай / В.И. Сановский. – Минск : Урожай, 1989. – 40 с.
3. Шикун, Н.К. Ответ оппонентам бесплужного земледелия / Н.К. Шикун // Земледелие. – 1989. – № 11. – С. 11–17.
4. Яровенко, В.В. Ресурсосберегающая технология / В.В. Яровенко, Н.Г. Осенний, П.К. Терещенко // Земледелие. – 1990. – № 3. – С. 55–57.
5. Грингольф, И.Г. Основы сельскохозяйственной метеорологии. Том 1. Потребность сельскохозяйственных культур в агрометеорологических условиях и опасные для сельскохозяйственного производства погодные условия / И.Г. Грингольф, А.Д. Клещенко. – Обнинск : ФГБУ «ВНИИГМИ-МИД», 2011. – 808 с.
6. Вериги, С.А. Почвенная влага и ее значение в сельскохозяйственном производстве / С.А. Вериги, Л.А. Разумова. – Л. : Гидрометеиздат, 1963. – 289 с.
7. Вериги, С.А. Почвенная влага. Применительно к запросам сельского хозяйства / С.А. Вериги, Л.А. Разумова. – Л. : Гидрометеиздат, 1973. – 328 с.
8. Носатовский, А.И. Пшеница (Биология) / А.И. Носатовский. – М. : Колос, 1973. – 208 с.
9. Пруцков, Ф.М. Озимая пшеница. Изд. 2-е, перераб. и доп. / Ф.М. Пруцков. – М. : «Колос», 1976. – 350 с.
10. Тулайков, Н.М. Рационально использовать землю: избр. статьи / Н.М. Тулайков. – Куйбышев : Кн. изд-во, 1963. – 104 с.
11. Хрипунов, А.И. Агроклиматические факторы и урожайность озимой пшеницы в Ставропольском крае / А.И. Хрипунов, Е.Н. Общая, Н.С. Лебедева, С.А. Лиходиевская // Бюллетень СНИИСХ. – 2017. – № 9. – С. 224–230.
12. Афендулов, К.П. Удобрения под планируемый урожай / К.П. Афендулов, А.И. Лантухова. – М. : Колос. – 1973. – 240 с.

13. Павлов, А.Н. Результаты исследований физиологических основ минерального питания растений // Физиологические основы действия удобрений на урожай зерна и его качество / Труды ВИУА/ВАСХНИЛ / А.Н. Павлов. – М. : ВАСХНИЛ. – 1990. – С. 3–21.

14. Лосев, А.П. Агрометеорология : учебник для студентов высших учебных заведений по специальностям 110100 (Агрохимия и агропочвоведение), 110200 (Агрономия) / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. – Санкт-Петербург : Общество с ограниченной ответственностью «Квадро», 2012. – 368 с.

15. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы / Е.С. Уланова. – Л. : Гидрометеониздат, 1975. – 302 с.

16. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур (на примере Белгородской области) [Текст] / А.В. Турьянский, В.И. Мельников, Л.А. Селезнева, Н.Р. Асыка, В.Ф. Ужик и др. – Белгород : Изд. Константа, 2014. – 462 с.

17. Павлов М.И. Оценка адаптивных и продуктивных характеристик перспективных линий озимой мягкой пшеницы [Текст] / М.И. Павлов, И.В. Оразасва, А.А. Муравьев // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 43–48.

#### References

1. Vil'yams, V.R. Zemledelie s osnovami pochvovedeniya [Agriculture with the basics of soil science] / V.R. Vil'yams. – М. : Gos. izd. s.-h. literatury, 1949. – 568 s.

2. Sanovskij, V.I. Chizel'naya obrabotka pochvy i urozhaj [Chisel tillage and yield] / V.I. Sanovskij. – Minsk : Urozhaj, 1989. – 40 s.

3. Shikula, N.K. Otvet opponentam bespluzhnogo zemledeliya [The answer to the opponents of ploughless agriculture] / N.K. SHikula // Zemledelie. – 1989. – № 11. – С. 11–17.

4. Yarovenko, V.V. Resursoberegayushchaya tekhnologiya [Resource-saving agricultural technology] / V.V. Yarovenko, N.G. Osennij, P.K. Tereshchenko // Zemledelie. – 1990. – № 3. – С. 55–57.

5. Gringol'f, I.G. Osnovy sel'skohozyajstvennoj meteorologii. Tom 1. Potrebnost' sel'skohozyajstvennykh kul'tur v agrometeorologicheskikh usloviyakh i opasnye dlya sel'skohozyajstvennogo proizvodstva pogodnye usloviya [Fundamentals of agricultural meteorology. Volume 1. The need of agricultural crops in agrometeorological conditions and dangerous weather conditions for agricultural production] / I.G. Gringol'f, A.D. Kleshchenko. – Obninsk : FGBU «VNIIGMI-MID», 2011. – 808 s.

6. Verigo, S.A. Pochvennaya vlaga i ee znachenie v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Soil moisture and its importance in agricultural production] / S.A. Verigo, L.A. Razumova. – L. : Gidrometeoizdat, 1963. – 289 s.

7. Verigo, S.A. Pochvennaya vlaga. Primenitel'no k zaprosam sel'skogo hozyajstva [Soil moisture. In relation to the needs of agriculture] / S.A. Verigo, L.A. Razumova. – L. : Gidrometeoizdat, 1973. – 328 s.

8. Nosatovskij, A.I. Pshenica (Biologiya) [Wheat (Biology)] / A.I. Nosatovskij. – М. : Kolos, 1973. – 208 s.

9. Pruckov, F.M. Ozimaya pshenica. Izd. 2-e, pererab. i dop [Winter wheat. 2nd edition, reprint. and add.] / F.M. Pruckov. – М. : «Kolos», 1976. – 350 s.

10. Tulajkov, N.M. Racional'no ispol'zovat' zemlyu: izbr. stat'i [Rational use of land: chosen articles] / N.M. Tulajkov. – Kujbyshev : Kn. izd-vo, 1963. – 104 s.

11. Hripunov, A.I. Agroklimaticheskie faktory i urozhajnost' ozimoy pshenicy v Stavropol'skom krae [Agro-climatic factors and yield of winter wheat in the Stavropol Territory] / A.I. Hripunov, E.N. Obshchiya, N.S. Lebedeva, S.A. Lihodievskaya // Byulleten' SNIISKH. – 2017. – № 9. – С. 224–230.

12. Afendulov, K.P. Udobreniya pod planiruemyj urozhaj [Fertilizers for the planned yield] / K.P. Afendulov, A.I. Lantuhova. – М. : Kolos. – 1973. – 240 s.

13. Pavlov, A.N. Rezul'taty issledovaniy fiziologicheskikh osnov mineral'nogo pitaniya rastenij [Results of research on the physiological basis of mineral nutrition of plants] // Fiziologicheskije osnovy dejstviya udobrenij na urozhaj zerna i ego kachestvo / Trudy VIUA/VASKHNIL / A.N. Pavlov. – М. : VASKHNIL. – 1990. – С. 3–21.

14. Losev, A.P. Агрометеорология : учебник для студентов высших учебных заведений по специальностям 110100 (Агрохимия и агропочвоведение), 110200 (Агрономия) [Агрометеорология : textbook for students of higher educational institutions in the specialties 110100 (Агрохимия и агропочвоведение), 110200 (Агрономия)] / А.П. Лосев, Л.Л. Журина. – Санкт-Петербург : Общество с ограниченной ответственностью «Квадро», 2012. – 368 с.

15. Уланова Е.С. Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы [Агрометеорологические условия и урожайность озимой пшеницы] / Е.С. Уланова. – Л. : Гидрометеоиздат, 1975. – 302 с.

16. Organizational and technological standards for the cultivation of agricultural crops (on the example of the Belgorod region) [Text] / A.V. Turyansky, V.I. Melnikov, L.A. Selezneva, N.R. Asyka, V.F. Uzhik and others. – Belgorod : Ed. Constant, 2014. – 462 p.

17. Pavlov M.I. Evaluation of adaptive and productive characteristics of promising lines of winter soft wheat [Text] / M.I. Pavlov, I.V. Orazayeva, A.A. Muravyov // Successes of modern natural sciences. – 2018. – № 1. – P. 43–48.

#### Сведения об авторах

Смуров Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Григорьев Олег Владимирович, ведущий специалист лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Зюба Светлана Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Андреев Павел Владимирович, агроном лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Гапченко Олег Владимирович, старший специалист лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Ермолаев Семён Николаевич, агроном лаборатории по изучению систем земледелия, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

**Information about authors**

Smurov Sergey I., Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Laboratory for the Study of farming systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Grigorenko Oleg V., Leading specialist of the Laboratory for the Study of farming systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Zyuba Svetlana N., Candidate of Agricultural Sciences, Junior Researcher of the Laboratory for the Study of farming systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Andreev Pavel V., agronomist of the Laboratory for the Study of farming systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Gapienko Oleg V., senior specialist of the Laboratory for the Study of farming systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Ermolaev Semyon N., agronomist of the Laboratory for the Study of farming systems, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

## Руководство для авторов

В журнале публикуются результаты открытых научных исследований в области сельскохозяйственной науки и техники, материалы о результатах инновационных разработок и проектов предприятий и фирм различных форм собственности, изобретениях; материалы конференций, выставок, конкурсов.

Содержание статей рецензируется (в соответствии с профилем журнала) на предмет актуальности темы, четкости и логичности изложения, научно-практической значимости рассматриваемой проблемы и новизны предлагаемых авторских решений.

Общий объем публикации определяется количеством печатных знаков с пробелами. Рекомендуемый диапазон значений составляет от 12 тыс. до 40 тыс. печатных знаков с пробелами (0,3-1,0 печатного листа). Материалы, объем которых превышает 40 тыс. знаков, могут быть приняты к публикации после предварительного согласования с редакцией. При невозможности размещения таких материалов в рамках одной статьи, они могут публиковаться (с согласия автора) по частям, в каждом последующем (очередном) номере журнала.

Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, кеглем (размером) – 12 пт, для оформления названий таблиц, рисунков, диаграмм, структурных схем и других иллюстраций: Times New Roman, обычный, кегль 10 пт; для примечаний и сносок: Times New Roman, обычный, кегль 10 пт. Для оформления библиографии, сведений об авторах, аннотаций и ключевых слов используется кегль 10 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля сверху и снизу, справа и слева – 2 см, абзац – 1,25 см, формат – книжный. Разделять текст на колонки не следует. Если статья была или будет отпрямлена в другое издание, необходимо сообщить об этом редакции.

При подготовке материалов не допускается использовать средства автоматизации документов (колонтитулы, автоматически заполняемые формы и поля, даты), которые могут повлиять на изменение форматов данных и исходных значений.

### Оформление статьи

Слева в верхнем углу с абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского института научной и технической информации – ВИНИТИ либо в сотрудничестве с библиографом учредителя журнала по тел. +7 4722 39-27-05).

Ниже, через пробел, слева с абзаца – инициалы и фамилии автора(ов), полужирным курсивом. Далее, через пробел, по центру строки – название статьи (должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом заглавными буквами.

Затем с красной строки приводится аннотация, оформленная в соответствии с требованиями, предъявляемыми к рефератам и аннотациям ГОСТ 7.9-95, ГОСТ 7.5-98, ГОСТ Р 7.0.4-2006, объемом 200-250 слов (не более 2000 знаков), с нового абзаца – ключевые слова.

Далее необходимо разместить на английском языке: название статьи, аннотацию (Abstract), ключевые слова (Keywords).

После этого через пробел – текст статьи, библиография (библиографическое описание приводится в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка») и ее вариант на английском языке (References). При составлении описаний на английском языке рекомендуется использовать международный стандарт Harvard, с учетом того, что фамилии и инициалы авторов русскоязычных источников, название статьи транслитерируются (согласно правилам Системы Библиотеки Конгресса США – LC), затем в квадратных скобках приводится перевод названия публикации, далее – ее выходные данные (на английском языке либо в транслитерации, без сокращений и аббревиатур).

Далее размещаются сведения об авторах, которые включают фамилию, имя и отчество, ученую степень, ученое звание (при наличии), занимаемую должность или профессию, место работы (учебы) – полное наименование учреждения или организации, включая структурное подразделение (кафедра, факультет, отдел, управление, департамент и пр.), и его полный почтовый адрес, контактную информацию – телефон и(или) адрес электронной почты, а также другие данные по усмотрению автора, которые будут использованы для размещения в статье журнала и на информационном сайте издательства. В коллективных работах (статьях, обзорах, исследованиях) сведения авторов приводятся в принятой ими последовательности. Затем следует англоязычный вариант информации об авторах (Information about authors).

Основной текст публикуемого материала (статьи) приводится на русском или английском языках. Текст публикуемой работы должен содержать введение, основную часть и заключение. Объем каждой из частей определяется автором. Вводная часть служит для обоснования автором цели выбранной темы, актуальности. Затем необходимо подробно изложить суть проблемы, провести анализ, обосновать выбранное решение, отразить, а также привести достаточные основания и доказательства, подтверждающие их достоверность. В заключительной части автор формулирует обобщенные выводы, основные рекомендации или предложения; прогнозы и (или) перспективы, возможности и области их использования. Для выделения наиболее важных понятий, выводов допускается полужирный шрифт и курсив. Не допускается применять подчеркивание основного текста, ссылок и примечаний, а также выделение его (окраска, затенение, подсветка) цветным маркером.

Авторский текст может сопровождаться монохромными рисунками, таблицами, схемами, фотографиями, графиками, диаграммами и другими наглядными объектами. В этом случае в тексте приводятся соответствующие ссылки на иллюстрации. Подписи к рисункам и заголовки таблиц обязательны.

Иллюстрации в виде схем, диаграмм, графиков, фотографий и иных (кроме таблиц) изображений считаются рисунками. Подпись к рисунку располагается под ним посередине строки. Например: «Рис. 1 – Получение гибридных клеток».

При подготовке таблиц разрешается только книжная ориентация таблицы. Подпись таблицы располагается над ней, по центру. Например: «Таблица 3 – Стандарт породы по живой массе племенных телок».

Иллюстрации, используемые в тексте, дополнительно предоставляются в редакцию в виде отдельных файлов хорошего качества, формата TIFF (с разрешением 300 dpi) или EPS, все шрифты должны быть переведены в кривые. Исключение составляют графики, схемы и диаграммы, выполненные непосредственно в программе Word, в которой предоставляется текстовый файл, или Excel. Их дополнительно предоставлять в виде отдельных файлов не требуется.

Математические формулы следует набирать в формульном редакторе Microsoft Equation или Microsoft MathType. Формулы, набранные в других редакторах, а также выполненные в виде рисунков, не принимаются. Все обозначения величин в формулах и таблицах должны быть раскрыты в тексте.

При цитировании или использовании каких-либо положений из других работ даются ссылки на автора и источник, из которого заимствуется материал в виде отсылок, заключенных в квадратные скобки [1]. Все ссылки должны быть сведены

автором в общий список (библиография), оформленный в виде затекстовых библиографических ссылок в конце статьи, где приводится полный перечень использованных источников. Использовать в статьях внутритекстовые и подстрочные библиографические ссылки не допускается.

#### **Порядок представления материалов**

Авторы предоставляют в редакцию (ответственным секретарям соответствующих тематических разделов) следующие материалы:

- статью в печатном виде, без рукописных вставок, на одной стороне стандартного листа, подписанную на последнем листе всеми авторами,
- статью в электронном виде, каждая статья должна быть в отдельном файле, в имени файла указывается фамилия первого автора,
- сведения об авторах (в печатном и электронном виде) – анкету автора,
- рецензию на статью, подписанную (доктором наук) и заверенную печатью,
- аспиранты предоставляют справку, подтверждающую место учебы.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию предоставленная автором рукопись статьи рецензируется согласно установленному порядку рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлегией в целом. Автору не принятой к публикации рукописи редколлегия направляет мотивированный отказ.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Адреса электронной почты ответственных секретарей тематических разделов приведены ниже.

#### **Тематический раздел «Агроинженерия и энергоэффективность»:**

**Пастухов** Александр Геннадиевич, д. т. н., профессор – ответственный редактор,  
**Колесников** Александр Станиславович, к. т. н., доцент – ответственный секретарь,  
e-mail: a.c.kolesnikov@mail.ru  
тел. +7 908 783-88-92.

#### **Тематический раздел «Инновационные технологии в агрономии»:**

**Азаров** Владимир Борисович, д. с.-х. н., профессор – ответственный редактор,  
**Муравьев** Александр Александрович, к. с.-х. н., доцент – ответственный секретарь,  
e-mail: Aleksandr16\_1988@mail.ru  
тел. +7 951 142-75-77.

#### **Тематический раздел «Инновационная экономика, управление предприятиями АПК и социальное развитие села»:**

**Наседкина** Татьяна Ивановна, д. э. н., профессор – ответственный редактор,  
**Демешева** Ирина Алексеевна, к. э. н., доцент – ответственный секретарь,  
e-mail: demesheva\_ia@bsaa.edu.ru  
тел. +7 920 208-73-49.



**Пример оформления статьи**

УДК 633.11(470.325)

**В.В. Смирнова, Н.А. Сидельникова, И.В. Кулишова**

**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

**Аннотация.** Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации  
Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации (не менее 250 слов, 2000 знаков).

**Ключевые слова:** ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова (не менее 5)

**FORMATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN OF THE WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION**

**Abstract.** Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation  
Text annotation Text annotation.

**Keywords:** keywords, keywords, keywords, keywords, keywords.

Далее излагается текст научной статьи.....  
(текст).....  
(текст).....  
(текст).....

**Таблица 1 – Урожайность зерна сортов озимой пшеницы, т/га ( 2016-2017 г.г.)**


**Библиография**

Приводится список использованных литературных и других источников на русском

**References**

и на английском языках.

**Сведения об авторах**

Смирнова Виктория Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул.Вавилова, д.1, п.Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-14-26, e-mail: svic.belgorod@mail.ru

Сидельникова Наталья Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул.Вавилова, д.1, п.Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-14-26

Кулишова Ирина Владимировна, аспирант второго года обучения кафедры земледелия, агрохимии и экологии, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

**Information about authors**

Smirnova Victoria Viktorovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26, e-mail: svic.belgorod@mail.ru

Sidelnikova Natalya Anatolyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26

Kulishova Irina Vladimirovna, graduate student of the second year of training of department of agriculture, agrochemistry and ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia.

### Guidelines for authors

Results of open scientific researches in the field of agricultural science and equipment, materials about results of innovative development and projects of the enterprises and firms of various forms of ownership, inventions, materials of conferences, exhibitions and competitions are published in the Journal.

The contents of articles are reviewed (according to Journal's content) for topic relevance, clearness and statement logicity, the scientific and practical importance of the considered problem and novelty of the proposed author's solutions.

The total amount of the publication is decided by the amount of typographical units with interspaces. The recommended range of values makes from 12 thousand to 40 thousand typographical units with interspaces (0,3-1,0 printed pages). Materials which volume exceeds 40 thousand typographical units may be also accepted to the publication after preliminary agreement with editorial body. In case of impossibility of such materials replacement within one article, they may be published (with the author consent) in parts, in each subsequent (next) issue of the Journal.

Articles must be issued on sheets A4, printed type must be Times New Roman, size must be 9 pt, a line spacing is 1,0. Edges above and below, right and left are 2 cm, the paragraph is 0,7 cm (without interspaces), a format is a book. If article was or will be sent to another edition it is necessary to report to our editions.

During materials preparation you may not to use an automation equipment of documents (headlines, automatically filled forms and fields, dates) which can influence change of formats of data and reference values.

### Article registration

In the left top corner from the paragraph article UDC is printed (check a correctness of the chosen UDC on the site of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information or in cooperation with the bibliographer of the founder of Journal by tel. +7 4722 39-27-05).

Below, after interspaces, at the left from the paragraph are full name of the author(s), semi boldface italics. Further, after interspaces, in the center of a line is article title (the name of article has to reflect the main idea of the executed research and should be as short as possible) and it prints with capital letters.

Then with a new paragraph one places a summary (issued according to requirements imposed to papers and summaries of GOST 7.9-95, GOST 7.5-98, GOST P 7.0.4-2006 of 200-250 words (no more than 2000 signs), from the new paragraph one provides keywords.

Further it is necessary to place in English: article title, summary (Abstract), keywords.

Next after interspaces is the text of article, the bibliography (the bibliographic description is provided according to GOST P 7.0.5-2008 "Bibliographic reference") and its option in English (References). By drawing up descriptions in English it is recommended to use the international Harvard standard taking into account that authors full name of Russian-speaking sources, article titles are transliterated (according to rules of System of Library of the Congress of the USA – LC), after that in square brackets is translation of publication title, further is given its output data (in English or transliteration, without reductions and abbreviations).

Further there are data about authors, which include a surname, a name and a middle name; academic degree, academic status (now); post or profession; a place of work (study) – full name of organization, including structural division (chair, faculty, department, management, department, etc.), and their full postal address, contact information – telephone and (or) the e-mail address, and also other data on the author's discretion which will be used for article's replacement in the Journal and on the informational website of publishing house. In collective works (articles, reviews, researches) of data of authors are brought in the sequence accepted by them. Further information about authors in English.

The main text of the published material (article) is provided in Russian or English. The text of the published work has to contain: introduction, main part and conclusion. The volume of each of parts is defined by the author. Then it is necessary to detail a problem, carry out the analysis, prove the chosen decision, and give the sufficient bases and proofs confirming ones reliability. In conclusion the author formulates the generalized conclusions, the main recommendations or offers; forecasts and(or) prospects, opportunities and their application area.

For highlighting of the most important concepts, conclusions is used the bold-face type and italics. It is not allowed to apply underlining of the main text, references and notes, and also its allocation (coloring, illumination) a color marker.

The author's text can be accompanied by monochrome drawings, tables, schemes, photos, schedules, charts and other graphic objects. In this case the corresponding references to illustrations are given in the text. Drawings titles and headings of tables are obligatory.

Illustrations in the form of schemes, charts, schedules, photos and others (except tables) images are considered as drawings. Drawing title is under it in the middle of a line. For example: "Fig. 1 – Obtaining hybrid cells".

During tables preparation you can use only book orientation of the table. Table title is over it, in the center. For example: "Table 3 – The breed standard in live weight of breeding heifers".

The illustrations used in the text in addition are provided in edition in the form of separate files of high quality, the TIFF format (with the resolution of 300 dpi) or EPS, all fonts have to be transferred to curves. The exception is made by the schedules, schemes and charts executed directly in the Word program in which the text file or Excel is provided. It is not required to provide them in the form of different files.

Mathematical formulas should be written in the formular Microsoft Equation or Microsoft MathType editor. The formulas, which are written in other editors and in the form of drawings, are not accepted. All designations of sizes in formulas and tables must be explained in the text.

In case of citing or using any provisions from other works one should give references to the author and a source from which material in the form of the sending concluded in square brackets [1]. All references must be listed by the author in the general list (bibliography) issued in the form of endnote bibliographic references in the end of article where the full list of the used sources is provided. Do not use intra text and interlinear bibliographic references in articles.

### Order of materials representation

Authors provide the following materials in edition (responsible secretaries of the appropriate thematic sections):

- article in printed form, without hand-written inserts, on one party of a standard sheet, signed on the last sheet by all authors,
- article in electronic form, each article has to be in the different file, the surname of the original author titles the file,
- data about authors (in a printing and electronic versions) – the questionnaire of the author,

- the review of article signed (doctor of science) and certified by the press
- graduate students provide the reference confirming a study place.

On condition of implementation of formal requirements to materials for the publication the article manuscript provided by the author is reviewed according to an established order of reviewing of the manuscripts, which are coming to editorial office of the Journal. The decision on expediency of the publication after reviewing is made by the editor-in-chief (deputy chief editors), and if it is necessary by an editorial board in general. The editorial board sent to the author of the unaccepted manuscript a motivated refusal.

The payment for the manuscripts publication is not charged from graduate students.

E-mail addresses of responsible secretaries of thematic sections are given below:

Thematic section “**Agricultural Engineering and Energy Efficiency**”:

**Pastukhov** Alexander Gennadievich, Dr. of Tech. Sci., Professor – the editor-in-chief,

**Kolesnikov** Alexander Stanislavovich, Cand. Tech. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,

e-mail: a.c.kolesnikov@mail.ru

Tel. +7 908 783-88-92.

Thematic section “**Innovative Technologies in Agronomy**”:

**Azarov** Vladimir Borisovich., Dr. Agric. Sci., Professor – the editor-in-chief,

**Muravyov** Alexander Alexandrovich, Cand. Agri. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,

e-mail: Aleksandr16\_1988@mail.ru

Tel. +7 952 142-75-77.

Thematic section “**Innovative Economics, Management of Agricultural Enterprises and Social Development of the Village**”:

**Nasedkina** Tatyana Ivanovna, Dr. Econ. Sci., Professor – the editor-in-chief,

**Demesheva** Irina Alekseevna, Cand. Econ. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,

e-mail: demesheva\_ia@bsaa.edu.ru

Tel. +7 920 208-73-49.

**Example of registration of article**

UDC 633.11(470.325)

*V.V. Smirnova, N.A. Sidelnikova, I.V. Kulishova*

**FORMATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN  
OF THE WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION**

**Abstract.** Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation Text annotation  
Text annotation Text annotation (not less than 250 words).

**Keywords:** keywords, keywords, keywords, keywords, keywords (not less than 5 keywords).

Text.....  
.....  
.....

**Table 1 – The breed standard in live weight of breeding sows**


**References**

1. Smirnova V.V. Vliyanie predshestvennikov na urozhajnost' sortov ozimoy pshenicy, tekhnologicheskie kachestva zerna i ih izmenenie pri hranenii: avtoreferat dis. ... kand.s.-h. nauk: 06.01.09 / Smirnova V.V.; BelGSKHA. – Belgorod, 2007. – 19 s.
2. Sidel'nikova N.A. Sovershenstvovanie intensivnyh tekhnologij vozdeleyvaniya zemnykh kul'tur v CCHZ / N.A. Sidel'nikova, L.G. Gavrilenko // Sbornik nauchnykh trudov SKHI.-Belgorod, 1988.-111s.
3. GOST R 52554 – 2006. Pshenica. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 2007-07-01. – M.: Standartinform, 2006. – 13 s.

**Information about authors**

Smirnova Victoria Viktorovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26, e-mail: [svic.belgorod@mail.ru](mailto:svic.belgorod@mail.ru)

Sidelnikova Natalya Anatolyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26

Kulishova Irina Vladimirovna, graduate student of the second year of training of department of agriculture, agrochemistry and ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia.