



# Инновации в АПК: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



№3 (35) 2022

# **Инновации в АПК: проблемы и перспективы**

Теоретический и научно-практический журнал

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

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*

**Издаётся с 2013 года**

**Выходит один раз в квартал**

**Выпуск 3 (35)  
2022 г.**

**п. Майский  
ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ  
2022**

## 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;**  
**Андрианов Е.А., д. с.-х. н., профессор;**  
**Аничин В.Л., д. э. н., профессор;**  
**Афоничев Д.Н., д. тех. н., профессор;**  
**Бабинцев В.П., д. фил. н., профессор;**  
**Вендин С.В., д. тех. н., профессор;**  
**Гончаренко О.В., к. э. н., доцент;**  
**Груздова Л.Н., к. э. н., доцент;**  
**Гурин А.Г., д. с.-х. н., профессор;**  
**Демидова А.Г., к. с.-х. н., доцент;**  
**Запорожцева Л.А., д. э. н., профессор;**  
**Колесников А.С., к. тех. н., доцент;**  
**Коломейченко А.В., д. тех. н., профессор;**  
**Котлярова Е.Г., д. с.-х. н., профессор;**  
**Коцарева Н.В., д. с.-х. н., доцент;**  
**Лебедев А.Т., д. тех. н., профессор;**

**Ломазов В.А., д. физ.-мат. н., профессор;**  
**Меделяева З.П., д. э. н., профессор;**  
**Муравьев А.А., к. с.-х. н., доцент;**  
**Мязин Н.Г., д. с.-х. н., профессор;**  
**Наседкина Т.И., д. э. н., профессор;**  
**Наумкин В.Н., д. с.-х. н., профессор;**  
**Пастухов А.Г., д. тех. н., профессор;**  
**Поливаев О.И., д. тех. н., профессор;**  
**Растопчина Ю.Л., к. э. н., доцент;**  
**Саенко Ю.В., д. тех. н., доцент;**  
**Сидоренко О.В., д. э. н., доцент;**  
**Скурятин Н.Ф., д. тех. н., профессор;**  
**Смуров С.И., к. с.-х. н.;**  
**Столяров О.В., д. с.-х. н., профессор;**  
**Ступаков А.Г., д. с.-х. н., профессор;**  
**Токарь Е.В., д.э.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);**  
**Вереновска 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).**

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**.

Распоряжением Минобрнауки России № 21-р от 12.02.2019 г. 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:

- 05.20.01** – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки);
- 05.20.02** – Электротехнологии и электрооборудование в сельском хозяйстве (технические науки);
- 05.20.03** – Технологии и средства технического обслуживания в сельском хозяйстве (технические науки);
- 06.01.04** – Агрохимия (сельскохозяйственные науки);
- 08.00.05** – Экономика и управление народным хозяйством (по отраслям и сферам деятельности) (экономические науки);
- 08.00.12** – Бухгалтерский учет, статистика (экономические науки);
- 4.1.1.** – Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)  
С 01.02.2022 г.;
- 5.2.4.** – Финансы (экономические науки)  
С 01.02.2022 г.

Дизайн-макет и компьютерная вёрстка **Манохин А.А., Воробьёва Т.Ю.**  
Журнал выходит один раз в квартал.

#### **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

Отпечатано в ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА»

Подписано в печать 30.09.2022 г., дата выхода в свет 14.10.2022 г.

Усл. п.л. 26,74 Тираж 1000 экз. Заказ №1910. Свободная цена.

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

Тел. +7-910-360-14-99.

e-mail: polyterra@mail.ru, официальный сайт: <http://www.polyterra.ru>

# **Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives**

Theoretical, research and practice journal

Founder:

**Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education  
“Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin”**

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*

**Published since 2013**

**Issued once per quarter**

**Release 3 (35)  
2022**

**Maysky  
FSBEI HE Belgorod SAU  
2022**

## 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;

**Andrianov E.A.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Anichin V.L.**, Dr. Econ. Sci., professor;

**Afonichev D.N.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Babintsev V.P.**, Dr. Phil. Sci., professor;

**Vendin S.V.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Goncharenko O.V.**, Cand. Econ. Sci., as. prof.;

**Gruzдова L.N.**, Cand. Econ. Sci., as. prof.;

**Gurin A.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Demidova A.G.**, Cand. Agr. Sci., as. prof.;

**Zaporozhtseva L.A.**, Dr. Econ. Sci., professor;

**Kolesnikov A.S.**, Cand. Tech. Sci., as. prof.;

**Kolomeichenko A.V.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Kotliarova E.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Kotsareva N.V.**, Dr. Agr. Sci., as. prof.;

**Lebedev A.T.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Lomazov V.A.**, Dr. Phys.-math. Sci., prof.;

**Medeliyeva Z.P.**, Dr. Econ. Sci., professor;

**Muravyov A. A.**, Cand. Agri. Sci., as. prof.;

**Myazin N.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Nasedkina T.I.**, Dr. Econ. Sci., professor;

**Naumkin V.N.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Pastukhov A.G.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Polivaev O.I.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Rastopchina Y.L.**, Cand. Econ. Sci., as. prof.;

**Saenko Yu.V.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Sidorenko O.V.**, Dr. Econ. Sci., as. prof.;

**Skuriatin N.F.**, Dr. Tech. Sci., professor;

**Smurov S.I.**, Cand. Agr. Sci.; as. prof.;

**Siolyarov O.V.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Stupakov A.G.**, Dr. Agr. Sci., professor;

**Tokar E.V.**, Dr. Econ. Sci., professor

## 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).

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 catalogue. 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.

By order of the Ministry of Education and Science of Russia № 21-p dated February 12, 2019, 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:

- 05.20.01** – Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences);
- 05.20.02** – Electrotechnologies and electrical equipment in agriculture (technical sciences);
- 05.20.03** – Technologies and means of technical maintenance in agriculture (technical sciences);
- 06.01.04** – Agrochemistry (agricultural sciences),
- 08.00.05** – Economics and management of the national economy (by branches and fields of activity) (economic sciences);
- 08.00.12** – Accounting, Statistics (Economic Sciences);
- 4.1.1.** – General agriculture and crop production (agricultural sciences)  
From 01.02.2022;
- 5.2.4.** – Finance (economic sciences)  
From 01.02.2022.

Design layout and computer-aided makeup **Manokhin A.A., Vorobyeva T.Y.**  
Journal issued once per quarter.

**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

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

Signed for publication 30.09.2022, date of publication 14.10.2022.

Conventional printed sheet 26,75. Circulation 1000 copies. Order № 1910. Free price.

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

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

## СОДЕРЖАНИЕ

### АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

<i>С.С. Богомолов, С.В. Вендин</i> РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ.....	9
<i>С.В. Вендин, С.В. Соловьёв, С.В. Килин, А.О. Яковлев</i> РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЗАЩИТЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ПОДСТАНЦИИ 110 КВ.....	20
<i>С.Ф. Вольвак, В.И. Шаповалов</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ ИЗМЕЛЬЧЁННЫХ КОРМОВ.....	39
<i>А.А. Жосан, М.М. Ревякин, С.И. Головин</i> ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ.....	47
<i>С.В. Карцев, И.Н. Кравченко, А.Г. Пастухов, Г.И. Трифонов, И.С. Карцев</i> МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИЯХ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ С ОПЛАВЛЕНИЕМ.....	53
<i>А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин</i> КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОЗОНАТОРА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ.....	64
<i>А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев</i> АНАЛИЗ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ.....	72
<i>В.Ю. Страхов, С.В. Вендин</i> ПРИМЕНЕНИЕ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СОИ ПЕРЕД ПРОРАЩИВАНИЕМ.....	82
<i>Е.П. Тимашов</i> АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИСТРАТОРА НЕИСПРАВНОСТИ ТРАНСМИССИИ.....	89
<i>В.Л. Фадеев, Н.Г. Касимов, П.В. Дородов, А.Г. Иванов, С.Е. Неустроева</i> РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СОШНИКА ДЛЯ ВЫСАДКИ РАССАДЫ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР.....	97
<i>С.В. Шарый, Н.В. Водолаская, О.А. Шарая</i> ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ.....	109

### ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

<i>В.Б. Азаров, В.В. Лоткова, Д.О. Борисенко, В.В. Горбунов, А.О. Симашева</i> ДИНАМИКА ЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ЧЕРНОЗЁМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР.....	117
<i>А.В. Акинчин, Л.Н. Кузнецова, С.А. Линков, Т.С. Морозова, А.Ю. Белоусова</i> ВЛИЯНИЕ ПОДКОРМОК НА ПРОДУКТИВНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ.....	125
<i>А.А. Дубровский, В.В. Смирнова, А.А. Манохин</i> ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА.....	132
<i>Н.В. Дуюн, С.Н. Зюба, О.В. Григоров, П.В. Андреев</i> АДАПТИВНОСТЬ НОВОГО СОРТА МНОГОРЯДНОГО ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ БЛАГОДАР.....	141
<i>С.Н. Зюба, О.В. Гапиенко, П.В. Андреев</i> ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНЬЕВ СЕВООБОРОТА И ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ.....	149
<i>Е.Г. Котлярова, С.В. Андреев, О.С. Кузьмина, Е.В. Ковалева</i> ПРОИЗВОДСТВО И СОРТОВОЙ ПОДБОР ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	162
<i>А.Н. Крюков, А.В. Акинчин, Т.С. Морозова, Е.Ю. Колесниченко</i> ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО СРЕДСТВА «ЭТОКСАМИН» В БОРЬБЕ С КОМПЛЕКСОМ ВРЕДНЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ЯБЛОНЕ.....	175

### ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АПК И СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛА

<i>В.Л. Аничин, Г.И. Худобина, Н.Ю. Яковенко</i> КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ.....	179
<i>Е.А. Голованева, Ж.А. Ульянова</i> ЭФФЕКТ ФИНАНСОВОГО РЫЧАГА ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИТАЛА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ.....	186
<i>Д.П. Кравченко, О.С. Акупиян</i> СТИМУЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ РОССИИ.....	192
<i>И.Н. Меренкова, З.В. Гаврилова</i> ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА НА СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ.....	202
<b>Руководство для авторов.....</b>	209

## CONTENTS

### AGRICULTURAL ENGINEERING AND ENERGY EFFICIENCY

<b>S.S. Bogomolov, S.V. Vendin</b> CALCULATION OF PARAMETERS OF LED INSTALLATION FOR PLANT IRRADIATION.....	9
<b>S.V. Vendin, S.V. Solovlev, S.V. Kilin, A.O. Yakovlev</b> RESULTS OF MONITORING OF ELECTROMAGNETIC PROTECTION AND ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AT A 110 KV SUBSTATION.....	20
<b>S.F. Volvak, V.I. Shapovalov</b> THEORETICAL STUDIES OF THE PROCESS OF DISCHARGE CRUSHED FEED.....	39
<b>A.A. Zhosan, M.M. Revyakin, S.I. Golovin</b> THEORETICAL ASPECTS OF CONTROLLING THE TECHNICAL CONDITION OF THE BELT GEAR OF AGRICULTURAL MACHINES DURING OPERATION.....	47
<b>S.V. Kartsev, I.N. Kravchenko, A.G. Pastukhov, G.I. Trifonov, I.S. Kartsev</b> MATHEMATICAL MODEL FOR THE FORMATION OF RESIDUAL STRESSES IN COATINGS DURING PLASMA SPRAYING WITH FLUSHING.....	53
<b>A.N. Manuilenko, S.V. Vendin</b> DESIGN OF ELECTRIC OZONIZER FOR DISINFECTING AIR MASSES IN LIVESTOCK HOUSE.....	64
<b>A.G. Pastukhov, D.N. Bakharev</b> ANALYSIS OF THE LEVEL OF RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES OF POST-HARVEST PROCESSING OF SEED CORN.....	72
<b>V.Yu. Strakhov, S.V. Vendin</b> APPLICATION OF UV RADIATION TO THE TREATMENT OF SOYBEAN SEEDS BEFORE GERMINATION.....	82
<b>E.P. Timashov</b> ALGORITHMS FOR THE OPERATION OF THE TRANSMISSION FAULT RECORDER.....	89
<b>V.L. Fadeev, N.G. Kasimov, P.V. Dorodov, A.G. Ivanov, S.E. Neustroeva</b> DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL AND MORPHOLOGICAL MODEL OF A COULTER FOR PLANTING SEEDLINGS OF VEGETABLE CROPS.....	97
<b>S.V. Shariy, N.V. Vodolazskaya, O.A. Sharaya</b> INNOVATIVE SOLUTIONS FOR GREENHOUSE COMPLEXES.....	109

### INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRONOMY

<b>V.B. Azarov, V.V. Lotkova, G.O. Borisenko, V.V. Gorbunov, A.O. Simasheva</b> DYNAMICS OF MINERAL NITROGEN RESERVES IN CHERNOZEM UNDER VARIOUS TECHNOLOGIES OF GRAIN CULTIVATION.....	117
<b>A.V. Akinchin, L.N. Kuznetsova, S.A. Linkov, S.M. Tamara, A.Yu. Belousova</b> THE EFFECT OF FERTILIZING ON THE PRODUCTIVITY OF SUGAR BEET.....	125
<b>A.A. Dubrovsky, V.V. Smirnova, A.A. Manokhin</b> THE USE OF LED LIGHTING SYSTEMS WITH DIFFERENT SPECTRAL COMPOSITION FOR GROWING TOMATOES IN PROTECTED GROUND CONDITIONS.....	132
<b>N.V. Duyn, S.N. Zyuba, O.V. Grigorov, P.V. Andreev</b> ADAPTIVITY OF NEW VARIETY OF BLAGODAR SPRING BARLEY.....	141
<b>S.N. Zyuba, O.V. Gapienko, P.V. Andreev</b> PRODUCTIVITY OF CROPPED ROTATION AND CHANGES IN SOIL FERTILITY DEPENDING ON DOSES OF MINERAL FERTILIZERS.....	149
<b>E.G. Kotlyarova, S.V. Andreev, O.S. Kuzmina, E.V. Kovalyova</b> PRODUCTION AND VARIETAL RECRUITMENT OF WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION.....	162
<b>A.N. Kryukov, A.V. Akinchin, T.S. Morozova, E.Yu. Kolesnichenko</b> THE EFFECTIVENESS OF THE DISINFECTANT «ETHOXAMINE» IN THE FIGHT AGAINST THE COMPLEX OF HARMFUL ORGANISMS ON THE APPLE TREE.....	175

### INNOVATIVE ECONOMICS, MANAGEMENT OF AGRICULTURAL ENTERPRISES AND SOCIAL DEVELOPMENT OF RURAL TERRITORIES

<b>V.L. Anichin, G.I. Khudobina, N.Yu. Yakovenko</b> PROSPECTS FOR IMPLEMENTING LEAN PRODUCTION ELEMENTS IN THE PERSONNEL MANAGEMENT SYSTEM OF AGRO-INDUSTRIAL ENTERPRISES.....	179
<b>E.A. Golovaneva, J.A. Ulyanova</b> THE EFFECT OF FINANCIAL LEVERAGE IN ASSESSING THE EFFICIENCY OF CAPITAL USE IN AN AGRICULTURAL ORGANIZATION.....	186
<b>D.P. Kravchenko, O.S. Akupiyev</b> STIMULATING INNOVATION ACTIVITY IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF RUSSIA.....	192
<b>I.N. Merenkova, Z.V. Gavrilova</b> FEATURES OF HUMAN CAPITAL MONITORING IN THE RURAL AREAS.....	202
<b>Guidelines for authors</b> .....	209

# АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

УДК 621.31

С.С. Богомолов, С.В. Вендин

## РАСЧЕТ ПАРАМЕТРОВ СВЕТОДИОДНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ОБЛУЧЕНИЯ РАСТЕНИЙ

**Аннотация.** Рост и развитие растений зависит от фотохимических процессов, происходящих в их клетках, что невозможно без влияния энергии оптического излучения. На данный момент широко применяются технологии выращивания растений с использованием облучательных установок, где в качестве источника излучения используются ртутные газоразрядные лампы. Применение светодиодных источников в установках для облучения растений, по сравнению с газоразрядными лампами, обладает рядом преимуществ. При облучении растений следует учитывать, что различные виды и сорта растений на различных этапах своего развития требуют различных параметров качества фотосинтетически активной радиации, а спектр излучения воспринимается пигментным комплексом растения. Параметры спектра такого излучения оказывает влияние на биохимические реакции, физиологические процессы, происходящие в растении, а также развитие растения в целом. Предлагается конструкция установки для облучения растений с применением светодиодов, а также методика расчета спектрального состава излучения и равномерности облучения растений при асимметричном чередовании светодиодных групп на платах. Приведены результаты численного моделирования по определению оптимального количественного состава излучающих светодиодов с учетом высоты подвеса облучательной установки. По результатам расчетов рекомендуется количественный состав светодиодов для заданного значения минимальной облученности, проверенный с помощью моделирования радиационной среды при компоновке светодиодов различных спектров излучения на платах. На основе результатов численного эксперимента получено уравнение зависимости отношения средней облученности поверхности под облучательной установкой к общей суммарной облученности светодиодов, как точечных источников от высоты подвеса. Установлено, что оптимальный количественный состав светодиодов для облучательной установки, состоящей из 48 синих, 168 оранжевых, 48 красных и 24 ультрафиолетовых светодиодов обеспечивает необходимый спектральный состав и среднюю облученность более 70 Вт/м<sup>2</sup>. Расчетами подтверждена гипотеза о возможности обеспечения равномерности облучения при расположении светодиодных линий с асимметричным чередованием на платах. Установлено, что при расположении светодиодных линий с асимметричным чередованием на платах неравномерность облученности при высоте подвеса 0,3 м и выше составляет менее 30%, а спектральный состав излучения в зоне ФАР, составляет: 31,3% синего, 20,2% зеленого, 48,5% красного спектра излучения.

**Ключевые слова:** облученность, спектральный состав, фотосинтетически активная радиация, распределение, светодиод.

## CALCULATION OF PARAMETERS OF LED INSTALLATION FOR PLANT IRRADIATION

**Abstract.** The growth and development of plants depends on the photochemical processes occurring in their cells, which is impossible without the influence of the energy of optical radiation. At the moment, technologies for growing plants using irradiation installations, where mercury gas discharge lamps are used as a radiation source, are widely used. The use of LED sources in plants for irradiating plants, in comparison with gas-discharge lamps, has a number of advantages. When irradiating plants, it should be taken into account that different types and varieties of plants at different stages of their development require different quality parameters of photosynthetically active radiation, and the radiation spectrum is perceived by the pigment complex of the plant. The parameters of the spectrum of such radiation affect the biochemical reactions, physiological processes occurring in the plant, as well as the development of the plant as a whole. A design of an installation for irradiating plants using LEDs is proposed, as well as a method for calculating the spectral composition of radiation and uniformity of irradiation of plants with asymmetric alternation of LED groups on boards. The results of numerical simulation to determine the optimal quantitative composition of emitting LEDs, taking into account the height of the suspension of the irradiation installation, are presented. According to the results of calculations, the quantitative composition of LEDs for a given value of minimum irradiance is recommended, verified by modeling the radiation environment when arranging LEDs of various emission spectra on boards. Based on the results of a numerical experiment, an equation was obtained for the ratio of the average irradiance of the surface under the irradiation installation to the total total irradiance of LEDs, as point sources, on the height of the suspension. It has been established that the optimal quantitative composition of LEDs for an irradiation installation consisting of 48 blue, 168 orange, 48 red and 24 ultraviolet LEDs provides the required spectral composition and an average irradiance of more than 70 W/m<sup>2</sup>. Calculations confirmed the hypothesis about the possibility of ensuring the uniformity of irradiation when the LED lines are arranged with asymmetric alternation on the boards. It has been established that

when LED lines are arranged with asymmetric alternation on the boards, the irradiance unevenness at a suspension height of 0.3 m and above is less than 30%, and the spectral composition of the radiation in the PAR zone is: 31.3% blue, 20.2% green, 48.5% red spectrum radiation.

**Keywords:** irradiance, spectral composition, photosynthetically active radiation, distribution, LED.

**Введение.** Рост и развитие растений зависит от фотохимических процессов, происходящих в их клетках. Реакция фотосинтеза невозможна без влияния энергии оптического излучения. В природе источником оптического излучения для растений является солнце.

В условиях защищенного грунта солнечного излучения недостаточно. Поэтому разработаны и применяются технологии выращивания с применением искусственных источников освещения – облучательных установок.

Большинство современных облучательных установок для растений в качестве источника излучения используют ртутные газоразрядные лампы. Несмотря на широкое применение этих ламп основными их недостатками являются низкая энергоэффективность, нестабильная работа при снижении питающего напряжения и экологическая небезопасность из-за содержания паров ртути в колбах. Кроме того, эти лампы не электробезопасны при эксплуатации из-за хрупкости стеклянной колбы, выделения озона и др. [1].

Применение светодиодных источников в установках для облучения растений, по сравнению с газоразрядными лампами, обладает рядом преимуществ:

- низкая удельная энергоёмкость при производстве растениеводческой продукции;
- возможность регулирования спектрального состава излучения;
- возможность регулирования интенсивности (плотности потока) излучения;
- полная автоматизация процесса с регулированием режима «дня» и «ночи»;
- относительно низкие затраты при эксплуатации оборудования;
- экологическая безопасность и электробезопасность.

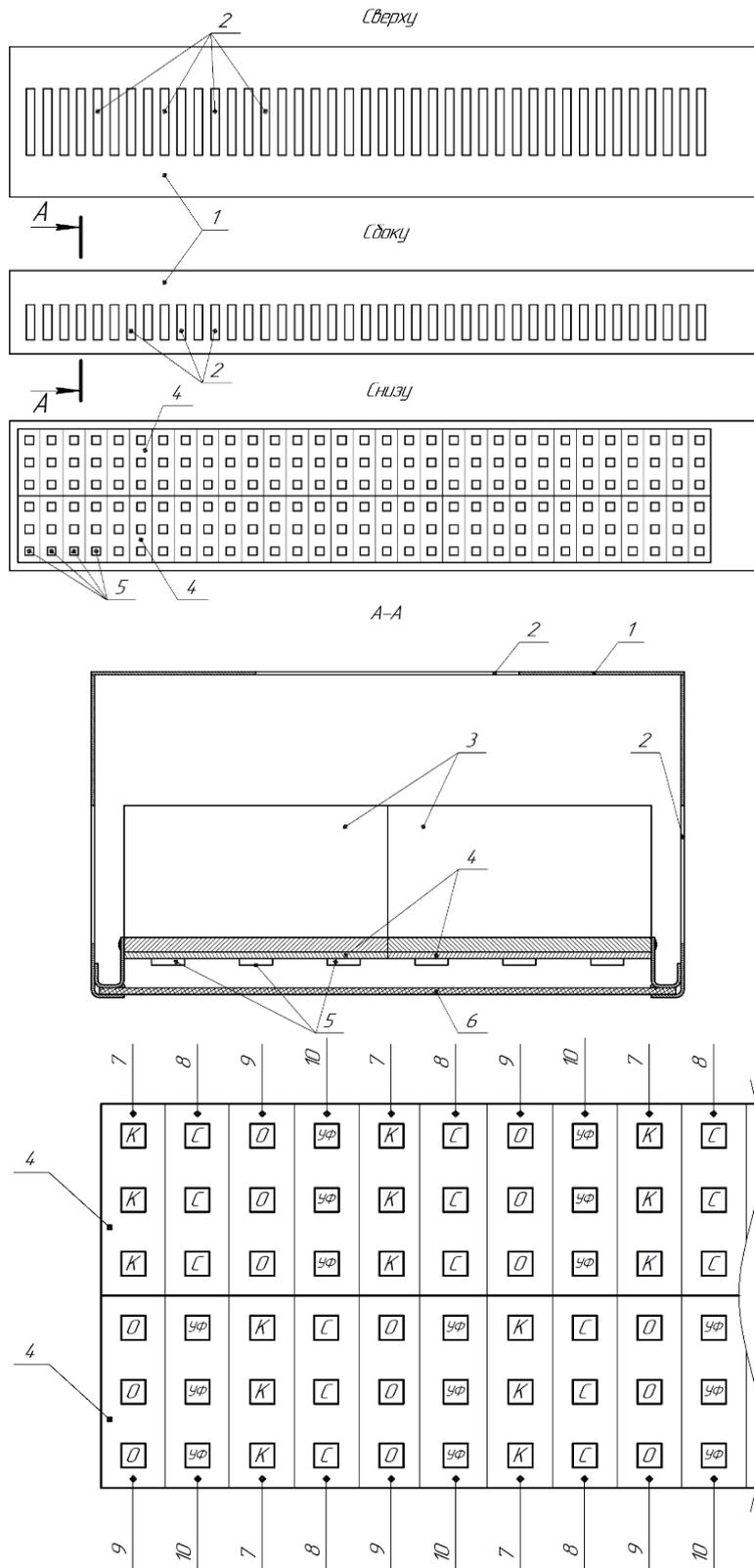
Следующим важным аспектом является то, что различные виды и сорта растений на различных этапах своего развития требуют различных параметров качества фотосинтетически активной радиации. Известно [2], что спектр излучения воспринимается пигментным комплексом растения. Параметры спектра такого излучения оказывают влияние на биохимические реакции, физиологические процессы, происходящие в растении, а также развитие растения в целом. Поэтому разработка оптических устройств для облучения растений с применением светодиодных источников и возможностью регулирования спектрального состава излучения является актуальной научной задачей.

**Основные результаты.** Цель исследований заключается в разработке оптимальной конструкции установки для облучения растений с применением светодиодных источников, в определении оптимального количественного состава излучающих светодиодов с учетом их расположения в светильнике, для обеспечения эффективного спектрального состава излучения и повышения энергоэффективности процесса выращивания растений в защищенном грунте.

Для облучения растений предлагается разработанная в Белгородском ГАУ конструкция установки, схема которой представлена на рисунке 1 [3].

Устройство состоит из корпуса 1, закрывающего внутренние элементы светильника, в боковых и верхних стенках корпуса расположены вентиляционные отверстия 2 для доступа воздуха к радиаторам охлаждения 3. К радиаторам прикреплены две платы 4 с алюминиевым основанием, на которых расположены светодиодные группы 5 в виде светодиодных лент красного 7, оранжевого 9, синего 8 и УФ 10 спектра оптического излучения. Светодиоды защищены от пыли и влаги защитным стеклом 6, герметично закрепленным на корпусе 1.

Устройство для облучения растений размещают над поверхностью грядки вдоль неё на необходимой высоте. Такая конструктивная схема устройства позволяет повысить эксплуатационную надежность, обеспечить равномерность облучения и регулировку спектрального состава облучения для стимулирования роста растений и повышения урожайности сельскохозяйственных культур.



1 – корпус, 2 – отверстия, 3 – радиаторы, 4 – алюминиевые платы, 5 – светодиоды, 6 – защитное стекло, светодиодные ленты красного 7, оранжевого 9, синего 8 и УФ 10 цвета

**Рис. 1 – Устройство для облучения растений**

В рассадных отделениях овощных теплиц минимальная суммарная облученность должна быть не менее  $25 \text{ Вт/м}^2$  ФАР. Суточное количество ФАР – не менее  $250 \text{ Вт}\times\text{ч/м}^2$ . В овощных теплицах облученность должна быть не менее  $70 \text{ Вт/м}^2$ . Суточное количество ФАР в период плодоношения составляет не менее  $900 \text{ Вт}\times\text{ч/м}^2$  [4].

Из работы [4] было выяснено, что для выращивания растений в закрытом грунте наиболее эффективным является следующее соотношение отдельных участков спектра в излучении ламп, которое обеспечивает оптимальные условия развития аппарата фотосинтеза, рост, морфогенез и продуктивность растений:

- 30% – в синей области (диапазон  $k_1$  400...499 нм);
- 20% – в зеленой области (диапазон  $k_2$  500...599 нм);
- 50% – в красной области (диапазон  $k_3$  600...700 нм).

Суточное количество облучения, полученного в диапазоне УФ-а, должно быть не менее 17 Вт×ч/м<sup>2</sup> при длительности облучения не менее 5 ч, что положительно сказывается на растениях [5].

Поэтому важным является разработка методики расчета спектрального состава излучения и равномерности облучения растений для предлагаемой конструкции при асимметричном чередовании светодиодных групп на платах.

**Методика и результаты расчета параметров установки.** Для расчета требуемой мощности установки и количественного набора светодиодов нам необходимо провести количественную оценку энергетических величин.

Световой поток светодиода в люменах переводится в фотосинтетический поток излучения (Вт) в пределах области фотосинтетически активной радиации (длины волн от 400 до 700нм) по следующей формуле [6]:

$$\Phi_e = \frac{\Phi_v \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \varphi(\lambda) d\lambda}{K_m \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \varphi(\lambda) V(\lambda) d\lambda}, \quad (1)$$

где  $\Phi_v$  – световой поток светодиода, лм;  $\lambda_{min}$  и  $\lambda_{max}$  – нижняя и верхняя граница фотосинтетически активной радиации, 400 и 700 нм соответственно;  $\varphi$  – спектральное распределение излучения, отн.ед/нм;  $V(\lambda)$  – относительная спектральная световая эффективность монохроматического излучения для дневного зрения с длиной волны  $\lambda$ ;  $K_m$  – максимальная световая эффективность излучения,  $K_m=683$  лм/Вт.

Поток излучения малого спектрального диапазона, можно найти из отношения:

$$\Phi_e(\lambda) = \Phi_e \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} \varphi(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \varphi(\lambda) d\lambda}, \quad (2)$$

где  $\lambda_1$  и  $\lambda_2$  – границы малого диапазона, в котором определяется спектральная плотность.

Энергетическая сила излучения находится из потока излучения, распространяющегося от источника внутри телесного угла, к этому телесному углу. Телесный угол можно заменить на плоский угол свечения светодиода, тогда расчет будет выглядеть следующим образом [7]:

$$I_e(\lambda) = \frac{\Phi_e(\lambda)}{2\pi(1 - \cos(\alpha/2))}, \quad (3)$$

где  $\alpha$  – двойной угол половинной яркости или плоский угол свечения светодиода, указывается производителем.

Энергетическая облученность (Вт/м<sup>2</sup>) поверхности для участка малого спектрального диапазона при освещении точечным источником, находится по формуле [7]:

$$E_e(\lambda) = \frac{I_e(\lambda)}{h^2} \cos\theta, \quad (4)$$

где  $h$  – высота подвеса светодиодов над поверхностью;  $\theta$  – угол, который нормаль к поверхности образует с направлением на источник.

Энергетическая облученность  $k$ -ого спектрального диапазона (синего, зеленого и красного) находится из выражения:

$$E_{ek} = \int_{\lambda_{mink}}^{\lambda_{maxk}} \sum_{i=1}^n N_i dE_{ei}(\lambda), \quad (5)$$

где  $n$  – количество групп светодиодов с разным спектром излучения;  $N$  – количество светодиодов в группе;  $\lambda_{mink}$  и  $\lambda_{maxk}$  – нижняя и верхняя граница  $k$ -ого спектрального диапазона.

Общая фотосинтетическая облученность будет равна:

$$E_{\text{общ}} = \sum_{i=1}^m E_{eki}, \quad (6)$$

где  $m$  – количество областей спектра.

Доля энергии потока  $k$ -ого спектрального диапазона ФАР, %:

$$X = \frac{E_{ek}}{E_{\text{общ}}}. \quad (7)$$

По данной методике при проектировании светодиодного устройства возможно решить две задачи.

Прямая задача: необходимо определить общее количество СД и СД каждой группы  $N_i$ , обеспечивающих заданную облученность и спектральный состав излучения.

Обратная задача: при известном общем количестве СД определить количество СД каждой группы и отношение участков спектра к общей облученности.

Для проверки результатов решения прямой и обратной задачи после нахождения количественного состава светодиодов необходимо получить распределение облученности по плоскости для проверки выводов. Это также позволит проверить гипотезу равномерности облученности, создаваемым облучательной установкой с асимметричным чередованием светодиодных групп на платах. Создаваемая светодиодом облученность в расчетной точке находится по формуле [7]:

$$E(X_i, Y_i) = \frac{I_e \times \cos^3 \beta}{H^2}, \quad (8)$$

где  $X_i, Y_i$  – координаты светодиода на плоскости;  $I_e$  – сила излучения светодиода определенной группы;  $H$  – высота светодиодов над расчетной поверхностью;  $\beta$  – угол от светодиода до расчетной точки.

Этот угол можно найти следующим образом:

$$\beta = \arctg \frac{\sqrt{(X_i - X_m)^2 + (Y_i - Y_m)^2}}{H}. \quad (9)$$

где  $X_m, Y_m$  – координаты расчетной точки.

Суммарная облученность в расчетной точке находится.

$$E_m = \mu \sum_{i=1}^n E_i. \quad (10)$$

где  $\mu$  – коэффициент, учитывающий дополнительную освещенность от отраженного светового потока.

После нахождения суммарной облученности в каждой расчетной точке необходимо определить максимальную  $E_{max}$  и среднюю  $E_{cp}$  облученность на поверхности для оценки равномерности распределения облученности.

Средняя облученность находится по формуле [8]:

$$E_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n E_{mi}}{n}. \quad (11)$$

Неравномерность облучения:

$$Z = \frac{E_{max}}{E_{cp}} \times 100\% - 100\%. \quad (12)$$

Ниже приведены результаты расчета параметров установки. В качестве облучателей были выбраны светодиоды типа TDS-P001L4 синего СИ (максимум излучения при длине волны 460 нм), оранжевого ОР (600 нм) и красного КР (650 нм) света [9] Световой поток светодиодов равен  $\Phi(\text{СИ})=20\text{лм}$ ,  $\Phi(\text{ОР})=50\text{лм}$ ,  $\Phi(\text{КР})=35\text{лм}$ . На рисунке 2 даны спектральные составы излучения отдельных СД разных длин волн.

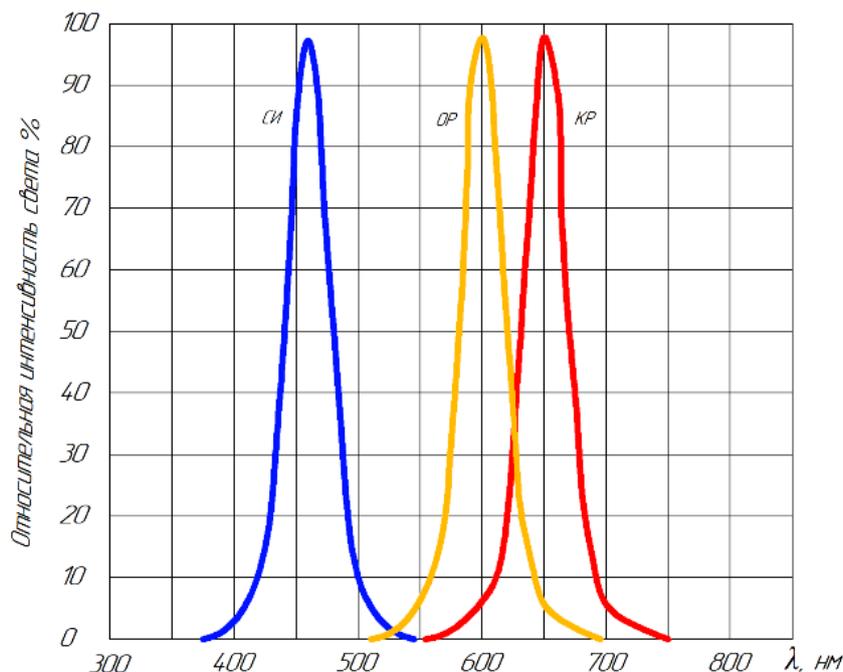


Рис. 2 – Спектральный состав излучения отдельных СД видимого спектра при температуре 25°С

В качестве светодиодов ультрафиолетового спектра излучения были приняты светодиоды со спектром излучения в УФ-А диапазоне [10] (315...400 нм) с максимумом излучения длины волны 380 нм марки BLD-HP001UV3-E45. Все светодиоды обладают плоским углом свечения 140°. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для длин волн в диапазоне от 395 до 705 нм через 10 нм принимались согласно [11].

При преобразовании известных фотометрических величин в энергетические по формулам 1 и 2 получено спектральное распределение потока излучения  $\Phi_e(\lambda)$ , мВт, показанное в таблице 1 и на рисунке 3.

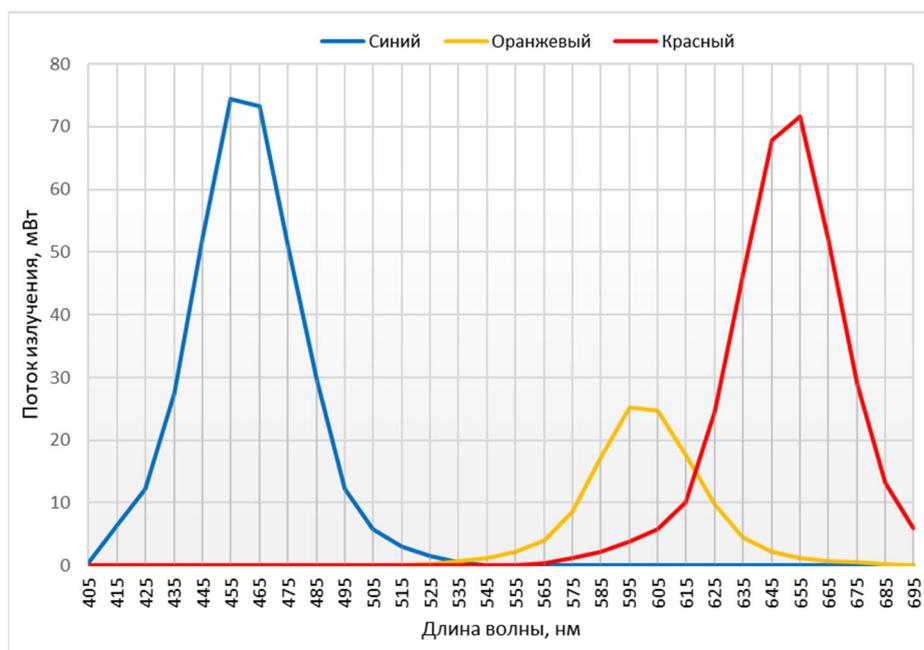


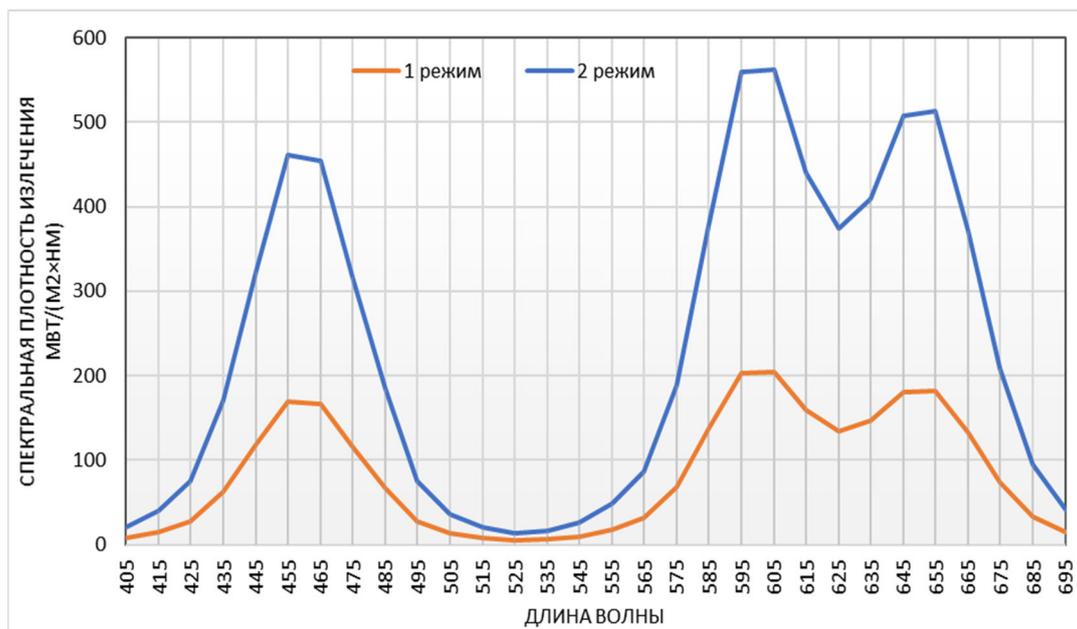
Рис. 3 – Спектральное распределение потока излучения

Расчеты оптимального состава светодиодов проводились с применением программы Microsoft Excel (модуль поиска решений методом общего понижающего градиента для нелинейных задач).

**Таблица 1 – Параметры распределения потока излучения**

λ, нм	Светодиод			λ, нм	Светодиод		
	X <sub>1</sub> Синий	X <sub>2</sub> Оранжевый	X <sub>3</sub> Красный		X <sub>1</sub> Синий	X <sub>2</sub> Оранжевый	X <sub>3</sub> Красный
400-410	3,403			550-560		2,250	0,045
410-420	6,491			560-570		3,949	0,404
420-430	12,225			570-580		8,546	1,109
430-440	27,539			580-590		17,111	2,221
440-450	52,150			590-600		25,215	3,789
450-460	74,405			600-610		24,712	5,794
460-470	73,338			610-620		17,590	10,056
470-480	51,150			620-630		9,789	24,519
480-490	29,702			630-640		4,464	46,356
490-500	12,187			640-650		2,215	67,781
500-510	5,866			650-660		1,189	71,660
510-520	3,048	0,047		660-670		0,773	52,150
520-530	1,435	0,243		670-680		0,477	29,085
530-540	0,499	0,624		680-690		0,228	13,197
540-550	0,046	1,252		690-700		0,029	6,019
Суммарный поток излучения					353,483	120,703	334,185

Целевой функцией в расчетах является минимизация общего количества светодиодов с достижением требуемой фотосинтетической облученности. Ограничением в данном случае является необходимый спектральный состав X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub> и X<sub>3</sub> [12, 13]. Для учитывания возможного разброса требуемое соотношение спектра было уменьшено на 1% выглядит следующим образом: X<sub>1</sub> = 29,5%, X<sub>2</sub> = 19,5% и X<sub>3</sub> = 49,5% при заданной высоте подвеса h = 0,4м и плоском угле 140° для минимальной облученности 25 Вт/м<sup>2</sup> (режим 1) ФАР и 70 Вт/м<sup>2</sup> (режим 2). Спектральное распределение облучения в зоне ФАР, полученное в ходе вычислений, для двух режимов работы отображены на рисунке 4.



**Рис. 4 – Спектральное распределение общей фотосинтетической облученности**

Для УФ светодиодов расчетные значения были получены по формуле:

$$N_{уф} = \frac{E_{еуф} \times 2\pi(1 - \cos(\alpha/2))h^2}{\Phi_{еуф} \times \cos\theta}, \tag{13}$$

где  $E_{\text{еуф}}$  – требуемая облученность в спектре УФ-А;  $\Phi_{\text{еуф}}$  – поток излучения ультрафиолетового светодиода.

Согласно проведенным расчетам для высоты подвеса  $h = 0,4$ , потока излучения  $\Phi_{\text{еуф}} = 90$  мВт, требуемой облученности  $E_{\text{еуф}} = 3,4$  Вт/м<sup>2</sup> при времени облучения 5 ч, количество УФ светодиодов составит 25 шт, независимо от режима работы.

Рекомендуемый количественный состав светодиодов для двух режимов работы приведен в таблице 3.

**Таблица 2 – Количественный состав светодиодов для двух режимов работы**

Требуемая облученность, Вт/м <sup>2</sup>	Синий	Оранжевый	Красный	УФ	Общая мощность, Вт
25	15	51	16	25	107
70	41	140	45	25	251

Равномерность распределения облученности оценивали по формуле 12. Моделируя, светодиоды размещали группами по 6 диодов поперек платы, с интервалом 0,03 м между ними, таким образом, чтобы группы синих и красных светодиодов чередовались ассиметрично на двух платах, расположенных вдоль устройства. Итоговая компоновка, состоит из 48 синих, 168 оранжевых, 48 красных и 24 ультрафиолетовых светодиодов. Результаты численного моделирования для высот от 0,3 м до 0,7 м показаны в таблице 3 для спектра ФАР, и для УФ спектра. Значения, полученные для высот ниже 0,29 м, обладают неравномерностью распределения выше 30%, что недопустимо [14, 15]. Для высот выше 0,66 м полученная средняя облученность выходит меньше 25 Вт/м<sup>2</sup>, что не подходит и для рассадных отделений.

**Таблица 3 – Результаты численного моделирования**

Н, м	Спектр ФАР						УФ спектр		
	$E_{\text{ср}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$E_{\text{max}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	z, %	$k_1$ , %	$k_2$ , %	$k_3$ , %	$E_{\text{ср}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	$E_{\text{max}}$ , Вт/м <sup>2</sup>	z, %
0,3	71,986	93,051	29,264	31,3	20,2	48,5	2,939	3,795	29,144
0,4	51,507	63,672	23,618	31,1	20,3	48,6	2,100	2,598	23,716
0,5	38,329	45,609	18,993	31,0	20,3	48,7	1,561	1,860	19,135
0,6	29,438	33,964	15,372	31,0	20,3	48,7	1,198	1,384	15,503
0,65	26,060	29,678	13,881	31,0	20,3	48,7	1,060	1,209	14,001
0,7	23,207	26,124	12,570	31,0	20,3	48,7	0,944	1,064	12,677

Поверхность распределения облученности на плоскости, расположенной под облучательным устройством, показано на рисунке 5, где координата X – длина светильника, а координата Y – ширина светильника. При высоте подвеса 0,3 м средняя облученность поверхности выше 70 Вт/м<sup>2</sup>, что соответствует нормативным значениям. Значение облученности в УФ спектре из таблицы 4 показывает, что необходимо облучать поверхность в течение 5,78 ч, для достижения необходимого суточного облучения 17 Вт×ч/м<sup>2</sup>.

При моделировании распределения облученности по плоскости и расчета количественного состава светодиодов для облучательной установки были выявлены зависимости средней  $E_{\text{ср}}$  облученности на поверхности под установкой и общей  $E_{\text{общ}}$  облученности от высоты подвеса Н светодиодов, расчетные значения которых представлены в таблице 4, графики зависимости показаны на рисунке 6.

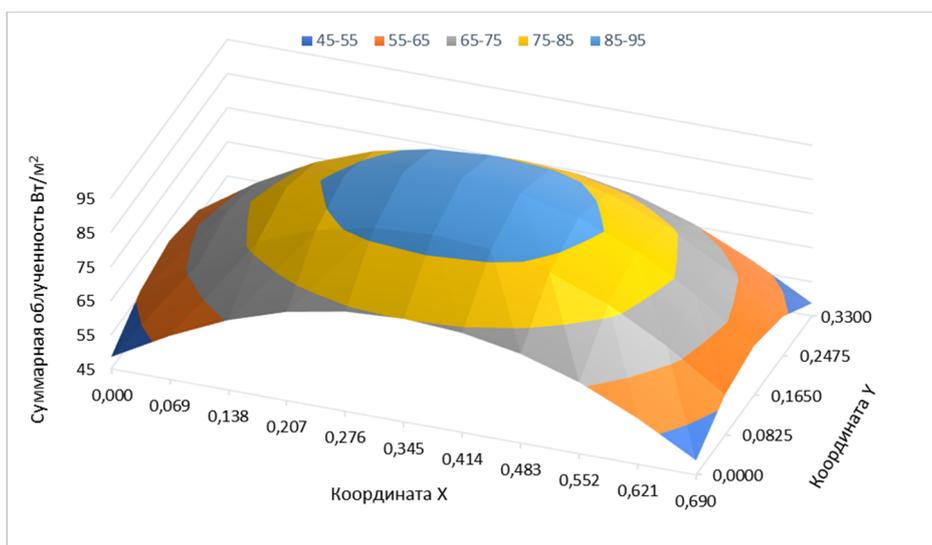


Рис. 5 – Распределение облученности по плоскости

Таблица 4 – Расчетные значения облученности, создаваемой установкой в области ФАР

H	z	E <sub>ср</sub>	E <sub>общ</sub>	E <sub>общ</sub> /E <sub>ср</sub>	H	z	E <sub>ср</sub>	E <sub>общ</sub>	E <sub>общ</sub> /E <sub>ср</sub>
0,3	29,2636	71,9857	143,2119	1,989	1	7,3659	12,7958	12,88907	1,007
0,4	23,6180	51,5069	80,55671	1,564	1,1	6,2983	10,8162	10,65213	0,985
0,5	18,9935	38,3287	51,55629	1,345	1,2	5,4367	9,2524	8,950745	0,967
0,6	15,3722	29,4383	35,80298	1,216	1,3	4,7336	7,9977	7,626671	0,954
0,7	12,5704	23,2068	26,30423	1,133	1,4	4,1539	6,9771	6,576058	0,943
0,8	10,3992	18,6978	20,13918	1,077	1,5	3,6713	6,1367	5,728477	0,933
0,9	8,7037	15,3459	15,91244	1,037					

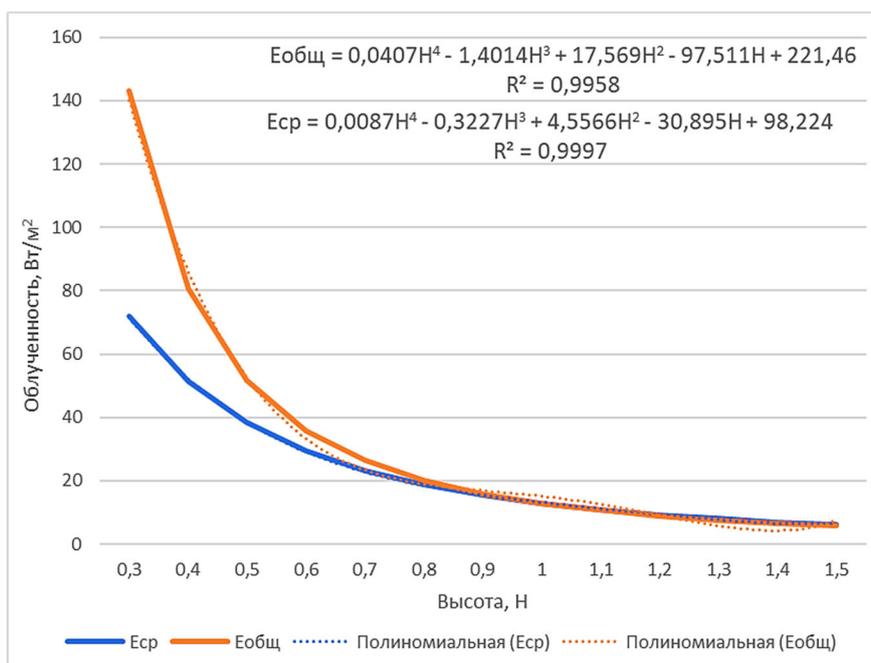


Рис. 6 – Графики зависимости облученности от высоты подвеса

Полученные функциональные зависимости справедливы для количественного состава и компоновки светодиодов при высоте подвеса от 0,3 до 1,5 м. Установлено, что зависимость E<sub>общ</sub> и E<sub>ср</sub> при высоте подвеса от 0,3 до 1,5 м описывается уравнением:

$$E_{общ}/E_{ср} = 0,0002H^4 - 0,0087H^3 + 0,1124H^2 - 0,6568H + 2,5251. \quad (14)$$

Значение коэффициента корреляции  $R^2 = 0,9978$  свидетельствует о допустимости принятия полиномиальной модели для определения значений средней облученности из общей облученности при данной компоновке светодиодов.

**Выводы.** На основании представленных фактов отмечаем следующие выводы:

1) разработана конструкция опытного образца установки для облучения растений с применением светодиодных источников и предложена методика расчета количественного состава излучающих светодиодов;

2) в результате численного моделирования установлено, что для обеспечения необходимого спектрального состава излучения в зоне ФАР (31,3% синего, 20,2% зеленого, 48,5% красного спектра излучения) и средней облученности более 70 Вт/м<sup>2</sup> облучательная установка должна состоять из 48 синих, 168 оранжевых, 48 красных и 24 ультрафиолетовых светодиодов;

3) неравномерность облученности при высоте подвеса 0,3 м и выше составляет менее 30%.

#### Библиография

1. Богомолов С.С., Вендин С.В. Перспективы применения светодиодных облучательных установок в теплицах // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе: материалы международной научно-практической конференции. Воронеж : ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, 2020. С. 201-205.
2. Богомолов С.С., Вендин С.В. Влияние излучения светодиодов узкополосного спектра на рост // Материалы XXV Международной научно-производственной конференции «Роль науки в удвоении валового регионального продукта» (Том 1). п. Майский : Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. С. 69-70.
3. Устройство для облучения растений: пат. 206336 Рос. Федерация 2021110097 / С.С. Богомолов, С.В. Вендин.; заявл. 12.04.2021; опубл. 06.09.2021, Бюл. №25. 6 с.
4. Степанчук Г.В., Ключка Е.П., Пономарева Н.Е. Оптические электротехнологии переменного облучения растений в культивационных сооружениях: монография // Зерноград : ФГБОУ ВПО АЧГАА, 2013. 208 с.
5. Регуляция метаболизма тепличных растений листового салата (*Lactuca sativa* L.) воздействием УФ радиации / И.Г. Захожий [и др.] // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 6. С. 42-55.
6. ГОСТ Р 58461 – 2019. Освещение растений в сооружениях защищенного грунта. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2019. 19 с.
7. ГОСТ 8.654 – 2016. Государственная система обеспечения единства измерений. Фотометрия. Термины и определения. М. : Стандартинформ, 2019. 16 с.
8. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А., Васькин А.Н. Методика расчета параметров радиационной среды от светодиодного фитооблучателя // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2019. № 1 (98). С. 71-82.
9. Супельняк С.И., Косушкин В.Г. Численное моделирование и выбор светодиодов для фитосветильников // Известия высших учебных заведений. Материалы электронной техники. 2017. Т. 20. № 2. С. 115-121.
10. Гончарова Л.И., Цыгвинцев П.Н., Гусева О.А. Динамика флавоноидов и продуктивности ячменя при действии УФ-а излучения // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2019. № 4. С. 14-18.
11. ГОСТ 8.332 – 2013. Световые измерения. Значения относительной спектральной световой эффективности монохроматического излучения для дневного зрения. Общие положения. М.: Стандартинформ, 2019. 12 с.
12. Ракутько Е.Н., Ракутько С.А. Инженерный метод определения фотосинтетического фотонного потока круглосимметричного фитооблучателя // АгроЭкоИнженерия. 2021. № 1 (106). С. 15-25.
13. Ракутько С.А., Мишанов А.П., Ракутько Е.Н. Методика расчета комбинированного светодиодного облучателя для растений // Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства. 2018. № 95. С. 89-100.
14. РД-АПК 1.10.09.01-14 Методические рекомендации по технологическому проектированию теплиц и тепличных комбинатов для выращивания овощей и рассады. ФГБНУ Росинформагротех, 2014. 104 с.
15. Юдаев И.В., Шабаев Е.А, Романов М.М. Исследование светодиодного светильника для систем локального освещения в области АПК // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2020. № 3 (59). С. 376-387.

#### References

1. Bogomolov S.S., Vendin S.V. Perspektivy primeneniya svetodiodnyh obluchatel'nyh ustanovok v teplicah [Prospects for the use of LED irradiators in greenhouses] // Energoeffektivnost' i energosberezhenie v sovremennom proizvodstve i obshchestve: materialy mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii. Voronezh : FGBOU VO Voronezhskij GAU, 2020. S. 201-205.
2. Bogomolov S.S., Vendin S.V. Vliyanie izlucheniya svetodiodov uzkopolosnogo spektra na rost [Influence of radiation of narrow-band spectrum LEDs on growth] // Materialy XXV Mezhdunarodnoj nauchno-proizvodstvennoj

- конференции «Rol' nauki v udvoenii valovogo regional'nogo produkta» (Tom 1). p. Majskij: Izdatel'stvo FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2021. S. 69-70.
3. Ustrojstvo dlya oblucheniya rastenij [Device for plant irradiation]: pat. 206336 Ros. Federaciya 2021110097 / S.S. Bogomolov, S.V. Vendin.; zayavl. 12.04.2021; opubl. 06.09.2021, Byul. № 25. 6 s.
  4. Stepanchuk G.V., Klyuchka E.P., Ponomareva N.E. Opticheskie elektrotehnologii peremennogo oblucheniya rastenij v kul'tivacionnyh sooruzheniyah [Optical electrotechnologies of variable irradiation of plants in cultivation facilities: monograph]: monografiya // Zernograd: FGBOU VPO ACHGAA, 2013. 208 s.
  5. Regulyaciya metabolizma teplichnyh rastenij listovogo salata (*Lactuca sativa* L.) vozdejstviem UF radiacii [Regulation of the metabolism of greenhouse plants of leaf lettuce (*Lactuca sativa* L.) by UV radiation] / I.G. Zahozhij [i dr.] // Izvestiya Timiryazevskoj sel'skohozyajstvennoj akademii. 2017. № 6. S. 42-55.
  6. GOST R 58461 – 2019. Osveshchenie rastenij v sooruzheniyah zashchishchennogo grunta. Terminy i opredeleniya [Plant lighting in protected ground structures. Terms and Definitions]. M.: Standartinform, 2019. 19 s.
  7. GOST 8.654 – 2016. Gosudarstvennaya sistema obespecheniya edinstva izmerenij. Fotometriya. Terminy i opredeleniya [State system for ensuring the uniformity of measurements. Photometry. Terms and Definitions]. M. : Standartinform, 2019. 16 s.
  8. Rakut'ko E.N., Rakut'ko S.A., Vas'kin A.N. Metodika rascheta parametrov radiacionnoj sredy ot svetodiodnogo fitobluchatelya [Method for calculating the parameters of the radiation environment from a LED phyto-irradiator] // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2019. № 1 (98). S. 71-82.
  9. Supel'nyak S.I., Kosushkin V.G. Chislennoe modelirovanie i vybor svetodiodov dlya fitosvetil'nikov [Numerical modeling and selection of LEDs for phytolamps] // Izvestiya vysshih uczebnyh zavedenij. Materialy elektronnoj tekhniki. 2017. T. 20. № 2. S. 115-121.
  10. Goncharova L.I., Cygvincev P.N., Guseva O.A. Dinamika flavonoidov i produktivnosti yachmenya pri dejstvii UF-a izlucheniya [Dynamics of flavonoids and productivity of barley under the action of UV-a radiation] // Vestnik rossijskoj sel'skohozyajstvennoj nauki. 2019. № 4. S. 14-18.
  11. GOST 8.332 – 2013. Svetovye izmereniya. Znacheniya odnositel'noj spektral'noj svetovoj effektivnosti monohromaticheskogo izlucheniya dlya dnevnogo zreniya. Obschie polozheniya. [Light measurements. The values of the relative spectral light efficiency of monochromatic radiation for daytime vision. General provisions]. M. : Standartinform, 2019. 12 s.
  12. Rakut'ko E.N., Rakut'ko S.A. Inzhenernyj metod opredeleniya fotosinteticheskogo fotonnogo potoka kruglosimmetrichnogo fitobluchatelya [Engineering method for determining the photosynthetic photon flux of a round-symmetrical phytoirradiator] // AgroEkoInzheneriya. 2021. № 1 (106). S. 15-25.
  13. Rakut'ko S.A., Mishanov A.P., Rakut'ko E.N. Metodika rascheta kombinirovannogo svetodiodnogo obluchatelya dlya rastenij [Method for calculating a combined LED irradiator for plants] // Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produkcii rastenievodstva i zhivotnovodstva. 2018. № 95. S. 89-100.
  14. RD-APK 1.10.09.01-14 Metodicheskie rekomendacii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu teplic i teplichnyh kombinatov dlya vyrashchivaniya ovoshchej i rassady [Guidelines for the technological design of greenhouses and greenhouse plants for growing vegetables and seedlings.]. FGBNU Rosinformagrotekh, 2014. 104 s.
  15. Yudaev I.V., Shabaev E.A., Romanov M.M. Issledovanie svetodiodnogo svetil'nika dlya sistem loka-l'nogo osveshcheniya v oblasti APK [Study of the LED lamp for local lighting systems in the field of agro-industrial complex] // Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vyshee professional'noe obra-zovanie. 2020. № 3 (59). S. 376-387.

#### Сведения об авторах

Богомолов Сергей Сергеевич, ассистент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7-952-425-89-93 e-mail: merloni95@gmail.com

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 обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru

#### Information about authors

Bogomolov Sergey Sergeevich, Assistant of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in the Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», st. Vavilova, d. 1, Maisky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7-952-425-89-93 e-mail: merloni95@gmail.com

Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in the Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», st. Vavilova, d. 1, Maisky settlement, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru

УДК 621.31.027.3

*С.В. Вендин, С.В. Соловьёв, С.В. Килин, А.О. Яковлев*

## РЕЗУЛЬТАТЫ МОНИТОРИНГА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ЗАЩИТЫ И ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ НА ПОДСТАНЦИИ 110 КВ

**Аннотация.** В статье приведены результаты анализа состояния электромагнитной защиты и разработки рекомендаций по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) устанавливаемой микропроцессорной (МП) аппаратуры на ПС 110 кВ. При внедрении МП аппаратуры следует учитывать, что энергообъекты являются источниками сильных электромагнитных полей и помех. Электромагнитная совместимость нарушается, если уровень помех слишком высок или помехоустойчивость оборудования не достаточна. В этом случае возможно нарушение в работе компьютеров, выдача ложных команд в системах управления, навигации, что приводит к катастрофам. Для обеспечения нормальной работы МП устройств, перед их размещением на станциях и подстанциях, согласно нормативной документации по обеспечению ЭМС на ПС при новом строительстве, комплексном перевооружении и техническом перевооружении предписывается проводить оценку реальной электромагнитной обстановки (ЭМО) на предмет ее соответствия требованиям, предъявляемым к местам размещения такой аппаратуры. С целью обеспечения электробезопасности, нормируемых значений параметров заземляющего устройства и ЭМС вторичного оборудования, помимо использования проводящих конструкций фундамента здания (естественный заземлитель), необходимо выполнять наружные заземляющие устройства для зданий вспомогательных устройств (ЗВУ) на базе искусственных заземлителей. Устанавливаемую МП аппаратуру следует заземлять по кратчайшему пути на металлоконструкции шкафов, в которых она будет размещаться. Аппаратура связи должна быть присоединена к заземляющему устройству здания посредством изолированного заземляющего проводника. Экранированными кабелями рекомендуется выполнение всех проводных вторичных цепей. Для ограничения распространения импульсных помех по сети 0,4 кВ рекомендуется устанавливать на каждую секцию УЗИП 1-го и 2-го класса.

**Ключевые слова:** электромагнитное поле, электрооборудование, электромагнитная совместимость, микропроцессорная аппаратура.

## RESULTS OF MONITORING OF ELECTROMAGNETIC PROTECTION AND ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY AT A 110 KV SUBSTATION

**Abstract.** The article presents the results of an analysis of the state of electromagnetic protection and the development of recommendations for ensuring electromagnetic compatibility (EMC) of the installed microprocessor (MP) equipment at a 110 kV substation. When introducing MP equipment, it should be taken into account that power facilities are sources of strong electromagnetic fields and interference. Electromagnetic compatibility is impaired if the level of interference is too high or the immunity of the equipment is not sufficient. In this case, there may be a malfunction in the operation of computers, the issuance of false commands in control systems, navigation, which leads to disasters. To ensure the normal operation of MP devices, before placing them at stations and substations, according to the regulatory documentation for ensuring EMC at substations during new construction, complex re-equipment and technical re-equipment, it is prescribed to assess the real electromagnetic environment (EMS) for its compliance with the requirements for places placement of such equipment. In order to ensure electrical safety, standardized values of the parameters of the grounding device and EMC of secondary equipment, in addition to the use of conductive structures of the building foundation (natural ground electrode), it is necessary to carry out external grounding devices for buildings of auxiliary devices (AED) based on artificial ground conductors. The equipment installed by the MP should be grounded along the shortest path to the metal structures of the cabinets in which it will be placed. The communication equipment must be connected to the building grounding device by means of an insulated grounding conductor. Shielded cables are recommended for all wired secondary circuits. To limit the propagation of impulse noise through the 0.4 kV network, it is recommended to install SPDs of the 1st and 2nd class on each section.

**Keywords:** electromagnetic field, electrical equipment, electromagnetic compatibility, microprocessor equipment.

**Введение.** Электромагнитная совместимость (ЭМС), объединяет электромагнитные явления влияющие на сеть, перенапряжения, колебания напряжения сети, электромагнитные влияния, паразитные связи, фон промышленной частоты 50 Гц, воздействия заземления и т.д. ГОСТ Р 51317.6.5-2006 определяет электромагнитную совместимость как «способность технического средства функционировать с заданным качеством в заданной электромагнитной обстановке и не создавать недопустимых электромагнитных помех другим техническим средствам». Электромагнитная совместимость нарушается если уровень помех слишком высок или помехоустойчивость оборудования не достаточна. В этом случае возможно наруше-

ние в работе компьютеров, выдача ложных команд в системах управления, навигации, что приводит к катастрофам [1].

При внедрении микропроцессорной (МП) аппаратуры следует учитывать, что энергообъекты являются источниками сильных электромагнитных полей и помех. Поэтому для обеспечения нормальной работы МП устройств, перед их размещением на станциях и подстанциях, согласно нормативной документации по обеспечению ЭМС на ПС при новом строительстве, комплексном перевооружении и техническом перевооружении предписывается проводить оценку реальной электромагнитной обстановки (ЭМО) на предмет ее соответствия требованиям, предъявляемым к местам размещения такой аппаратуры [2, 3].

**Цель исследования** – анализ состояния электромагнитной защиты и разработка рекомендаций по обеспечению электромагнитной совместимости (ЭМС) устанавливаемой МП аппаратуры на ПС 110 кВ.

**Материалы и методы.** В качестве объекта исследований была принята ПС 110 кВ «Центральная» закрытого типа. Исследования проводились с применением экспериментально-расчетных методов и имитационного моделирования [4, 5] параметров электромагнитной защиты для обеспечения электромагнитной совместимости устанавливаемой МП аппаратуры на ПС 110 кВ. Программа проводимых исследований предусматривала определение комплекса показателей согласно перечню задач, приведенных в таблице 1.

**Таблица 1 – Программа и задачи исследований**

Задачи исследований	Методы исследований
Анализ схемы объекта и общего состояния ЗУ и системы уравнивания потенциалов	Экспериментальное определение
Измерение удельного сопротивления грунта методом вертикального электрического зондирования. Приведение к наиболее неблагоприятным климатическим условиям	Экспериментальное определение
Определение качества электрической связи с ЗУ объекта (сопротивления металлосвязи) заземляющих спусков аппаратов и конструкций, расположенных в РУ-110 кВ и РУ-35 кВ	Экспериментальное определение
Анализ схемы объекта и общего состояния системы уравнивания потенциалов (СУП) в помещениях с МП аппаратурой в СПЗ.	Экспериментальное определение
Анализ схемы объекта и общего состояния система уравнивания потенциалов (СУП) в помещениях с МП аппаратурой в ЗВУ	Экспериментальное определение
Оценка сечений и коррозионного состояния элементов существующего ЗУ	Экспериментальное определение
Моделирование КЗ в сети 110кВ	Имитационное моделирование
Оценка ВЧ помех при КЗ	Имитационное моделирование
Определение напряжения прикосновения и шага при КЗ	Имитационное моделирование
Анализ схемы объекта и общего состояния системы молниезащиты в здании СПЗ	Экспериментальное определение
Анализ схемы объекта и общего состояния системы молниезащиты в здании ЗВУ	Экспериментальное определение
Определение импульсных помех и перенапряжений во вторичных цепях при молниевом разряде	Имитационное моделирование
Мониторинг качества питания в сети переменного тока	Экспериментальное определение
Мониторинг качества питания оперативным постоянным током	Экспериментальное определение
Мониторинг кондуктивных помех во вторичных цепях	Экспериментальное определение
Определение магнитных полей в нормальном режиме работы объекта	Экспериментальное определение
Определение магнитных полей в режиме КЗ	Имитационное моделирование
Определение магнитных полей при молниевых разрядах	Имитационное моделирование
Измерение электромагнитных полей радиочастотного диапазона в местах размещения микропроцессорной аппаратуры	Экспериментальное определение
Измерение электростатических потенциалов в местах размещения электронной аппаратуры	Экспериментальное определение

Для проведения расчетов и имитационного моделирования была принята план-схема ПС 110 кВ «Центральная» закрытого типа (рисунок 1).

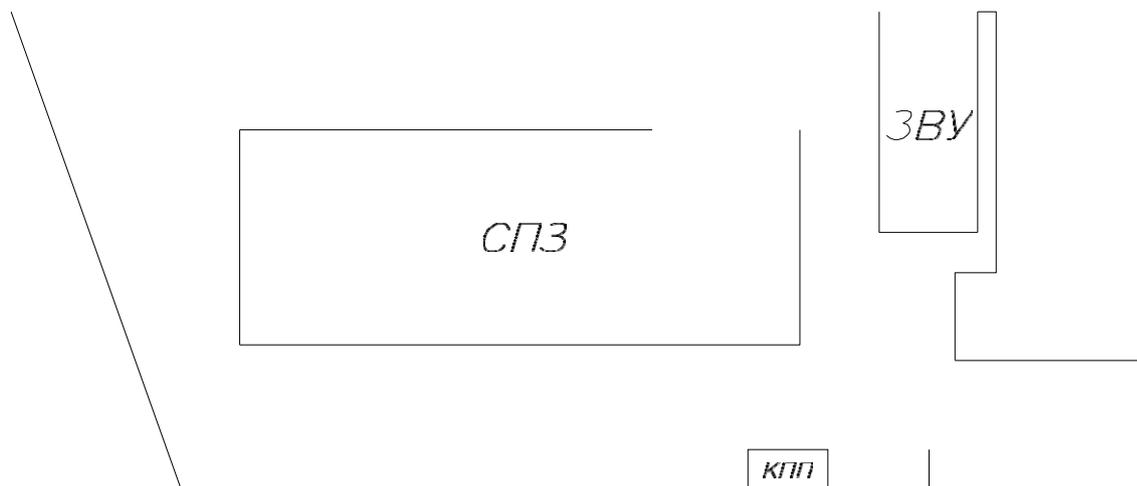


Рис. 1 – План-схема ПС110 кВ «Центральная»

Согласно план-схеме ПС 110 кВ «Центральная» в существующем совмещенном производственном здании (далее по тексту СПЗ) расположены: КРУЭ-110 кВ; КРУ-35 кВ; КРУ-6 кВ; трансформаторы Т-1 и Т-2 (напряжением 110/35 кВ); помещения РЩ, щитов постоянного тока (ЩПТ), щит собственных нужд ЩСН и прочее оборудование. В здании вспомогательных устройств (ЗВУ) располагаются вторичная аппаратура, выполненная на базе МП устройств, вторичные цепи которой преимущественно выполнены экранированным кабелем.

По имеющемуся опыту эксплуатации экранирование вторичных цепей позволяет ослаблять импульсные помехи, транслируемые от ЭА в распределительных устройствах до вторичной МП аппаратуры. Ослабление импульсных помех, транслируемых вдоль вторичных цепей, необходимо учитывать при проведении расчетов импульсных разностей потенциалов, прикладываемых к изоляции вторичных цепей и входам вторичной аппаратуры в результате молниевых разрядов в ЭСМЗ ПС или протекания по ЗУ ПС ВЧ-составляющей тока КЗ.

Применение экранированных кабелей с двусторонним заземлением экранов значительно снижает амплитуду импульсных помех, транслируемых вдоль цепей.

Кратность ослабления микросекундных импульсных помех (МИП), транслируемых вдоль цепей при использовании экранированных кабелей с двусторонним заземлением, несколько ниже, чем для колебательно-затухающих помех (КЗП). Согласно [6], а также с учетом опыта измерений на других ПС, минимальный коэффициент ослабления МИП, транслируемых вдоль цепей, имеющих гальваническую связь с ЗУПС, может быть принят равным 4; коэффициент ослабления МИП, для цепей, не имеющих гальванической связи с ЗУПС, может быть принят равным 10.

Прокладка кабелей вторичных цепей по металлическим кабельным конструкциям также способствует снижению амплитуды импульсных помех, транслируемых вдоль цепей [7]. Результирующий коэффициент ослабления помехи вычисляется как произведение коэффициентов ослабления при использовании каждого из мероприятий по экранированию цепей [6].

В связи с изложенным, при выполнении исследований учитывались указанные выше коэффициенты ослабления МИП и КЗП.

Минимальные значения коэффициентов ослабления МИП и КЗП для различных вариантов экранирования цепей представлены в таблице 2.

**Таблица 2 – Принимаемые минимальные значения коэффициентов ослабления импульсных помех**

Способ экранирования вторичных цепей	Коэффициент ослабления МИП, о.е.		Коэффициент ослабления КЗП, о.е.	
	Гальванически связанные с ЗУ цепи	Гальванически несвязанные с ЗУ цепи	Гальванически связанные с ЗУ цепи	Гальванически несвязанные с ЗУ цепи
Применение неэкранированных, либо экранированных без двустороннего заземления экранов кабелей	1	1	1	1
Применение неэкранированных, либо экранированных без двустороннего заземления экранов кабелей, прокладываемые по металлическим кабельным конструкциям	2	3	3	4
Применение экранированных с двусторонним заземлением экранов кабелей, прокладываемых вне заглубленных в грунт железобетонных лотках без ШУП	4	10	6	10
Экранированных с двусторонним заземлением экранов кабелей, прокладываемых по металлическим кабельным конструкциям	8	30	18	40

**Результаты и обсуждения.** Полученные по основным поставленным задачам результаты проведенных исследований приведены ниже.

Анализ схемы объекта и общего состояния ЗУ и системы уравнивания потенциалов позволил установить, что заземление имеющихся на ПС экранированных кабелей (ТН-3 110 кВ; цепи проложены из КРУЭ 110 кВ в РЩ) выполнено с нарушениями требований НТД [6] (заземление экранов осуществляется при помощи гибких изолированных медных проводников, длиной более 25 мм). Обнаруженный способ заземления экранов вторичных цепей ТН-3 110 кВ (из КРУЭ в пом. РЗА) мало эффективен для ослабления импульсных помех.

Измерение удельного сопротивления грунта проводилось за пределами объекта. Грунт промерзший. Глубина промерзания грунта в зимний период составляет не более 1,4 м (согласно карте нормативных глубин промерзания грунтов). Результаты измерений и сопутствующих расчетов приведены в таблице 3.

**Таблица 3 – Измерение удельного сопротивления грунта**

Расстояние между зондами, м	1	2	5,0	10	15
Глубина зондирования, м	1,5	3,0	7,5	15	22,5
$\rho$ , Ом·м	350	275	49	28	26

Эквивалентные значения удельного сопротивления грунта  $\rho$ , приведенные к двухслойной модели, с учетом наибольшего промерзания (высыхания) составили:

- 1) лето –  $\rho$  верхнего слоя – 150 Ом·м,  $\rho$  нижнего слоя – 26 Ом·м, толщина верхнего слоя – 1,5 м;
- 2) зима –  $\rho$  верхнего слоя – 450 Ом·м,  $\rho$  нижнего слоя – 26 Ом·м, толщина верхнего слоя – 1,5 м.

В соответствии с полученными результатами измерения, данными по средней глубине промерзания грунта в зимний период и проведенной аппроксимации данных в соответствии с методом Вернера [8], удельное сопротивление грунта принимается равным:

- 1) в летний период – двухслойный грунт с удельным сопротивлением 150 Ом·м (верхний слой) и 26 Ом·м (нижний слой), глубина раздела слоев – 1,5 м;

2) в зимний период – двухслойный грунт с удельным сопротивлением 450 Ом·м (верхний слой) и 26 Ом·м (нижний слой), глубина раздела слоев – 1,5 м.

С целью контроля электрической целостности заземляющего устройства предусматривался контроль качества электрической связи с ЗУ аппаратов и конструкций в пределах обследуемой части объекта. Контроль проводился путем измерения сопротивления связи по четырехпроводной схеме в соответствии с [9]. В качестве опорной точки для измерений был выбран заземляющий проводник разьединителя нейтрали трансформатора Т-2.

В ходе измерений (таблица 4) было выявлено, что ЭА и конструкции в пределах обследуемой территории объекта имеют удовлетворительную металлосвязь с ЗУ (сопротивление связи не превышает величины принятого критерия).

**Таблица 4 – Результаты измерений сопротивлений связи с ЗУ электроаппаратов и конструкций в пределах обследуемой территории объекта**

Оборудование	Наличие металлосвязи оборудования с заземлителем			Сопр. металло-связи, Ом	Степень коррозии заземляющих проводников, %	Пригодность к эксплуатации	Дата след. проверки	
	Кол-во заземл. проводников	Растекание тока КЗ по элементам системы заземления, %						
		Заземлитель	Кабели					Металло-констр.
КРУЭ 110кВ1,3с	10	100	-	-	0,009	<1	пригодно	2028 г.
ЩПТ1,3 с	4	100	-	-	0,011	<1	пригодно	2028 г.
ЩПТ2,4 с	4	100	-	-	0,012	<1	пригодно	2028 г.
ЩСН	4	100	-	-	0,012	<1	пригодно	2028 г.
КРУ35 кВ №1	5	100	-	-	0,009	<1	пригодно	2028 г.
КРУ35 кВ №2	3	100	-	-	0,010	<1	пригодно	2028 г.
Шкафы в помещении РЗА	-	100	-	-	0,012-0,015	<1	пригодно	2028 г.

В пределах обследуемой территории объекта были проведены работы по выявлению горизонтальных заземлителей ЗУ, проложенных в грунте при помощи визуального осмотра и на основании схемы прокладки заземлителей (рисунок 2). Прокладка горизонтальных заземлителей выполнена на глубине 0,5÷0,8 м, что удовлетворяет требованиям ПУЭ. Нарушений требований НТД в части организации ЗУ не выявлено.

Анализ схемы объекта и общего состояния системы уравнивания потенциалов (СУП) в помещениях с МП аппаратурой в совмещенном производственном здании (СЗП) проводился как визуально, так и с помощью трассо-поискового комплекта RD 8000.

СУП в помещении РЗА образована:

1. Закладными элементами, на которых установлены шкафы с МП аппаратурой.
2. ШУП, проложенной по стене помещения.
3. Заземляющими проводниками, проложенными от ШУП на стене к закладным элементам. Для каждого ряда шкафов с каждой стороны проложено по 2 заземляющих проводника (т.е. 4 заземляющих проводника для каждого ряда шкафов).
4. Металлическими конструкциями, предназначенными для прокладки кабелей, в кабельном помещении (расположено на отметке ниже помещения РЗА).
5. Металлическими несущими конструкциями здания.

СУП в помещении РЗА соответствует требованиям НТД и ЭМС. СУП в помещении КРУЭ 110 кВ 1,3 сек. образована:

1. Закладными элементами, на которых установлено оборудование КРУЭ 110 кВ.
2. ШУП, проложенной по стене помещения.

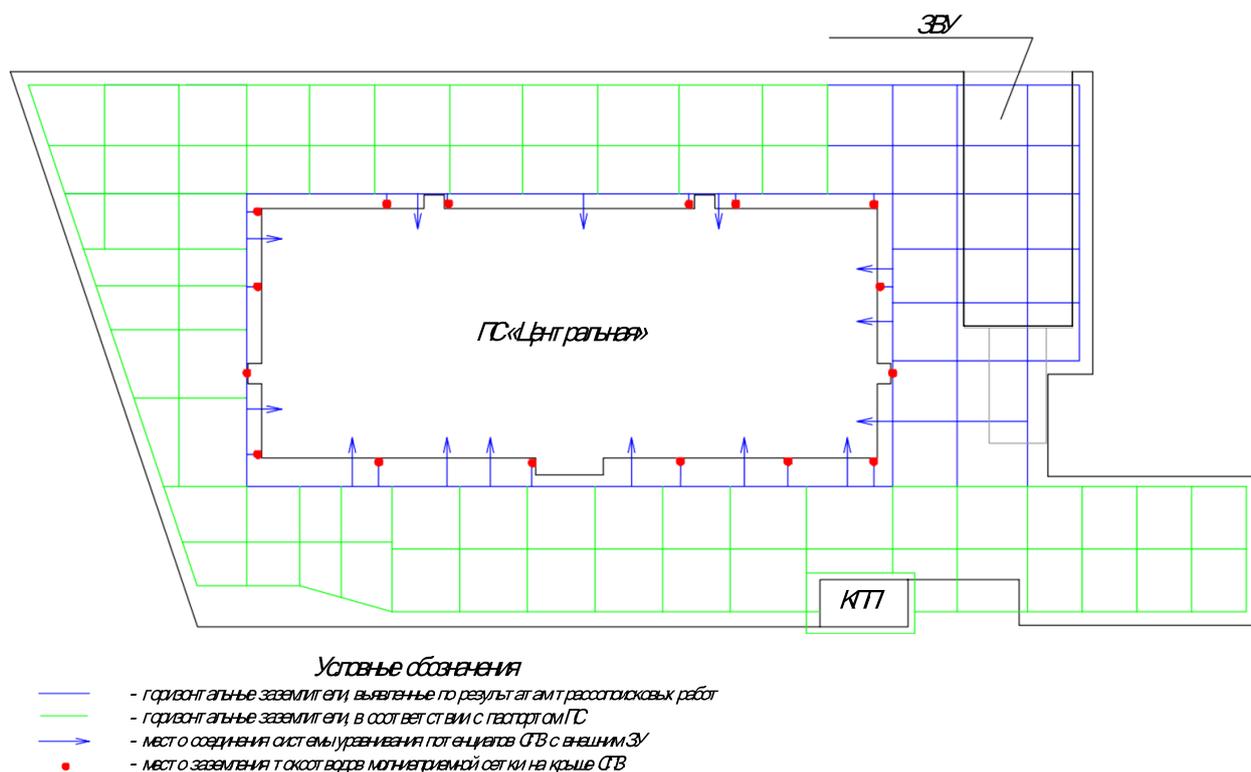


Рис. 2 – Схема прокладки горизонтальных заземлителей около СПЗ

3. Заземляющими проводниками, проложенными от ШУП на стене к закладным элементам.

4. Металлическими несущими конструкциями здания.

СУП в помещении КРУЭ 110 кВ 1,3 сек. соответствует требованиям НТД и ЭМС. СУП в помещении КРУ 35 кВ №1 и №2 образована:

1. Закладными элементами, на которых установлено оборудование КРУ 35 кВ.

2. ШУП, проложенной по стене помещения.

3. Заземляющими проводниками, проложенными от ШУП на стене к закладным элементам.

4. Металлическими несущими конструкциями здания.

5. СУП в помещении КРУ 35 кВ №1 и №2 сек. соответствует требованиям НТД и ЭМС.

Схема системы уравнивания потенциалов (СУП) в помещениях с МП аппаратурой в здании вспомогательных устройств (ЗВУ), разработанная на основании требований НТД и ЭМС, на различных отметках представлена на рисунке 3.

В соответствии с требованиями НТД, магистрали заземления СУП на различных отметках образуют замкнутые контуры по внутренним периметрам помещений с электрооборудованием. Проводники СУП в ЗВУ соединяются с наружным контуром заземления в шести точках. СУП, расположенные на разных отметках здания, соединяются между собой в 5 точках. Ряды рамных конструкций оборудования (ряды шкафов в помещении панелей РЗА и АСУТП) соединяются между собой проводниками с шагом не более чем 2 м. Размеры ячеек заземляющей сетки, примыкающей к местам присоединения нейтралей трансформаторов Т-1 и Т-2, не превышают 6×6 м.

Основные рекомендации по СУП в помещениях с МП аппаратурой в ЗВУ состоят в следующем: СУП выполнить из стальной полосы сечением 6х70 мм; помимо соединения элементов СУП между собой, следует выполнить их соединение с несущими металлоконструкциями здания ЗВУ в местах их наибольшего сближения.

Соединения и присоединения проводников СУП здания должны быть надежными, видимыми, контролируруемыми и обеспечивать непрерывность электрической цепи. Соедине-

ния стальных проводников рекомендуется выполнять при помощи сварки. Соединения элементов СУП должны быть защищены от коррозии и механических повреждений.

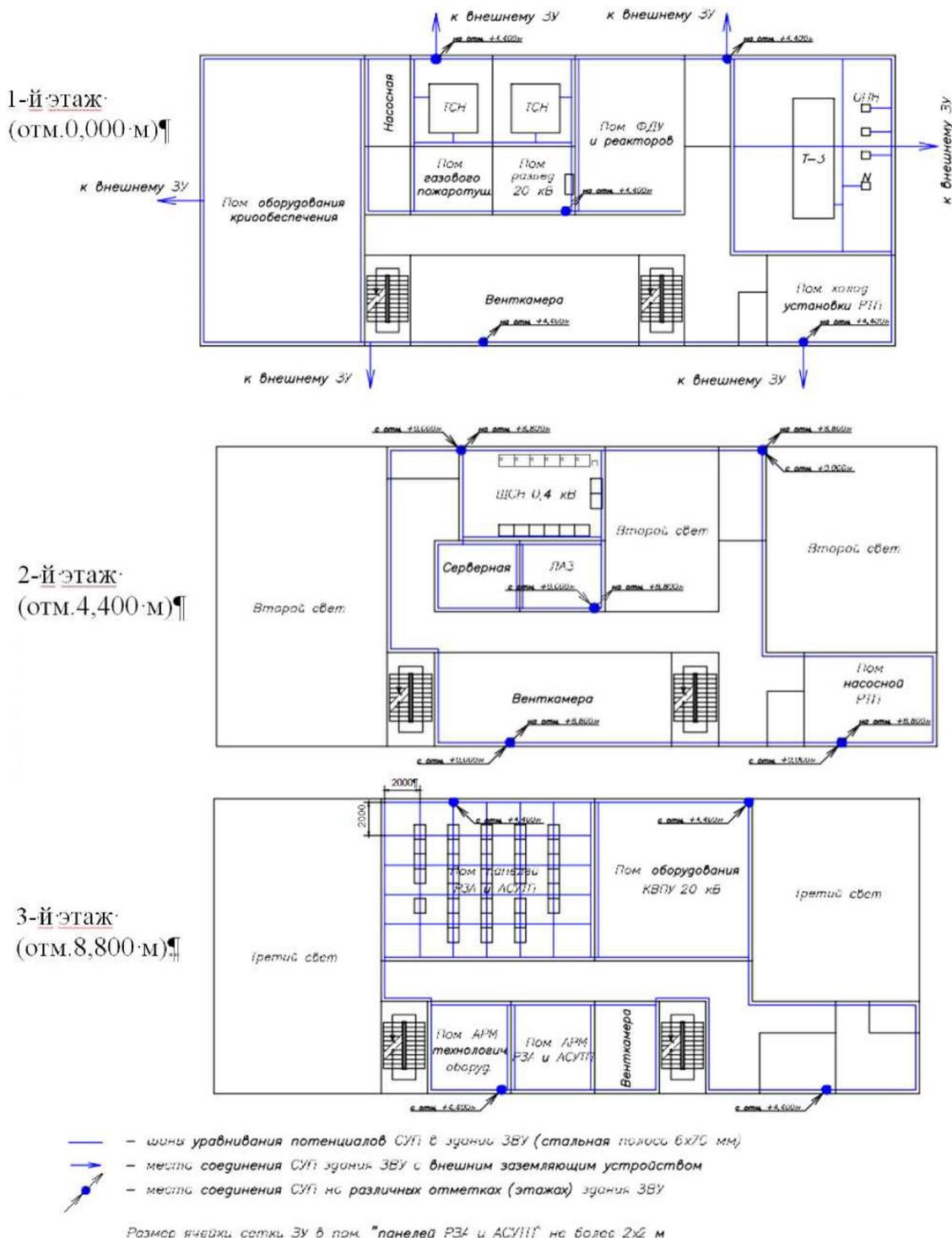


Рис. 3 – СУП в ЗВУ

Оценка сечений и коррозионного состояния элементов существующего ЗУ проводилась методом выборочного вскрытия грунта.

Результаты обследования состояния элементов ЗУ представлены в таблицах 5 и 6.

**Таблица 5 – Сечение и коррозионное состояние горизонтальных заземлителей**

Место	Материал	Форма	Сечение, мм <sup>2</sup>	Коррозия (% от сечения)	Эффективное сечение, мм <sup>2</sup>	Нагрев при КЗ, °С	Критерий	Итог
Открытая часть ПС	Сталь	Полоса 6x70	420	<5	399	47	ПУЭ-7 п.1.7.111, п.1.7.112	Уд.

**Таблица 6 – Сечение и коррозионное состояние заземляющих проводников**

Место	Материал	Форма	Сечение, мм <sup>2</sup>	Коррозия (% от сечения)	Эффективное сечение, мм <sup>2</sup>	Нагрев при КЗ, °С	Критерий	Итог
Открытая часть ПС	Сталь	Полоса 6x70	420	<1	416	92	ПУЭ-7 1.7.114	Уд.
ЗВУ	Сталь	Полоса 6x70	420	~0	420	150	ПУЭ-7 1.7.114	Уд.

Согласно паспортным данным, заземлители на ПС выполнены из стальной полосы 6x70 мм (420 мм<sup>2</sup>). Большое сечение заземлителей и не большой срок эксплуатации (с 2010 г.) позволяют ожидать, что коррозионное состояние заземлителей и их сечение удовлетворяют требованиям НТД.

Коррозия заземляющих проводников в месте перехода «земля»-«воздух» не превышает 5%. Как правило, переход «земля»-«воздух» наиболее подвержен коррозии.

Исходя из представленного выше можно заключить, что коррозия заземлителей не превышает 5%.

Ниже приведены результаты моделирование коротких замыканий (КЗ) в сети 110 кВ.

Для выполнения имитационного моделирования использовался цифровой прибор MRU200. Для проведения расчетов была создана соответствующая модель ЗУ объекта в ПО «Контур» (рисунок4).

В расчетной модели были заданы:

1. Горизонтальные заземлители на территории ПС.
2. Вертикальные заземлители около проектируемого ЗВУ.
3. Элементы СУП в СПЗ (существующие) и ЗВУ (проектируемые).
4. Молниеприемные сетки с токоотводами зданий СПЗ и ЗВУ.

Заземляющее устройство в пределах обследуемой территории ПС моделировалась на основе результатов трассопоисковых работ. Заземляющее устройство за пределами обследуемой территории ПС моделировалось сеткой, проложенной в соответствии с данными паспорта ЗУ ПС 110 кВ Центральная.

Результаты имитационного моделирования КЗ для ЭА и конструкций СПЗ м представлены в таблице 7.

На основании полученных результатов для ЭА и конструкций СПЗ критерий достаточности связи с ЗУ принимаем равным 0,08 Ом.

Согласно результатам имитационного моделирования и расчетов (таблица 4), КЗ в сети 110 кВ не будет представлять опасности для изоляции МП аппаратуры и вторичных цепей. Протекание части тока КЗ по заземленным с двух сторон экранам кабелей вторичных цепей не будет приводить к их нагреву свыше 150 С (в соответствии с требованиями п.1.4.16 ПУЭ-7).

Результаты измерений и расчетов, представленных выше, показывают, что параметры существующих элементов ЗУ удовлетворяют требованиям НТД, предъявляемых к величине их эффективного сечения, геометрическим размерам, а также по условиям нагрева при протекании по ним тока короткого замыкания.

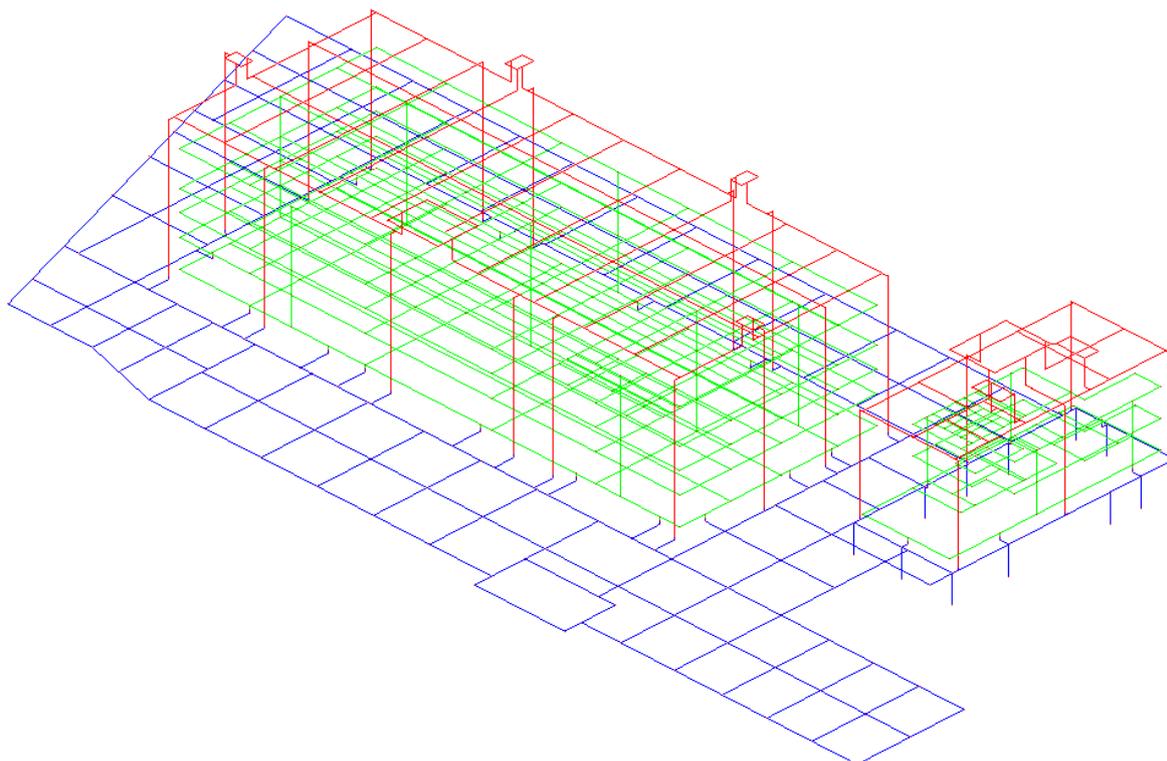


Рис. 4 – Расчетная модель ЗУ ПС «Центральная» с учетом расширения

Таблица 7 – Токи и напряжения промышленной частоты при коротком замыкании на землю

Трасса кабеля	Место приложения воздействия	Подпитка	Расчетно-экспериментальные воздействия		Время возд., с	Допустимый уровень воздействия	
			Наибольшее напряжение на кабеле или устройстве, кВ	Наибольший ток в экране, оболочке или броне кабеля А / температура нагрева, °С		Наиб. напр. на кабеле или устр., кВ	Наиб. темп-ра нагрева экрана, оболочки или брони кабеля, °С
Замыкания на землю в сети 110 кВ							
ТН-3-110 кВ ф. А-п. РЗА	ТН-3-110кВ (измерение)	Т-1,Т-2	0,016	283 / 94	0,7	2,0	150
		система	0,234				
		суммарно	0,250				
п. РЗА в СПЗ -п. РЗА в ЗВУ	Т-3(ЗВУ) (расчет)	суммарно	0,392	351 / 129	0,7	2,0	150
Замыкания на землю в сети 35 кВ							
п. РЗА в СПЗ -КРУ35 кВ	КРУ 35 кВ- Т-2	-	0,113	126 / 41	0,6	2,0	150

Оценка ВЧ помех при КЗ. Возникающий в результате КЗ ток имеет широкий спектр высокочастотных составляющих. Поэтому при коротких замыканиях на ЗУ, помимо разности потенциалов на основной частоте 50 Гц, будут возникать высокочастотные разности потенциалов. При этом имеет место резкий подъем потенциала в небольшой области вокруг точки КЗ. За счет индуктивного сопротивления заземлителей на высоких частотах, возникающая разность потенциалов между ЭА и входами вторичной аппаратуры может достигать десятков кВ даже при сравнительно небольших амплитудах ВЧ-составляющих токов КЗ, что может представлять опасность для вторичного оборудования.

Наибольшей опасности подвергается вторичное оборудование, цепи которого имеют непосредственную гальваническую связь с ЗУ ПС (например, в точке заземления цепей из-

мерительных трансформаторов). Тем не менее, возможен пробой изоляции цепей, даже не связанных непосредственно с ЗУ.

Возможно также наведение существенных помех в цепях, не имеющих гальванической связи с ЗУ (по индуктивному и емкостному механизму). Степень опасности такого воздействия обычно ниже, чем прямое гальваническое влияние на цепи и их изоляцию. Определение помех в результате протекания ВЧ-составляющей тока КЗ по ЗУ в соответствии с [6], производится для электроустановок напряжением 110 кВ и выше.

Определение опасности ВЧ-составляющей тока КЗ производилось на основании расчетов с использованием модели ЗУ (рисунок4) и ПО «Контур». Принимаемые коэффициенты ослабления КЗП приведены в таблице 2. Результаты определения уровней воздействия на вторичные цепи и входы МП аппаратуры протекания ВЧ-составляющей тока КЗ через ЗУ приведены в таблице 8.

**Таблица 8 – Импульсные помехи, связанные с импульсным подъемом потенциала ЗУ при протекании ВЧ-составляющей тока КЗ**

Трасса кабеля	Оборудование, от которого приходят цепи к уст-ву	Параметры ВЧ-составляющей тока КЗ			Расчетные уровни воздействия		Доп. уровень воздействия	Выводы
		$I_{вч}$ , кА	$f$ , МГц	$K_{ПЕРЕД}$ , о.е.	Наиб. напр. на уст-ве, кВ (безэкр.)	Уровень помехи в цепях (с учетомэкр.), кВ		
Летний период								
ТН-3-110-КШ ТН-3	ТН-3-110	6	2	18	35,4	1,97	6,0 – изоляция; 4,0 – МП аппаратура	Уд.
КШТН-3 - пом. РЗАСПЗ	ТН-3-110	6	2	3	53,6	17,9	6,0 – изоляция; 4,0 – МП аппаратура	Уд.
Т-3- пом.РЗА ЗВУ	Т-3	6	2	18	45,6	2,53	6,0 – изоляция; 4,0 – МП аппаратура	Уд.
Зимний период								
ТН-3-110 - КШ ТН-3	ТН-3-110	6	2	18	45,3	2,52	6,0 – изоляция; 4,0 – МП аппаратура	Уд.
КШ ТН-3 - пом. РЗА СПЗ	ТН-3-110	6	2	3	69,4	23,1	6,0 – изоляция; 4,0 – МП аппаратура	Уд.
Т-3 - пом. РЗА ЗВУ	Т-3	6	2	18	58,7	3,26	6,0 – изоляция; 4,0 – МП аппаратура	Уд.

По результатам проведенных расчетов можно сделать выводы, что импульсные помехи в результате протекания ВЧ-составляющей тока КЗ в сети 110 кВ, могут представлять опасность для устанавливаемой МП аппаратуры и вторичных цепей проложенных из КРУЭ 110 кВ в пом. РЗА (СПЗ). Наибольшую опасность протекание ВЧ-составляющей тока КЗ представляет для цепей, выполненных не экранированным кабелем, а также экранированных кабелей с односторонним заземлением экранов и неэффективным заземлением экранов.

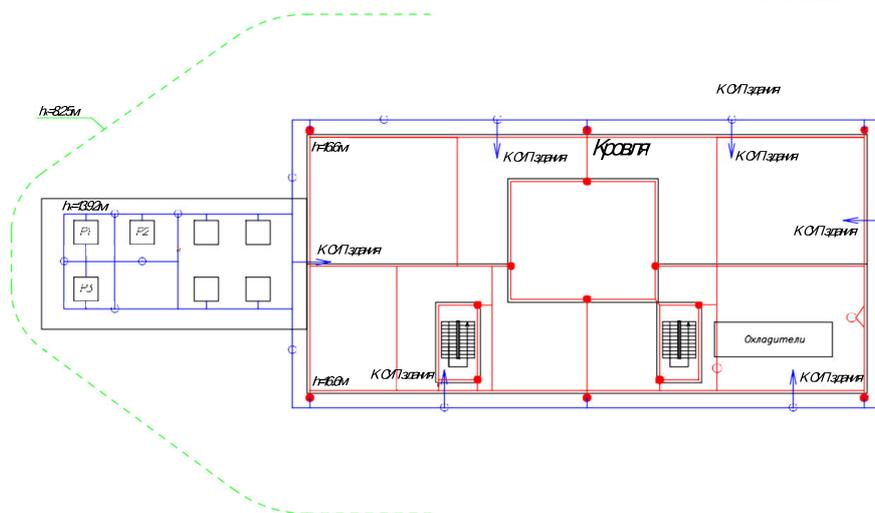
Определение напряжения прикосновения и шага при КЗ в сетях выше 1 кВ проводилось по стандартным методикам [6]. Результаты определения значений напряжений прикосновения указаны в таблице 9.

**Таблица 9 – Результаты расчетов напряжения прикосновения/шага**

Оборудование	Время срабатывания защиты, с	Нормативное значение, В	Рассчитанное значение, В	Заключение
Шкаф ТН-3 110 кВ	0,7	130	45/48	Соответствует требованиям ПУЭ
КРУ35 кВ №1	0,7	95	28/30	Соответствует требованиям ПУЭ
КРУ35 кВ №2	0,7	95	29/31	Соответствует требованиям ПУЭ
Территория за пределами рабочих мест в КРУЭ 110 кВ	0,1	500	78/82	Соответствует требованиям ПУЭ
Разъединитель 20 кВ в ЗВУ	0,7	95	84/86	Соответствует требованиям ПУЭ

Согласно полученным расчетам, можно утверждать, что возникающие при КЗ напряжения прикосновения и напряжения шага не будут представлять опасности для персонала ПС.

Анализ системы молниезащиты в здании СПЗ показал, что защита СПЗ от прямых ударов молнии осуществляется молниеприемной стекой на крыше здания. Размер ячейки молниеприемной сетки не превышает значения 12х12 м, что удовлетворяет требованиям ПУЭ-7 (п.4.2.134). Молниеприемная сетка связана с ЗУ при помощи токоотводов (пруток Ø10) в 16-ти местах. Среднее расстояние между токоотводами не превышает значения 16 м, что с учетом размеров здания (90х36 м), удовлетворяет требованиям, предъявляемым к обеспечению молниезащиты зданий с молниеприемной сеткой (проводящей кровлей). Места установки и заземления токоотводов здания СПЗ показаны на рисунке 5.



**Рис. 5 – План-расположение молниеприемной сетки на здании ЗВУ**

Защиту от прямого удара молнии (ПУМ) здания ЗВУ необходимо выполнить при помощи молниеприемной сетки. Согласно классификации [10-12] молниезащита здания ЗВУ относится к III категории. Рекомендуемая молниеприемная сетка на здании ЗВУ удовлетворяет современным требованиям НТД, т.к. размер ячейки сетки не превышает значения 10х10 м, расстояние между токоотводами не превышает значения 20 м (среднее расстояние составляет 18,5 м).

В соответствии с габаритными размерами здания ЗВУ, количество токоотводов молниеприемной сетки должно быть не менее шести. Диаметр прутка молниеприемной сетки и токоотводов 10 мм.

Защиту от ПУМ оборудования (охладителей) на крыше здания ПС рекомендуется выполнить при помощи стержневых молниеприемников, аналогичных установленным на кры-

ше здания СПЗ. Устанавливаемые молниеприемники должны быть не менее, чем в 1,3 раз выше охладителей.

Расположенные на открытой площадке криогенного оборудования ресиверы технологического гелия (стальные резервуары с толщиной стенки 20 мм и высотой 13,92 м) в соответствии с [12] могут рассматриваться как естественные молниеприемники, обеспечивающие защиту от ПУМ прочего криогенного оборудования на данной открытой площадке. На рисунке 5 показана граница зоны молниезащиты на высоте 8,25 м (соответствует наибольшей высоте защищаемого оборудования на открытой площадке криогенного оборудования), построенная в соответствии с для надежности 0,9.

Определение импульсных помех и перенапряжений во вторичных цепях при молниевом разряде производилось расчетным методом. В соответствии с требованиями НТД [12] амплитуда импульса тока молнии принята равной 100 кА. Все расчеты импульсных перенапряжений и ИМП, возникающих при разряде молнии в МПС на СПЗ и ЗВУ проведены для молний с амплитудой 100 кА. Результаты расчетов приведены в таблице 10.

**Таблица 10 – Импульсные напряжения, воздействующие на контрольные кабели и входы аппаратуры при ударах молнии**

Обозн. ЭСМЗ	Трасса кабелей (N трассы)	Ампл. имп, кА	Форма имп, мкс	Разность потенциалов вдоль трассы, кВ	Импульсная помеха, кВ		Коэф. ослабления, о.е.	Допустимый уровень воздействия, кВ	
					На входе аппаратуры	Приложенная к изоляции цепей		Приложенное к кабелю	Приложенное к входам аппаратуры
МПССПЗ	ТН-3-110 - пом. РЗАСПЗ	100	10/350	5,1	2,55	2,55	2	6,0	4,0
	пом. РЗАСПЗ - пом. РЗАЗВУ			14,9	1,86	1,86	8	6,0	4,0
МПСЗВУ	В пределах ЗВУ			1,1	0,14	0,14	8	6,0	4,0
	пом. РЗАСПЗ - пом. РЗАЗВУ			30,1	3,76	3,76	8	6,0	4,0

Анализ результатов проведенных расчетов распределения импульсных потенциалов по ЗУ в результате молниевых разрядов в ЭСМЗ ПС показывает, что молниевые разряды не представляют опасности для изоляции кабелей и МП аппаратуры.

Мониторинг качества питания в сети переменного тока проводился в помещении РЗА в СПЗ. Результаты мониторинга представлены в таблице 11.

Согласно полученным данным, максимальное значение действующего напряжения превышает предельно допустимый уровень.

Остальные параметры переменного тока сети СН 0,4 кВ (частота, гармонический состав) удовлетворяют требованиям ГОСТ 32144-2013 и условиям питания МП аппаратуры.

**Таблица 11 – Мониторинг качества электроснабжения переменным током**

Точка подключения	Действующее значение напряжения, мин./макс. уровень		Коэф. искажения синусоидальности кривой напряжения		Частота		Провалы и прерывания Величина, % /длительность,с		Импульсные помехи	
	Изм. знач, В	Доп. уровень, В	Наиб. уровень, %	Доп. значения, %	Изм. значение, Гц	Доп. значения, Гц	Изм.	Доп.	Изм, кВ	Доп, кВ
СПЗ, пом.РЗА розетка ~220В	233,2÷246,0	198÷242	1,3	12	50,00	49,80–50,20	-/-	100 /0,1	<0,5	2,0

Мониторинг качества питания оперативным током также проводился в помещении РЗА в СПЗ. Результаты мониторинга представлены в таблице 12. На основе представленных данных можно утверждать, что основные параметры оперативного тока в полной мере удовлетворяют требованиям ГОСТ Р 51179-98 и условиям питания МП аппаратуры.

**Таблица 12 – Мониторинг качества электроснабжения постоянным током**

Цепи	Измеренное значение напряжения, мин./макс. уровень		Провалы и прерывания напряжения Величина, %/ / длительность, с		Пульсации напряжения		Импульсные помехи	
	Изм., В	Доп., В	Изм.	Доп.	Наиб. уровень %	Доп. уровень %	Наиб. напряжение, кВ	Доп. уровень кВ
СПЗ, пом.РЗАШкафХ91(«ШОТ330») КлеммыХ41	228,3÷229,3	198 ÷242	-/-	100 / 0,05	0,3	10	<0,5	2,0

Мониторинг кондуктивных помех проводился в цепях ТН-1 110 кВ, а также в цепях питания переменным и постоянным током. Результаты мониторинга представлены в таблице 13.

В результате мониторинга установлено, что в цепях ТН-3 110 кВ и цепях питания МП аппаратуры не было выявлено помех, превышающих уровни помехоустойчивости микропроцессорного оборудования.

**Таблица 13 – Кондуктивные помехи во вторичных цепях**

Здание, номер панели (шкафа)	Вид цепей (устройство)	Клеммы	Характер помехи	Наиб. напряжение, кВ	Допустимый уровень воздействия, кВ
КРУЭ 110 кВ, шкафЕ101	ТН-3-110	Х611; Заземляющее устройство	-	<0,2	2,5
СПЗ, пом.РЗА ШкафХ91(«ШОТ330»)	ОТ=220В	кл. «+»; кл. «-»	-	<0,5	2,0
СПЗ, пом.РЗА розетка ~220В	СН~220В	«фаза»; «ноль»	-	<0,5	2,0

Измерение магнитных полей промышленной частоты (МППЧ) в нормальном режиме работы объекта проводилось в помещениях РЗА, КРУЭ 110 кВ, КРУ 35 кВ №1, КРУ 35 кВ №2 в СПЗ. Результаты измерений магнитных полей в СПЗ в нормальном режиме работы ПС приведены в таблице 14. Измеренные значения напряженности МППЧ в нормальном режиме работы ПС не будут представлять опасности для МП аппаратуры.

**Таблица 14 – Магнитные поля промышленной частоты, нормальный режим**

Место измерения, расчета	Наиб. изм. напряженность, А/м	Предполагаемый источник	Влияющий ток, А		Напряженность с учетом пересчета, А/м	Доп. уровень воздействия, А/м
			Момент изм.	Номинал		
пом. РЗА	0,85	-	-	-	-	100
КРУЭ 110кВ1,3с	5,65	КРУЭ110 кВ	50	100	11,3	100
КРУ35 кВ №1	6,44	шины35кВ	50	100	12,9	100
КРУ35 кВ №2	6,88	шины35кВ	50	100	13,8	100
Расчеты МППЧ в ЗВУ						
пом. РЗА	10	оборудование 20кВ	-	-	10	100
пом. АРМ	7	оборудование 20кВ	-	-	7	100
Серверная	22	оборудование 20кВ	-	-	22	100
ЛАЗ	20	оборудование 20кВ	-	-	20	100

В таблице 14 приведены также результаты расчетов постоянно действующих МППЧ в ЗВУ в нормальном режиме работы ПС для помещений (РЗА, АРМ, Серверная, ЛАЗ).

Согласно результатам расчетов МППЧ в нормальном режиме работы объекта не будут представлять опасности для МП аппаратуры.

Из-за протекания сверхтоков по элементам первичной сети и заземляющего устройства, а также из-за несимметричной схемы протекания токов, магнитные поля промышленной частоты в режиме КЗ могут существенно превосходить поля в нормальном режиме работы объекта. Определение кратковременных магнитных полей в режиме КЗ выполнялось с помощью стандартных расчетных методик. Результаты определения кратковременных МППЧ приведены в таблице 15.

**Таблица 15 – Магнитные поля промышленной частоты, режим КЗ**

Место расчета	Источник поля	Влияющий ток, кА	Экранирующие конструкции/толщина экранов, мм	Наиб. расчетная напряженность, А/м		Доп. уровень воздействия, А/м
				безэкр.	сэкр.	
<b>СПЗ</b>						
Пом. РЗА в СПЗ	КРУЭ110 кВ	21,33	металлич. шкаф/1	58	17	1000
	КРУЭ110 кВ	21,66	металлич. шкаф/1	51	15	1000
КРУЭ 110 кВ1,3 с	КРУЭ110 кВ	21,33	металлич. шкаф/1	183	52	1000
КРУ35 кВ №1	Ошиновка 35 кВ	9,40	металлич. шкаф/1	735	210	1000
КРУ35 кВ №2	Ошиновка 35 кВ	9,40	металлич. шкаф/1	748	214	1000
<b>ЗВУ</b>						
пом. РЗА	Ошиновка 20 кВ	29,99	металлич.шкаф/1	173	49	1000
пом. АРМ	Ошиновка 20 кВ	29,99	металлич.шкаф/1	166	47	1000
Серверная	Ошиновка 20 кВ	29,99	металлич.шкаф/1	247	70	1000
ЛАЗ	Ошиновка 20 кВ	29,99	металлич.шкаф/1	254	73	1000

Расчет напряженности кратко временного МППЧ проводился в местах размещения МП аппаратуры в СПЗ и ЗВУ. Кратковременное МППЧ в зданиях СПЗ и ЗВУ не будет представлять опасности для МП аппаратуры.

Помимо постоянно действующих и кратковременных магнитных полей при КЗ, опасность для МП аппаратуры могут представлять импульсные магнитные поля при разрядах молнии в молниеотводы объекта.

Определение импульсных магнитных полей при разрядах молнии выполнялось с помощью стандартных расчетных методик. Результаты определения приведены таблице 16. При выполнении расчетов величина тока молнии принималась 100 кА.

**Таблица 16 – Импульсные магнитные поля**

Источник поля	Место расчета	Влияющий ток, кА	Расч. напряженность без учёта экранирования, А/м	Экранирующие конструкции/ толщина экранов, мм	Расч. напряженность с учётом экранирования, А/м	Доп. уровень воздействия, А/м
<b>СПЗ</b>						
МПССПЗ	пом.РЗА	100	847	металлич. шкаф/1	106	300
	КРУЭ 110кВ1,3с		782	металлич. шкаф/1	98	300
	КРУ35 кВ №1		726	металлич. шкаф/1	91	300
	КРУ35 кВ №2		755	металлич. шкаф/1	94	300
<b>ЗВУ</b>						
МПСЗВУ	пом.РЗА	100	1640	металлич. шкаф/1	205	300
	пом.АРМ		1386	металлич. шкаф/1	173	300
	Серверная		931	металлич. шкаф/1	116	300
	ЛАЗ		945	металлич. шкаф/1	118	300

Анализ результатов расчетов показывает, что импульсное магнитное поле в СПЗ и ЗВУ с учетом экранирующих свойств аппаратных шкафов не будет представлять опасности для МП аппаратуры, испытанной по 4-му (300 А/м) и выше классам жёсткости на устойчивость к ИМП.

Измерение электромагнитных полей радиочастотного диапазона в местах размещения микропроцессорной аппаратуры.

Измерение напряженности электромагнитных полей радиочастотного диапазона в местах размещения микропроцессорной аппаратуры проводилось в нормальном режиме работы объекта. Результаты измерений приведены в таблице 17.

**Таблица 17 – Электромагнитные поля радиочастотного диапазона**

Здание, помещение	Частота, МГц	Источник поля	Наиб. напряженность, В/м	Степень жесткости испытаний (или доп. уровень воздействия), В/м (дБ относительно 1мкВ/м)
пом. РЗАвСПЗ	0-2000	-	0,388	10
КРУЭ110 кВ1,3 сек. в СПЗ	0-2000	-	0,114	10
КРУ35 кВ №1 в СПЗ	0-2000	-	0,121	10
КРУ35 кВ №2 в СПЗ	0-2000	-	0,102	10

Измеренные значения амплитуды электромагнитных полей в полосе 0÷2000 МГц в ЗВУ не превышали 1 В/м. Такой уровень поля не представляет опасности для МП аппаратуры.

При проведении реконструкции ПС, на ее территории и вблизи нее не планируется размещения мощных источников излучения радиочастотного диапазона, в связи с чем, исключается возможность существенного превышения измеренных значений напряженности радиочастотного магнитного поля в СПЗ и ЗВУ.

Электростатические потенциалы могут представлять опасность для МП аппаратуры в момент электростатического разряда с тела человека или используемого им инструмента. Уровень электростатического потенциала существенно зависит от типа напольного покрытия, а также влажности воздуха в помещении.

В помещении РЗА в СПЗ напольное покрытие выполнено из антистатического линолеума. В помещениях КРУЭ 110 кВ и КРУ 35 кВ №1/2 пол - окрашенный бетон. Появление высоких электростатических потенциалов на антистатическом линолеуме или бетонном полу маловероятно.

Результаты измерений и расчетов электростатических потенциалов в местах размещения электронной аппаратуры представлены в таблице 18. Анализ полученных результатов показывает, что электростатические потенциалы не будут представлять опасности для МП аппаратуры в СПЗ.

**Таблица 18 – Определение электростатических потенциалов**

Помещение	Тип покрытия пола	Измерения			Расчетно-экспериментальное значение			Доп. уровень воздействия, кВ
		Влажность, %	Температура, °С	Потенциал напольного покрытия или тела человека, кВ	Влажность, %	Темп, °С	Наибольший потенциал напольного покрытия или тела человека, кВ	
пом. РЗА	антистатический линолеум	95	22	<0,01	10	30	<1,0	6,0
КРУЭ 110 кВ 1,3 с	бетон	95	22	<0,01	10	30	<1,0	6,0
КРУ 35 кВ №1	бетон	95	22	<0,01	10	30	<1,0	6,0
КРУ 35 кВ №2	бетон	95	22	<0,01	10	30	<1,0	6,0

**Общие результаты исследований.** В результате проведенного обследования электромагнитной обстановки на объекте получены следующие результаты.

1. Обнаруженные в ходе обследования существующие элементы ЗУ в пределах обследуемой территории объекта пригодны к дальнейшей эксплуатации.

2. Обнаруженная в помещении РЩ здания схема СУП удовлетворяет современным требованиям НТД.

3. Удельное электрическое сопротивление грунта в месте расположения объекта является благоприятным по условиям растекания тока с заземлителей.

4. В пределах обследуемой части ПС не было обнаружено объектов с нарушениями металлосвязи с ЗУ ПС.

5. Разности потенциалов на промышленной частоте при КЗ в сетях выше 1 кВ не будут представлять опасности (с учетом планируемого расширения ПС) для МП аппаратуры и изоляции вторичных цепей.

6. Протекание части тока КЗ по заземленным с двух сторон экранам (проводящим оболочкам) кабелей не будет приводить к нагреву их изоляции сверх допустимого значения 150<sup>0</sup>С.

7. Помехи и перенапряжения, возникающие вследствие протекания по ЗУ объекта ВЧ-составляющей тока в результате КЗ, могут представлять опасность для изоляции кабелей и МП аппаратуры. Опасность обусловлена отсутствием эффективного двустороннего заземления экранов кабелей (например, проложенных от КШ ТН-3 110 кВ в пом. РЗА), а также использования не экранированных кабелей.

8. Напряжения прикосновения и шага не будут представлять опасности (с учетом планируемого расширения ПС) при КЗ.

9. Система молниезащиты существующего СПЗ и проектируемого ЗВУ удовлетворяют требованиям НТД.

10. Распределение по ЗУ и СУП импульсных потенциалов в результате прямых ударов молнии в МПС зданий СПЗ и ЗВУ не представляет опасности для изоляции кабелей и МП аппаратуры.

11. Схема питания вторичного оборудования ОТ в СПЗ удовлетворяет современным требованиям НТД. Кабели питания аппаратуры постоянным током выполнены не экранированным кабелем, что нарушает требования НТД.

12. Мониторинг качества питания постоянным оперативным током в СПЗ не выявил опасностей для устанавливаемой МП аппаратуры. Качество питания постоянным током соответствует требованиям НТД.

13. Система питания переменным током в СПЗ соответствует схеме TN-S. В ЗВУ систему питания планируется выполнить также по схеме TN-S, что удовлетворяет требованиям НТД предъявляемым к условиям питания МП аппаратуры переменным током. Кабели питания аппаратуры переменным током выполнены неэкранированным кабелем, что нарушает требования НТД.

14. Мониторинг качества питания переменным током в СПЗ выявил, что максимальное значение действующего напряжения превышает предельно допустимый уровень. Остальные параметры переменного тока сети СН 0,4 кВ (частота, гармонический состав) удовлетворяют требованиям ГОСТ 32144-2013 и условиям питания МП аппаратуры.

15. Мониторинг помех в цепях ТН-3 110 кВ, СН 0,4 кВ и ОТ не выявил импульсных перенапряжений, которые могут представлять опасность для устанавливаемой МП аппаратуры.

16. Магнитные поля промышленной частоты (в нормальном режиме работы ПС и при КЗ) не представляют опасности для МП аппаратуры, устанавливаемой в СПЗ и ЗВУ.

17. ИМП не представляют опасности для МП аппаратуры, устанавливаемой в СПЗ и ЗВУ, с учетом экранирования аппаратными шкафами.

18. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона не представляют опасности для МП аппаратуры, устанавливаемой в СПЗ и ЗВУ.

19. Электростатические потенциалы не будут представлять опасности для устанавливаемой МП аппаратуры.

**Заключение и рекомендации.** Для устранения выявленных недостатков, а также для обеспечения ЭМО необходимо выполнить следующие рекомендации:

1. С целью обеспечения электробезопасности, нормируемых значений параметров заземляющего устройства и ЭМС вторичного оборудования, помимо использования проводящих конструкций фундамента здания (естественный заземлитель), необходимо выполнить наружное заземляющее устройство ЗВУ на базе искусственных заземлителей.

2. Для исключения поражения персонала шаговым напряжением при разряде молнии в крыши зданий вокруг зданий СПЗ и ЗВУ (по всему периметру, в том числе у входов и въездов) следует выполнить асфальтовую отмостку, шириной не менее 1,5 м. Толщина асфальта должна составлять не менее 10 мм.

3. Устанавливаемую МП аппаратуру следует заземлять по кратчайшему пути на металлоконструкции шкафов, в которых она будет размещаться. Металлоконструкции шкафов (стоек, панелей) должны, в свою очередь, присоединяться к элементам СУП в помещениях медными проводниками, сечением не менее 8 мм<sup>2</sup>, либо непосредственно сваркой к закладным конструкциям, проложенным в полу помещений. Допускается осуществлять дополнительное заземление через РЕ-проводник сети питания (в случае, если аппаратура получает питание переменным током).

4. В соответствии с требованиями [6], аппаратура связи должна быть присоединена к заземляющему устройству здания посредством изолированного заземляющего проводника. При этом, данный заземляющий проводник должен быть изготовлен из меди, и иметь сечение не менее 60 мм<sup>2</sup>.

5. Экранированными кабелями рекомендуется выполнение всех проводных вторичных цепей – сигнальных, контрольных, питания (как ОТ, так и СН), управления.

6. В здании СПЗ питание устанавливаемой МП аппаратуры рекомендуется выполнять через стабилизаторы напряжения или ИБП с входным напряжением не менее 250 В. Установка стабилизаторов (ИБП) не требуется, если производитель МП аппаратуры гарантирует бесперебойную работу своих устройств при напряжении питания до 250 В.

7. Для ограничения распространения импульсных помех по сети СН ~0,4 кВ в ЗВУ рекомендуется установить в ЩСН на каждую секцию комбинированные УЗИП 1-го и 2-го класса.

8. Для защиты МП аппаратуры от ЭСП в помещениях с МП аппаратурой (РЗА, АРМ, Серверная, ЛАЗ) в ЗВУ напольное покрытие рекомендуется выполнить из антистатического материала (специальный антистатический линолеум, проводящие фальшполы и т. п.). Во всех помещениях необходимо обеспечить контакт проводящего слоя напольного покрытия с элементами системы заземления того помещения, в котором будет размещаться напольное покрытие, согласно инструкции производителя. В случае если полы будут выполнены из проводящих материалов (бетон, металл и др.) дополнительные мероприятия по защите от электростатических разрядов не требуются.

#### Библиография

1. Шарафиев Н.И. Электромагнитная совместимость энергетических объектов / Н.И. Шарафиев // Вестник современных исследований. – 2018. – № 6.1 (21). – С. 543-544. – EDN LXISEP.
2. Электромагнитная совместимость и помехозащищенность датчиков тока систем электроэнергетики / И.Р. Баязитов, С.В. Клементьев, В.Г. Медведев, А.Л. Михайлов // Colloquium-journal. – 2020. – № 10-1 (62). – С. 4-7. – EDN NZRIFI.
3. Минуллин Р.Г. Электромагнитная совместимость аппаратуры локационного мониторинга линий электропередачи с высокочастотной аппаратурой технологической связи / Р.Г. Минуллин // Электрические станции. – 2019. – № 1 (1050). – С. 16-27. – EDN YWBWYP.
4. Евдокунин Г.А., Попков Е.Н. Принципы имитационного моделирования процессов в электроэнергетических системах // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2013. – № 4 (176). – С. 46-49.
5. Добаев А.З. Методы построения имитационных моделей сложных систем на примере низковольтной электrorаспределительной сети // Фундаментальные исследования. – 2012. – № 11-3. – С. 598-603.

6. Методические указания по обеспечению электромагнитной совместимости на электросетевых объектах ЕНЭС. СТО 56947007-29.240.044-2010.
7. Матвеев М.В., Кузнецов М.Б., Березовский В.Н. Экранирующие кабельные конструкции. Средство экономичного решения проблем ЭМС. // *Новости электротехники*. – 2013. – № 1 (79).
8. Леонович И.И. Статистический метод определения глубины промерзания грунтов / И.И. Леонович, Н.П. Вырко, М.Н. Демидко // *Труды БГТУ. № 2. Лесная и деревообрабатывающая промышленность*. – 2015. – № 2 (175). – С. 27-31. – EDN WMSHPZ.
9. Филимонов Е.В. Заземляющие устройства как средство защиты от поражения электрическим током / Е.В. Филимонов // *Вестник магистратуры*. – 2017. – № 12-1 (75). – С. 19-22. – EDN YMEUHL.
10. Харламенков, А.С. Современная молниезащита зданий и сооружений. Часть 3 / А.С. Харламенков // *Пожаровзрывобезопасность*. – 2020. – Т. 29. – № 2. – С. 63-67. – EDN JMNDHG.
11. Оценка эффективности применения мультитросовой защиты на подстанциях 35-110 кВ / С.В. Вендин, С.В. Соловьев, С.В. Килин, А.О. Яковлев // *Электротехнологии и электрооборудование в АПК*. 2019. № 4 (37). С. 133-142.
12. Инструкция по устройству молниезащиты зданий, сооружений и промышленных коммуникаций. М : Из-во МЭИ, 2004. 56 с.

### References

1. Sharafiyev N.I. Elektromagnitnaya sovmestimost' energeticheskikh ob'yektov [Electromagnetic compatibility of energy objects] / N.I. Sharafiyev // *Vestnik sovremennykh issledovaniy*. – 2018. – № 6.1 (21). – S. 543-544. – EDN LXISEP.
2. Elektromagnitnaya sovmestimost' i pomexhozashchishchennost' datchikov toka sistem elektroenergetiki [Electromagnetic compatibility and noise immunity of current sensors of electric power systems] / I.R. Bayazitov, S.V. Klement'yev, V.G. Medvedev, A.L. Mikhaylov // *Colloquium-journal*. – 2020. – № 10-1 (62). – S. 4-7. – EDN NZRIFI.
3. Minullin R.G. Elektromagnitnaya sovmestimost' apparatury lokatsionnogo monitoringa liniy elektropredachi s vysokochastotnoy apparatury tekhnologicheskoy svyazi [Electromagnetic compatibility of equipment for location monitoring of power transmission lines with high-frequency technological communication equipment] / R.G. Minullin // *Elektricheskiye stantsii*. – 2019. – № 1 (1050). – S. 16-27. – EDN YWBWYP.
4. Yevdokunin G.A., Popkov Ye.N. Printsipy imitatsionnogo modelirovaniya protsessov v elektroenergeticheskikh sistemakh [Principles of simulation modeling of processes in electric power systems] // *Nauchno-tekhnicheskiye vedomosti SPbGPU*. – 2013. – № 4 (176). – S. 46-49.
5. Dobayev A.Z. Metody postroyeniya imitatsionnykh modeley slozhnykh sistem na primere nizkovol'tnoy elektroraspredeletel'noy seti [Methods for constructing simulation models of complex systems on the example of a low-voltage electrical distribution network] // *Fundamental'nyy issledovaniya*. – 2012. – № 11-3. – S. 598-603.
6. Metodicheskie ukazaniya po obespecheniyu elektromagnitnoy sovmestimosti na elektrosetevykh ob'ektakh ENES [Methodological guidelines for ensuring electromagnetic compatibility at UNES power grid facilities]. СТО 56947007-29.240.044-2010.
7. Matveyev M.V., Kuznetsov M.B., Berezovskiy V.N. Ekraniruyushchiye kabel'nyye konstruksii. Sredstvo ekonomichnogo resheniya problem EMS [Shielding cable structures. A means of economically solving EMC problems] // *Novosti elektrotehniki*. – 2013. – № 1 (79).
8. Leonovich I.I. Statisticheskiy metod opredeleniya glubiny promerzaniya gruntov [Statistical method for determining the depth of soil freezing] / I.I. Leonovich, N.P. Vyrko, M.N. Demidko // *Trudy BGTU. № 2. Lесnaya i derevoobrabatyvayushchaya promyshlennost'*. – 2015. – № 2 (175). – S. 27-31. – EDN WMSHPZ.
9. Filimonov Ye.V. Zazemlyayushchiye ustroystva kak sredstvo zashchity ot porazheniya elektricheskim tokom [Grounding devices as a means of protection against electric shock] / Ye.V. Filimonov // *Vestnik magistratury*. – 2017. – № 12-1 (75). – S. 19-22. – EDN YMEUHL.
10. Kharlamenkov A.S. Sovremennaya molniyezashchita zdaniy i sooruzheniy. Chast' 3 [Modern lightning protection of buildings and structures. Part 3] / A.S. Kharlamenkov // *Pozharovzryvobezopasnost'*. – 2020. – Т. 29. – № 2. – S. 63-67. – EDN JMNDHG.
11. Otsenka effektivnosti primeneniya mul'titrosovoy zashchity na podstantsiyakh 35-110 kV [Evaluation of the effectiveness of the use of multi-rope protection at substations 35-110 kV] / S.V. Vendin, S.V. Solov'yev, S.V. Kilin, A.O. Yakovlev // *Elektrotekhnologii i elektrooborudovaniye v APK*. 2019. № 4 (37). S. 133-142.
12. Instruksiya po ustroystvu molniyezashchity zdaniy, sooruzheniy i promyshlennykh kommunikatsiy [Instructions for lightning protection of buildings, structures and industrial communications]. М : Из-во МЭИ, 2004. 56 с.

### Сведения об авторах

Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, 308503, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, +7-4722-39-11-36, E-mail: elapk@mail.ru

Соловьёв Сергей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, 308503, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, +7-904-531-18-47, E-mail: ser-solovyev@mail.ru

Килин Станислав Витальевич, преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, 308503, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, +7-920-561-09-74, E-mail: Kilin.St87@yandex.ru

Яковлев Алексей Олегович, преподаватель кафедры электрооборудования и электротехнологий в АПК, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, 308503, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, + 7-904-084-53-35, E-mail: yakovlevao@gmail.com

#### **Information about authors**

Vendin Sergey Vladimirovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, + 7-4722-39-11-36, E-mail: elapk@mail.ru

Solovev Sergey Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, associate professor of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, +7-904-531-18-47, E-mail: ser-solovyev@mail.ru

Kilin Stanislav Vitalevich, teacher of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, + 7-920-561-09-74, E-mail: Kilin.St87@yandex.ru

Yakovlev Alexey Olegovich, teacher of the Department of Electrical Equipment and Electrotechnologies in Agroindustrial Complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, + 7-904-084-53-35, E-mail: yakovlevao@gmail.com.

УДК 631.363.22-131.1.027.001.5

**С.Ф. Вольвак, В.И. Шаповалов**

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ВЫГРУЗКИ ИЗМЕЛЬЧЁННЫХ КОРМОВ**

**Аннотация.** Технологический процесс выгрузки измельчённых кормов в многоплоскостном горизонтальном измельчающем аппарате исследован недостаточно, а физическая сущность процесса остаётся слабоизученной. Целью теоретических исследований является изучение физической сущности процесса выгрузки материала из измельчающего аппарата вертикального типа, а задачами – определение основных параметров лопастной швырлялки и выгрузной камеры. Выдвинута гипотеза о возможности качественного выполнения процесса выгрузки без накопления корма перед выгрузной камерой и его сгруживания в выгрузном патрубке при обеспечении максимальной пропускной способности измельчающего аппарата. Приняты допущения: транспортируемый материал неупругий и его скорость в радиальном направлении в момент начала действия на него лопасти швырлялки равна нулю, не учитывается взаимодействие частиц измельчённого материала с воздушным потоком, для окружного перемещения измельчённой массы и придания ей центробежного ускорения на швырлялке достаточно двух лопастей. Выявлены действующие силы и составлено дифференциальное уравнение движения частицы измельчённого материала вдоль лопасти швырлялки по дну выгрузной камеры в направлении выгрузного окна. Получена математическая модель абсолютной скорости движения частицы вдоль лопасти швырлялки и определены теоретические значения: скорости частицы на конце лопасти – 55,92 м/с, радиуса швырлялки – 176 мм, высоты лопасти – 50 мм, ширины выгрузной горловины – 100 мм, секундной производительности на выгрузке – 0,160 кг/с. Анализ результатов подтверждает выдвинутую гипотезу и оригинальные преимущества исследуемого многоплоскостного горизонтального измельчающего аппарата по сравнению с другими конструкциями.

**Ключевые слова:** процесс выгрузки, измельчённые корма, измельчающий аппарат, скорость частицы, основные параметры.

## **THEORETICAL STUDIES OF THE PROCESS OF DISCHARGE CRUSHED FEED**

**Abstract.** The technological process of discharge crushed feed in a multi-plane horizontal grinding machine has not been studied enough, and the physics of the process remains poorly understood. The purpose of theoretical research is to study the physics of the process of discharge material from a vertical type grinding machine, and the tasks are to determine the main parameters of the blade blower and discharge chamber. A hypothesis has been put forward about the possibility of a high-quality discharge process without accumulation of feed in front of the discharge chamber and its unloading in the discharge pipe while ensuring maximum throughput of the grinding machine. Assumptions are made: the transported material is inelastic and its speed in the radial direction at the moment of the action of the blade blower on it is zero, the interaction of particles of crushed material with the air flow is not taken into account, two blades are sufficient for circumferential movement of the crushed mass and giving it centrifugal acceleration on the blower. The acting forces are revealed and a differential equation of motion of a particle of crushed material along the blade of the blower along the bottom of the discharge chamber in the direction of the discharge window is compiled. A mathematical model of the absolute speed of the particle along the blade of the blower is obtained and theoretical values are determined: the particle speed at the end of the blade is – 55,92 m/s, the radius of the blower – 176 mm, the height of the blade – 50 mm, the width of the discharge mouth – 100 mm, the second discharge capacity – 0,160 kg/s. The analysis of the results confirms the hypothesis put forward and the original advantages of the investigated multi-plane horizontal grinding machine in comparison with other designs.

**Keywords:** process discharge, crushed feed, grinding machine, particle speed, main parameters.

**Введение.** В Стратегии развития механизации и автоматизации животноводства на период до 2030 года определены основные направления развития технического прогресса в механизации и автоматизации животноводства и инновационного развития техники [1-3].

Машинное производство животноводческой продукции представляет собой активно взаимодействующую с внешней средой сложную биотехническую систему [4], изучению которой посвящены ряд работ [5-7]. Необходимым условием повышения продуктивности животноводства является обеспеченность кормами высокого качества [8]. Эффективность кормовых смесей зависит от их перевариваемости и подготовки к скармливанию, что невозможно без измельчения до уровня, определенного зоотехническими требованиями [8]. При этом следует учитывать затратность техпроцесса измельчения корма [8]. Удельные затраты энер-

гии на единицу животноводческой продукции в 3-5 раз превышают уровень передовых стран ЕС [9].

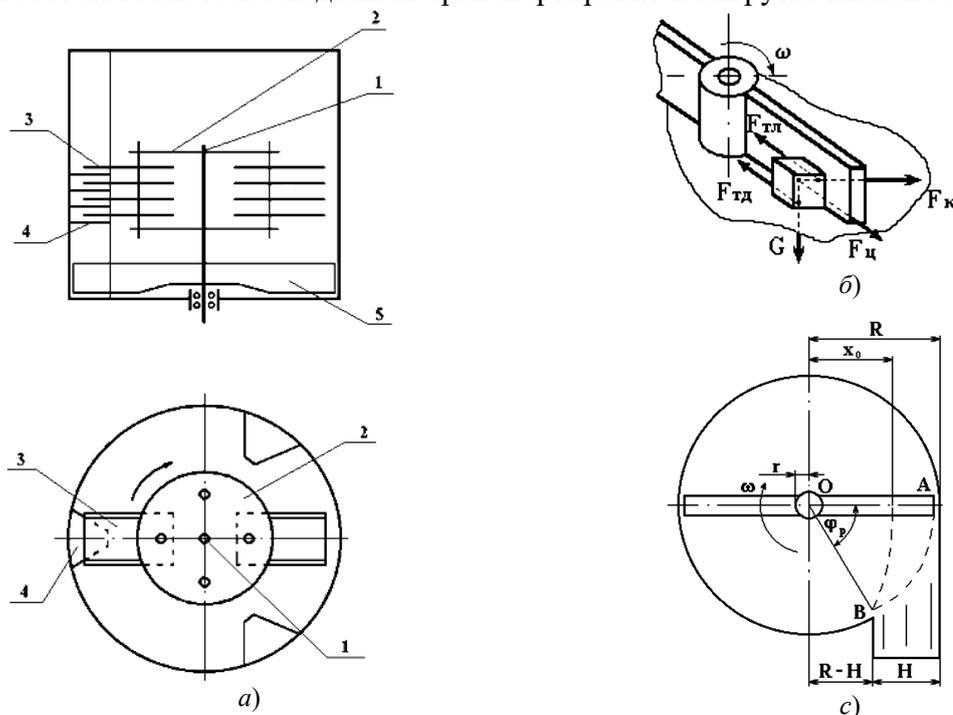
С.В. Брагинец с соавторами сделали заключение, что вопрос энергоэффективного измельчения волокнистых растительных материалов ещё недостаточно изучен [10]. На основе имеющихся данных невозможно обосновать рациональные параметры этого процесса и конструктивные параметры устройства для его осуществления [10].

Ранее проведенный анализ технологий и технических средств по приготовлению кормов и их гибкости, построение классификационной графовой модели потенциальной гибкости позволили сформулировать основные принципы создания гибкой технической системы по приготовлению кормов [11-14]. Анализ конструкций измельчителей с ножевыми, штифтовыми и молотковыми рабочими органами показал, что перспективными являются измельчители с вертикальным расположением валов и многоплоскостной горизонтальной схемой барабанного режущего аппарата [15], а проводимые в этом направлении исследования являются актуальными.

В результате изучения физической сущности процесса движения материала и построения модели функционирования многоплоскостного горизонтального измельчающего аппарата стебельчатых кормов выдвинута гипотеза физической сущности процесса измельчения стебельчатых кормов в исследуемом измельчающем аппарате вертикального типа [15]. Однако вопросы, связанные с выгрузкой материала из измельчающего аппарата вертикального типа, остаются слабоизученными.

Целью теоретических исследований является изучение физической сущности процесса выгрузки измельчённого материала, а задачами – определение основных параметров лопастной швырялки и выгрузной камеры измельчающего аппарата вертикального типа.

**Объект и методы исследований.** Анализ физической сущности процесса измельчения стебельчатых кормов [15] в исследуемом измельчающем аппарате вертикального типа (рисунк 1,а) позволил сформулировать предположение, что при работе лопастной швырялки за счёт всасывающего эффекта в приёмной и измельчающей камерах будут интенсифицироваться процессы подачи и измельчения материала, а в выгрузной камере воздушный поток будет способствовать более надёжной транспортировке и выгрузке измельчённого корма.



а – схема аппарата, б – схема сил, действующих на частицу, находящуюся на лопасти швырялки, с – схема к анализу процесса выгрузки измельчённой массы, 1 – вертикальный вал; 2 – измельчающий барабан с четырьмя осями подвеса ножей; 3 – измельчающий нож; 4 – сегментный противорез; 5 – лопастная швырялка

**Рис. 1 – Многоплоскостной горизонтальный измельчающий аппарат стебельчатых кормов**

Но при этом на процесс выгрузки измельчённого материала из выгрузной камеры расходуется значительная часть мощности электродвигателя [16]. Поэтому для обеспечения качественного выполнения технологического процесса с максимально возможной пропускной способностью измельчающего аппарата как при измельчении, так и при смешивании кормов, необходимо рассмотреть и проанализировать процесс движения измельчённой частицы вдоль лопасти швырялки по дну выгрузной камеры в исследуемом измельчающем аппарате вертикального типа (рисунок 1,б,с).

В основу анализа процесса выгрузки измельчённого материала положена теория движения частицы материала по ротационным поверхностям и методика построения расчётной модели относительного перемещения частицы по шероховатой поверхности, разработанные академиком П.М. Василенко [17, 18]. Анализ процесса выгрузки производился также с учётом выполненных в этом направлении работ [19-25]. При описании движения частицы вдоль лопасти швырялки целесообразно принять допущения: транспортируемый материал не упругий и его скорость в радиальном направлении в момент начала действия на него лопасти швырялки равна нулю; не учитывается взаимодействие частиц измельчённого материала с воздушным потоком; для окружного перемещения измельчённой массы и придания ей центробежного ускорения на швырялке достаточно двух лопастей.

На основании вышеизложенного, нами выдвигается гипотеза физической сущности процесса выгрузки измельчённого материала из измельчающего аппарата вертикального типа: качественное выполнение процесса без накопления корма перед выгрузной камерой и сгуживания его в выгрузном патрубке и обеспечение максимальной пропускной способности измельчающего аппарата как при измельчении, так и при смешивании кормов, возможно при рациональных значениях параметров лопастной швырялки, выгрузной камеры и производительности на выгрузке.

**Результаты исследований и их обсуждение.** При анализе процесса выгрузки измельчённого материала в исследуемом измельчающем аппарате вертикального типа рассмотрим движение частицы вдоль лопасти швырялки по дну выгрузной камеры. Схема сил, действующих на движущиеся частицы измельчённого материала массой  $m$ , находящиеся на произвольном радиусе  $x$  лопасти швырялки, показана на рисунке 1,б.

При установившемся движении на измельчённую частицу будут действовать:

- сила тяжести частицы  $G$ , определяемая по известной формуле (1)

$$G = m \cdot g, \quad (1)$$

где  $m$  – масса частицы, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, м/с<sup>2</sup>;

- центробежная сила  $F_{ц}$ , определяемая по известной формуле (2)

$$F_{ц} = m \cdot \omega^2 \cdot x, \quad (2)$$

где  $\omega$  – угловая скорость вращения лопасти швырялки, с<sup>-1</sup>;  $x$  – расстояние от оси вращения до частицы, м;

- сила Кориолиса  $F_{к}$ , определяемая по известной формуле (3)

$$F_{к} = 2 \cdot m \cdot \omega \cdot V_{отн}, \quad (3)$$

где  $V_{отн}$  – скорость движения частицы относительно лопасти, м/с;

- сила трения частицы о дно корпуса швырялки  $F_{мд}$  в виде уравнения (4)

$$F_{мд} = f \cdot m \cdot g, \quad (4)$$

где  $f$  – коэффициент трения, принимаем  $f = 0,26-0,28$ ;

- сила трения частицы о лопасть швырялки  $F_{мл}$  в виде уравнения (5)

$$F_{мл} = 2 \cdot f \cdot m \cdot \omega \cdot V_{отн}. \quad (5)$$

Согласно принципу Даламбера, частица находится в равновесии под действием всех сил и сил инерции. Спроектировав все силы, приложенные к частице, на горизонтальную ось  $X$ , получим дифференциальное уравнение движения частицы в направлении выгрузного окна (6)

$$m\ddot{x} = F_{ц} - F_{мд} - F_{мл}. \quad (6)$$

Подставляя значения сил и сокращая их на  $m$ , получим неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка (7)

$$\ddot{x} + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \dot{x} - \omega^2 \cdot x = -f \cdot g. \quad (7)$$

Общее решение полученного уравнения складывается из общего решения линейно-однородного уравнения (8)

$$\ddot{x} + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot \dot{x} - \omega^2 \cdot x = 0 \quad (8)$$

и частного решения неоднородного уравнения.

Решая характеристическое уравнение (9)

$$k^2 + 2 \cdot f \cdot \omega \cdot k - \omega^2 = 0, \quad (9)$$

получим уравнение (10)

$$k_{1,2} = -f \cdot \omega \pm \omega \cdot \sqrt{f^2 + 1}. \quad (10)$$

Решение уравнения (8) имеет вид (11)

$$x_1 = C_1 \cdot e^{-\omega(f-\sqrt{f^2+1})t} + C_2 \cdot e^{-\omega(f+\sqrt{f^2+1})t}. \quad (11)$$

Затем находим частное решение неоднородного уравнения (7). Его ищем в подобии  $\ddot{x}_2 = 0; \dot{x}_2 = 0$ .

Подставляя в (7), получим уравнение (12)

$$0 + 0 - \omega^2 \cdot C = -f \cdot g. \quad (12)$$

Отсюда

$$C = \frac{f \cdot g}{\omega^2}. \quad (13)$$

Искомое общее решение уравнения (7) получится в виде выражения (14)

$$x = x_1 + x_2 = C_1 \cdot e^{-\omega t(f-\sqrt{f^2+1})} + C_2 \cdot e^{-\omega t(f+\sqrt{f^2+1})} + \frac{f \cdot g}{\omega^2}. \quad (14)$$

Произвольные постоянные  $C_1$  и  $C_2$  определяем для начальных условий (15)

$$x|_{t=0} = x_0, \quad \dot{x}|_{t=0} = 0. \quad (15)$$

Дифференцируем выражение (14) и получаем уравнение (16)

$$\dot{x} = -C_1 \cdot e^{-\omega t(f-\sqrt{f^2+1})} \cdot \omega \cdot (f - \sqrt{f^2 + 1}) - C_2 \cdot e^{-\omega t(f+\sqrt{f^2+1})} \cdot \omega \cdot (f + \sqrt{f^2 + 1}). \quad (16)$$

Найдём значения  $C_1$  и  $C_2$  из системы (17)

$$\begin{cases} x_0 = C_1 + C_2 + \frac{f \cdot g}{\omega^2}; \\ \dot{x}_0 = -C_1 \cdot \omega \cdot (f - \sqrt{f^2 + 1}) - C_2 \cdot \omega \cdot (f + \sqrt{f^2 + 1}) = 0. \end{cases} \quad (17)$$

Решая (17), получим систему (18)

$$\begin{cases} C_1 = x_0 - C_2 - \frac{f \cdot g}{\omega^2} = \left(x_0 - \frac{f \cdot g}{\omega^2}\right) \left(1 + \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}}\right); \\ C_2 = \frac{\left(x_0 - \frac{f \cdot g}{\omega^2}\right) (f - \sqrt{f^2 + 1})}{-2\sqrt{f^2 + 1}}. \end{cases} \quad (18)$$

Окончательно получим уравнение (19)

$$x = \left(x_0 - \frac{f \cdot g}{\omega^2}\right) \cdot \left[ \left(1 + \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}}\right) \cdot e^{-\omega t(f-\sqrt{f^2+1})} - \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot e^{-\omega t(f+\sqrt{f^2+1})} \right] + \frac{f \cdot g}{\omega^2}. \quad (19)$$

Скорость относительного движения частицы вдоль лопасти равна по формуле (20)

$$V_{\text{отн}} = \left(x_0 \cdot \omega - \frac{f \cdot g}{\omega}\right) (f - \sqrt{f^2 + 1}) \left[ - \left(1 + \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}}\right) \cdot e^{-\omega t(f-\sqrt{f^2+1})} + \frac{f + \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot e^{-\omega t(f+\sqrt{f^2+1})} \right]. \quad (20)$$

Окружная скорость частицы равна (21)

$$V_{\text{окр}} = \omega \cdot x = \left(x_0 \cdot \omega - \frac{f \cdot g}{\omega}\right) \cdot \left[ \left(1 + \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}}\right) \cdot e^{-\omega t(f-\sqrt{f^2+1})} - \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot e^{-\omega t(f+\sqrt{f^2+1})} \right] + \frac{f \cdot g}{\omega}. \quad (21)$$

Абсолютная скорость равна геометрической сумме (22)

$$V_a = \sqrt{V_{отн}^2 + V_{окр}^2}. \quad (22)$$

Для выгрузки частицы, расположенной на расстоянии  $x_0$  радиуса ОА, по дуге АВ (рисунк 1,с), необходимо, чтобы за время движения радиуса ОА на угол разгружающего поворота лопасти  $\varphi_p$  до положения ОВ выполнилось условие  $x > R$  [19].

Угол разгружающего поворота лопасти определим на основании [19] по формуле (23)

$$\varphi_p = \frac{\pi}{2} - \text{arctg} \frac{R-H}{R}, \quad (23)$$

где  $R$  – радиус швырляки, м;  $H$  – ширина выгрузной горловины, м.

Время поворота лопасти на угол  $\varphi_p$  можно определить по формуле (24)

$$t_p = \frac{\frac{\pi}{2} - \text{arctg} \frac{R-H}{R}}{\omega}. \quad (24)$$

Расстояние удаления частицы  $x_0$  от центра швырляки, за пределами которого будет происходить выгрузка измельчённого корма через выгрузное окно, можно определить из выражения (19), используя перечисленные условия (25)

$$x_0 > \frac{R + \frac{f \cdot g}{\omega^2} \cdot \left[ \left( 1 + \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \right) \cdot e^{-\omega t \cdot (f - \sqrt{f^2 + 1})} - \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot e^{-\omega t \cdot (f + \sqrt{f^2 + 1})} + 1 \right]}{\left( 1 + \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \right) \cdot e^{-\omega t \cdot (f - \sqrt{f^2 + 1})} - \frac{f - \sqrt{f^2 + 1}}{2\sqrt{f^2 + 1}} \cdot e^{-\omega t \cdot (f + \sqrt{f^2 + 1})}}. \quad (25)$$

То есть за время  $t_p$  из частиц, находящихся на радиусе ОА, могут выгрузиться только те, которые удалены от центра швырляки не менее, чем на величину  $x_0$ . Остальные же частицы за указанное время сместятся к концу лопасти на величину  $R - x_0$ . Аналогично рассуждая относительно частиц, расположенных по любому радиусу, можем считать, что за один оборот с лопасти выгружается масса, расположенная на кольце площадью  $S$  (26), имеющем внутренний радиус  $x_0$  и внешний  $R$ , на основании [19]

$$S = \pi \cdot (R^2 - x_0^2). \quad (26)$$

Так как высота лопасти равна  $b$ , то объём, выгружаемой за один оборот массы  $W$  (27), составит на основании [19]

$$W = \pi \cdot (R^2 - x_0^2) \cdot b. \quad (27)$$

Отсюда получаем секундную производительность  $Q_c$  (28) измельчающего аппарата на выгрузке на основании [19]

$$Q_c = \pi \cdot b \cdot (R^2 - x_0^2) \cdot \gamma_m \cdot k_p \cdot k_n \cdot n, \quad (28)$$

где  $\gamma_m$  – коэффициент объёмной массы на входе в аппарат, кг/м<sup>3</sup>;  $k_p$  – коэффициент разуплотнения массы, принимаем  $k_p=0,4...0,7$  [20];  $k_n$  – коэффициент, учитывающий неравномерность заполнения массой корма площади дна выгрузной камеры,  $k_n=0,85...0,95$  [20];  $n$  – частота вращения лопасти, с<sup>-1</sup>.

Для обеспечения минимизации энергоёмкости и качественного выполнения технологического процесса без накопления корма перед выгрузной камерой и сгуживания его в выгрузном патрубке при разработке конструкции необходимо задать такие значения параметров лопастной швырляки и производительности на выгрузке, которые бы соответствовали максимально возможной пропускной способности измельчающего аппарата как при измельчении, так и при смешивании кормов.

Если высоту лопасти швырляки принять равной  $b = 50$  мм, то с учётом других расчётных данных:  $V_a = 55,92$  м/с;  $R = 176$  мм;  $H = 100$  мм;  $x_0 = 168$  мм;  $W = 0,0004$  м<sup>3</sup>;  $\gamma_m = 25$  кг/м<sup>3</sup>;  $k_p = 0,4$ ;  $k_n = 0,85$ ;  $n = 47$  с<sup>-1</sup>, производительность измельчающего аппарата на выгрузке составит  $Q_c = 0,160$  кг/с, что позволит обеспечить минимальную энергоёмкость и качественное выполнение технологического процесса. Это подтверждает выдвинутую нами гипотезу и оригина-

нальные преимущества исследуемого измельчающего аппарата с вертикальным расположением вала и многоплоскостной горизонтальной схемой резания по сравнению с другими конструкциями измельчителей с ножевыми, штифтовыми и молотковыми рабочими органами.

### Выводы.

1. В результате анализа процесса выгрузки измельчённого материала выявлены действующие силы, составлено дифференциальное уравнение движения частицы измельчённого материала вдоль лопасти швырляки по дну выгрузной камеры в направлении выгрузного окна, получена математическая модель абсолютной скорости движения частицы вдоль лопасти швырляки и определены теоретические значения основных параметров лопастной швырляки и выгрузной камеры: скорости частицы на конце лопасти – 55,92 м/с, радиуса швырляки – 176 мм, высоты лопасти – 50 мм, ширины выгрузной горловины – 100 мм, секундной производительности на выгрузке – 0,160 кг/с.

2. Полученные результаты теоретических исследований позволяют обеспечить максимально возможную пропускную способность измельчающего аппарата, минимальную энергоёмкость и качественное выполнение технологического процесса выгрузки измельчённого материала, что подтверждает выдвинутую гипотезу и оригинальные преимущества исследуемого измельчающего аппарата с вертикальным расположением вала и многоплоскостной горизонтальной схемой резания по сравнению с другими конструкциями.

3. На основании полученных результатов проведённых нами исследований был разработан и выпущен опытной партией гибкий малогабаритный передвижной кормоприготовительный агрегат ИУФ-1.

### Библиография

1. Морозов Н.М., Морозов И.Ю. Инновационные направления механизации и автоматизации животноводства – основа повышения эффективности и качества продукции. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://clck.ru/UMnvj>
2. Морозов Н.М., Морозов И.Ю. Система машин для животноводства и направления развития технического прогресса в отрасли // Техника и технологии в животноводстве. 2020. № 1(37). С. 4-13.
3. Морозов Н.М. Инновационные направления развития механизации и автоматизации животноводства. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://clck.ru/UMnmr>
4. Вольвак С.Ф. Метод морфологического анализа биотехнических систем в животноводстве. Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2021. № 4 (22). С. 93-103. EDN AZNGRP.
5. Карташов Л.П., Зубкова Т.М. Параметрический и структурный синтез технологических объектов на основе системного подхода и математического моделирования. Екатеринбург : УрО РАН, 2009. 225 с. ISBN 5-7691-1996-9. EDN PVISSJ.
6. Черноиванов В.И., Судаков С.К., Толоконников Г.К. Биомашсистемы, функциональные системы, катергорная теория систем. Вестник Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2017. № 2 (26). С. 32-43. EDN YTNKTT.
7. Кирсанов В.В., Баишева Р.А. Контроль и управление в сложной биотехнической системе молочной фермы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 5. С. 625-632. DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.5.625-632. EDN GNHHVV.
8. Гулевский В.А., Вертий А.А. Математическое моделирование работы измельчителя кормов. Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 3 (58). С. 120-128. DOI 10.17238/issn2071-2243.2018.3.120. EDN VMNYNQ.
9. Измайлов А.Ю., Лобачевский Я.П., Марченко О.С., Ценч Ю.С. Создание инновационной техники и ресурсосберегающих технологий производства кормов – основа развития животноводства. Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2017. № 6 (82). С. 23-28. DOI 10.26897/1728-7936-2017-6-23-28. EDN ZWKXVX.
10. Брагинцев С.В., Бахчевников О.Н., Алферов А.С. Результаты экспериментальных исследований измельчения высушенных волокнистых растительных материалов. Инженерные технологии и системы. 2021. Т. 31. № 4. С. 591-608. DOI 10.15507/2658-4123.031.202104.591-608. EDN RUQNAD.
11. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И. Анализ гибкости технической системы по приготовлению кормов. Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 2 (30). С. 18-26. EDN GIVLCJ.
12. Шаповалов В.И., Болоташвили З.У., Вольвак С.Ф., Лысенко И.Б. Разработка гибких систем – эффективный путь механизации сельскохозяйственного производства // Вісник Східноукраїнського державного університету. Луганськ : Вид-цтво СУДУ, 1996. № 1. С. 169-173. EDN YGTOKV.
13. Шаповалов В.И., Вольвак С.Ф., Болоташвили З.У. Разработка гибкого универсального малогабаритного кормоприготовительного агрегата ИУФ-1 // Проблеми конструювання, виробництва та експлуатації сільськогосподарської техніки: Збірник наукових праць. Кіровоград : КІСМ, 1997. С. 113-116. EDN WZSBML.

14. Вольвак С.Ф. Построение расчетной модели функционирования гибкой системы для приготовления кормов // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Луганськ : Видавництво ЛНАУ, 2003. № 31 (43). С. 95-100. EDN WTJMRF.
15. Volvak S., Pastukhov A., Bakharev D., Dobrickiy A. Theoretical studies of technological process of grinding stalked feed. *Engineering for Rural Development. Virtual, Jelgava, 2021*. Pp. 831-836. DOI 10.22616/ERDev.2021.20.TF189. EDN VLJUQR.
16. Шаповалов В.И., Вольвак С.Ф. Теоретическое обоснование процесса выгрузки измельченного материала в измельчающем аппарате вертикального типа // Збірник наукових праць Луганського державного аграрного університету. Серія: Технічні науки. Луганськ : ЛДАУ, 1999. № 4. С. 101-106. EDN XGTEEX.
17. Василенко П.М. Теория движения частицы по шероховатым поверхностям сельскохозяйственных машин. К.: УАСХН, 1960. 284 с.
18. Василенко П.М., Василенко В.П. Методика построения расчетных моделей функционирования механических систем (машин и машинных агрегатов). К., 1980. 135 с.
19. Овчинников А.А., Сурменев Е.В., Влазнев А.И. К вопросу обоснования конструктивно-режимных параметров измельчителя-смесителя непрерывного действия. *Механизация заготовки, приготовления и раздачи кормов: Сб. н. работ. Саратов, 1982*. С. 74-82.
20. Кононов Б.В., Цейтлер А.К. Анализ процесса выгрузки кормовой смеси в измельчителе-смесителе непрерывного действия. *Эксплуатация машин в полеводстве: Сб. н. тр. Саратов, 1985*. С. 101-105.
21. Мухин В.А., Какабаев О. Теоретическое обоснование расположения выгрузной горловины у измельчителя-смесителя кормов типа ИСК-3. *Механизация приготовления, раздачи кормов и удаления навоза. Сб. н. раб. Саратов, 1991*. С. 32-37.
22. Вольвак С.Ф., Шаповалов В.И. Исследование измельчающих аппаратов незерновой части урожая зерновых культур с шарнирной подвеской ножей на барабане // *Інновації в АПК: проблеми і перспективи. 2015. № 3 (7)*. С. 9-16. EDN YRWZJR.
23. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Семернина М.А. Дробилка для зерна с комбинированной дробильной камерой // *Інновації в АПК: проблеми і перспективи. 2021. № 1 (29)*. С. 27-39. EDN RJOBSP.
24. Константинов М.М., Нуралин Б.Н., Джапаров Р.Р., Нуралин А.Ж. Совершенствование рабочих органов измельчителя-смесителя кормов ИСК-3. Электронный ресурс. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-rabochih-organov-izmelchatelya-smesatelya-kormov-isk-3>.
25. Гулевский В.А., Вертий А.А. Усовершенствование технологии измельчения грубых стебельчатых кормов измельчителем с шарнирно подвешенными комбинированными ножами // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 1 (60)*. С. 73-81. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.73. EDN XSKVXA.

#### References

1. Morozov N.M., Morozov I.Yu. Innovacionny'e napravleniya mexanizacii i avtomatizacii zhivotnovodstva – osnova povы'sheniya e'ffektivnosti i kachestva produkcii [Innovative directions of mechanization and automation of animal husbandry – the basis for improving the efficiency and quality of products]. Electronic resource. Access mode: <https://clck.ru/UMnvj>
2. Morozov N.M., Morozov I.Yu. Sistema mashin dlya zhivotnovodstva i napravleniya razvitiya texnicheskogo progressa v otrasli [The system of machines for animal husbandry and the directions of development of technical progress in the industry] // *Equipment and technologies in animal husbandry. 2020. № 1 (37)*. Pp. 4-13.
3. Morozov N.M. Innovacionny'e napravleniya razvitiya mexanizacii i avtomatizacii zhivotnovodstva [Innovative directions of development of mechanization and automation of animal husbandry]. Electronic resource. Access mode: <https://clck.ru/UMnmr>
4. Volvak S.F. Metod morfologicheskogo analiza biotekhnicheskikh sistem v zhivotnovodstve [Method of morphological analysis of biotechnical systems in animal husbandry]. *Actual issues in agricultural biology. 2021. № 4 (22)*. Pp. 93-103. EDN AZNGRP.
5. Kartashov L.P., Zubkova T.M. Parametricheskij i strukturnyy sintez tekhnologicheskikh ob"ektov na osnove sistemnogo podkhoda i matematicheskogo modelirovaniya. [Parametric and structural synthesis of technological objects based on the system approach and mathematical modeling]. *Ekaterinburg: UrO RAN, 2009*. 225 p. ISBN 5-7691-1996-9.
6. Chernoiyanov V.I., Sudakov S.K., Tolokonnikov G.K. Biomashsistemy, funktsional'nye sistemy, kategor'naya teoriya sistem. [Biomachine systems, functional systems, categorical systems theory]. *Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization. 2017. № 2 (26)*. Pp. 32-43. EDN YTNKTT.
7. Kirsanov V.V., Baisheva R.A. Kontrol' i upravlenie v slozhnoj biotekhnicheskoy sisteme molochnoj fermy [Control and management in a complex biotechnical system of a dairy farm]. *Agrarian science of Euro-North-East. 2020. Vol. 21. № 5*. Pp. 625-632. DOI 10.30766/2072-9081.2020.21.5.625-632. EDN GNHHVV.
8. Gulevsky V.A., Vertij A.A. Matematicheskoe modelirovanie raboty izmel'chitelja kormov [Mathematical modeling of forage cutter operation]. *Vestnik of Voronezh state agrarian university. 2018. № 3(58)*. Pp. 120-128. DOI 10.17238/issn2071-2243.2018.3.120. EDN VMNYNQ.
9. Izmailov A.Yu. Lobachevsky Ya.P., Marchenko O.S., Tsench Yu.S. Sozdanie innovacionnoj texniki i resursoberegayushhix tekhnologij proizvodstva kormov – osnova razvitiya zhivotnovodstva [Creation of innovative equipment and resource-saving technologies of feed production – the basis of animal husbandry development]. *Bulletin of the Federal State Educational Institution of Higher Professional Education «Moscow State Agroengineering University named after V.P. Goryachkin». 2017. № 6 (82)*. Pp. 23-28. DOI 10.26897/1728-7936-2017-6-23-28. EDN ZWKXVX.
10. Braginets S.V., Bakhchevnikov O.N., Alferov A.S. Rezul'taty jeksperimental'nyh issledovanij izmel'chenija vysushennyh voloknistyh rastitel'nyh materialov [Results of experimental studies of grinding of dried fibrous plant materials]. *Engineering Technologies and Systems. 2021. 31 (4)*. Pp. 591-608. DOI 10.15507/2658-4123.031.202104.591-608. EDN RUQNAD.

11. Volvak S.F., Shapovalov V.I. Analiz gibkosti tehnicheskoy sistemy po prigotovleniyu kormov [Analysis of the flexibility of the technical system for the preparation of feed]. Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2021. № 2(30). Pp. 18-26. EDN GIVLCJ.
12. Shapovalov V.I., Bolotashvili Z.U., Volvak S.F., Lysenko I.B. Razrabotka gibkix sistem – e'ffektivny'j put' mexanizacii sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva [Development of flexible systems – an effective way of mechanization of agricultural production] // Bulletin of the East Ukrainian State University. Luhansk : EUSU publ., 1996, № 1, Pp. 169-173.
13. Shapovalov V.I., Volvak S.F., Bolotashvili Z.U. Razrabotka gibkogo universal'nogo malogabaritnogo kormoprigotovitel'nogo agregata IUF-1 [Development of a flexible universal small-sized feed preparation unit IUF-1] // Problems of design, production and operation of agricultural machinery: collection of scientific papers. Kirovograd : KISM publ., 1997. Pp. 113-116. EDN WZSBML.
14. Volvak S.F. Postroenie raschetnoj modeli funkcionirovaniya gibkoy sistemy dlya prigotovleniya kormov [Construction of a computational model of the functioning of a flexible system for the preparation of feed] // Collection of scientific papers of Luhansk National Agrarian University. Series: Technical Sciences. Luhansk : LNAU publ., 2003. № 31 (43). Pp. 95-100. EDN WTJMRP.
15. Volvak S., Pastukhov A., Bakharev D., Dobrickiy A. Theoretical studies of technological process of grinding stalked feed. Engineering for Rural Development. Virtual, Jelgava, 2021. Pp. 831-836. DOI 10.22616/ERDev.2021.20.TF189.
16. Shapovalov V.I., Volvak S.F. Teoreticheskoe obosnovanie processa vygruzki izmel'chenogo materiala v izmel'chajushhem apparate vertikal'nogo tipa [Theoretical substantiation of the process of unloading crushed material in a vertical type grinding machine] // Collection of scientific papers of Luhansk State Agrarian University. Series: Technical Sciences. Luhansk : LDAU publ., 1999. № 4. Pp. 101-106. EDN XGTEEX.
17. Vasilenko P.M. Teoriya dvizheniya chasticy po sherohovatym poverhnostjam sel'skokhozyajstvennyh mashin [Theory of particle motion on rough surfaces of agricultural machines]. K. : UAAS, 1960. 284 p.
18. Vasilenko P.M., Vasilenko V.P. Metodika postroeniya raschetnyh modelej funkcionirovaniya mehanicheskikh sistem (mashin i mashinnyh agregatov) [Methodology for constructing computational models of the functioning of mechanical systems (machines and machine units)]. K., 1980. 135 p.
19. Ovchinnikov A.A., Surmenev E.V., Vlaznev A.I. K voprosu obosnovaniya konstruktivno-rezhimnyh parametrov izmel'chitelja-smesitelja nepreryvnogo dejstvija [On the issue of substantiation of design-mode parameters of a continuous-action shredder-mixer]. Mechanization of harvesting, preparation and distribution of feed: Col. of s. works. Saratov, 1982. Pp. 74-82.
20. Kononov B.V., Zeitler A.K. Analiz processa vygruzki kormovoy smesi v izmel'chitele-smesitele nepreryvnogo dejstvija [Analysis of the process of unloading the feed mixture in a continuous shredder mixer]. Operation of machines in field farming: Col. of s. papers. Saratov, 1985. Pp. 101-105.
21. Mukhin V.A., Kakabaev O. Teoreticheskoe obosnovanie raspolozheniya vygruznoj gorloviny u izmel'chitelja-smesitelja kormov tipa ISK-3 [Theoretical justification of the location of the discharge neck at the shredder-mixer of the ISK-3 type feed]. Mechanization of preparation, distribution of feed and removal of manure. Col. of s. works. Saratov, 1991. Pp. 32-37.
22. Volvak S.F., Shapovalov V.I. Issledovanie izmel'chajushhih apparatov nezernovoj chasti urozhaja zernovykh kul'tur s sharnirnoj podveskoj nozhej na barabane [Investigation of grinding machines of the non-grain part of the grain crop with hinged suspension of knives on the drum] // Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2015. № 3 (7). Pp. 9-16. EDN YRWZJR.
23. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Semernina M.A. Drobilka dlja zerna s kombinirovannoj drobil'noj kameroy [Grain crusher with combined crushing chamber] // Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives. 2021. № 1 (29). Pp. 27-39. EDN RJOBSP.
24. Konstantinov M.M., Nuralin B.N., Dzhaparov R.R., Nuralin A.J. Sovershenstvovanie rabochih organov izmel'chitelja-smesitelja kormov ISK-3 [Improvement of the working bodies of the ISK-3 feed-grinding mixer]. Electronic resource. Access mode: <https://cyberleninka.ru/article/n/sovershenstvovanie-rabochih-organov-izmelchitelya-smesitelya-kormov-isk-3>
25. Gulevsky V.A., Vertiy A.A. Usovershenstvovanie tehnologii izmel'cheniya grubyyh stebel'chatyyh kormov izmel'chitelem s sharnirno podveshennymi kombinirovannymi nozhami [Improvement of the technology of grinding coarse stalked feeds with a shredder with hinged combined knives] // Bulletin of the Voronezh State Agrarian University. 2019. Vol. 12. № 1 (60). Pp. 73-81. DOI 10.17238/issn2071-2243.2019.1.73. EDN XSKVXA.

#### Сведения об авторах

Вольвак Сергей Федорович, кандидат технических наук, 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

Шаповалов Виктор Иванович, доктор технических наук, профессор кафедры сельскохозяйственных машин, ГОУ ВО ЛНР Луганский ГАУ, городок ЛГАУ 1, г. Луганск, ЛНР, 91008.

#### Information about authors

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

Shapovalov Viktor Ivanovich, doctor of technical sciences, professor of the department of agricultural machinery of the State Educational Institution of Higher Education LPR «Luhansk State Agrarian University», the town of LGAU 1, Lugansk, LPR, 91008.

УДК 631.5:631.354.2

*А.А. Жосан, М.М. Ревякин, С.И. Головин*

## **ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕМЕННЫХ ПЕРЕДАЧ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

**Аннотация.** Своевременное и качественное выполнение сельскохозяйственных работ напрямую зависит от степени готовности и надежности машин, применяемых в агропромышленном комплексе. В свою очередь несвоевременное и некачественное проведение плановых технических воздействий, несоблюдение режимов эксплуатации техники приводит к увеличению количества отказов отдельных ее узлов, агрегатов и систем, что приводит к росту временных периодов нахождения технических объектов в неисправном и неработоспособном состояниях, снижению надежности. Надежность передачи потока мощности и крутящего момента в основном типе привода зерноуборочного комбайна – клиноременная передача и вариатор, и стабильность его работы напрямую зависят от состояния ремней. Представлены основные факторы, оказывающие негативное влияние на ресурс ремней. Проанализировано влияние температуры окружающего воздуха на его долговечность, а также сформулированы ключевые факторы, влияющие на точность контроля технического состояния в процессе эксплуатации. Установлен характер влияния изнашивания боковин ремня и его замасливание на проскальзывание. Показано, что для оценки текущего состояния ремня необходима информация о его внутренних повреждениях, которые образуются в течение всего периода эксплуатации и не всегда выявляются при детальном осмотре передачи. Рассмотрен способ диагностирования, основанный на оценке колебаний ведущей ветви ремня с применением регистрирующих элементов, в роли которых выступает натяжной ролик с датчиком перемещения для систем самодиагностики. Представлены спектры Фурье колебаний натяжного ролика для различных величин бокового износа, а также для чистого и замасленного ремня. В качестве номинального значения параметра для систем диагностирования берутся начальные значения частот и амплитуд определенного ремня после завершения процесса обкатки.

**Ключевые слова:** зерноуборочный комбайн, эксплуатация, надежность, отказ, ремень, диагностирование, факторы

## **THEORETICAL ASPECTS OF CONTROLLING THE TECHNICAL CONDITION OF THE BELT GEAR OF AGRICULTURAL MACHINES DURING OPERATION**

**Abstract.** Timely and high-quality performance of agricultural work directly depends on the degree of readiness and reliability of machines used in the agro-industrial complex. In turn, untimely and poor-quality implementation of planned technical interventions, non-compliance with the operating modes of equipment leads to an increase in the number of failures of its individual units, assemblies and systems, which leads to an increase in the time periods for technical objects to be in faulty and inoperative states, and a decrease in reliability. The reliability of the transmission of the power flow and torque in the main type of drive of the combine harvester is a V-belt transmission and variator, and the stability of its operation directly depends on the condition of the belts. The main factors that have a negative impact on the resource of belts are presented. The influence of ambient temperature on its durability has been analyzed, and key factors have been formulated that affect the accuracy of monitoring the technical condition during operation. The nature of the influence of wear of the sidewalls of the belt and its oiling on slippage has been established. It is shown that in order to assess the current state of the belt, information is needed about its internal damages, which are formed during the entire period of operation and are not always revealed during a detailed examination of the transmission. A method of diagnostics based on the assessment of vibrations of the leading belt branch with the use of recording elements, in the role of which is a tension roller with a displacement sensor for self-diagnosis systems, is considered. The Fourier spectra of the tension roller vibrations are presented for various values of lateral wear, as well as for a clean and oily belt. The initial values of the frequencies and amplitudes of a certain belt after the completion of the running-in process are taken as the nominal value of the parameter for the diagnostic systems.

**Keywords:** combine harvester, operation, reliability, failure, belt, diagnostics, factors

Неотъемлемой частью глобальной задачи по развитию экономики страны в целом является постоянная модернизация ряда отраслей, в частности сельского хозяйства. Совершенствование технологических процессов, выполняемых на сегодняшний день в области агропромышленного комплекса (АПК), невозможно без применения надежного оборудования и производительных специализированных мобильных энергетических средств, которые, к сожалению, далеко не всегда находятся в технически исправном и работоспособном состоянии для выполнения заданного объема работ в определенные агротехнические сроки. Таким об-

разом, одним из важнейших направлений научно-технического прогресса является качественное улучшение ремонтных воздействий для сельскохозяйственной техники, повышение их долговечности, а также уровня надежности в целом.

Неудовлетворительная надежность сельскохозяйственных мобильных энергетических средств в процессе эксплуатации вынуждает предприятия сферы АПК расходовать значительные средства на незапланированный ремонт, покупку запасных частей и расходных материалов, что в итоге сказывается на итоговой себестоимости сельскохозяйственной продукции в сторону ее увеличения [4, 5].

Учитывая интенсивность функционирования отдельных элементов привода сельскохозяйственных машин при эксплуатации [2], тенденцию к постоянному росту их стоимости, проблема надежности, повышения наработки на отказ, ресурса, а также улучшение отдельных технических характеристик приобретает особую актуальность [3, 10]. Увеличение ресурса приводов будет способствовать значительной экономии материальных средств, затрачиваемых на проведение ремонтных воздействий и замену изношенных элементов, снижению времени простоя техники, связанной с устранением отказов.

Основным типом привода сельскохозяйственной машины (зерноуборочного комбайна) является клиноременная передача и вариатор [1]. Надежность передачи потока мощности и крутящего момента в таких механизмах и стабильность их работы напрямую зависят от состояния ремней [9], на снижение ресурса которых могут оказывать влияние следующие факторы: аварийные перегрузки, частая эксплуатация при предельных рабочих нагрузках, повышенные внешние температуры (рисунок 1), грязь, пыль, малые диаметры шкивов, расположение в ограниченном пространстве и перекрещивающиеся приводы, выполнение функций муфты.

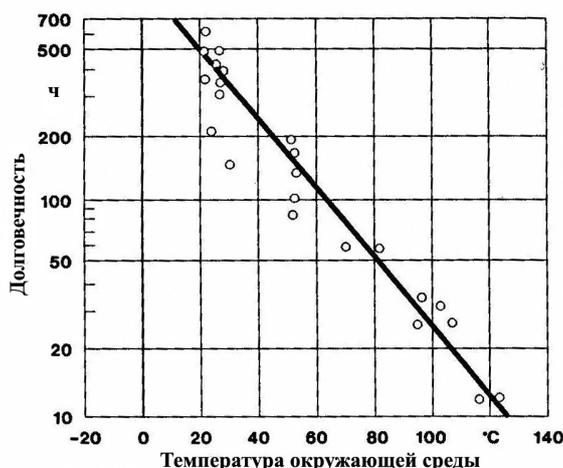


Рис. 1 – Влияние окружающей температуры на долговечность ремня

Повышение температуры приблизительно на 20°C ведет к сокращению ресурса ремня наполовину. В процессе эксплуатации при температуре воздуха за бортом машины 25°C возле ремня температура может достигать 60°C, особенно вблизи от моторного отсека и приводного шкива. Температура самого ремня составляет при данных условиях порядка 70°C. При повышенных температурах забортного воздуха эта величина может еще возрасти.

Сокращение ресурса может происходить также с применением внешнего натяжного ролика, особенно если его диаметр меньше, чем диаметр приводного шкива. Причиной служит большая частота перегибов, которые обуславливают износ ремня. В процессе работы с нормальной загрузкой такие виды изнашивания, как истирание, усталость или старение материала, ведут к постепенному повреждению. При перегрузке возможно образование местного износа и наступление внезапного повреждения, например, пластической деформации, образования засечек или обрыва. В условиях реальной эксплуатации на повреждения от постепенного изнашивания могут наслаиваться повреждения от перегрузок, что приводит к

возникновению отказов способных полностью остановить рабочий процесс на значительный промежуток времени.

Оценку состояния ремней проводят как правило визуально. Контроль такого рода может быть затруднен из-за крышек и кожухов, закрывающих особенно часто ремни-муфты. Также есть вероятность того, что поврежденное место ремня находится в момент обзора в ручье шкива и не может быть обнаружено. Предупреждение внезапных отказов возможно только в случае непрерывного контроля по определенным показателям функционирования ремня его фактического состояния в процессе эксплуатации. Фиксация выхода показателей рабочего процесса за предельно допустимые пределы в режиме реального времени будет способствовать превентивному обслуживанию и, при необходимости, замене изношенного элемента передачи в рамках проведения плановых ремонтных воздействий.

Показателями рабочего процесса ремня являются такие факторы как температура ремня, его проскальзывание, а также колебания холостой и ведущей ветвей.

Установлено, что величина проскальзывания ремня заметно изменяется при прогрессирующем истирании боковин. Картина повреждения при боковом истирании может иметь различный вид в зависимости от стадии повреждения: одинаковый боковой износ по периметру ремня, местный боковой износ (рисунок 2 а), износ одного или всех слоев покрытия.

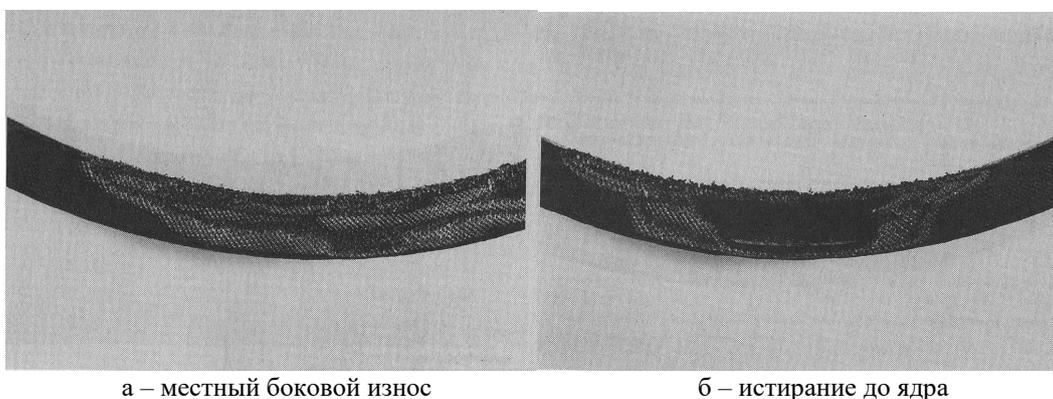


Рис. 2 – Повреждения ремня при истирании

Боковой износ не имеет никакого измеряемого влияния на диагностический параметр в течение периода, пока изнашивание идет равномерно по всему периметру ремня, и материал покрытия не полностью поврежден. Причина в том, что коэффициент трения не изменяется при износе внешнего покрытия. Проскальзывание повышается, только когда покрытие повреждено и резиновое ядро открыто (рисунок 2 б).

Местный боковой износ при сильном проявлении имеет влияние на буксование (рисунок 3). Увеличение проскальзывания зависит также от длины протертого участка, охватывающего шкив. Если дефектный участок маленький по сравнению с дугой охвата ( $< 20\%$ ), его влияние на буксование незаметно.

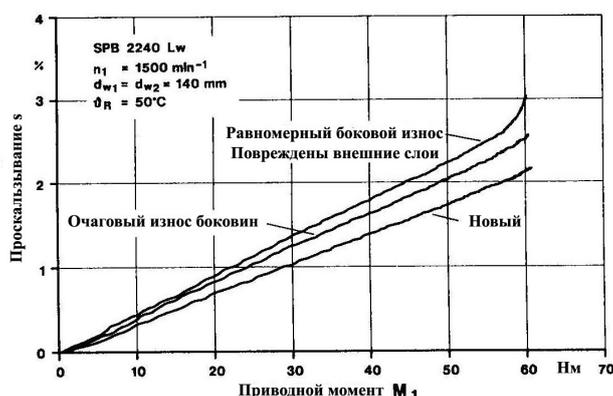


Рис. 3 – Влияние изнашивания боковин ремня на проскальзывание

Для оценки текущего состояния ремня необходима информация о его внутренних повреждениях, которые образуются в течение всего периода эксплуатации и часто не выявляются при детальном осмотре передачи. Диагностирование в таком случае осуществляется по оценке колебаний ведущей ветви ремня с применением регистрирующих элементов (натяжной ролик с датчиком перемещения). При местном боковом износе увеличивается амплитуда колебаний натяжного ролика (рисунок 4), что объясняется следующим: боковой износ уменьшает ширину ремня, в результате чего дефектные места сильнее перегибаются через шкив. Эти изменения угла отклонения обуславливают и колебания крутящего момента. При дефекте на рабочей поверхности ремня наступает сбой в круговой развертке, причем повышается амплитуда собственных колебаний.

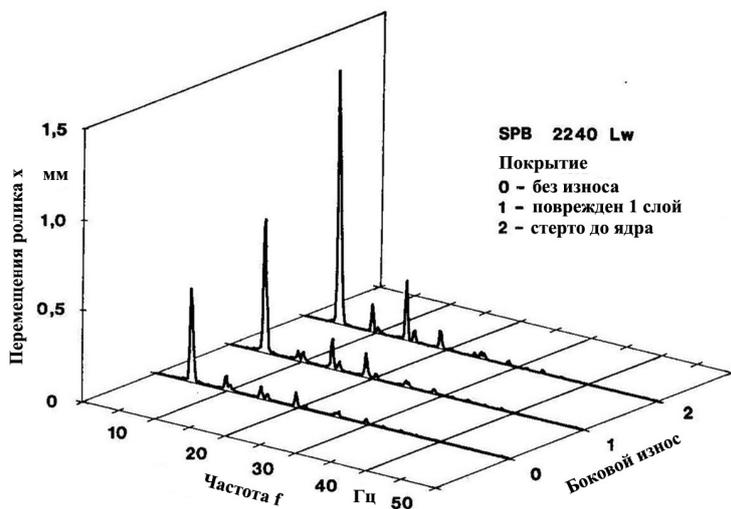


Рис. 4 – Спектры Фурье колебаний натяжного ролика для различных величин бокового износа

Наличие масла на ремнях снижает коэффициент трения и ведет к многократно возрастающему буксованию (рисунок 5). При передаваемом номинальном моменте 40 Нм буксование замасленного ремня возрастает на 90%, при 1,5-кратном моменте – на 340% по сравнению с ремнем в первоначальном состоянии.

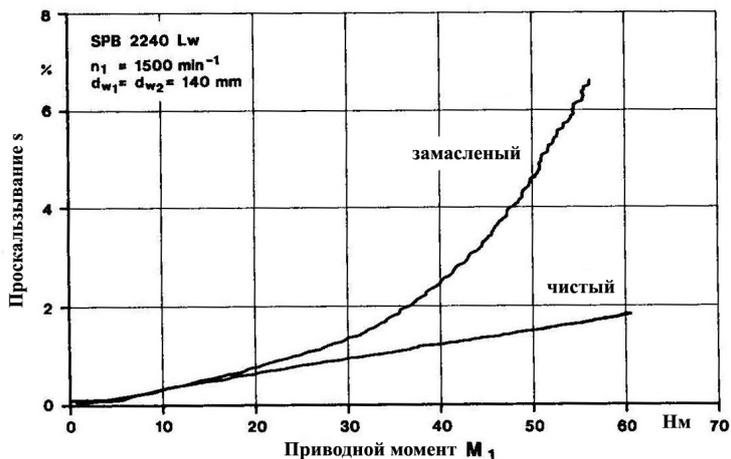


Рис. 5 – Влияние замасливания ремня на проскальзывание

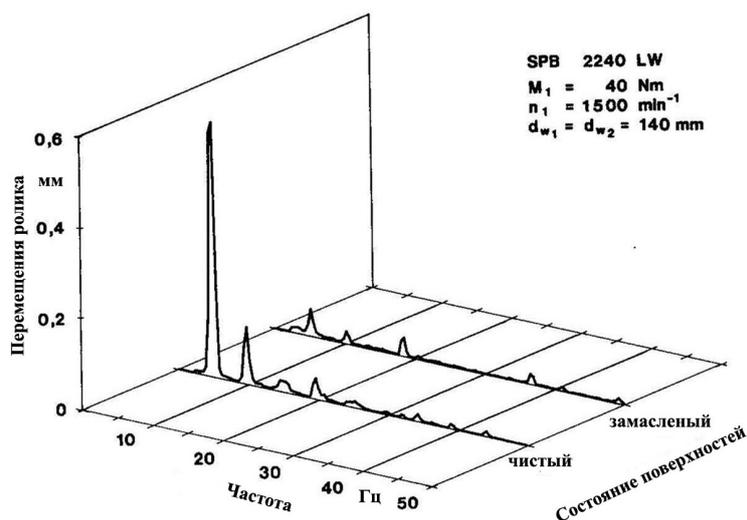


Рис. 6 – Спектры Фурье колебаний натяжного ролика для чистого и замасленного ремня

В результате незначительного коэффициента трения колебания крутящего момента снижаются по амплитуде, причем уменьшается также амплитуда колебаний натяжного ролика (рисунок 6).

Помимо этого, ремень может иметь также усталостные повреждения в ядре, разрыв внешней оболочки, растяжение и т.п., что в свою очередь вызывает колебания различной частоты и проскальзывание. В качестве номинального значения параметра для систем диагностирования берутся начальные значения частот и амплитуд определенного ремня после завершения процесса обкатки [8]. Учитывая, что объекты диагностирования схожего типа и конструкции имеют относительно близкие по своим значениям критические величины параметров технического состояния, фиксация факта приближения отказа возможна с достаточной точностью.

**Заключение.** Приведенные результаты позволяют реализовать на основе несложных технических устройств и датчиков отдельные подсистемы непрерывной оценки технического состояния ременных передач сельскохозяйственных мобильных энергетических средств, а также осуществить их интеграцию в различные системы бортовой самодиагностики распределенного типа, что обеспечит своевременную фиксацию отклонений контролируемых диагностических параметров, уменьшит вероятность возникновения отказов различных групп сложности, снизит простои и положительно скажется на надежности работы техники в целом в процессе ее эксплуатации.

#### Библиография

1. Методы проектирования и расчета клиноременных передач и вариаторов сельхозмашин / Р.С. Галаджев, И.С. Мещеряков, Г.П. Троянова, Е.А. Харьков. Ростов-на-Дону : РИСХМ СНИЛ, 1987. 64 с.
2. Голубев И.Г. Состояние технической оснащённости сельского хозяйства // В сборнике: Цифровизация в АПК: технологические ресурсы, новые возможности и вызовы времени. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции. Тверь, 2020. С. 278-281.
3. Жосан А.А., Куликов С.Н., Ревакин М.М. К вопросу развития средств диагностирования // Труды ГОСНИТИ. 2009. Т. 103. № 1. С. 47-48.
4. Жосан А.А., Ревакин М.М. Топология построения систем самодиагностики: вариативность и оптимальность // Вестник Орловского государственного аграрного университета. Орел, 2011. Т. 29. № 2. С. 109-111.
5. Королев А.Е. Изменение технической готовности уборочных машин // Наукосфера. 2021. № 1-2. С. 89-93.
6. Павлюк Р.В., Пьянов В.С., Лебедев А.Т. Повышение эффективности использования зерноуборочных комбайнов // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2010. № 1. С. 18-19.
7. Ревакин М.М. Применение системы эксплуатационной самодиагностики для обеспечения реализации заявленного ресурса дизелей // Технология колесных и гусеничных машин. 2014. № 3. С. 35-43.
8. Фомичёв Е.В., Ревакин М.М. Диагностирование как способ получения информации о техническом состоянии сельскохозяйственных машин и повышения их надежности // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 356-361.

9. Флик Э.П. Механические приводы сельскохозяйственных машин. 3-е изд., перераб. и доп. М. : Машиностроение, 1984. 266 с.
10. Харахашян С.М., Димитров В.П., Хубиян К.Л. Диагностирование зерноуборочного комбайна по внешним признакам отказов // Вестник Донского государственного технического университета. 2010. № 3 (46). С. 355-363.

#### References

1. Metody proektirovaniya i rascheta klinremennyykh peredach i variatorov sel'hozmashin [Methods for designing and calculating V-belt transmissions and variators of agricultural machines] / R.S. Galadzhev, I.S. Meshcheryakov, G.P. Troyanova, E.A. Har'kova. Rostov-na-Donu: RISKHM SNIL, 1987. 64 s.
2. Golubev I.G. Sostoyanie tekhnicheskoy osnashchennosti sel'skogo hozyajstva [The state of the technical equipment of agriculture] // V sbornike: Cifrovizatsiya v APK: tekhnologicheskie resursy, novye vozmozhnosti i vyzovy vremeni. Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tver', 2020. S. 278-281.
3. Zhosan A.A., Kulikov S.N., Revyakin M.M. K voprosu razvitiya sredstv diagnostirovaniya [To the question of the development of diagnostic tools] // Trudy GOSNITI. 2009. T. 103. № 1. S. 47-48.
4. Zhosan A.A., Revyakin M.M. Topologiya postroeniya sistem samodiagnostiki: variativnost' i optimal'nost' [Topology of building self-diagnostic systems: variability and optimality] // Vestnik Orlovskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Orel, 2011. T. 29. № 2. S. 109-111.
5. Korolev A.E. Izmenenie tekhnicheskoy gotovnosti uborochnykh mashin [Changing the technical readiness of harvesters] // Naukosfera. 2021. № 1-2. S. 89-93.
6. Pavlyuk R.V., P'yanov V.S., Lebedev A.T. Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya zernouborochnykh kombajnov [Improving the efficiency of using combine harvesters] // Mekhanizatsiya i elektrifikatsiya sel'skogo hozyajstva. 2010. № 1. S. 18-19.
7. Revyakin M.M. Primenenie sistemy ekspluatatsionnoy samodiagnostiki dlya obespecheniya realizatsii zayavlenogo resursa dizelej [Application of the system of operational self-diagnostics to ensure the implementation of the declared resource of diesel engines] // Tekhnologiya kolesnykh i gusenichnykh mashin. 2014. № 3. S. 35-43.
8. Fomichyov E.V., Revyakin M.M. Diagnostirovanie kak sposob polucheniya informatsii o tekhnicheskom sostoyanii sel'skohozyajstvennykh mashin i povysheniya ih nadezhnosti [Diagnostics as a way to obtain information about the technical condition of agricultural machines and improve their reliability] // Agrotekhnika i energoobespechenie. 2014. № 1 (1). S. 356-361.
9. Flik E.P. Mekhanicheskie privody sel'skohozyajstvennykh mashin. [Mechanical drives of agricultural machines] 3-e izd., pererab. i dop. M. : Mashinostroenie, 1984. 266 s.
10. Kharakhashyan S.M., Dimitrov V.P., Khubiyani K.L. Diagnostirovaniye zernouborochnogo kombayna po vneshnim priznakam otkazov // Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. 2010. № 3 (46). S. 355-363.

#### Сведения об авторах

Жосан Артур Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП и тракторы», ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Орловская область, Россия, 302019, тел. +74862 76-17-54, e-mail: a-josan@yandex.ru

Ревякин Максим Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП и тракторы», ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Орловская область, Россия, 302019, тел. +74862 76-17-54, e-mail: revyakinmm@inbox.ru

Головин Сергей Иванович, кандидат технических наук, доцент кафедры «ЭМТП и тракторы», ФГБОУ ВО Орловский ГАУ, ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Орловская область, Россия, 302019, тел. +74862 76-17-54, e-mail: golovinsi@yandex.ru

#### Information about authors

Zhosan Artur Aleksandrovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Operation of the machine and tractor fleet and tractors, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», st. General Rodina, 69, Orel, Orel region, Russia, tel. +74862 76-17-54, e-mail: a-josan@yandex.ru

Revyakin Maxim Mihailovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Operation of the machine and tractor fleet and tractors, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», st. General Rodina, 69, Orel, Orel region, Russia, tel. +74862 76-17-54, e-mail: revyakinmm@inbox.ru

Golovin Sergey Ivanovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of Operation of the machine and tractor fleet and tractors, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin», st. General Rodina, 69, Orel, Orel region, Russia, tel. +74862 76-17-54, e-mail: golovinsi@yandex.ru

УДК 621.793.74:539.373

*С.В. Карцев, И.Н. Кравченко, А.Г. Пастухов, Г.И. Трифонов, И.С. Карцев*

## МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ФОРМИРОВАНИЯ ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В ПОКРЫТИЯХ ПРИ ПЛАЗМЕННОМ НАПЫЛЕНИИ С ОПЛАВЛЕНИЕМ

**Аннотация.** В статье представлены результаты исследований остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных плазменным напылением с оплавлением. Получены аналитические зависимости, показывающие влияние остаточных напряжений в покрытиях на прочность их сцепления с основой и на их базе предложена уточненная математическая модель, устанавливающая закономерности влияния температурно-временных параметров плазменного оплавления на уровень остаточных напряжений. Приведены результаты математического моделирования формирования остаточных напряжений в плазменных покрытиях с учетом времени и температуры их оплавления. Получены уравнения, позволяющие оценить динамику изменения температур покрытия и восстанавливаемой детали, с помощью которых можно оценить зависимости касательных напряжений от толщины наносимых покрытий. При этом погрешность расчетов варьируется в диапазоне 7-10%. На основе выявленных закономерностей физико-механических и эксплуатационных свойств плазменных покрытий разработана математическая модель распределения остаточных напряжений на границе раздела «деталь-покрытие». Численное исследование остаточных напряжений в плазменных покрытиях проводили на основе разработанных программных комплексов «Plasma Expert» и «Protection», открывающие широкие возможности для конечно-элементного описания исследуемой системы «покрытие-восстанавливаемая деталь». Теоретически и экспериментально доказано, что при оптимальных значениях основных технологических параметров и режимов плазменного напыления процесс оплавления позволяет значительно снизить внутренние остаточные напряжения в покрытиях и повысить их износостойкость.

**Ключевые слова:** математическое моделирование, плазменное оплавление, остаточные напряжения, плазменное напыление, покрытие.

## MATHEMATICAL MODEL FOR THE FORMATION OF RESIDUAL STRESSES IN COATINGS DURING PLASMA SPRAYING WITH FLUSHING

**Abstract.** The article presents the results of studies of residual stresses in coatings applied by plasma sputtering with reflow. Analytical dependences have been obtained showing the effect of residual stresses in coatings on the strength of their adhesion to the substrate and on their basis a refined mathematical model has been proposed that establishes the regularities of the influence of temperature-time parameters of plasma reflow on the level of residual stresses. The results of mathematical modeling of the formation of residual stresses in plasma coatings, taking into account the time and temperature of their melting are presented. The equations allowing to estimate dynamics of change of temperatures of a covering and the restored detail by means of which it is possible to estimate dependences of tangential stresses on thickness of the applied coverings are received. At the same time, the calculation error varies in the range of 7-10%. Based on the revealed regularities of the physical, mechanical and operational properties of plasma coatings, a mathematical model of the distribution of residual stresses at the «part-coating» interface has been developed. The numerical study of residual stresses in plasma coatings was carried out on the basis of the developed software complexes «Plasma Expert» and «Protection», which open up wide possibilities for a finite element description of the investigated system «coating-restored part». It is theoretically and experimentally proved that at optimal values of the main technological parameters and modes of plasma spraying, the reflow process can significantly reduce the internal residual stresses in coatings and increase their wear resistance.

**Keywords:** mathematical modeling, plasma reflow, residual stresses, plasma spraying, coating.

**Введение.** Применение технологий по нанесению многофункциональных покрытий с целью восстановления и упрочнения рабочих поверхностей деталей технологического оборудования свеклосахарного производства в рамках активного импортозамещения на сегодняшний день обусловлено интенсивными и жесткими условиями их эксплуатации, что характеризуется высоким абразивным износом, коррозией, активными химическими средами и т.д. Эти и другие факторы, и условия определяют назначение наносимых покрытий. Проведенный анализ результатов работ [1-3] позволил сделать вывод о том, что наиболее перспективным и экономически выгодным способом восстановления с одновременным повышением износостойкости деталей машин и оборудования, ввиду своей универсальности и экономичности, является технология плазменного нанесения покрытий. Вопросы улучшения физико-механических и эксплуатационных свойств деталей технологического оборудования агро-

промышленного комплекса путем газотермического воздействия на их изношенные поверхности являются востребованными как в теоретическом, так и в практическом отношении.

Одним из основных показателей качества формируемых плазменных покрытий и одной из основных причин их разрушения являются остаточные напряжения. Следовательно, проблема прогнозирования и регулирования остаточных напряжений при нанесении многофункциональных покрытий представляет собой практический интерес с точки зрения оптимизации их физико-механических и эксплуатационных свойств [4-6].

**Анализ исследований и публикаций.** Анализ остаточных напряжений у нанесенных покрытий плазменным напылением является весьма востребованной инженерной задачей, поскольку данный критерий качества при высоких показателях приводит к снижению прочности сцепления покрытий с основой, его отслаиванию в процессе активной эксплуатации и, следовательно, к уменьшению надежности работы всего механизма в целом. Природа образования остаточных напряжений в покрытиях достаточно изучена, особенно в работах В.А. Барвинка [7], В.В. Кудинова [8], А.Ф. Пузрякова [9] и др. Кроме того, в работах [10-12], посвященных исследованию напряженно-деформированного состояния плазменных покрытий, приводятся уравнения для приближенных оценок уровня остаточных напряжений, справедливых в ограниченных областях их применения. При этом считается, что остаточные напряжения оказывают в большей степени негативное влияние на физико-механические и эксплуатационные характеристики покрытий. Как показывает практика для конкретных случаев расчет остаточных напряжений в покрытиях по известным методикам вызывает определенные затруднения [7-12]. При исследовании уровня остаточных напряжений необходимо учитывать разницу коэффициентов термического расширения материалов покрытия и основы, кристаллизационные напряжения, фазовые и структурные превращения и т.д. Для проведения расчетных операций по остаточным напряжениям покрытий активно используют такие программные продукты и модели, как ANSYS, ABAQUS, NASTRAN, LS-DYNA и др.

**Цель исследования** – выявление закономерностей влияния температурно-временных параметров плазменного оплавления на уровень остаточных напряжений в покрытиях.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) на основе существующих аналитических и численных моделей определить зависимости касательных напряжений от толщины наносимого покрытия;
- 2) уточнить математические зависимости для оценки остаточных напряжений в покрытии, нанесенным плазменным напылением с оплавлением;
- 3) провести корректировку существующей математической модели формирования остаточных напряжений в покрытиях с учетом времени и температуры плазменного оплавления и их влияния на значения параметров ползучести.

**Формирование остаточных напряжений в системе «деталь-покрытие».** Принимаем во внимание, что в процессе плазменного напыления покрытие имеет толщину  $\delta$  и температуру  $T_n$ , при этом температура детали будет равной  $T_o$ . В процессе остывания системы в силу эффекта термического сжатия происходило ее деформирование, а величина деформаций в покрытии и детали пропорциональна величине, определяемой из выражения

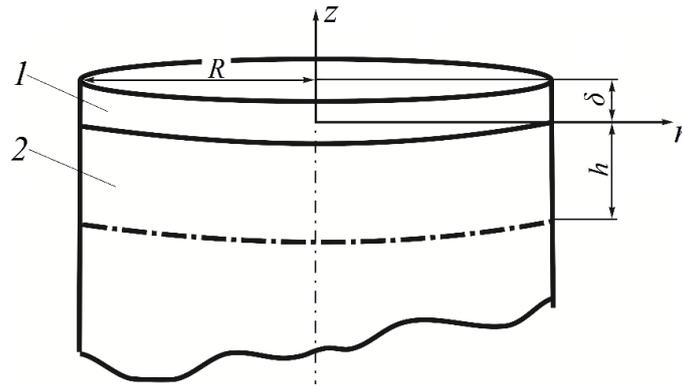
$$\psi T = \psi_n T_n - \psi_o T_o, \quad (1)$$

где  $\psi_n, \psi_o$  – коэффициенты термического расширения.

Учитывая то, что толщина покрытия обычно значительно меньше размеров детали [13], в качестве объекта нанесения покрытия выбрано основание детали цилиндрической формы (вал) радиусом  $R$  (рисунок 1).

Ввиду того, что тепловые граничные условия подвержены изменению во времени (в процессе напыления), то процесс нанесения плазменных покрытий отличается большой нелинейностью. Учитывая указанное обстоятельство, при численном моделировании принимали, что коэффициент термического сжатия детали равен нулю, а температуру системы «деталь-покрытие» понижали на величину  $T'_n$ . Результаты анализа распределения компонент остаточных напряжений показали, что в центральной области системы компоненты мериди-

ональных и окружных напряжений близки друг к другу, а величина осевых напряжений оказалась на два порядка меньше.



$r, z$  – оси цилиндрической системы координат;  $R$  – радиус цилиндрической детали;  $\delta$  – толщина покрытия;  $h$  – глубина проникновения остаточных напряжений в деталь; 1 – покрытие; 2 – деталь

**Рис. 1 – Схема исследования остаточных напряжений в системе «деталь-покрытие»**

Оценку максимального значения уровня напряжений на границе системы «деталь-покрытие» проводили при следующих условиях: материал детали неограничен в две стороны; покрытие представляет собой тонкостенную пластину толщиной  $\delta$ , неограниченную в одну сторону; свойства материалов характеризуются коэффициентами Пуассона  $\mu_j$  и модулем упругости  $E_j$ , где индекс  $j$  принимает обозначения «о» и «п», соответственно для детали и покрытия. Поведение системы «деталь-покрытие» характеризуется коэффициентом теплового расширения  $\psi_n$  и величиной термической деформации  $\psi T$ , определяемой из выражения (1). В рамках метода суперпозиции – это равносильно приложению к торцу покрытия силы  $F_x = \sigma_x \delta$ , в результате чего происходит деформация покрытия и детали.

На границе раздела на покрытие действуют касательные напряжения

$$\tau = G_o Z/h, \quad (2)$$

где  $G_o = \frac{E_o}{2(1 + \mu_o)}$  – модуль сдвига детали;  $Z$  – перемещение произвольной точки покрытия в направлении оси  $x$ .

Уравнение равновесия элемента покрытия имеет вид [14]

$$\frac{d\sigma_x}{dx} - \frac{\tau}{\delta} = 0. \quad (3)$$

Напряжение  $\sigma_x$  в покрытии связано с деформацией  $\varepsilon_x$  вдоль оси  $x$  следующим соотношением [7, 14]

$$\sigma_x = \frac{E_n \varepsilon_x}{1 - \mu_n^2}. \quad (4)$$

Величина деформации  $\varepsilon_x$  зависит от характера перемещения  $Z$  точек покрытия, т.е.

$$\varepsilon_x = \frac{dZ}{dx}. \quad (5)$$

Тогда уравнение равновесия (3) можно представить в виде

$$\frac{d^2 Z}{dx^2} - \frac{\lambda Z}{h\delta} = 0, \quad (6)$$

где  $\lambda = \frac{E_o(1 - \mu_n^2)}{2E_n(1 + \mu_o)}$ .

Вводя безразмерные переменные  $y = x/\delta$ ,  $S = Z/\delta$  и  $H = h/\delta$ , уравнение (6) преобразуем к виду:

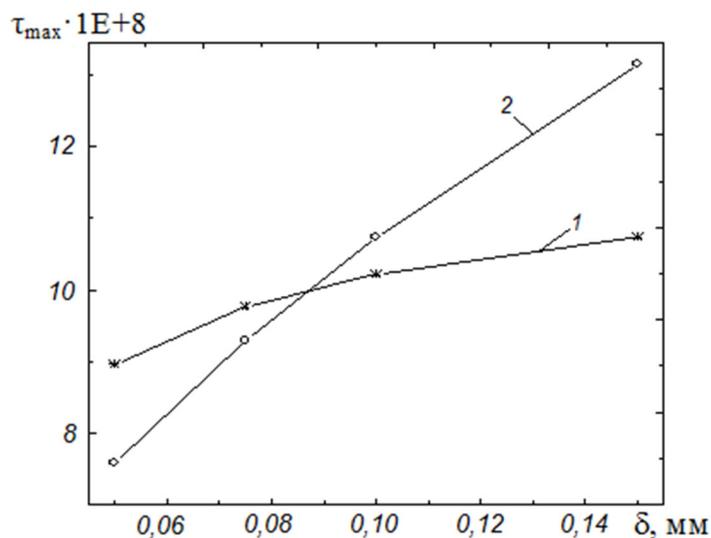
$$\frac{d^2 S}{dy^2} - \frac{\lambda S}{H} = 0. \quad (7)$$

Решение уравнения (7) можно представить в виде  $S = Ae^{\beta y}$ , где  $\beta = -\sqrt{\lambda/H}$ . Произвольную постоянную  $A$  находим из условия  $\frac{dS}{dy} = -\psi T$ .

После соответствующих преобразований окончательно получим

$$\tau_{\max} = \frac{E_o}{2(1 + \mu_o)} \frac{S_m}{H} = -\frac{E_o \psi T}{2(1 + \mu_o) \beta H}. \quad (8)$$

Результаты расчета касательных напряжений в зависимости от толщины покрытия, полученные с помощью аналитической (кривая 1) и численной модели (кривая 2), представлены на рисунке 2. Оценка полученных зависимостей показывает, что погрешность расчетов не превышает 10%.



1 – аналитическая модель оценки; 2 – численная модель оценки  
 Рис. 2 – Зависимости касательных напряжений  $\tau_{\max}$  от толщины покрытия  $\delta$

При проведении дальнейших исследований устанавливали зависимости между температурами ( $T_n$ ,  $T_o$ ) и технологическими параметрами плазменного оплавления покрытий с учетом температурных деформаций восстанавливаемой детали и коробления ее формы вследствие изменения остаточных напряжений в покрытии при оплавлении.

**Распределение остаточных напряжений в покрытиях при плазменном оплавлении.** Для плазменных покрытий наиболее важной характеристикой является прочность сцепления  $\sigma_{сц}$  с основой [8, 15], которая качественно описывается в виде:

$$\sigma_{сц} = \sigma_{адг} - k\sigma_{ост}, \quad (9)$$

где  $\sigma_{адг}$  – адгезионная прочность;  $\sigma_{ост}$  – остаточные напряжения в покрытии;  $k$  – расчетно-экспериментальный коэффициент, зависящий от свойств материала покрытий и метода их нанесения.

При увеличении толщины наносимого функционального покрытия на поверхности деталей происходит значительное уменьшение величин таких параметров как когезия покрытия и ее прочность сцепления с основой. Учитывая данный факт, необходимо отметить, что фактическая прочность сцепления покрытий меньше теоретической, ввиду представления покрытия как сплошной упругой среды. В связи с этим установление взаимосвязи остаточных напряжений с параметрами покрытий при плазменном оплавлении позволяет спро-

гнозировать изменение запаса прочности и эксплуатационный ресурс восстановленных деталей, а также разработать рекомендации по выбору рациональных режимов напыления.

Как видно из выражения (9), прочность сцепления  $\sigma_{сц}$  напрямую зависит от уровня остаточных напряжений, присутствующих в покрытии. На основе теорий термомеханики была предложена скорректированная математическая модель.

Изменения начальной и завершающей температуры для восстанавливаемой детали представим следующим выражением:

$$\frac{dT_d}{dt} = b(i)(T - T_d), \quad (10)$$

где  $T_d, t$  – соответственно температура и время нагрева восстанавливаемой детали;  $T$  – температура на границе раздела «восстанавливаемая деталь-покрытие».

В уравнении (10) параметр  $b(i)$  определяется по формуле:

$$b(i) = \frac{\lambda_d(i)}{(\delta_d(i) - x_B)\delta_d(i)\rho_d(i)c_d(i)}, \quad (11)$$

где  $\lambda_d(i)$  – коэффициент теплопроводности восстанавливаемой детали;  $\delta_d(i)$  – толщина восстанавливаемой детали;  $x_B$  – расстояние от тыльной поверхности до центра объема восстанавливаемой детали;  $\rho_d(i)$  – плотность металла;  $c_d(i)$  – количество теплоты, поглощаемое металлом в процессе нагревания.

Тогда баланс тепла для покрытия, нанесенного плазменным напылением, имеет следующий вид:

$$tT = tT_0 - \beta\theta T_0 - \int_0^t \gamma_0 \left( \frac{T+a}{100} \right)^4 dt; \quad (12)$$

где  $T_0$  – температура частиц напыляемого материала;  $\rho, c$  – плотность и теплоемкость материала покрытия.

В уравнении (11) параметр  $\beta(i)$  представим выражением вида

$$\beta(i) = \frac{\rho_d(i)c_d(i)\delta_d(i)}{\rho c \delta_{\min}}. \quad (13)$$

Выражение (12) представим в виде дифференциального уравнения:

$$t \frac{dT}{dt} + T = T_0 - \beta(i)\theta b(i)(T - T_d) - \gamma_0 \left( \frac{T+a}{100} \right)^4 \quad (14)$$

Совместное решение уравнений (10) и (14) позволяет оценить динамику изменения температур покрытия  $T$  и восстанавливаемой детали  $T_d$ . При этом естественными начальными условиями являются:  $T_d = T_0$  и  $T = T_0$  при  $t = 0$ .

Тогда, преобразуя уравнение (14), получим:

$$\frac{\beta + \bar{\delta}}{\beta + (\bar{\delta})_0} = \left( \frac{\sqrt[4]{T_0} + \sqrt[4]{\gamma_0 T_A}}{\sqrt[4]{T_0} + \sqrt[4]{\gamma_0 (\bar{T}_A)_0}} \frac{\sqrt[4]{T_0} - \sqrt[4]{\gamma_0 (\bar{T}_A)_0}}{\sqrt[4]{T_0} - \sqrt[4]{\gamma_0 T_A}} \right)^{\frac{A}{\sqrt[4]{\gamma_0}}} \cdot \left[ \exp \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt[4]{\gamma_0 T_A}}{\sqrt[4]{T_0}} \right) - \right. \right. \quad (15)$$

$$\left. \left. - \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt[4]{\gamma_0 (\bar{T}_A)_0}}{\sqrt[4]{T_0}} \right) \right) \right]^{\frac{C}{\sqrt[4]{\gamma_0}}},$$

в выражении (15) член с экспонентой представим в виде

$$\left[ \exp \left( \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt[4]{\gamma_0} \bar{T}_A}{\sqrt[4]{\bar{T}_0}} \right) - \operatorname{arctg} \left( \frac{\sqrt[4]{\gamma_0} (\bar{T}_A)_0}{\sqrt[4]{\bar{T}_0}} \right) \right) \right]^{\frac{c}{\sqrt[4]{\gamma_0}}} = \left[ \exp \left( \operatorname{arctg} \frac{\sqrt[4]{\gamma_0} (\bar{T}_A - (\bar{T}_A)_0)}{\sqrt[4]{\bar{T}_0} \left( 1 + \frac{\sqrt{\gamma_0} \bar{T}_A (\bar{T}_A)_0}{\sqrt{\bar{T}_0}} \right)} \right) \right]^{\frac{c}{\sqrt[4]{\gamma_0}}}.$$

Окончательно уравнение (14) примет следующий вид

$$\frac{\beta + \bar{\delta}}{\beta + (\bar{\delta})_0} = \left( \frac{\sqrt[4]{\bar{T}_0} + \sqrt[4]{\gamma_0} \bar{T}_A}{\sqrt[4]{\bar{T}_0} + \sqrt[4]{\gamma_0} (\bar{T}_A)_0} \frac{\sqrt[4]{\bar{T}_0} - \sqrt[4]{\gamma_0} (\bar{T}_A)_0}{\sqrt[4]{\bar{T}_0} - \sqrt[4]{\gamma_0} \bar{T}_A} \right)^{\frac{A}{\sqrt[4]{\gamma_0}}} \left[ \exp \left( \operatorname{arctg} \frac{\sqrt[4]{\gamma_0} (\bar{T}_A - (\bar{T}_A)_0)}{\sqrt[4]{\bar{T}_0} \left( 1 + \frac{\sqrt{\gamma_0} \bar{T}_A (\bar{T}_A)_0}{\sqrt{\bar{T}_0}} \right)} \right) \right]^{\frac{c}{\sqrt[4]{\gamma_0}}}. \quad (16)$$

Зависимость между изменением температуры и напряжением описывается в рамках закона Гука соотношением [16]:

$$\sigma = E \psi \Delta T, \quad (17)$$

где  $E$  – модуль Юнга;  $\psi$  – линейный коэффициент термического расширения;  $\Delta T$  – изменение температуры в восстанавливаемой детали.

С учетом уравнений термомеханики [17, 18] составляющая термического напряжения определяется в соответствии с условиями равенства сил на границе раздела «покрытие – восстанавливаемая деталь»:

$$\sigma_n = -E \frac{(\psi_n - \psi_\delta(i))(T_A)_{\max} \zeta(i)}{1 + \zeta(i) - (\zeta(i)\psi_n - \psi_\delta(i))(T_A)_{\max}(i)}; \quad (18)$$

$$\sigma_\delta = +E_\delta(i) \frac{(\psi_\delta(i) - \psi_n)(T_A)_{\max}(i)}{1 + \zeta(i) - (\zeta(i)\psi_n + \psi_\delta(i))(T_A)_{\max}(i)},$$

где  $E_\delta(i)$  – модуль упругости восстанавливаемой детали;  $\zeta(i) = \frac{E_\delta(i)\delta_\delta(i)}{E_n\delta_{\min}}$  – безразмерная величина;

$\psi_\delta(i)$  – коэффициент термического расширения восстанавливаемой детали;  $\psi_n$  – коэффициент термического расширения покрытия;  $i$  – число слоев покрытия.

Применяя теорию наследственной упругости [19], взаимосвязь между деформациями и напряжениями имеет вид:

$$\varepsilon(t) = \frac{1}{E} \left[ \sigma(t) + \int_0^t k(t-\tau) \sigma(\tau) d(\tau) \right]; \quad (19)$$

$$\sigma(t) = E \left[ \varepsilon(t) - \int_0^t R(t-\tau) \varepsilon(\tau) d(\tau) \right], \quad (20)$$

где  $\varepsilon$ ,  $\sigma$  – соответственно деформация и напряжение в покрытии;  $k(t-\tau)$  – ядро ползучести материала детали;  $R(t-\tau)$  – резольвента ядра ползучести.

На рисунке 3 условно показано применение теории наследственной упругости для оценки напряжений в покрытии при плазменном напылении с оплавлением. При этом введем предположения (допущения), что в полосе длиной  $b$ , шириной  $L$  и толщиной  $h$  нагрев детали при оплавлении от исходной температуры до конечной произошел достаточно быстро, а модуль упругости восстанавливаемой детали существенно выше модуля упругости покрытия.

Принятые допущения показывают, что разность между деформациями в покрытии и в основе равна  $\varepsilon_0 = \varepsilon_2 - \varepsilon_1$ . Это вызвано кристаллизацией материала покрытия и не существенно изменяется при нагреве до температуры оплавления [20].

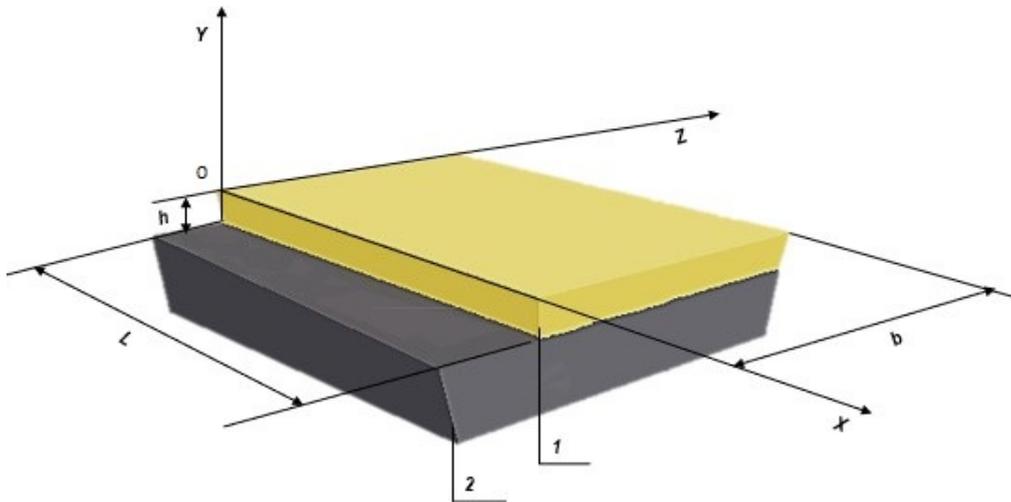


Рис. 3 – Расчетная схема покрытия, нанесенного плазменным напылением:  
1 – покрытие; 2 – восстанавливаемая деталь

Для расчета напряженно-деформированного состояния необходимо решить систему уравнений [7]

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial X} \sigma_x + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial Y} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial Y} \sigma_y + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial X} = 0 \\ \varepsilon_x = \frac{\partial U}{\partial x} = \frac{1}{E} \left[ (1-\nu)^2 \sigma_x - \nu(1+\nu) \sigma_y \right] \\ \varepsilon_y = \frac{\partial V}{\partial y} = \frac{1}{E} \left[ (1-\nu)^2 \sigma_y - \nu(1+\nu) \sigma_x \right] \\ \gamma_{xy} = \frac{\partial U}{\partial y} + \frac{\partial V}{\partial x} = \frac{2(1+\nu)}{E} \tau_{xy} \end{cases} \quad (21)$$

с граничными условиями:

$$\sigma_x(0, y) = \sigma_x(L, y) = \tau_{xy}(x, 0) = \sigma_y(x, 0); V(x, h) = 0; U(x, h) = \varepsilon \left( x - \frac{L}{2} \right), \quad (22)$$

где  $\sigma_x$  – нормальные напряжения в покрытии в направлении оси  $OX$ ;  $\sigma_y$  – нормальные напряжения в покрытии в направлении оси  $OY$ ;  $\tau_{xy}$  – касательное напряжение;  $\varepsilon_x$ ,  $\varepsilon_y$  – нормальные деформации соответственно в направлении осей  $OX$  и  $OY$ ;  $\gamma_{xy}$  – сдвиговая деформация;  $U$ ,  $V$  – перемещения в направлении осей  $OX$  и  $OY$ ;  $\nu$  – коэффициент Пуассона.

Поскольку в формулах (21) и (22) используется коэффициент Пуассона и закон Гука, то для расчета коэффициента Пуассона воспользуемся коэффициентами Ламе  $\lambda$  и  $\mu$  через модули упругости нанесенного слоя и образца [21]

$$\lambda = \frac{EV}{(1+\nu)(1-2\nu)}, \quad \mu = \frac{E}{2(1+\nu)}, \quad \lambda + 2\mu = \frac{E(1-\nu)}{(1+\nu)(1-2\nu)}. \quad (23)$$

С учетом формулы (23) коэффициент Пуансона запишется [22]

$$\nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}. \quad (24)$$

Решая систему уравнений (21) с учетом выражений (23) и (24), получим зависимости для оценки остаточных напряжений в покрытии, нанесенным плазменным напылением с оплавлением:

$$\sigma_x = \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{i\pi}{L} \sin \frac{i\pi x}{L} \left\{ C_{1i} \left[ sh \left( \frac{i\pi y}{L} \right) + \frac{i\pi y}{L} ch \left( \frac{i\pi y}{L} \right) \right] + C_{2i} \left[ 2ch \left( \frac{i\pi y}{L} \right) + \frac{i\pi y}{L} sh \left( \frac{i\pi y}{L} \right) \right] \right\},$$

$$\begin{aligned} \sigma_y &= \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{i\pi}{L} \sin \frac{i\pi x}{L} \left\{ C_{1i} \left[ -sh \frac{i\pi y}{L} + \frac{i\pi y}{L} ch \frac{i\pi y}{L} \right] + C_{2i} \frac{i\pi y}{L} sh \frac{i\pi y}{L} \right\}, \\ \gamma_{xy} &= - \sum_{i=1,3,5}^{\infty} \frac{i\pi y}{L} \cos \frac{i\pi x}{L} \left\{ C_{1i} \frac{i\pi y}{L} sh \frac{i\pi y}{L} + C_{2i} \left[ sh \frac{i\pi y}{L} + \frac{i\pi y}{L} ch \frac{i\pi y}{L} \right] \right\}, \\ \bar{C}_{1i} &= \frac{1}{\omega} \cdot \frac{4\varepsilon_0 EL}{i^2 \pi^2 (1+\nu)} \cdot \frac{\delta_1(T_0) + \omega}{\delta(T_0) + \delta_1(T_0) + \omega} \cdot \frac{\frac{i\pi h}{L} ch \frac{i\pi h}{L} - (1-2\nu) sh \frac{i\pi h}{L}}{\frac{i^2 \pi^2}{L^2} + 4(1-\nu)^2 ch^2 \left( \frac{i\pi h}{L} \right) - (1-2\nu)^2 sh^2 \frac{i\pi h}{L}}, \\ \bar{C}_{2i} &= - \frac{1}{\omega} \cdot \frac{4\varepsilon_0 EL}{i^2 \pi^2 (1+\nu)} \cdot \frac{\delta_1(T_0) + \omega}{\delta(T_0) + \delta_1(T_0) + \omega} \cdot \frac{\frac{i\pi h}{L} sh \frac{i\pi h}{L} - 2(1-\nu) ch \frac{i\pi h}{L}}{\frac{i^2 \pi^2}{L^2} + 4(1-\nu)^2 ch^2 \left( \frac{i\pi h}{L} \right) - (1-2\nu)^2 sh^2 \left( \frac{i\pi h}{L} \right)}. \end{aligned} \quad (25)$$

где  $T_0$  – температура оплавления;  $\omega$  – комплексная переменная (параметр преобразования Лапласа);  $\delta_1(T_0)$ ,  $\delta(T_0)$  – параметры ползучести.

Сравнивая зависимости, представленные в выражениях (25), можно заметить, что они отличаются только множителем  $\bar{m} = \frac{\delta_1(T_0) + \omega}{\delta(T_0) + \delta_1(T_0) + \omega}$ , который в области действительных чисел имеет следующий вид:

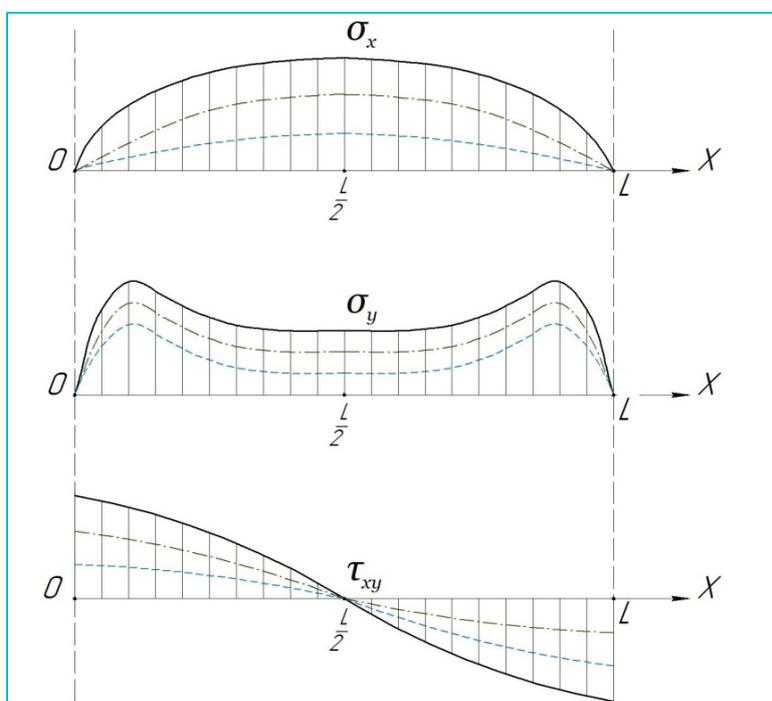
$$\bar{m} = \frac{\delta_1(T_0)}{\delta(T_0) + \delta_1(T_0)} + \frac{\delta(T_0)}{\delta(T_0) + \delta_1(T_0)} \cdot \exp\{-[\delta_1(T_0) + \delta(T_0)]t\}. \quad (26)$$

Из выражения (26) следует, что при постоянной температуре оплавления напряжения в покрытии имеют максимум в начальный момент времени и снижаются в  $\left( \frac{\delta(T_0) + \delta_1(T_0)}{\delta_1(T_0)} \right)$  раз при неограниченном времени оплавления. Так как время оплавления ограничено и равно  $t_n$ , остаточные напряжения в покрытии снизятся в

$$\frac{\delta(T_0) + \delta_1(T_0)}{\delta_1(T_0) + \delta(T_0) \exp\{-[\delta_1(T_0) + \delta(T_0)]t_n\}} \text{ раз.} \quad (27)$$

Анализ выражения (27) показывает, что путем изменения времени  $t_n$  и температуры плазменного оплавления покрытий  $T_0$  можно определить оптимальные значения зависимостей  $\delta(T_0)$  и  $\delta_1(T_0)$ .

На рисунке 4 представлено перераспределение остаточных напряжений в системе «покрытие – восстанавливаемая деталь» при плазменном оплавлении, что наглядно иллюстрирует полученный скорректированный математический аппарат. Здесь штрихпунктирной линией показаны значения остаточных напряжений при времени оплавления  $t = t_n$ , а штриховой – значения остаточных напряжений при времени оплавления  $t = \infty$ . Однако, в реальных условиях необходимо учитывать постепенное повышение температуры при плазменном оплавлении, температурные деформации восстанавливаемой детали, а также коробление ее геометрической формы вследствие изменения остаточных напряжений в покрытии.



**Рис. 4 – Перераспределение остаточных напряжений в системе «покрытие – восстанавливаемая деталь» при плазменном оплавлении**

**Выводы.** На основании обобщения приведенных фактов можно сделать следующие выводы.

1. Методом математического моделирования получены аналитические зависимости касательных напряжений от толщины наносимых покрытий и оценки внутренних остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных плазменным напылением с оплавлением.

2. Предложена математическая модель формирования остаточных напряжений в покрытиях с учетом времени и температуры плазменного оплавления покрытий и их влияния на значения параметров ползучести, а также графически представлены результаты по перераспределению остаточных напряжений в системе «покрытие – восстанавливаемая деталь» при плазменном оплавлении.

#### Библиография

1. Лещинский Л.К. Плазменное поверхностное упрочнение / Л.К. Лещинский, С.С. Сомотугин, И.И. Пирч, В.И. Комар. Киев : Техника, 1990. 109 с.
2. Пузряков А.Ф. Теоретические основы технологии плазменного напыления. 2-е изд., перераб. и доп. М. : Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2008. 360 с.
3. Жачкин С.Ю. Повышение надежности контактных поверхностей подъемного механизма путем комбинированной плазменной обработки / С.Ю. Жачкин, М.Н. Краснова, Н.А. Пеньков // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. 2017. № 1. С. 140-145.
4. Зверев Е.А. Оценка уровня остаточных напряжений в плазменных покрытиях / Е.А. Зверев, В.Ю. Скиба, Н.В. Вахрушев, А.К. Гаврилов // Международный научно-исследовательский журнал. 2017. № 5-3 (59). С. 42-47.
5. Жачкин С.Ю. Влияние геометрии поверхностей деталей машин агропромышленного комплекса на остаточные напряжения композитных покрытий плазменного напыления / С.Ю. Жачкин, Г.И. Трифонов // Проблемы современной аграрной науки: материалы междунар. науч. конф. Красноярск : Краснояр. гос. аграр. ун-т, 2021. С. 151-155.
6. Кравченко И.Н. Металлографические исследования структуры и физико-механических свойств покрытий, полученных плазменными методами / И.Н. Кравченко, С.В. Карцев, С.А. Величко [и др.] // Металлург. 2021. № 8. С. 69-76.
7. Барвинок В.А. Управление напряженным состоянием и свойства плазменных покрытий. М. : Машиностроение, 1990. 384 с.
8. Кудинов В.В. Нанесение покрытий напылением / В.В. Кудинов, Г.В. Бобров. М. : Металлургия, 1992. 432 с.

9. Пузряков А.Ф. Управление остаточными напряжениями в плазменных покрытиях / Сварочное производство. 2002. № 9 (838). С. 26-30.
10. Бондарева Г.И. Математическая модель перераспределения остаточных напряжений в плазменных покрытиях при их нагреве / Международный научный журнал. 2011. № 2. С. 86-89.
11. Кравченко И.Н. Метод управления остаточными напряжениями в плазменных покрытиях / И.Н. Кравченко, А.Ф. Пузряков, В.Ю. Гладков [и др.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 10. С. 6-11.
12. Жачкин С.Ю. Влияние теплофизических процессов на распределение напряжений и деформаций во вращающемся полом цилиндра / С.Ю. Жачкин, Н.А. Пеньков, А.С. Чеботарев // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. Вып. № 15. С. 199-205.
13. Соснин Н.А. Плазменные технологии. Руководство для инженеров / Н.А. Соснин, С.А. Ермаков, П.А. Тополянский. СПб : Изд-во Политехн. ун-та, 2013. 406 с.
14. Бобров Г.В. Теория и технология формирования неорганических покрытий / Г.В. Бобров, А.А. Ильин, В.С. Спектор. М. : Альфа-М, 2014. 928 с.
15. Карцев С.В. Исследование остаточных напряжений в покрытиях, нанесенных плазменным методом / С.В. Карцев, В.С. Ширшов // Технология машиностроения. 2012. № 5. С. 37-38.
16. Ландау Л.Д. Теория упругости / Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. М. : Наука, 1988. 248 с.
17. Седов Л.И. Механика сплошной среды. Т. 1. М. : Наука, 1976. 536 с.
18. Биргер И.А. Сопrotивление материалов. М. : Наука, 1986. 560 с.
19. Тимошенко С.П. Теория упругости / С.П. Тимошенко, Дж. Гудьер. М. : Наука, 1975. 576 с.
20. Кутателадзе С.С. Основы теории теплообмена. 5-е изд., перераб. и доп. М. : Атомиздат, 1979. 416 с.
21. Ильющенко А.Ф. Процессы формирования газотермических покрытий и их моделирование / А.Ф. Ильющенко, А.И. Шевцов, В.А. Оковитый, Г.Ф. Громыко. Минск : Беларус. навука, 2011. 357 с.
22. Трифонов Г.И. Математическое моделирование процессов плазменного напыления покрытий трехкомпонентных сред / Г.И. Трифонов, В.С. Поленов, С.Ю. Жачкин // Современные наукоемкие технологии. 2018. № 10. С. 131-136.

#### References

1. Leshchinskiy L.K. Plazmennoye poverkhnostnoye uprochneniye [Plasma surface hardening] / L.K. Leshchinskiy, S.S. Samotugin, I.I. Pirch, V.I. Komar. Kiyev : Tekhnika, 1990. 109 p.
2. Puzryakov A.F. Teoreticheskiye osnovy tekhnologii plazmennogo napyleniya [Theoretical foundations of plasma spraying technology]. 2-ye izd., pererab. i dop. M. : Izd-vo MGTU im. N.E. Bauman, 2008. 360 p.
3. Zhachkin S.Yu. Povysheniye nadezhnosti kontaktnykh poverkhnostey pod"yemnogo mekhanizma putem kombinirovannoy plazmennoy obrabotki [Improving the reliability of the contact surfaces of the lifting mechanism by combined plasma treatment] / S.Yu. Zhachkin, M.N. Krasnova, N.A. Pen'kov // Vestnik Michurinskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2017. № 1. P. 140-145.
4. Zverev E.A. Otsenka urovnya ostatochnykh napryazheniy v plazmennykh pokrytiyakh [Evaluation of the level of residual stresses in plasma coatings] / E.A. Zverev, V.Yu. Skiba, N.V. Vakhrushev, A.K. Gavrilov // Mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal. 2017. № 5-3 (59). P. 42-47.
5. Zhachkin S.Yu. Vliyaniye geometrii poverkhnostey detaley mashin agropromyshlennogo kom-pleksa na ostatochnyye napryazheniya kompozitnykh pokrytiy plazmennogo napyleniya [Influence of the geometry of the surfaces of machine parts of the agro-industrial complex on the residual stresses of composite coatings of plasma spraying] / S.Yu. Zhachkin, G.I. Trifonov // Problemy sovremennoy agrarnoy nauki: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk. gos. agrar. un-t, 2021. P. 151-155.
6. Kravchenko I.N. Metallograficheskiye issledovaniya struktury i fiziko-mekhanicheskikh svoystv pokrytiy, poluchennykh plazmennymi metodami [Metallographic studies of the structure and physical and mechanical properties of coatings obtained by plasma methods] / I.N. Kravchenko, S.V. Kartsev, S.A. Velichko [et al.] // Metallurg. 2021. № 8. P. 69-76.
7. Barvinok V.A. Upravleniye napryazhennym sostoyaniyem i svoystva plazmennykh pokrytiy [Stress state control and properties of plasma coatings.]. M. : Mashinostroyeniye, 1990. 384 p.
8. Kudinov V.V. Naneseniye pokrytiy napyleniyem [Application of coatings by spraying] / V.V. Kudinov, G.V. Bobrov. M.: Metallurgiya, 1992. 432 p.
9. Puzryakov A.F. Upravleniye ostatochnymi napryazheniyami v plazmennykh pokrytiyakh [Control of residual stresses in plasma coatings] / Svarochnoye proizvodstvo. 2002. № 9 (838). P. 26-30.
10. Bondareva G.I. Matematicheskaya model' pereraspredeleniya ostatochnykh napryazheniy v plazmennykh pokrytiyakh pri ikh nagreve [Mathematical model of the redistribution of residual stresses in plasma coatings during their heating] / Mezhdunarodnyy nauchnyy zhurnal. 2011. № 2. P. 86-89.
11. Kravchenko I.N. Metod upravleniya ostatochnymi napryazheniyami v plazmennykh pokrytiyakh [Method for controlling residual stresses in plasma coatings] / I.N. Kravchenko, A.F. Puzryakov, V.Yu. Gladkov [et al.] // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. No. 10. P. 6-11.
12. Zhachkin S.Yu. Vliyaniye teplofizicheskikh protsessov na raspredeleniye napryazheniy i deformatsiy vo vrashchayushchemsya polom tsilindre / S.Yu. Zhachkin, N.A. Pen'kov, A.S. Chebotarev [Influence of thermophysical processes on the distribution of stresses and deformations in a rotating hollow cylinder] // Воздушно-космические силы. Теория и практика. 2020. № 15. P. 199-205.

13. Sosnin N.A. Plazmennyye tekhnologii. Rukovodstvo dlya inzhenerov [Plasma technologies. Guide for engineers] / N.A. Sosnin, S.A. Yermakov, P.A. Topolyanskiy. SPb : Izd-vo Politekhnicheskogo universiteta, 2013. 406 p.
14. Bobrov G.V. Teoriya i tekhnologiya formirovaniya neorganicheskikh pokrytiy [Theory and technology of formation of inorganic coatings] / G.V. Bobrov, A.A. Il'in, V.S. Spektor. M. : Al'fa-M, 2014. 928 p.
15. Kartsev S.V. Issledovaniye ostatochnykh napryazheniy v pokrytiyakh, nanesennykh plazmennym metodom [Investigation of residual stresses in coatings applied by the plasma method] / S.V. Kartsev, V.S. Shirshov // Tekhnologiya mashinostroyeniya. 2012. № 5. P. 37-38.
16. Landau L.D. Teoriya uprugosti [Theory of elasticity] / L.D. Landau, E.M. Lifshits. M. : Nauka, 1988. 248 p.
17. Sedov L.I. Mekhanika sploshnoy sredy [Continuum mechanics]. Vol. 1. M. : Nauka, 1976. 536 p.
18. Birger I.A. Soprotivleniye materialov [Strength of materials]. M. : Nauka, 1986. 560 p.
19. Timoshenko S.P. Teoriya uprugosti [Theory of elasticity] / S.P. Timoshenko, Dzh. Gud'yer. M. : Nauka, 1975. 576 p.
20. Kutateladze S.S. Osnovy teorii teploobmena [Fundamentals of the theory of heat transfer]. 5-ye izd., pere-rab. i dop. M.: Atomizdat, 1979. 416 p.
21. Il'yushchenko A.F. Protsessy formirovaniya gazotermicheskikh pokrytiy i ikh modelirovaniye [Formation processes of gas-thermal coatings and their modeling] / A.F. Il'yushchenko, A.I. Shevtsov, V.A. Okovityy, G.F. Gromyko. Minsk : Belarus. navuka, 2011. 357 p.
22. Trifonov G.I. Matematicheskoye modelirovaniye protsessov plazmennogo napyleniya pokrytiy trekhkomponentnykh sred [Mathematical modeling of the processes of plasma spraying of coatings of three-component media] / G.I. Trifonov, V.S. Polenov, S.Yu. Zhachkin // Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. 2018. № 10. P. 131-136.

#### Сведения об авторах

Карцев Сергей Васильевич, кандидат технических наук, доцент, старший научный сотрудник ФГБУН Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, переулок Малый Харитоньевский, 4, г. Москва, Россия, 101000, тел.: +7 (925) 880-69-50, e-mail: kazo61@mail.ru

Кравченко Игорь Николаевич, доктор технических наук, профессор кафедры технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия, 127434, тел.: +7 (916) 242-78-86, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

Пастухов Александр Геннадиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +7 (4722) 39-23-90, e-mail: pastuhov\_ag@bsaa.edu.ru

Трифонов Григорий Игоревич, младший научный сотрудник Военного учебно-научного центра военно-воздушных сил «Военно-воздушная академия имени профессора Н.Е. Жуковского и Ю.А. Гагарина», ул. Старых Большевиков, 54А, г. Воронеж, Россия, 394064, тел. +7 (915) 548-82-41, e-mail: trifonov\_gi@mail.ru

Карцев Иван Сергеевич, аспирант ФГБУН Институт машиноведения имени А.А. Благонравова РАН, переулок Малый Харитоньевский, 4, г. Москва, Россия, 101000, тел.: +7 (916) 123-04-22, e-mail: Johnkarcev@gmail.com

#### Information about authors

Kartsev Sergey Vasiljevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Senior Researcher Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Machine Science named after A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences, Maly Kharitonevsky Lane, 4, Moscow, Russia, 101000, tel. +7 (925) 880-69-50, e-mail: kazo61@mail.ru

Kravchenko Igor Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Service of Machinery and Equipment, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy», Timiryazevskaya Str., 49, Moscow, Russia, 127434, tel. +7 (916) 242-78-86, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru

Pastukhov Alexander Gennadievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Department of Technical Mechanics and Machinery Design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», Vavilova Str., 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 (4722) 39-23-90, e-mail: pastuhov\_ag@bsaa.edu.ru

Trifonov Grigory Igorevich, Junior Researcher at the Military Training and Research Center of the Air Force «Air Force Academy named after Professor N.E. Zhukovsky and Yu.A. Gagarin», Stary Bolshevikov Str. 54A, Voronezh, Russia, 394064, tel. +7 (915) 548-82-41, e-mail: trifonov\_gi@mail.ru

Kartsev Ivan Sergeevich, Postgraduate Student, Federal State Budgetary Institution of Science Institute of Machine Science named after A.A. Blagonravov of the Russian Academy of Sciences, Maly Kharitonevsky Lane, 4, Moscow, Russia, 101000, tel. +7 (916) 123-04-22; e-mail: Johnkarcev@gmail.com

УДК 62-932.4

*А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин*

## КОНСТРУКЦИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ОЗОНАТОРА ДЛЯ ОБЕЗЗАРАЖИВАНИЯ ВОЗДУШНЫХ МАСС В ЖИВОТНОВОДЧЕСКОМ ПОМЕЩЕНИИ

**Аннотация.** Применение интенсивных методов выращивания и содержания животных поставили перед аграрной наукой целый ряд важных проблем, в том числе обеззараживание воздуха в производственных помещениях и их санацию. Ущерб, причиняемый животноводству болезнями и падежом может составлять до 20% стоимости произведенной продукции. Поэтому разработка технологий, способов и технических средств, для очистки и обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях является актуальной научной задачей. Целью представленных исследований является разработка конструкции электрического озонатора воздуха, обеспечивающего высокое качество обеззараживания воздуха в соответствии с требованиями санитарных норм и профилактику распространения заразных болезней животных. Задачи исследований предполагали разработку конструктивной схемы электрического озонатора для обеззараживания воздуха, разработку экспериментальной установки озонатора на коронном разряде, проведение оценочных теоретических и экспериментальных исследований по проверке работоспособности предлагаемого электроозонатора. Представлена разработанная конструкция электрического озонатора, достоинствами которой являются: обеспечение надежности работы; защита от перегрева и критической концентрации озона внутри помещения в одном месте; обеспечение равномерности обеззараживания воздуха в производственном помещении. В результате проведенных теоретических исследований установлено, что величина максимального часового расхода озона возрастает с увеличением подачи и максимальной расходной дозы озона. Кроме того, величина расхода воздуха возрастает с увеличением площади разрядного промежутка и максимальной расходной дозы озона. На основе экспериментальных исследований выявлена зависимость по влиянию конструктивных параметров электроозонатора на изменение концентрации озона. Установлено, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения и уменьшением расстояния разрядного промежутка, что соответствует общим теоретическим положениям. По основным показателям воздушной среды в ходе экспериментов были получены следующие результаты (до/после): озон, мг/м<sup>3</sup> (0,0015/0,026); сероводород, мг/л (0,16/0,0003); аммиак, мг/л (0,13/0,005); углекислый газ, мг/л (10/0,2); кислород, % (21,1/21,7). Таким образом, для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях можно рекомендовать использование системы озонирования воздуха с применением электрического озонатора, работающего на основе коронирующего разряда.

**Ключевые слова:** животноводческое помещение, воздух, обеззараживание, электротехнология, коронный разряд, озон, , электроозонатор, , электроозонирование.

## DESIGN OF ELECTRIC OZONIZER FOR DISINFECTING AIR MASSES IN LIVESTOCK HOUSE

**Abstract.** The use of intensive methods of growing and keeping animals has posed a number of important problems for agricultural science, including air disinfection in industrial premises and their sanitation. The damage caused to animal husbandry by diseases and deaths can be up to 20% of the value of manufactured products. Therefore, the development of technologies, methods and technical means for cleaning and disinfecting the air in livestock buildings is an urgent scientific task. The purpose of the presented research is to develop the design of an electric air ozonizer that provides high quality air disinfection in accordance with the requirements of sanitary standards and the prevention of the spread of contagious animal diseases. The objectives of the research involved the development of a structural diagram of an electric ozonizer for air disinfection, the development of an experimental setup for a corona discharge ozonizer, and the conduct of theoretical and experimental evaluation studies to test the performance of the proposed electric ozonizer. As a result of the research, the design of an electric ozonizer has been developed, the advantages of which are: ensuring the reliability of operation; protection against overheating and critical concentration of ozone indoors in one place; ensuring the uniformity of air disinfection in the production room. As a result of theoretical studies, it was found that the value of the maximum hourly consumption of ozone increases with an increase in the supply and maximum consumption dose of ozone. In addition, the air flow rate increases with an increase in the area of the discharge gap and the maximum consumption dose of ozone. When conducting experimental studies, a dependence on the influence of design parameters on the ozone concentration was revealed. It has been established that the ozone concentration increases with increasing voltage and decreasing distance of the discharge gap, which corresponds to the general theoretical provisions. According to the main indicators of the air environment, the following results were obtained during the experiments (before/after): ozone, mg/m<sup>3</sup> (0,0015/0,026); hydrogen sulfide, mg/l (0,16/0,0003); ammonia, mg/l (0,13/0,005); carbon dioxide, mg/l (10/0,2); oxygen, % (21,1/21,7). Thus, for air disinfection in livestock buildings, it is possible to recommend the use of an air ozonation system using an electric ozonator operating on the basis of a corona discharge.

**Keywords:** livestock building, air, disinfection, electrotechnology, corona discharge, ozone, electric ozonator, electric ozonation.

**Введение.** Быстрое развитие промышленного животноводства, использование ускоренных методов выращивания и содержания животных поставили перед наукой ряд важных проблем. Одной из таких является разработка технических средств, обеспечивающих обеззараживание воздуха в производственных помещениях. Заболевания сельскохозяйственных животных серьёзно ограничивают продуктивность животных и развитие животноводства. Установлено, что наибольшую опасность с точки зрения заражения сельскохозяйственных животных представляет воздушная среда [1-4].

Исследования проводились на основе патентного поиска и анализа литературы о технических характеристиках устройств, применяемых для электрического озонирования воздуха в животноводческих помещениях [5-9]. Прототипом разработки выступал озонатор, состоящий из источника высокого напряжения, электродов, вентилятора [10]. Устройство имело существенные недостатки в виде невысокой производительности, низкой надежности электродов. Также отсутствовала защита в случае отказа вентилятора или генератора высокого напряжения.

В ходе исследований в ФГБОУ Белгородский ГАУ была разработана конструкция излучателя в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании в виде сетки с сотовой формой ячейки, на другом в виде иглы, с возможностью регулировки воздушного зазора между электродами. Предлагаемая конструкция обеспечивает регулировку производительности излучателя и повышает надежность процесса озонирования. Основные технические параметры разработанной конструкции электрического озонатора представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Основные технические параметры разработанной конструкции электрического озонатора**

Параметр	Показатель
Концентрация озона на выходе, мг/м <sup>3</sup>	0,01...6
Производительность, г/ч	5...150
Продолжительность работы, ч	0,1;0,25;0,5;1;2;4
Потребляемая мощность, Вт	500...4000
Температурный диапазон, °С	от –10 до +35
Напряжение, В	220

**Основные результаты.** Разработанный электроозонатор относится к устройствам для получения озона, к области электротехнологии и может быть использован для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях с целью профилактики и ограничительных мер, направленных на предотвращение распространения заразных болезней [11]. В разработанной конструкции излучатель выполняется в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании в виде сетки с сотовой формой ячейки, на другом в виде иглы, с возможностью регулировки воздушного зазора между электродами, что позволяет проводить регулировку производительности излучателя и повышает надежность работы электрического озонатора в целом. На конструкцию электроозонатора получены патенты на полезную модель № 204184 «Электрический озонатор воздуха, №205379 «Электрический озонатор воздуха» и подана заявка на изобретение «Электроозонатор» №2021138949 от 24.12.2021 г [12,13,14]. Схема излучателя электроозонатора представлена на рисунке 1.

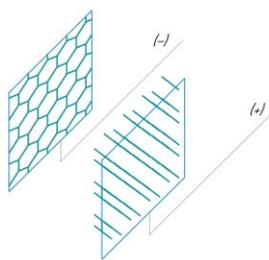
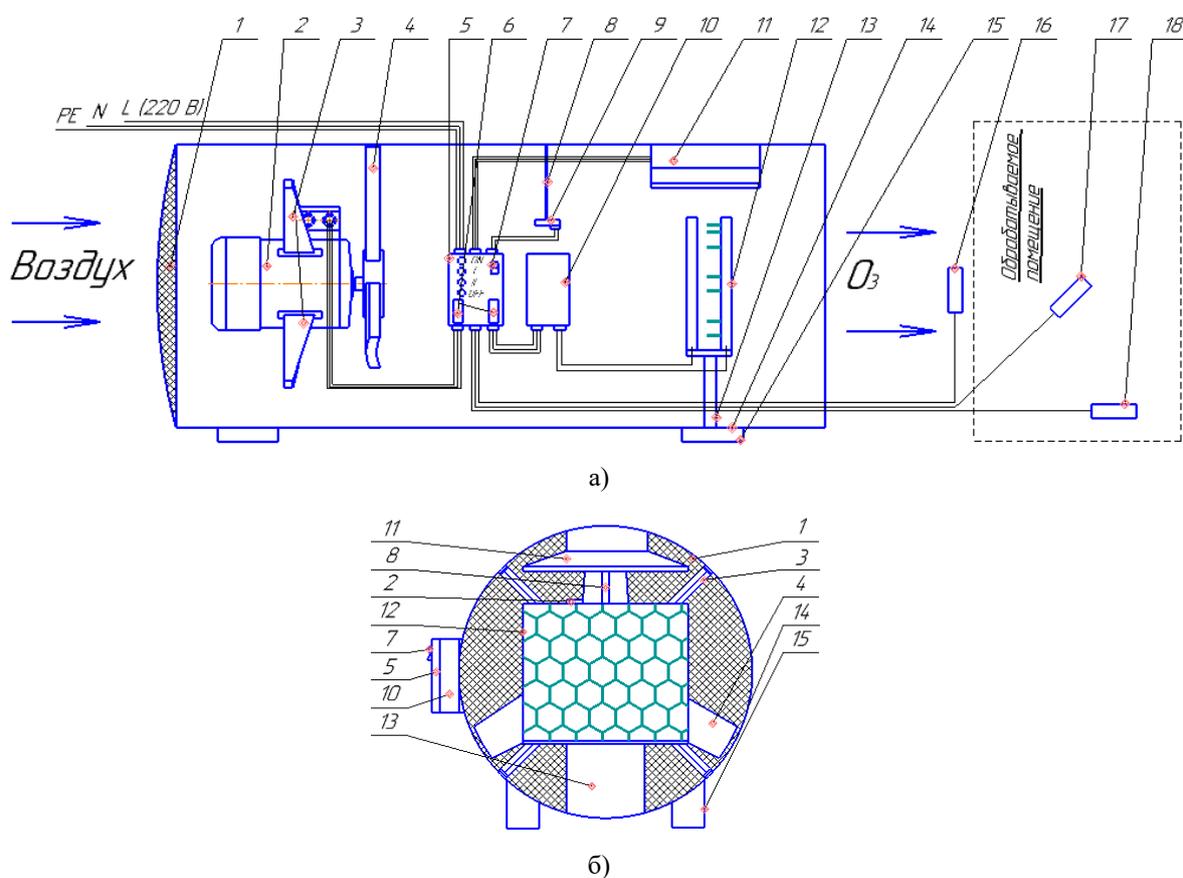


Рис. 1 – Схема излучателя электроозонатора

Технологический процесс озонирования воздуха в животноводческом помещении и способ ее реализации иллюстрируется структурной схемой, представленной на рисунке 2. В основу системы озонирования положена предлагаемая конструкция электрического озонатора воздуха, работающего на основе коронирующего разряда, и система подачи воздуха, которые при совместной работе обеспечивают обеззараживание воздуха в животноводческих помещениях.



а – основной вид; б – вид сбоку;

- 1 – защитная сетка; 2 – электродвигатель; 3 – лапки крепления электродвигателя;
- 4 – лопасти вентилятора; 5 – блок управления; 6 – предохранители;
- 7 – кнопка включения/выключения; 8 – кронштейн крепления; 9 – вакуумный флюгер;
- 10 – регулируемый генератор высокого напряжения; 11 – компрессор; 12 – излучатель;
- 13 – кронштейн крепления; 14 – озоностойчивый корпус; 15 – прорезиненные ножки;
- 16 – датчик озона; 17 – датчик контроля озона; 18 – датчик контроля температуры воздуха

Рис. 2 – Конструкция электрического озонатора воздуха

Предлагаемый электроозонатор работает следующим образом. На прорезиненные ножки 15 устанавливают озоностойчивый корпус 14. В озоностойчивом корпусе 14 устанавливают на лапки крепления 3 электродвигатель 2 (220 В), на который закрепляют лопасти вентилятора 4. Устанавливают защитную сетку 1 на озоностойчивый корпус 14. Нажимают

кнопку включения/выключения 7 на блоке управления 5, выбирают режим работы и через предохранители 6 направляют напряжение сначала на компрессор 11, чем осуществляют процесс продувки излучателя 12 от пыли, затем перенаправляют напряжение на электродвигатель 2, при помощи которого раскручивают лопасти вентилятора 4 и формируют давление воздуха, которое направляют по озоноустойчивому корпусу 14 на вакуумный флюгер 9, который монтируют на кронштейн крепления 8. Давлением воздуха воздействуют на флюгер 9, в котором изменяют показатель разряжения воздуха и формируют электрический сигнал, направляя в блок управления 5, в котором обрабатывают сигнал о включении электродвигателя 2. Затем подают питание на регулируемый генератор высокого напряжения 10.

В электроозонаторе в качестве генератора высокого напряжения 10 используется импульсный источник. На конденсаторах развивается удвоенное амплитудное значение входного напряжения. Соответственно конденсаторы и диоды схемы могут быть рассчитаны на необходимое напряжение. Располагать элементы умножителя нужно так, чтобы обеспечить максимальное расстояние между выходными выводами, а также между умножителем, схемой преобразователя, корпусом устройства и т.д. Напряжение на диодах и конденсаторах умножителя составляет 10000 В, что в зависимости из набора схемы можно изменять. Схема умножителя напряжения представлена на рисунке 3.

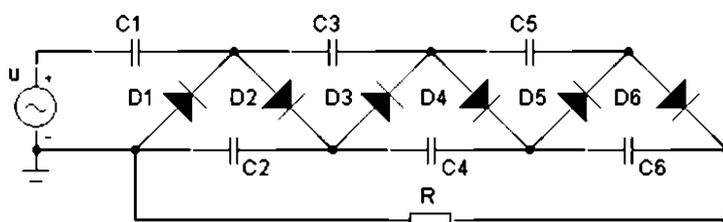


Рис. 3 – Схема умножителя напряжения

В регулируемом генераторе высокого напряжения 10 происходит формирование высокого напряжения, которое направляют на излучатель 12, выполненный в виде двух керамических оснований с закрепленными на них вольфрамовыми электродами, на одном основании в виде сетки с сотовой формой ячейки, на другом в виде иглы. Излучатель монтируют на кронштейн крепления 13. На излучателе 12 создают электрический коронирующий разряд с током короны 0,4 мкА и напряжением короны 10000 В.

Коронирующий разряд в излучателе 12 пропускают через поток воздуха от лопастей вентилятора 4, которые приводят в движение электродвигателем 2 и получают озон. Образованный озон направляют от излучателя 12 потоком воздушных масс от лопастей вентилятора 4, которые приводят в движение электродвигателем 2 далее по озоноустойчивому корпусу 14 на датчик озона 16 (MQ-131), который размещают на выходе из озоноустойчивого корпуса 14. Затем озон подают в обрабатываемое помещение, где воздействуют на датчик контроля озона 17 (ADT-53-1190) и датчик контроля температуры воздуха 18 (E+E Elektronik EE461). Датчиком озона 16 определяют концентрацию озона на выходе из электроозонатора, датчиком контроля озона 17 и датчиком контроля температуры воздуха 18 определяют концентрацию озона и температуру воздушных масс в обрабатываемом помещении. Показатели датчиков отправляют на блок управления 5, где рассчитывают параметры работы электроозонатора исходя из режима работы и направляют скорректированный сигнал на электродвигатель 2 и регулируемый генератор высокого напряжения 10.

Исследования проводились на кафедре «Электрооборудования и электротехнологий в АПК» Белгородского ГАУ. Методика проведения исследований предусматривала использование элементов математической статистики и теории планирования эксперимента и регрессионного анализа с графическим представлением результатов эксперимента.

Для проведения экспериментальных исследований использовались разработанные рабочий макет и опытный образец электрического озонатора воздуха, представленные на рисунке 4. Для измерения режимов работы установок и параметров воздушной среды были ис-

пользованы измерительные средства: мультиметр (DT 9205A), анемометр (Smart Sensor AR816+), анализатор озона (ККМОООН O3 Ozone) и газоанализаторы (Smart Sensor ST8900; JLDG JD-3002).



Рис. 4 – Рабочий макет и опытный образец электрического озонатора воздуха

В результате теоретических исследований установлено, что величина максимального часового расхода озона возрастает с увеличением подачи и максимальной расходной дозе озона. Кроме того, величина расхода воздуха возрастает с увеличением площади разрядного промежутка и максимальной расходной дозы озона. Полученные результаты теоретических исследований представлены на рисунках 5 и 6.

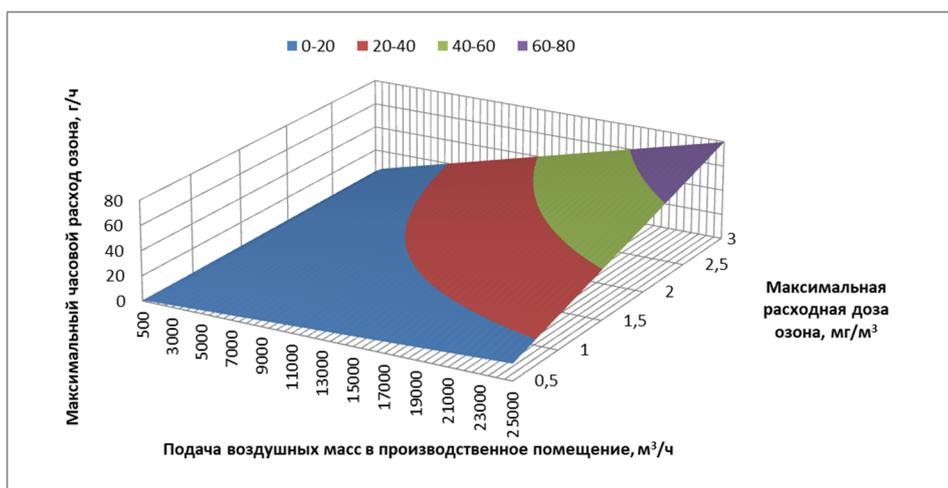


Рис. 5 – Расчетная поверхность максимального часового расхода озона

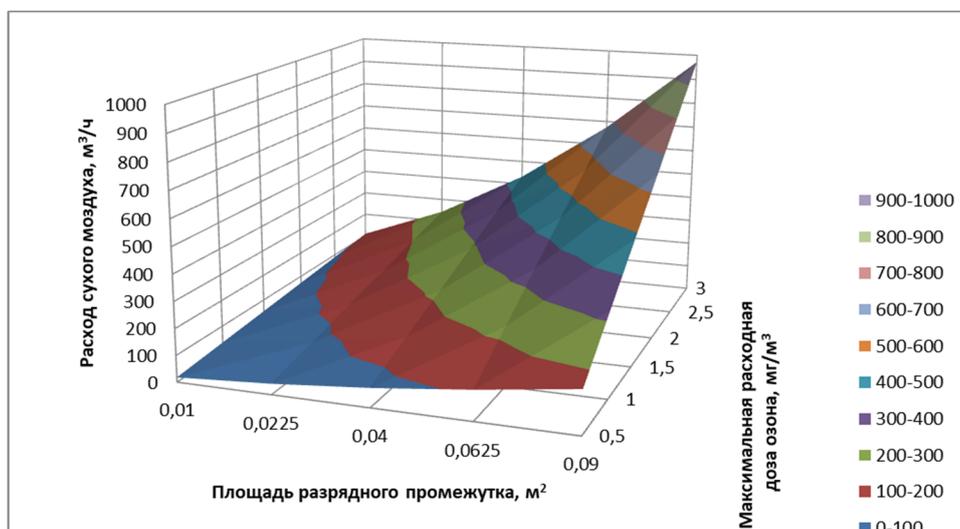


Рис. 6 – Динамика расхода сухого воздуха в зависимости от площади разрядного промежутка и скорости прохода воздуха через разрядный промежуток

При проведении экспериментальных исследований выявлена зависимость по влиянию конструктивных параметров на изменение концентрации озона. Установлено, что концентрация озона возрастает с увеличением напряжения и уменьшением расстояния разрядного промежутка, что соответствует общим теоретическим положениям. Результаты экспериментальных исследований представлены на рисунке 7. Наибольшие значения концентрации озона ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) были получены при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм.

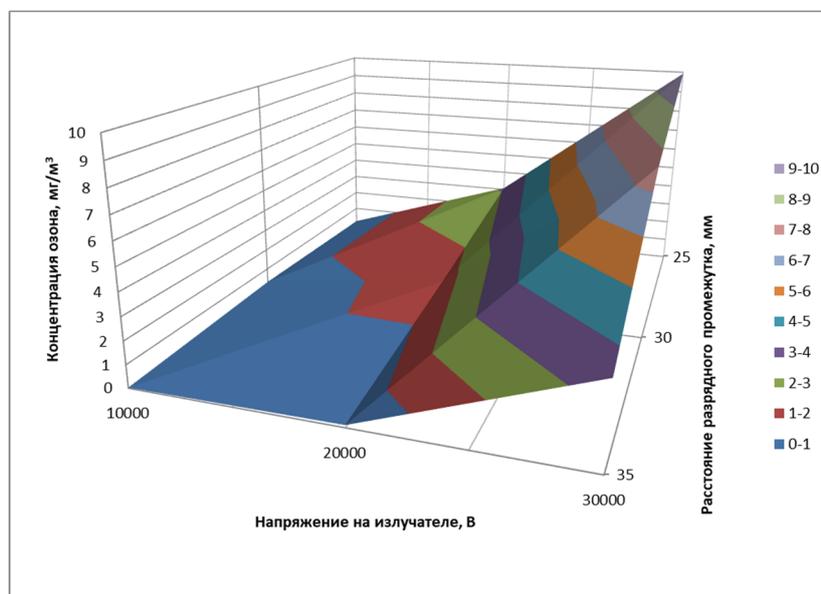


Рис. 7 – Изменение концентрации озона в зависимости от натуральных значений напряжения на излучателе и расстояния разрядного промежутка

С целью оценки работоспособности устройства и оптимизации его параметров были проведены экспериментальные исследования с измерением показателей воздушной среды в производственном помещении. Замеры осуществлялись в центре помещения и по четырем контрольным точкам в углах помещения (площадью  $1600 \text{ м}^2$ ). Для измерения концентрации озона использовался газоанализатор «ЭЛАН Оз», для измерения газового состава воздуха в помещении использовался газоанализатор ALTAIR-5X. Средние значения показателей воздушной среды в производственном помещении представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Средние значения показателей воздушной среды в производственном помещении

Средние показатели воздушной среды в производственном помещении	До озонирования	После озонирования
Озон, $\text{мг}/\text{м}^3$	0,0015	0,026
Сероводород, $\text{мг}/\text{л}$	0,16	0,0003
Аммиак, $\text{мг}/\text{л}$	0,13	0,005
Углекислый газ, $\text{мг}/\text{л}$	10	0,2
Кислород, %	21,1	21,7

Согласно значениям показателей воздушной среды в производственном помещении до и после озонирования (таблица 2) можно заключить, что конструкция электрического озонатора в полной мере обеспечивает санитарные требования к газовому составу воздуха в производственном помещении.

**Заключение.** В результате обобщения данных следует сделать выводы:

- 1) разработана конструкция опытного образца электроозонатора для обеззараживания воздуха в животноводческих помещениях;
- 2) установлено, что для предлагаемой конструкции электроозонатора наибольшие значения концентрации озона (до  $10 \text{ мг}/\text{м}^3$ ) можно получить при напряжении 30 кВ и воздушном промежутке 25 мм;

3) применение электроозонатора в помещении площадью 1600 м<sup>2</sup> в течение часа позволило снизить содержание углекислого газа с 10 мг/л до 0,2 мг/л.

#### Библиография

1. Фокин А.И., Петрова А.А. Разработка новых эффективных методов дезинфекции (санации) воздуха и поверхностей объектов ветеринарного надзора препаратом газообразного йода // Птицеводство. – Сергиев Посад: Изд-во «Министерство сельского хозяйства РФ», 2019. – № 6. – С. 56-60.
2. Афанасьев М.А., Копылова О.С., Ивашина А.В., Антоненко А.И. Технологии очистки озоном // В сборнике: Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве 80-я научно-практическая конференция. Ставрополь: издат. Ставропольский ГАУ, 2015. С. 32-37.
3. Сторчевой В.Ф., Чернов Р.Ю. Снижение потерь энергетических показателей электроозонаторов // Природообустройство. 2011. № 2. С. 95-98.
4. Сторчевой В.Ф. Математическое моделирование стационарных процессов ионизатора-озонатора // Природообустройство. 2012. № 2. С. 78-82.
5. 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.
6. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е. Применение озонатора-ионизатора на молочных фермах // В сборнике: Доклады ТСХА. 2019. С. 294-296.
7. Сторчевой В.Ф., Компаниец А.Е., Кабдин Н.Е. Исследование параметров и режимов работы озонатора-ионизатора для молочных ферм // Агроинженерия. 2020. № 3 (97). С. 50-54.
8. Бардакова Е.А., Андреев С.А. Применение озонирования как наиболее экологического метода дезинфекции // В сборнике: Энергия будущего: В рамках рынка НТИ ЭНЕРДЖИНЕТ. Сборник трудов научно-практической конференции молодых ученых электроэнергетического факультета. – Ставрополь : Изд-во «АГРУС», 2021. С. 33-35.
9. Горбатовский Е.С., Вендин С.В. Применение электроозонирования воздуха в птичнике // В книге: Горинские чтения. Инновационные решения для АПК. Материалы Международной студенческой научной конференции. – Майский : Изд-во ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. С. 48.
10. Пат. 2523805 Российская Федерация, МПК C01B 13/11. Озонатор / Д.В. Лебедев, П.С. Кузьменко, М.О. Якименко, И.Д. Лебедев; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кубанский государственный аграрный университет». № 2013105279. Заявл. 07.02.2013; опубл. 27.07.2014. Бюл. № 21. – 5 с.
11. ГОСТ 31829-2012. Оборудование озонаторное. Требования безопасности. – Введ. 01 января 2014. – М. : Стандартинформ, 2019. – 11 с.
12. Пат. 205379 Российская Федерация, МПК C01B 13/11. Электрический озонатор воздуха / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». № 2020141915, заявл. 23.03.2020; опубл. 13.07.2021. Бюл. № 20. 5 с.
13. Пат. RU 204184 Российская Федерация, МПК C01B 13/11. Электрический озонатор воздуха / А.Н. Мануйленко, С.В. Вендин; заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина». № 2020142852, заявл. 23.12.2020; опубл. 13.05.2021. Бюл. № 14. – 6 с.
14. Мануйленко А.Н., Вендин С.В. Электроозонатор воздуха для животноводческих помещений // Инновации в АПК: проблемы и перспективы, 2021. – № 1 (29). С. 57-61.

#### References

1. Fokin A.I., Petrova A.A. Razrabotka novy`x e`ffektivny`x metodov dezinfekcii (sanacii) vozduxa i povernnostej ob`ektov veterinarnogo nadzora preparatom gazoobraznogo joda [Development of new effective methods of disinfection (sanitization) of air and surfaces of veterinary supervision objects with gaseous iodine preparation] // Pti-cevodstvo. – Sergiev Posad : Izd-vo «Ministerstvo sel`skogo xozyajstva RF», 2019. – № 6. – S. 56-60.
2. Afanas`ev M.A., Kopy`lova O.S., Ivashina A.V., Antonenko A.I. Tekhnologii ochistki ozonom [Ozone purification technologies] // V sbornike: Metody` i texnicheskie sredstva povыsheniya e`ffektivnosti ispol`zovaniya e`lektrrooborudovaniya v promыshlennosti i sel`skom xozyajstve 80-ya nauchno-prakticheskaya konferenciya. Stavropol` : izdat. Stavropol`skij GAU, 2015. S. 32-37.
3. Storchevoj V.F., Chernov R.Yu. Snizhenie poter` e`nergeticheskix pokazatelej e`lektrroozonatorov [Reducing the loss of energy indicators of electric ozonizers] // Prirodoobustrojstvo. 2011. № 2. S. 95-98.
4. Storchevoj V.F. Matematicheskoe modelirovanie stacionarny`x processov ionizatora-ozonatora [Mathematical modeling of stationary processes of the ionizer-ozonizer] // Prirodoobustrojstvo. 2012. № 2. S. 78-82.
5. Storchevoj V.F., Suchugov S.V., Kompaniecz A.E. Sozdanie ozonno-ionnoj vozdushnoj sredy` v zakry`ty`x pomeshheniyax dlya sodержaniya zhivotny`x i pticy [Creation of an ozone-ion air environment in enclosed

spaces for keeping animals and birds] // Vestnik Federal'nogo gosudarstvennogo obrazovatel'nogo uchrezhdeniya vy'sshego professional'nogo obrazovaniya «Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina». 2019. № 3 (91). S. 35-39.

6. Storchevoj V.F., Kompaniecz A.E. Primenenie ozonatora-ionizatora na molochny'x fermax [The use of an ozonizer-ionizer on dairy farms] // V sbornike: Doklady` TSXA. 2019. S. 294-296.

7. Storchevoj V.F., Kompaniecz A.E., Kabdin N.E. Issledovanie parametrov i rezhimov raboty` ozonatora-ionizatora dlya molochny'x ferm [Study of the parameters and operating modes of the ozonizer-ionizer for dairy farms] // Agroinzheneriya. 2020. № 3 (97). S. 50-54.

8. Bardakova E.A., Andreyanov S.A. Primenenie ozonirovaniya kak naibolee e`kologicheskogo metoda dezinfekcii [Application of ozonation as the most ecological method of disinfection] // V sbornike: E`nergiya budushhego: V ramkax ry'nka NTI E`NERDZhINET. Sbornik trudov nauchno-prakticheskoy konferencii molody'x ucheny'x e`lektroenergeticheskogo fakul'teta. – Stavropol': Izd-vo «AGRUS», 2021. S. 33-35.

9. Gorbatovskij E.S., Vendin S.V. Primenenie e`lektroozonirovaniya vozduxa v ptichnike [The use of electric ozonation of air in the poultry house] // V knige: Gorinskie chteniya. Innovacionny'e resheniya dlya APK. Materialy` Mezhdunarodnoj studencheskoj nauchnoj konferencii. – Majsij: Izd-vo FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2021. S. 48.

10. Pat. 2523805 Rossijskaya Federaciya, MPK C01B 13/11. Ozonator [Ozonator] / D.V. Lebedev, P.S. Kuz'menko, M.O. Yakimenko, I.D. Lebedev; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshego professional'nogo obrazovaniya «Kubanskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet». № 2013105279. Zayavl. 07.02.2013; opubl. 27.07.2014. Byul. № 21. – 5 s.

11. GOST 31829-2012. Oborudovanie ozonatornoe. Trebovaniya bezopasnosti [Ozonator equipment. Safety requirements]. – Vved. 01 yanvarya 2014. – M.: Standartinform, 2019. – 11 s.

12. Pat. 205379 Rossijskaya Federaciya, MPK C01B 13/11. E`lektricheskij ozonator vozduxa [Electric air ozonizer] / A.N. Manujlenko, S.V. Vendin; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshego obrazovaniya «Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ya. Gorina». № 2020141915, zayavl. 23.03.2020; opubl. 13.07.2021. Byul. № 20. 5 s.

13. Pat. RU 204184 Rossijskaya Federaciya, MPK C01B 13/11. E`lektricheskij ozonator vozduxa [Electric air ozonizer] / A.N. Manujlenko, S.V. Vendin; zayavitel' i patentoobladatel' Federal'noe gosudarstvennoe byudzhetnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vy'sshego obrazovaniya «Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ya. Gorina». № 2020142852, zayavl. 23.12.2020; opubl. 13.05.2021. Byul. № 14. – 6 s.

14. Manujlenko A.N., Vendin S.V. E`lektroozonator vozduxa dlya zhivotnovodcheskix pomeshhenij [Air electric ozonator for livestock buildings] // Innovacii v APK: problemy` i perspektivy`, 2021. – № 1 (29). S. 57-61.

#### 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: manuilenko.shura@yandex.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 Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +74722 39-11-36, e-mail: manuilenko.shura@yandex.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 Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7 74722 39-11-36, e-mail: elapk@mail.ru

УДК 631.361.022.003.13

*А.Г. Пастухов, Д.Н. Бахарев*

## АНАЛИЗ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ В ТЕХНОЛОГИИ ПОСЛЕУБОРОЧНОЙ ОБРАБОТКИ СЕМЕННОЙ КУКУРУЗЫ

**Аннотация.** Совершенствование процессов обработки урожая семенной кукурузы целесообразно осуществлять по пути снижения количества макро- и микроповреждений зерна, что сохраняет высокий потенциал урожайности данной культуры. Анализ технологий уборки и послеуборочной обработки урожая семенной кукурузы показал, что в конечном продукте, посевной единице, количество зерна с макро- и микроповреждениями может достигать 71%, из которых до 13% макро- и микроповреждений зерно получает при конвейерных транспортно-погрузочных операциях в линиях стационарной механизации, до 10% – в результате сушки початков; до 30% – в результате жесткого воздействия молотильных устройств на початки при их хаотичном движении в молотильной камере, остальные 18% – в результате нерационального силового воздействия очистителями, сепараторами, инкрустаторами и т.д. Дополнительно до 10% урожая теряется при поражении плесенью, в результате дробления зерна, его потерь с незерновой частью, а также от рассыпания зерна по цеху из-за низкой культуры производства. Кроме того, все технологии уборки и послеуборочной обработки урожая кукурузы предполагают применение ручного труда. В совокупности это характеризует уровень ресурсосбережения технологий. Выявлено, что на этапе «загрузка сушилки - сушка - транспортировка на обмолот - обмолот» за счет отказа от конвейерной транспортной системы в пользу контейнерной исключается 7% макро- и микроповреждений зерна, а поэтапный дифференцированный обмолот с забором початков из контейнеров, их ориентированием и дозированием на этапе подачи в молотилку обеспечивает снижение количества макро- и микроповреждений с 30% до 10%. Для сравнения технологий предложен критериальный показатель, позволяющий проследить изменение уровня технологического ресурсосбережения нарастающим итогом по этапам обработки. Установлено, что совершенствование технологии послеуборочной обработки початков семенной кукурузы на основе технических решений поэтапного обмолота позволяет повысить итоговый уровень технологического ресурсосбережения на 28,8%.

**Ключевые слова:** технология, ресурсосбережение, макро- и микроповреждения, семенная кукуруза.

## ANALYSIS OF THE LEVEL OF RESOURCE SAVING TECHNOLOGIES OF POST-HARVEST PROCESSING OF SEED CORN

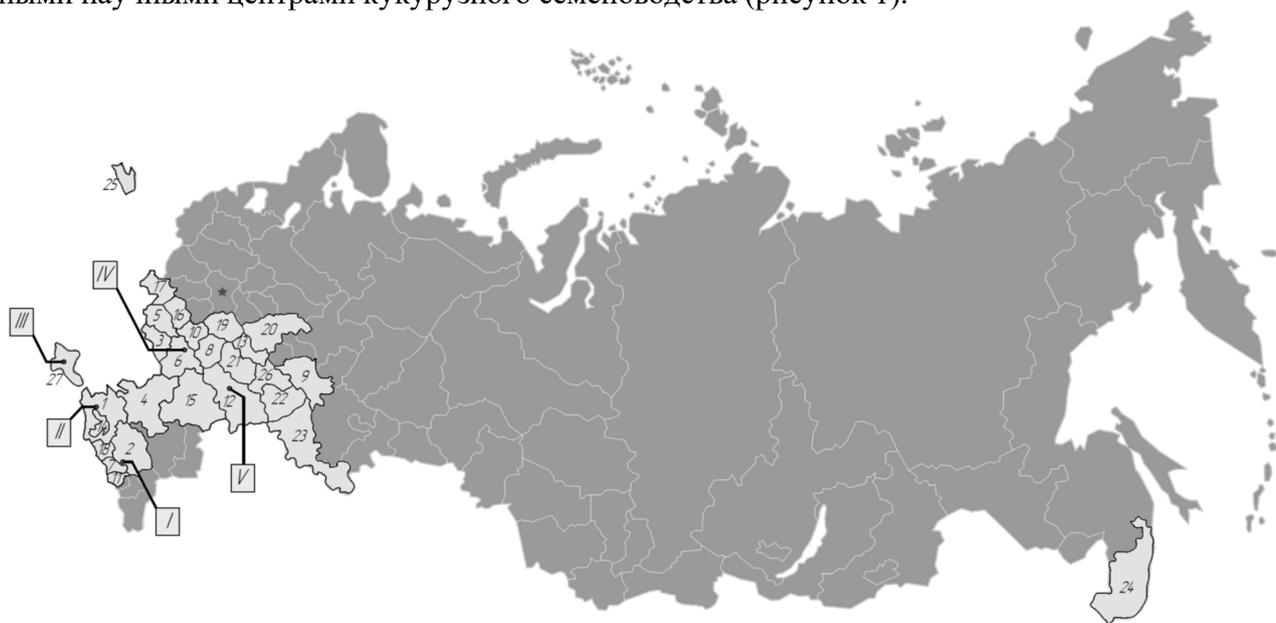
**Abstract.** It is advisable to improve the processes of processing the harvest of seed corn by reducing the number of macro- and micro-damages of grain, which preserves the high yield potential of this crop. Analysis of technologies of harvesting and post-harvest processing of the seed corn crop showed that in the final product, the sowing unit, the amount of grain with macro- and microdamages can reach 71%, of which up to 13% of macro- and microdamages grain receives during conveyor transport and loading operations in stationary mechanization lines, up to 10% – as a result of drying cobs; up to 30% – as a result of the harsh impact of threshing devices on the cobs during their chaotic movement in the threshing chamber, the remaining 18% – as a result of irrational force action by cleaners, separators, incrustators, etc. Additionally, up to 10% of the crop is lost due to mold damage, as a result of grain crushing, its losses with the non-grain part, as well as from grain scattering in the workshop due to low production culture. In addition, all technologies of harvesting and post-harvest processing of the corn crop involve the use of manual labor. Together, this characterizes the level of resource-saving technologies. It was revealed that at the stage «loading of the dryer - drying - transportation to threshing – threshing» due to the rejection of the conveyor transport system in favor of the container, 7% of macro- and microdamages of grain are excluded, and step-by-step differentiated threshing with the collection of cobs from containers, their orientation and dosing at the stage of feeding into the threshing machine provides a reduction in the amount of macro- and microdamages from 30% to 10%. For comparison of technologies, a special indicator is proposed that allows us to trace the change in the level of technological resource saving by the cumulative total of the processing stages. It is established that the improvement of the technology of post-harvest processing of corn cobs on the basis of technical solutions of step-by-step threshing allows to increase the final level of technological resource saving by 28.8%.

**Keyword:** technology, resource saving, macro- and microdamage, seed corn.

**Введение.** На протяжении последних пяти лет в Российской Федерации площадь посевов под кукурузой на зерно стабильна и находится в интервале 2,2...2,9 млн га. В среднем ежегодно убирают порядка 14...15 млн тонн зерна. Этого объема достаточно для удовлетворения нужд внутреннего рынка. Для производства данного объема необходимо порядка 90 тыс. тонн посевного материала, треть из которого закупалась из-за рубежа [1]. В условиях современной мировой продовольственной ситуации все более важным становится импортозамещение и

полное удовлетворение России семенами собственного производства. Кукуруза здесь не исключение, поэтому отечественным семеноводам необходимо увеличить валовый объем производства собственных семян районированных гибридов первого поколения минимум на 25...30 тыс. тонн в год. Эта амбициозная задача, требующая основательного доукомплектования предприятий производителей семян уборочными и перерабатывающими машинами, а в ряде случаев и полного технического перевооружения.

Прежде чем приступить к совершенствованию механизированной системы кукурузного семеноводства необходимо системно и критически проанализировать текущую ситуацию в данном направлении. В Российской Федерации кукурузу на зерно в крупных промышленных объемах возделывают в 27 регионах, которые обслуживаются 5 крупными специализированными научными центрами кукурузного семеноводства (рисунок 1).



1 – Краснодарский край; 2 – Ставропольский край; 3 – Белгородская область; 4 – Ростовская область; 5 – Курская область; 6 – Воронежская область; 7 – Кабардино-Балкарская Республика; 8 – Тамбовская область; 9 – Республика Татарстан; 10 – Липецкая область; 11 – Республика Северная Осетия-Алания; 12 – Саратовская область; 13 – Республика Мордовия; 14 – Республика Адыгея; 15 – Волгоградская область; 16 – Орловская область; 17 – Брянская область; 18 – Карачаево-Черкесская Республика; 19 – Рязанская область; 20 – Нижегородская область; 21 – Пензенская область; 22 – Самарская область; 23 – Оренбургская область; 24 – Приморский край; 25 – Калининградская область; 26 – Ульяновская область; 27 – Республика Крым; I – ФГБНУ ВНИИ кукурузы (г. Пятигорск); II – ФГБНУ «Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко» (г. Краснодар); III – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева» (Воронежская область); IV – ФГБНУ «Научно-исследовательский институт сельского хозяйства Центрально-Черноземной полосы имени В.В. Докучаева» (Воронежская область); V – ФГБНУ «Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы» (г. Саратов)

**Рис. 1 – Регионы промышленного возделывания зерна кукурузы**

Как видно из рисунка 1 научные центры территориально расположены очень правильно, что создает предпосылки для создания общероссийской селекционно-производственной сети первичного кукурузного семеноводства. Выращивание районированных гибридов первого поколения требует задействования большого количества семеноводческих предприятий, обладающих значительным земельным фондом. Объективно такие предприятия успешно работают во всех вышеперечисленных 27 регионах и их общему потенциалу вполне по силам увеличить производство собственных семян районированных гибридов первого поколения минимум на 25...30 тыс. тонн в год. Для этого необходимо совершенствовать отечественные семеноводческие технологии, повышая их уровень ресурсосбережения. Согласно [1] в 2021 году под кукурузой задействовано около 2,9 млн гектар пашни. Следовательно, если на один гектар пашни для посева израсходована одна посевная единица (ПЕ) массой 24...32 кг, то потребность России в посевном материале находится в

пределах 72...96 тыс. тонн. Тогда становится понятно, что каждый из 27 регионов крупных производителей зерна кукурузы должен стремиться к производству собственных семян в объеме 2650...3530 тонн. Конечно, с учетом потенциала и потребности региона объёмы производства могут отличаться, однако относительно данного интервала можно рассчитать годовую программу производства посевного материала кукурузы для каждого конкретного семеноводческого предприятия. В России есть весь необходимый ресурсный потенциал для этого и увеличение объемов производства семян кукурузы является вопросом исключительно организации процесса.

Сложнее вопрос состоит в материально-техническом обеспечении отрасли кукурузного семеноводства. Производство увеличенного количества семенного зерна требует создания новых эффективных кукурузокалибровочных заводов большой производительности и модернизации существующих, а здесь есть ряд научно-технических проблем, решение которых требует от отечественных ученых, исследователей и рационализаторов-практиков особого внимания. В целом научная проблематика материально-технического обеспечения отрасли кукурузного семеноводства системно может быть разделена на две укрупненные группы:

- оптимизация механизированных процессов с применением подвижного машинно-тракторного парка (все этапы возделывания урожая в поле и его уборки);
- оптимизация механизированных процессов с применением стационарной механизации (временное хранение початков и их заводская переработка в готовые ПЕ).

Системное решение этих двух групп сложных проблем создает единую научную стратегию совершенствования отрасли отечественного кукурузного семеноводства, что обеспечивает полную независимость от импорта посевного материала.

Прежде чем переходить к системному решению вышеописанной научной проблематики важно аналитически выявить опорные точки повышения уровня ресурсосбережения при оптимизации полевых и стационарных механизированных процессов производства семенного материала.

В рамках данной публикации предлагается результат анализа группы механизированных процессов с применением стационарной механизации, что можно назвать технологией послеуборочной обработки семенной кукурузы, убранный в початках.

**Целью исследования** является выявление путей повышения уровня ресурсосбережения механизированной технологии послеуборочной обработки семенной кукурузы, убранный в початках.

**Объект и методы исследований.** Объектом исследования является технология послеуборочной обработки початков кукурузы в условия стационарной механизации. Объект исследовался методами системного анализа.

Основателем отечественной земледельческой механики, В.П. Горячкиным, разработан алгоритм исследований, согласно которому первоначально необходимо установить оценочный критерий и этот критерий должен обладать явным физическим смыслом и количественной оценкой. В данном конкретном случае при разработке оценочного критерия следует акцентировать внимание на том, что полевая всхожесть кукурузы очень сильно зависит на количества макро- и микроповреждений семенного зерна. Полевая всхожесть целых семян в среднем составляет 84,2...85,8%, а зерна с макро- и микроповреждениями 51,1...62,5% [2-7]. Следовательно, потенциал повышения уровня ресурсосбережения технологии послеуборочной обработки урожая семенной кукурузы находится в области минимизации макро- и микроповреждений семенного зерна.

В настоящее время сформировалась определённая технологическая последовательность послеуборочной обработки початков семенной кукурузы, которая выражается шестью укрупненными этапами (рисунок 2).



Переработка початков семенной кукурузы в посевной материал в настоящее время осуществляется исключительно современными машинами, обеспечивающими низкие показатели энергоёмкости процесса. Однако, схема показывает, что по итогу переработки початков количество поврежденного зерна может составлять до 71% в партии, при этом до 10% зерна может быть потеряно с отходами или рассыпано по цеху из-за низкой культуры производства. Кроме того, на всех шести этапах есть операции, требующие ручного труда. Такое количество зерна с макро- и микроповреждениями в массе ПЕ с точки зрения ресурсосбережения недопустимо. Следовательно, в кукурузном семеноводстве оценочный критерий уровня ресурсосбережения в первую очередь должен характеризовать технологию по количеству наносимых зерну макро- и микроповреждений.

В связи с этим для оценки технологии послеуборочной обработки семенной кукурузы, убранной початках, предлагается показатель уровня ресурсосбережения:

$$Y_{PC} = k_{mex} \cdot \left( \frac{\left( M_{общ} - \sum_{i=1}^n m_{mm} \right)}{M_{общ}} \cdot 100\% - \left( \sum_{i=1}^n \Delta_{oi} + \Delta_n + \Delta_c \right) \right), \quad (1)$$

где  $k_{mex}$  – показатель уровня механизации;  $M_{общ}$  – общая масса зерна, поступившая на переработку, кг;  $\sum_{i=1}^n m_{mm}$  – суммарная масса зерна с макро- и микроповреждениями, кг;  $\sum_{i=1}^n \Delta_{oi}$  – суммарный показатель дробления зерна, %;  $\Delta_n$  – общий показатель недомолота (учитывается на этапе обмолота), %;  $\Delta_c$  – общий показатель схода свободным зерном (учитывается на этапе обмолота), %;  $n$  – количество этапов обработки, штук.

Физический смысл показателя уровня ресурсосбережения заключается в процентном выражении количества семенного зерна без макро- и микроповреждений, прошедшего определенный этап механизированной обработки. В качестве уточнения следует сказать, что на начальных этапах переработки зерно находится в початках, однако сути это не меняет, поскольку выход чистого зерна из массы початков легко определим для каждого конкретного случая.

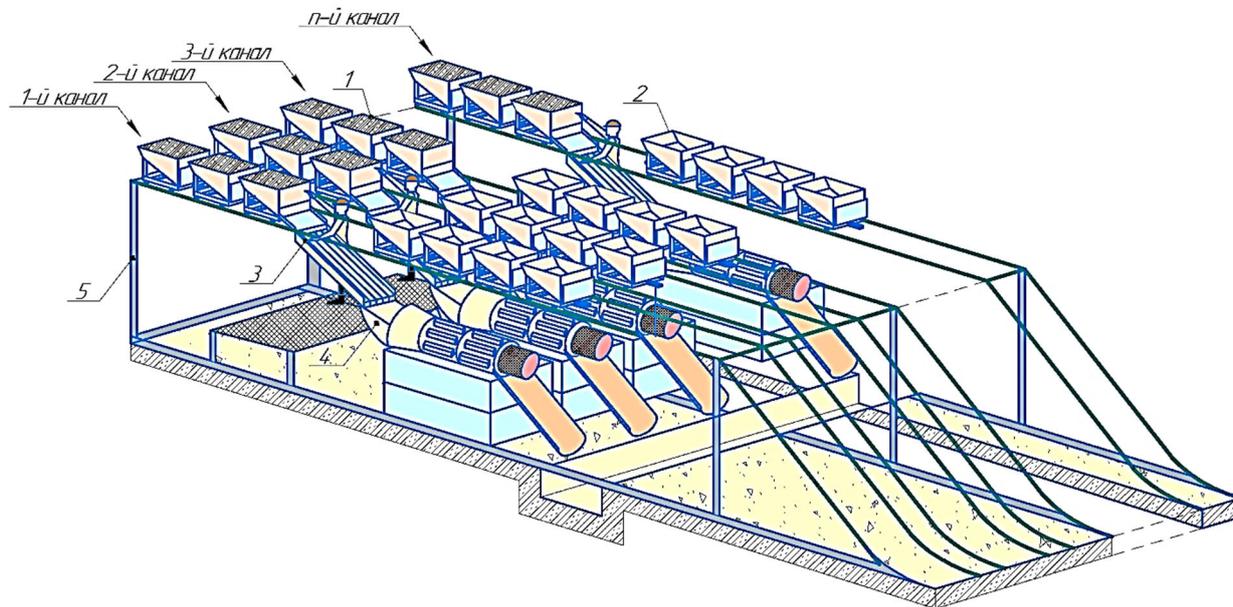
Установлено, что наиболее экстремальные (жесткие) условия взаимодействия с рабочими органами машин зерно кукурузы встречает в молотильно-сепарирующих устройствах (МСУ), где макро- и микроповреждения приобретает до 30% зерна в обмолоченной партии. Сушка, также является опасным методом обработки, здесь повреждается до 10% зерна. Кроме того, необходимо учитывать тот факт, что початок кукурузы обладает массой 0,20...0,35 кг, поэтому он, падая даже с небольшой высоты повреждает зерно. Из рисунка 2 видно, что до 13% зерна получает макро- и микроповреждения в результате ударов при падении во время конвейерных транспортно-погрузочных операций в линиях стационарной механизации. Также, 18% зерна получают повреждения в результате нерационального силового воздействия рабочими органами очистителей початков от листовой обертки, аспираторов, сепараторов, инкрустаторов, машин для затаривания готовой продукции и т. д.

Эффективная технология должна исключать повреждения зерна при транспортировке початков, здесь целесообразно внедрение контейнерного метода перемещения грузов на этапе «загрузка сушилки → сушка → транспортировка на обмолот → обмолот». В этом случае исключается минимум 2% дробления зерна и 5% его макро- и микроповреждений (этап 4 и 5 на рисунке 2).

Целесообразность применения контейнерного перемещения семенного материала доказана в работах [3, 8, 9]. Кроме того, управляемая разгрузка контейнера способствует пространственному ориентированию початков в рациональное для обмолота положение.

Для снижения количества макро- и микроповреждений с 30% до 10% нами предлагается реализация нового способа поэтапного дифференцированного обмолота посредством многоканального комплекта технических средств (МТСО), использующего адаптивные ра-

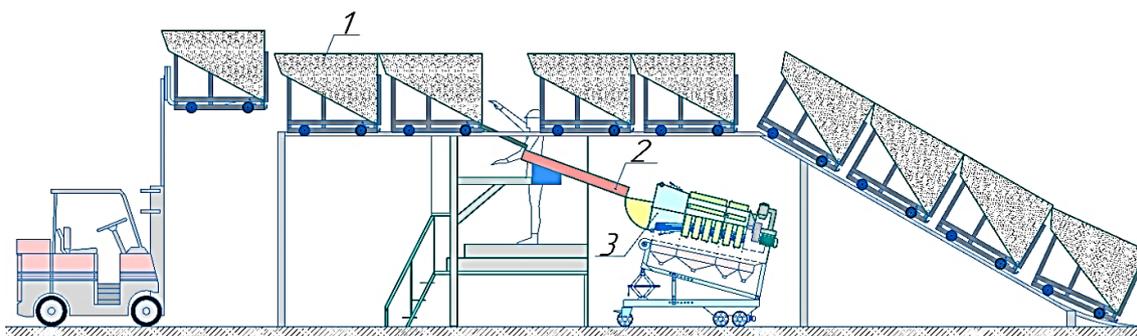
бочие органы аксиально-роторных МСУ, в которое початки подаются из защитных контейнеров дозированно и упорядоченно посредством ориентирующе-дозировочного загрузочного аппарата (ОДЗА). Принципиальная схема МТСО представлена на рисунке 3. Вышеописанные технические решения акцентировано совершенствуют исследуемую технологию в опорных, наиболее важных с позиции повышения уровня ресурсосбережения, точках технологической линии.



1 – заполненный початками контейнер; 2 – разгруженный контейнер; 3 – ОДЗА;  
4 – аксиально-роторное МСУ с пневмоадаптивной декой; 5 – платформа

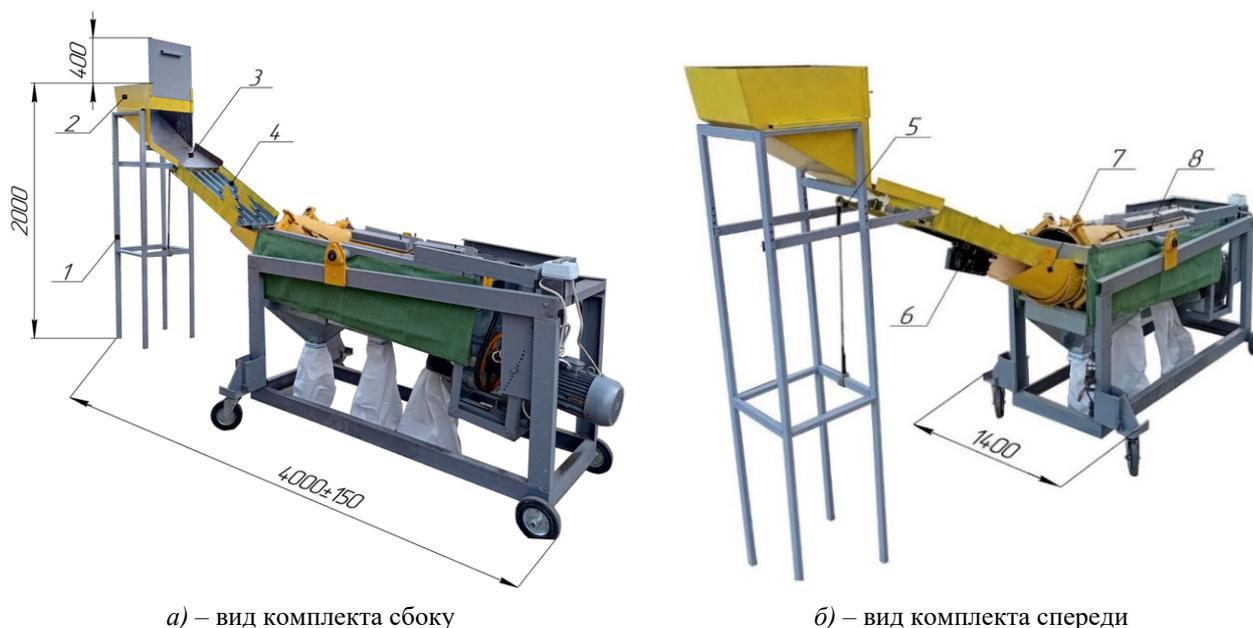
**Рис. 3 – Принципиальная схема МТСО**

Конструкция и принцип действия МТСО в варианте одного канала подробно описаны в источниках [10-12], а в данной публикации интерпретирована принципиальная схема, представленная на рисунке 4.



**Рис. 4 – Принципиальная схема одного канала МТСО**

Эффективность работы МТСО в варианте одного канала была изучена нами экспериментально с применением оборудования, представленного на рисунке 5. Эксперименты показали, что поэтапный дифференцированный обмолот с применением адаптивных рабочих органов обеспечивает уровень макро- и микроповреждений зерна не более 10%.



1 – платформа; 2 – защитный контейнер с выгрузным окном и заслонкой; 3 – откидной лоток защитного контейнера; 4 – ОДЗА; 5 – механизм изменения наклона ОДЗА; 6 – вибрационный привод ОДЗА; 7 – загрузочная горловина МСУ; 8 – аксиально-роторное МСУ с пневмоадаптивной декой

**Рис. 5 – Комплект технических средств для поэтапного обмолота початков семенной кукурузы (RU 171115; RU 196681; RU 180093; UA 30366; UA 18265; UA 86546)**

Детальный анализ этапов переработки початков кукурузы в семенной материал показал, что в среднем в каждом этапе (рисунок 2) насчитывается от 20 до 30 основных и вспомогательных операций и минимум одна из них выполняется вручную. Тогда показатель уровня механизации составляет  $k_{мех} = 0,95 \dots 0,97$ . Исходя из этого принимая  $k_{мех} = 0,96$  для всех шести этапов обработки (см. рисунок 2) на основании выражения (1) осуществлено сравнение существующей технологии, предполагающей применение конвейерной погрузочно-транспортной системы и штатных молотильных систем типа МКП-12 и усовершенствованной технологии, предполагающей применение системы контейнерного перемещения грузов и МТСО (таблица 1).

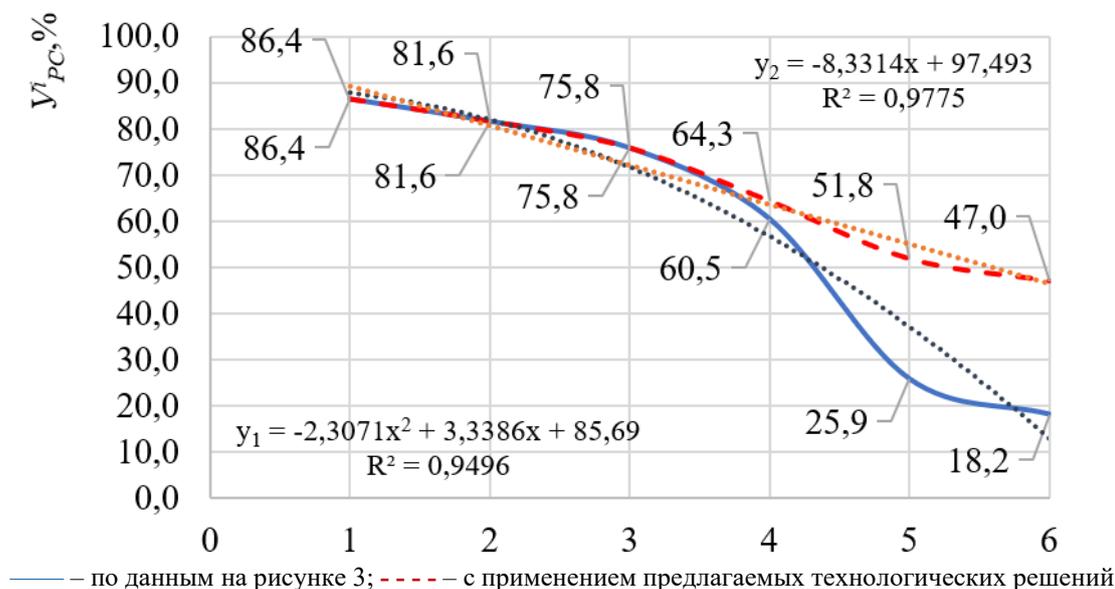
**Таблица 1 – \*Изменение существующего и прогнозируемого уровня технологического ресурсосбережения по этапам обработки початков и зерна семенной кукурузы**

№ этапа обработки (рисунок 3)	Обработка с существующими технологическими решениями			**Обработка с предложенными технологическими решениями		
	% зерна без повреждений	% необратимых потерь зерна	$U_{PC}^i$ , %	% зерна без повреждений	% необратимых потерь зерна	$U_{PC}^i$ , %
1	90	-	86,4	90	-	86,4
2	87	2	81,6	87	2	81,6
3	83	4	75,8	83	4	75,8
4	69	6	60,5	73	6	64,3
5	36	9	25,9	63	9	51,8
6	29	10	18,2	59	10	47,0

\* Снижение выраженного в процентах количества целого зерна и увеличение потерь представлено по этапам нарастающим итогом.

\*\* На четвертом этапе обработки посредством применения контейнеров прогнозируется исключение 2% дробления и 2% макро- и микроповреждений зерна. На пятом этапе обработки посредством применения контейнеров прогнозируется исключение 3% макро- и микроповреждений зерна, а посредством реализации поэтапного обмолота – 20% макро- и микроповреждений зерна.

Изменение существующего  $y_1$  и прогнозируемого  $y_2$  уровня технологического ресурсосбережения по этапам обработки початков и зерна семенной кукурузы графически интерпретируется рисунком 6.



**Рис 6 – Графическая интерпретация результатов сравнения уровня технологического ресурсосбережения в технологиях обработки початков и зерна семенной кукурузы**

Из графика видно, что предложенные технические и технологические решения позволяют обеспечить повышение уровня ресурсосбережения при обработке початков и зерна кукурузы на 28,8%. Кроме того, проведенная аппроксимация показывает переход от сложно прогнозируемой полиномиальной зависимости к простой линейной модели, позволяющей более эффективно выстраивать стратегию функционирования технической системы в целом.

Следовательно, оперируя предложенным оценочным критерием, можно выявить опорные точки совершенствования технологических процессов и акцентированно воздействуя на них существенно повысить общий уровень ресурсосбережения технологии.

Технология послеуборочной обработки початков семенной кукурузы, обеспечивающая минимизацию макро- и микроповреждений зерна позволит поднять урожайность данной культуры и, как следствие, обеспечит более рациональное использование земельных, трудовых, энергетических и других ресурсов в вышеперечисленных 27 регионах, производящих зерно кукурузы в больших объемах.

В качестве перспективного направления исследований следует отметить целесообразность совершенствования процесса сушки початков в защитных вентилируемых контейнерах, что требует разработки и создания сушилки специальной конструкции.

**Выводы.** В качестве обобщения представляем следующие выводы.

1. Россия обладает всем необходимым потенциалом для полного замещения импорта собственными районированными семенами гибридной кукурузы первого поколения.

2. Единая научная стратегия совершенствования отрасли отечественного кукурузного семеноводства должна охватывать все механизированные технологии, осуществляемые с применением подвижного машинно-тракторного парка и стационарного перерабатывающего оборудования.

3. Уровень ресурсосбережения технологии послеуборочной обработки початков семенной кукурузы характеризуется количеством наносимых зерну макро- и микроповреждений и его потерями в процессе работы машин и оборудования.

4. Внедрение в технологию послеуборочной обработки початков семенной кукурузы контейнерного метода перемещения грузов и МТСО обеспечивает повышение уровня технологического ресурсосбережения на 28,8%, что достигается исключением 7% макро- и микро-

повреждений зерна при перемещении початков по этапам обработки и 20% – посредством поэтапного дифференцированного обмолота с рациональным силовым воздействием на зерно адаптивными рабочими органами аксиально-роторного МСУ, в которое початки подаются из защитных контейнеров дозированно и упорядоченно.

5. Технология послеуборочной обработки початков семенной кукурузы посредством сохранения потенциала урожайности семенного материала тесно связана с ресурсосбережением в процессе механизированного выращивания урожая, поскольку обеспечивает повышение урожайности и тем самым создает условия для более рационального использования земельных, трудовых, энергетических и других ресурсов хозяйств.

#### Библиография

1. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат.сб./Росстат М., 2021. 100 с.
2. Петунина И.А. Обмолот початков кукурузы: монография. Краснодар : КубГАУ, 2006. 200 с.
3. Курасов В.С., Куцеев В.В., Самурганов Е.Е. Механизация работ в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве кукурузы: монография. Краснодар : КубГАУ, 2013. 151 с.
4. 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.
5. Строна И.Г. Травмирование семян и его предупреждение: монография. М. : Колос, 1972. 160 с.
6. Голик М.Г. Хранение и обработка початков и зерна кукурузы: монография. М. : Колос, 1968. 335 с.
7. Фадеев Л.В. Зерно нельзя бить – оно основа жизни человека. URL: <http://iecss.su/media/images/Documents/Zerno%20nelzya%20bit.pdf>. Дата обращения 23.08.22.
8. Крюков М.Л., Пышкин В.К., Чулков А.С., Власова С.В., Иванов М.В., Степанов К.А. Контейнерная поточно-транспортная технология подготовки селекционного зерна // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12. № 6. С. 20-24.
9. Степанов, К.А. Обоснование параметров контейнеризации процессов уборки, переработки и хранения семян на III и IV этапах селекции и первичного семеноводства на примере ФГБНУ Рязанский НИИСХ // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2018. № 9. С. 15-20.
10. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Элементы перспективной механизированной технологии переработки початков семенной кукурузы // Материалы XII Международной научно-практической интернет-конференции «Научно-информационное обеспечение инновационного развития АПК». М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. С. 455-462.
11. Бахарев Д.Н., Пастухов А.Г., Вольвак С.Ф., Бурнукин А.Е. Научные основы совершенствования технологии поточной обработки кукурузы в початках: монография. п. Майский : ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2021. 188 с.
12. Пастухов А.Г., Бахарев Д.Н. Молотильно-сепарирующее устройство для первичного семеноводства кукурузы // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2020. Т. 14. № 1. С. 34-39.

#### References

1. Selskoe hozyajstvo v Rossii [Agriculture in Russia]. 2021: Stat.sb./Rosstat M., 2021. 100 с.
2. Petunina I.A. Obmolot pochatkov kukuruzy [Threshed corncobs]: monografiya. Krasnodar : KubGAU, 2006. 200 p.
3. Kurasov V.S., Kuceev V.V., Samurganov E.E. Mekhanizaciya rabot v Sulecki, sortoispytanii i pervichnom semenovodstve kukuruzy [Mechanization of work in selection, variety testing and primary seed production of maize]: monografiya. Krasnodar : KubGAU, 2013. 151 p.
4. Baharev D.N., Volvak S.F., Pastuhov A.G. Bionicheskie osnovy konstruirovaniya molotil'no-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.
5. Strona I.G. Travmirovanie semyan i ego preduprezhdenie: monografiya [Seed damage and its prevention]. M. : Kolos, 1972. 160 s.
6. Golik M.G. Hranenie i obrabotka pochatkov i zerna kukuruzy: monografiya [Storage and processing of ears and corn grains], Moskva, Kolos, 1968, 337 p.
7. Fadeev L.V. Zerno nelzya bit - ono osnova zhizni cheloveka [The grain cannot be damaged – it is the basis of human life], URL: <http://iecss.su/media/images/Documents/Zerno%20nelzya%20bit.pdf>, (Data obrascheniya 23.08.2022). (In Russ.).
8. Kryukov M.L., Pyshkin V.K., Chulkov A.S., Vlasova S.V., Ivanov M.V., Stepanov K.A. Konteynernaya potочно-transportnaya tekhnologiya podgotovki selektsionnogo zerna [Container flowtransport technology of selection grain production]. Sel'skokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2018. Vol. 12. № 6. Pp. 20-24.
9. Stepanov, K.A. Obosnovanie parametrov kontejnerizacii processov uborki, pererabotki i hraneniya semyan na III i IV etapah selekcii i pervichnogo semenovodstva na primere FGBNU Ryazanskij NIISKH [Seed damage and its prevention substantiation of the parameters of containerization of the processes of harvesting, processing and storage of

seeds at the III and IV stages of breeding and primary seed production on the example of the Ryazan Research Institute] // Selskohozyajstvennaya tekhnika: obsluzhivanie i remont. 2018. № 9. S. 15-20.

10. Pastukhov A.G., Bakharev D.N. Elementy perspektivnoj mekhanizirovannoj tekhnologii pererabotki pochatkov semennoj kukuruzy [Elements of a promising mechanized technology for the processing of seed corn cobs] // Materialy XII Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy internet-konferenczii «Nauchno-informacionnoe obespechenie innovacionnogo razvitiya APK». M. : FGBNU «Rosinformagrotekh», 2020. Pp. 455-462.

11. Baharev D.N., Pastuhov A.G., Volvak S.F., Burnukin A.E. Nauchnye osnovy sovershenstvovaniya tekhnologii potochnoj obrabotki kukuruzy v pochatkah [Scientific foundations of improving the technology of in-line processing of corn on the cob], monografiya, p. Majskij, FGBOU VO Belgorodskij GAU, 2021, 188 p.

12. Pastuhov A.G., Baharev D.N. Molotilno-separiruyushchee ustrojstvo dlya pervichnogo semenovodstva kukuruzy [Threshing and separating device for primary corn seed production], Selskohozyajstvennyye mashiny i tekhnologii, 2020, T. 14, № 1, pp. 34-39.

#### **Сведения об авторах**

Пастухов Александр Геннадиевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технической механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7(4722) 39-23-90, E-mail: pastuhov\_ag@bsaa.edu.ru

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

#### **Information about authors**

Alexander Gennadievich Pastukhov, doctor of technical sciences, professor, head of the department of technical mechanics and machine 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, 308503, tel. +7(4722) 39-23-90, E-mail: pastuhov\_ag@bsaa.edu.ru

Dmitriy Nikolaevich Bakharev, candidate of technical sciences, docent of the department of technical mechanics and machine 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. +7 (4722) 39-12-33, E-mail: baharevdn\_82@mail.ru

УДК 631.363:636.086.5

**В.Ю. Страхов, С.В. Вендин**

## ПРИМЕНЕНИЕ УФ ИЗЛУЧЕНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ СЕМЯН СОИ ПЕРЕД ПРОРАЩИВАНИЕМ

**Аннотация.** Специальная обработка семян перед проращиванием широко применяется для повышения их посевных свойств. Научно обоснованы способы обработки воздействием на семена физическими факторами. Для этого используют: СВЧ поля, ИК излучение, электрический ток и ультразвук и т.д. Одним из направлений по использованию ультрафиолетового излучения также является обработка семян перед проращиванием на различные цели, в т.ч. для возможности круглогодичного получения зеленых витаминных кормовых добавок для животных. Представленные на сегодняшний день конструкции установок для УФ обработки семян перед проращиванием имеют ряд недостатков: низкая производительность, отсутствует контроль дозы облучения, низкая равномерность облучения. Приведены результаты исследований по применению УФ излучения для обработки семян перед проращиванием. Представлена конструкция установки для УФ обработки семян, которая позволяет механизировать и автоматизировать процесс обработки семян перед проращиванием, повысить производительность и равномерность обработки. На основе проведенных экспериментальных исследований получены регрессионные уравнения для оценки влияния удельной мощности УФ облучения ( $Вт/м^2$ ) и продолжительность УФ облучения (с) на длину ростков семян сои при проращивании. Установлено, что результат обработки определяется взаимосвязью обоих воздействующих факторов. При этом один и тот же положительный эффект наблюдается при различных режимах обработки. Согласно полученным данным, можно рекомендовать режимы с удельной мощностью УФ облучения  $4,5 Вт/м^2$  и минимальной продолжительностью УФ облучения 30 с. Удельные энергозатраты при этом составляют  $135 Дж/м^2$ .

**Ключевые слова:** предпосевная обработка, УФ обработка, длина ростков.

## APPLICATION OF UV RADIATION TO THE TREATMENT OF SOYBEAN SEEDS BEFORE GERMINATION

**Abstract.** Special treatment of seeds before germination is widely used to improve their sowing properties. Scientifically substantiated methods of processing the impact on the seeds of physical factors. For this, they use: microwave fields, infrared radiation, electric current and ultrasound, etc. One of the directions for the use of ultraviolet radiation is also the treatment of seeds before germination for various purposes, incl. for the possibility of year-round production of green vitamin feed supplements for animals. Presented to date, the designs of installations for UV seed treatment before germination have a number of disadvantages: low productivity, no control of the radiation dose, low uniformity of irradiation. The results of studies on the use of UV radiation for seed treatment before germination are presented. The design of the installation for UV seed treatment is presented, which allows mechanizing and automating the process of seed treatment before germination, increasing productivity and uniformity of treatment. Based on the experimental studies carried out, regression equations were obtained to assess the effect of the specific power of UV irradiation ( $W/m^2$ ) and the duration of UV irradiation (s) on the length of soybean seed sprouts during germination. It is established that the result of processing is determined by the relationship of both influencing factors. At the same time, the same positive effect is observed with different processing modes. According to the data obtained, it is possible to recommend modes with a specific power of UV irradiation of  $4.5 W/m^2$  and a minimum duration of UV irradiation of 30 s. The specific energy consumption in this case is  $135 J/m^2$ .

**Keywords:** pre-sowing treatment, UV disinfection, length of sprouts.

**Введение.** Специальная обработка семян перед проращиванием широко применяется для повышения их посевных свойств. Научно обоснованы способы обработки воздействием на семена физическими факторами. Для этого используют: СВЧ поля, ИК излучение, электрический ток и ультразвук и т.д. Одним из направлений по использованию ультрафиолетового (УФ) излучения также является обработка семян перед проращиванием на различные цели, в т.ч. для возможности круглогодичного получения зеленых витаминных кормовых добавок для животных [1-4]. Установлено, что в технологических процессах с использованием УФ излучения главным условием для достижения положительных результатов является строгое дозирование потока излучения, с обеспечением режимов по интенсивности и по длительности воздействия. Действие оптического излучения ультрафиолетового диапазона, в зависимости от его качества и количества, может быть, как благотворным, так и угнетающим. Доза облучения ниже рекомендуемого порога экономически не эффективна. Переоблу-

чение снижает продуктивность живых организмов, в некоторых случаях может оказаться губительным.

Следует отметить, что на сегодняшний день в научной литературе нет однозначного подхода относительно выбора доз УФ облучения семян. Выбор режимов обработки зависит как от вида растений, целей их выращивания, а также от ряда других факторов, среди которых большую роль играют оптические свойства растений. При выборе дозы облучения семян не стоит слепо руководствоваться исключительно рекомендациями по продолжительности облучения, зачастую они являются только ориентировочными и рассчитываются на определенные средства обработки и условия проведения облучения. Здоровые семена с высоким классом всхожести, как правило не нуждаются в дополнительных обработках. Объектом облучения выступают семена низкого качества. Именно обработка таких семян позволяет повысить их всхожесть и энергию прорастания, обеспечить дружное прорастание и густую зеленую массу отростков.

Режимы УФ обработки определяются на основе экспериментальных исследований. Низкая доза не способна оказать ожидаемого результата в прибавки в ускорении роста и увеличении длины отростков семян. При этом превышение допустимых доз имеет угнетающее влияние на растения. На основании обзора известных исследований, проводимых учеными в разное время и различных регионах нашей страны [5-9] можно сделать вывод, что доза 5 кДж/м<sup>2</sup> является достаточной для стимуляции первичных ростовых процессов.

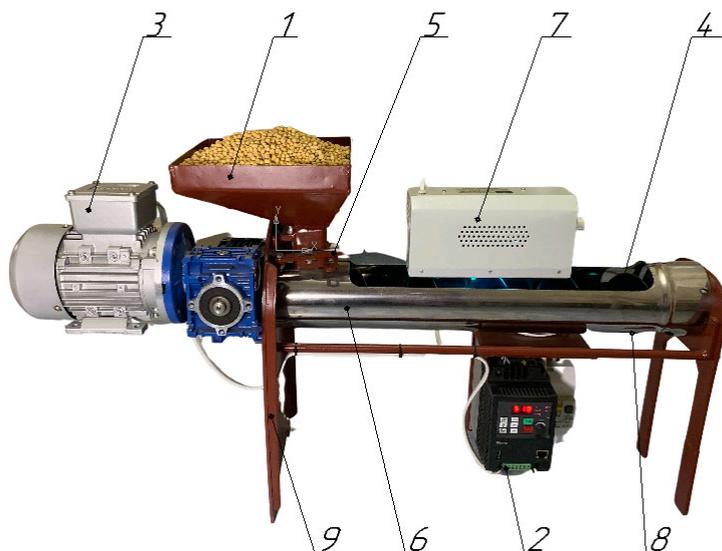
Непосредственно при УФ обработке продолжительность ультрафиолетового облучения рассчитывается на основании конкретных исходных данных: типа применяемых ультрафиолетовых ламп, расстояния от лампы до источника облучения, результатов измерения энергетической облученности поверхности. Следует учитывать, что на источники излучения влияют отклонения напряжения питающей сети и факторы окружающей среды. Отклонения напряжения на 10% требует увеличения продолжительности облучения на 20-30%. Температура окружающей среды существенно влияет на поток облучения, создаваемый разрядными лампами низкого давления. Наилучшими условиями для облучения такими лампами является температура 20°C. При скачках температуры как вверх, так и вниз отмечается снижение потока облучения до 15%.

Ниже представлены результаты исследований по применению УФ излучения для обработки семян перед проращиванием в Белгородском ГАУ.

**Основные результаты.** Исследования проводили с целью изучения возможности поверхностного обеззараживания семян от плесени и грибков и оценки влияния режимов ультрафиолетового облучения на эффективность проращивания семян сои.

Для проведения УФ обработки семян в Белгородском ГАУ была разработана специальная установка [10]. Конструкция установки представлена на рисунке 1.

Установка для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием состоит из бункера 1 для загрузки семенного материала. Преобразователя частоты 2 для возможности управления режимами работы. Мотор-редуктора 3 для возможности вращения шнека 4. Шнек выступает как рабочий орган для перемещения обрабатываемого слоя семян. Для дозирования семян из бункера 1 в устройстве есть заслонка 5. Шнек расположен в кожухе 6. Внутренняя поверхность кожуха выполнена из материала, способного отражать ультрафиолетовые излучение. Для равномерного облучения семян шнек перемещает слой. Над шнеком в зоне обработки смонтирована ультрафиолетовая лампа 7. Лампа выполнена с возможностью изменения высоты подвеса. Доза облучения может меняться как за счет регулировки скорости прохождения семян под ультрафиолетовой лампой, так и повышением энергетической облученности поверхности, регулировать которую можно изменением высоты подвеса ультрафиолетовой лампы. После обработки семена перемещают шнеком до отсека выгрузки 8. Вся конструкция смонтирована на раме 9.



1 – бункер; 2 – преобразователь частоты; 3 – мотор-редуктор;  
 4 – шнек; 5 – заслонка; 6 – кожух; 7 – УФ лампа;  
 8 – отсек выгрузки; 9 – рама

**Рис. 1 – Устройство для ультрафиолетовой обработки семян**

Техническое решение в виде вращающегося шнека 4 обеспечивает постоянное изменение ориентации семян по отношению к УФ лампе 7.

Для создания потока УФ излучения в установке использовалась ультрафиолетовая лампа мощностью 36 Вт производителя Uniel с длиной волны в спектре 253,7 нм. Удельная мощность лампы  $P_{уд}=30 \text{ Вт/м}^2$ . Параметры устройства для ультрафиолетового облучения семян представлены в таблице 1.

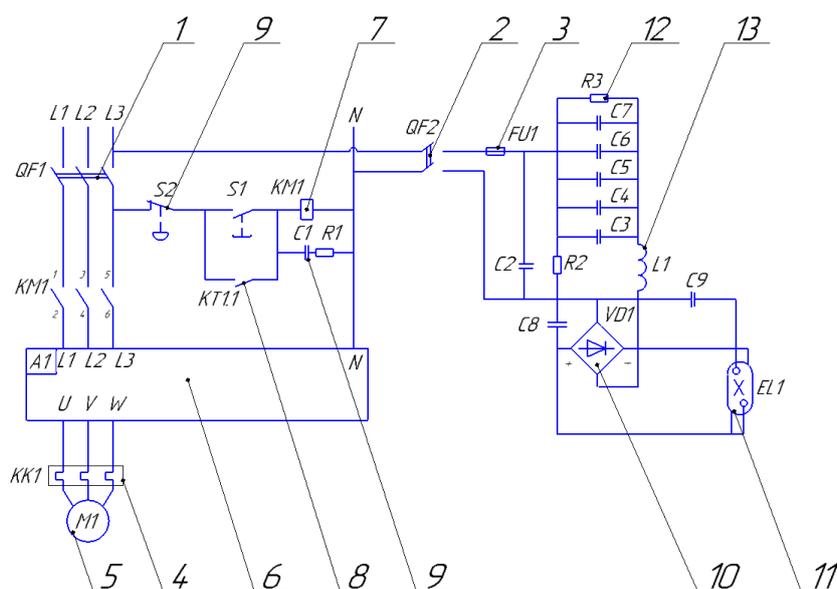
**Таблица 1 – Технические характеристики устройства для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием**

№ п/п	Наименование параметров	Единицы измерения	Численные значения
1	Тип шнека	-	однозаходный
2	Частота вращения	мин <sup>-1</sup>	0,6 -2,2
3	Производительность	кг/ч	34-36
4	Мощность УФ лампы	Вт	36
5	Мощность электродвигателя	кВт	0,09
6	Размеры габаритные	мм	850x280x490
7	Масса	кг	42
9	Характер работы установки	-	круглосуточно
10	Мощность на валу винта	кВт	0,015

Работу предложенного устройства для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием проверяли следующим образом. Семена, подготовленные к проращиванию на зеленый витаминный корм, загружали в бункер устройства для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием (рисунок 1). Выставляли необходимую частоту вращения шнека. Открытием дозирующей заслонки осуществляли подачу семян в кожух со шнеком для обработки ультрафиолетовым излучением. Семена поступали в шнек и по кожуху перемещались до зоны облучения. После обеззараживания семена проращивались. Принципиальная электрическая схема устройства для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием показана на рисунке 2.

Конструкция установки позволяет механизировать и автоматизировать процесс ультрафиолетовой обработки семян различных сельскохозяйственных культур перед проращиванием, повысить производительность и равномерность облучения при обработке. Доза УФ

облучения может корректироваться скоростью (длительностью) прохождения семенами зоны облучения под источником потока УФ излучения.



- 1, 2 – пакетный выключатель; 3 – плавкий предохранитель; 4 – тепловое реле; 5 – электродвигатель; 6 – частотный преобразователь; 7 – катушка; 8 – контакт; 9 – кнопка; 10 – диодный мост; 11 – УФ лампа; 12 – резистор; 13 – катушка индуктивности

**Рис. 2 – Принципиальная электрическая схема управления устройством для ультрафиолетовой обработки семян перед проращиванием**

В качестве объекта экспериментальных исследований использовались зерна сои сорта «Нежеголь». Основными варьируемыми воздействующими факторами являлись удельная мощность УФ облучения ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и продолжительность УФ облучения (с). В качестве функции отклика принимали длину ростков на пятые сутки.

Для возможности регрессионного анализа результатов эксперимента обработка образцов проводилась в соответствии с планом Коно для 2-х факторного эксперимента [6]. Кодированные значения и интервал варьирования воздействующих факторов приведены в таблице 2. Исследования проводились в 4-кратной повторности в каждой из 4-х точек плана эксперимента.

**Таблица 2 – Факторы, влияющие на параметры оптимизации**

Обозначение	Наименование фактора	Уровни варьирования			Интервалы варьирования
		-1	0	1	
X1	Удельная мощность УФ облучения, $\text{Вт}/\text{м}^2$	3	6	9	3
X2	Продолжительность УФ облучения, сек	30	60	90	30

В результате проведения экспериментальных исследований были получены исходные данные для оценки влияния режимов ультрафиолетовой обработки на длину ростков сои при проращивании. Количество точек плана эксперимента, значения воздействующих факторов и длина ростков семян сои на 5 день проращивания приведены в таблице 3.

Воспроизводимость опытов оценивалась с использованием критерия Кохрена при уровне значимости  $\alpha=0,05$  и числе степеней свободы  $f_2=12$ . Расчетное значение критерия Кохрена  $G_{\text{расч}}=0,25$  не превышало допустимых значений  $G_{0,05}=0,40$ .

Реализация плана Коно для 2-х факторного эксперимента позволяет получить квадратичную регрессионную зависимость между функцией отклика и воздействующими факторами.

Таблица 3 – Матрица плана и результаты эксперимента

№ опыта	x <sub>1</sub>	x <sub>2</sub>	Длина ростков на 5 день проращивания, мм
1	-1	-1	61,07
2	1	-1	66,38
3	-1	1	68,97
4	1	1	63,46
5	-1	0	74,39
6	1	0	57,04
7	0	-1	70,85
8	0	1	68,64
9	0	0	68,67
10	контроль	-	60,9

Однако проведенная предварительная статистическая обработка полученных экспериментальных данных показала, что квадратичные эффекты менее значимы по сравнению с линейной аппроксимацией воздействия факторов. Поэтому для описания влияния удельной мощности (кВт/кг) и экспозиции (с) на способность прорастания семян предлагается регрессионное уравнение неполного второго порядка, которое в кодированных переменных имеет вид:

$$Y = B_0 + B_1X_1 + B_2X_2 + B_{12}X_1X_2, \tag{1}$$

где X<sub>1</sub> – удельная мощность УФ облучения, о.е. (-1≤X<sub>1</sub>≤+1), X<sub>2</sub> – продолжительность УФ облучения, о.е. (-1≤X<sub>2</sub>≤+1); B<sub>0</sub> = 31,75; B<sub>1</sub> = 1,00; B<sub>2</sub> = 1,50; B<sub>12</sub> = -1,75.

Значимость коэффициентов проверялась по критерию Стьюдента (t<sub>кр</sub>) при уровне значимости α=0,05 и числе степеней свободы f<sub>2</sub>=12. Все коэффициенты в уравнении (1) являются значимыми, следовательно, факторы достаточно коррелированы между собой. Адекватность модели оценивалась по критерию Фишера при уровне значимости α=0,05. Расчетное значение критерия Фишера F<sub>расч</sub>=1,00 не превышало допустимых значений F<sub>0,05</sub>=4,75.

Расчетное уравнение регрессии в натуральных переменных получается заменой кодированных переменных в уравнении (1) их натуральными аналогами в соответствии с таблицей 2 по формулам:

$$X_1 = (P - 6)/3, X_2 = (t - 60)/30, \tag{2}$$

где P – удельная мощность УФ облучения, Вт/м<sup>2</sup> (3,00≤P ≤9,00); t – продолжительность УФ облучения, с (30≤t ≤90).

Одна из форм расчетного уравнения регрессии в натуральных переменных может быть представлена следующим образом:

$$Y = B_0 + B_1 \left(\frac{P-6}{3}\right) + B_2 \left(\frac{t-60}{30}\right) + B_{12} \left(\frac{P-6}{3}\right) \left(\frac{t-60}{30}\right). \tag{3}$$

Ниже на рисунке 3 представлена расчетная поверхность длины ростков семян сои в зависимости от натуральных значений удельной мощности УФ облучения (Вт/м<sup>2</sup>) и продолжительность УФ облучения (с).

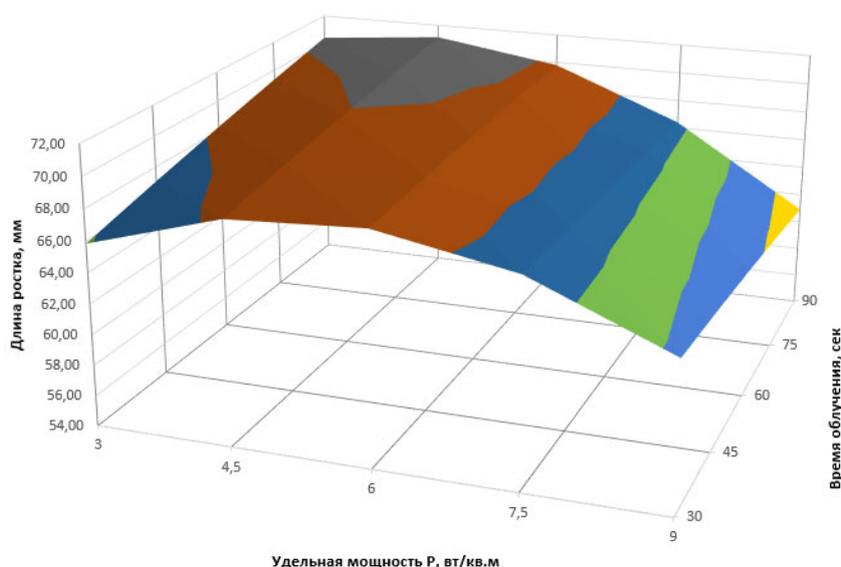
Анализ изменения длины ростков семян сои в зависимости от величины воздействующих факторов свидетельствует о том, что результат обработки определяется взаимосвязью обоих воздействующих факторов. При этом положительный эффект наблюдается при различных режимах обработки.

Наилучшие результаты наблюдаются:

1. При удельной мощности УФ облучения (4,5 Вт/м<sup>2</sup>) и максимальной продолжительности УФ облучения (90 с).
2. При удельной мощности УФ облучения (4,5 Вт/м<sup>2</sup>) и минимальной продолжительности УФ облучения (30 с).

Однозначно можно утверждать, что для положительного результата необходимо измерять величину удельной мощности УФ облучения с продолжительность УФ облучения.

С позиций энергозатрат наилучшими являются режимы с максимальной удельной мощностью воздействия и малым временем УФ облучения.



**Рис. 3 – Изменение длины ростков семян сои в зависимости от натуральных значений удельной мощности УФ облучения ( $\text{Вт}/\text{м}^2$ ) и продолжительности УФ облучения (с)**

В таблице 4 приведены натуральные значения воздействующих факторов, длина ростков после проращивания и расчетные значения удельной дозы УФ облучения ( $\text{Дж}/\text{м}^2$ ). Согласно полученным данным, можно рекомендовать режимы с удельной мощностью УФ облучения  $4,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$  и минимальной продолжительностью УФ облучения 30 с.

**Таблица 4 – Энергетические показатели УФ обработки семян**

№ опыта	$X_1$	$X_2$	Длина ростков на 5 день проращивания, мм	Удельная доза УФ облучения, $\text{Дж}/\text{м}^2$
1	3	30	61,07	90,00
2	9	30	66,38	270,00
3	3	90	68,97	270,00
4	9	90	63,46	810,00
5	3	60	74,39	180,00
6	9	60	57,04	540,00
7	6	30	70,85	180,00
8	6	90	68,64	540,00
9	6	60	68,67	360,00
10	контроль	-	60,9	-

**Заключение.** На основании приведенных данных можно сделать следующие выводы:

- 1) на основании результатов экспериментальных исследований по применению УФ излучения для обработки семян перед проращиванием установлено, что для производства следует рекомендовать режим с удельной мощностью УФ облучения  $4,5 \text{ Вт}/\text{м}^2$  и минимальной продолжительностью УФ облучения 30 с;
- 2) удельные затраты УФ энергии при этом режиме составляют  $135 \text{ Дж}/\text{м}^2$ ;
- 3) реализация данных рекомендаций позволит увеличить длину ростка сои при проращивании на витаминный корм.

#### Библиография

1. Походня Г.С. Свиноводство и технология производства свинины: Сборник трудов научной школы профессора Г.С. Походни (Специальный выпуск № 2: Использование проращенного зерна в рационах свиней) Под общей редакцией Г.С. Походни. – Белгород : издательство БелГСХА, 2009. 68 с.
2. Свиноводство и технология производства свинины: учебник / А.Ф. Пономарев [и др.]. Белгород : изд-во «Крестьянское дело», 2001. 492 с.
3. Вендин С.В., Саенко Ю.В. Проращивание семян ячменя на витаминный корм свиноматкам и пороссятам-отъемышам // Кормопроизводство. 2011. № 11. С. 42-44.
4. Конвейерная установка для проращивания зерна: пат. 2698138 Рос. Федерация 2018145178 / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, Г.С. Походня, В.Ю. Страхов.; заявл. 18.12.2018; опубл. 22.08.2019, Бюл. №24. 9 с.

5. Юдаев И.В. Выращивание листового салата в светодиодной облучательной камере // Сельский механизатор. 2017. № 1. С. 20-21.
6. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Страхов В.Ю. Результаты экспериментальных исследований по оценке эффективности применения УФ облучения, СВЧ обработки и искусственного освещения при проращивании зерна пшеницы и ячменя на витаминный корм // Вестник аграрной науки Дона. 2019. № 2. С. 42-50.
7. Кондратьева Н.П., Краснолуцкая М.Г. Ильясов И.Р. Результаты опытов по влиянию УФ облучения на семена, из которых выращивается зеленый корм на гидропонике // Агротехника и энергообеспечение. 2016. № 4-2 (13). С. 6-14.
8. Сафаралихонов А.Б., Акназаров О.А. Влияние предпосевного УФ-облучения семян пшеницы на её рост, продуктивность и активность эндогенных регуляторов роста растений // Доклады академии наук республики Таджикистан. Физиология растений Том 54. 2011. № 8. С. 666-671.
9. Рогожин Ю.В., Рогожин В.В. Технология предпосевного УФ-облучения зерна пшеницы // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2013. № 6. С. 9-14.
10. Устройство для ультрафиолетовой обработки зерна перед проращиванием: пат. 2728184 Рос. Федерация 2019131990 / С.В. Вендин, Ю.В. Саенко, Г.С. Походня, А.Н. Макаренко, В.Ю. Страхов.; заявл. 09.10.2019; опубл. 28.07.2020, Бюл. № 22. 6 с.

#### References

1. Pohodnya G.S. Svinovodstvo i tekhnologiya proizvodstva svininy [Pig breeding and pork production technology]: Sbornik trudov nauchnoj shkoly professora G.S. Pohodni (Special'nyj vypusk № 2: Ispol'zovanie prorashchenogo zerna v racionah svinej) Pod obshchej redakciej G.S. Pohodni. – Belgorod : izdatel'stvo BelGSKHA, 2009. 68 s.
2. Svinovodstvo i tekhnologiya proizvodstva svininy: uchebnyk [Pig breeding and pork production technology] / A.F. Ponomarev [i dr.]. Belgorod : Izd-vo «Krest'yanskoe delo», 2001. 492 s.
3. Vendin S.V., Saenko Y.V. Prorashchivanie semyan yachmenya na vitaminnyj korm svinomatkam i porosyatam ot'emysham [Germination of barley seeds for vitamin feed for sows and wean pigs] // Kormoproizvodstvo. 2011. № 11. S. 42-44.
4. Konvejernaya ustanovka dlya prorashchivaniya zerna [Conveyor system for grain germination]: pat. 2698138 Ros. Federaciya 2018145178 / S.V. Vendin, Y.V. Saenko, G.S. Pohodnya, V.Y. Strahov.; yayavl. 18.12.2018; opubl. 22.08.2019, Byul. № 24. 9 s.
5. Ydaev I.V. Vyrashchivanie listovogo salata v svetodiodnoj obluchatel'noj kamere [Growing lettuce in an led irradiation chamber] // Sel'skij mekhanizator 2017. № 1. S. 20-21.
6. Vendin S.V., Saenko Y.V., Strahov V.Y. Rezul'taty eksperimental'nyh issledovaniy po ocenke effektivnosti primeneniya UF oblucheniya, SVCH obrabotki i iskusstvennogo osveshcheniya pri prorashchivanii zerna pshenicy i yachmenya na vitaminnyj korm [Results of experimental studies to evaluate the effectiveness of UV irradiation, microwave treatment and artificial lighting in the germination of wheat and barley grains for vitamin feed] // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2019. № 2. S. 42-50.
7. Kondrat'eva N.P., Krasnoluckaya M.G. Il'yasov I.R. Rezul'taty opytov po vliyaniyu UF oblucheniya na semena, iz kotoryh vyrashchivaetsya zelenyj korm na gidroponike [Results of experiments on the effect of UV radiation on seeds from which green food is grown on hydroponics] // Agrotekhnika i energoobespechenie. 2016. № 4-2 (13). S. 6-14.
8. Safaralixonov A.B., Aknazarov O.A. Vliyanie predposevnogo UF-oblucheniya semyan pshenicy na eyo rost, produktivnost' i aktivnost' endogennyh regulyatorov rosta rastenij [Effect of pre-sowing UV irradiation of wheat seeds on its growth, productivity and activity of endogenous plant growth regulators] // Doklady akademii nauk respublik Tadjikistan. Fiziologiya rastenij Tom 54. 2011. № 8. S. 666-671.
9. Rogozhin Y.V., Rogozhin V.V. Tekhnologiya predposevnogo UF-oblucheniya zerna pshenicy [Technology of pre-sowing UV irradiation of wheat grain] // Vestnik Altajskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2013. № 6. S. 9-14.
10. Ustrojstvo dlya ul'trafiol'etovoj obrabotki zerna pered prorashchivaniem [Device for UV treatment of grain prior to sprouting]: pat. 2728184 Ros. Federaciya 2019131990 / S.V. Vendin, Y.V. Saenko, G.S. Pohodnya, A.N. Makarenko, V.Y. Strahov.; yayavl. 09.10.2019; opubl. 28.07.2020, Byul. № 22. 6 s.

#### Сведения об авторах

Страхов Владимир Юрьевич, преподаватель 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 39-11-36, e-mail: strakhov.94@list.ru

Вендин Сергей Владимирович, доктор технических наук, 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 39-11-36, e-mail: elapik@mail.ru

#### Information about authors

Strakhov Vladimir Yuryevich, teacher, department of electrical equipment and electrotechnology in agro-Industrial complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, p. Maysky, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-12-80, e-mail: strakhov.94@list.ru

Vendin Sergey Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the department of electrical equipment and electrotechnologies in agroindustrial complex, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maysky settlement, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-11-36, e-mail: elapik@mail.ru

УДК 629.054

*Е.П. Тимашов*

## АЛГОРИТМЫ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ РЕГИСТРАТОРА НЕИСПРАВНОСТИ ТРАНСМИССИИ

**Аннотация.** В статье обосновано применение автоматической диагностики для узлов и агрегатов механических трансмиссий транспортных и технологических машин в сельском хозяйстве. Технология контроля механических трансмиссий на основе цифровой термодиагностики обеспечит непрерывную диагностику в автоматическом режиме. Теоретическая основа технологии заключается в контроле диагностической температуры, вычислении температуры в зоне трения через коэффициент пропорциональности конечно-элементной модели и сравнении текущей температуры и скорости изменения температуры с предельными значениями. Практическая часть технологии основана на применении технических средств – датчиков температуры и электронных блоков автоматического контроля и сигнализации. Разработанное устройство содержит плату с микроконтроллером ATmega328, аналогово-цифровыми преобразователями, а также датчики температуры серии TMP35-37 с линейной зависимостью формируемого сигнала от измеряемой температуры. В статье представлены четыре алгоритма, самый простой из которых реализует только одну функцию – диагностирование по предельному значению диагностической температуры. Наиболее развитый алгоритм позволяет производить диагностирование по предельной температуре в зоне трения 215...250°C на основе коэффициента пропорциональности, по предельной скорости изменения температуры на основе многократных измерений в соответствии с заданными временными интервалами. Алгоритм позволяет учесть влияние температуры окружающей среды через вычисления с учетом дополнительного датчика температуры воздуха. По наиболее развитому алгоритму была написана компьютерная программа и апробирована в изготовленной конструкции цифрового регистратора неисправности трансмиссии.

**Ключевые слова:** алгоритм, микроконтроллер, термодиагностика, трансмиссия.

## ALGORITHMS FOR THE OPERATION OF THE TRANSMISSION FAULT RECORDER

**Abstract.** The article substantiates the use of automatic diagnostics for components and assemblies of mechanical transmissions of transport and technological machines in agriculture. The technology of control of mechanical transmissions based on digital thermal diagnostics will provide continuous diagnostics in automatic mode. The theoretical basis of the technology consists in monitoring the diagnostic temperature, calculating the temperature in the friction zone through the proportionality coefficient of the finite element model and comparing the current temperature and the rate of temperature change with the limit values. The practical part of the technology is based on the use of technical means – temperature sensors and electronic units of automatic control and alarm. The developed device contains a board with an ATmega328 microcontroller, analog-to-digital converters, as well as temperature sensors of the TMP35-37 series with a linear dependence of the generated signal on the measured temperature. The article presents four algorithms, the simplest of which implements only one function – diagnosis by the limit value of the diagnostic temperature. The most advanced algorithm makes it possible to diagnose by the maximum temperature in the friction zone of 215...250°C based on the proportionality coefficient, by the maximum rate of temperature change based on multiple measurements in accordance with specified time intervals. The algorithm allows you to take into account the influence of ambient temperature through calculations taking into account an additional air temperature sensor. According to the most advanced algorithm, a computer program was written and tested in the manufactured design of the digital transmission fault recorder.

**Keywords:** algorithm, microcontroller, thermal diagnostics, transmission.

**Введение.** Текущий уровень развития микропроцессорных систем создает предпосылки для их внедрения в самые разнообразные технические системы. Особое значение приобретают такие системы для технической диагностики [1-9]. Электронные системы управления двигателем начали серийно применять в 80-х годах прошлого века. Алгоритм работы применяемых микропроцессоров заключался в управлении подачей топливовоздушной смеси на основе данных, получаемых от нескольких датчиков. Со временем технология развивалась, и с целью увеличения мощности, снижения расхода топлива и количества вредных выбросов, возникала необходимость контролирования большего количества параметров автомобиля. Таким образом, электронная система управления двигателем фактически выполняет функции технического диагностирования. Современные автомобили, тракторы, самоходные сельскохозяйственные машины снабжены встроенными диагностическими системами для

контроля технического состояния двигателя, электрооборудования, автоматической трансмиссии, с целью повышения надежности этих систем и агрегатов [10-15]. Однако общий уровень надежности обеспечивается не только указанными элементами машин, но и надежностью остальных агрегатов, включая агрегаты и узлы механических трансмиссий [16, 17].

**Материал и методы.** Разработанная технология контроля механических трансмиссий на основе цифровой термодиагностики обеспечит непрерывную диагностику в автоматическом режиме [18]. Теоретическая основа технологии заключается в контроле диагностической температуры, вычислении температуры в зоне трения через коэффициент пропорциональности конечно-элементной модели и сравнении текущей температуры и скорости изменения температуры с предельными значениями [19, 20]. Практическая часть технологии основана на применении технических средств – датчиков температуры и электронных блоков автоматического контроля и сигнализации.

В ходе исследований были разработаны конструкции аналогового и цифрового регистратора неисправности трансмиссии на основе микроконтроллера ATmega328 и температурного датчика TMP36, работающего в диапазоне от -40°C до +125°C. Технические характеристики этого оборудования без доработки позволяют производить непрерывную автоматическую диагностику до 8 узлов трансмиссии одновременно. Как видно, аппаратная часть цифрового регистратора неисправности трансмиссии предоставляет широкие возможности для реализации технологии цифровой термодиагностики элементов механических трансмиссий.

**Цель исследования** заключается в разработке научно-методических рекомендаций для написания программного обеспечения на основе разработки алгоритмов, наиболее эффективно реализующих возможности аппаратной части цифрового регистратора неисправности трансмиссии.

**Результаты исследования и обсуждения.** Функционирование регистратора неисправности трансмиссии основано на получении информации от датчиков температуры. Такие датчики, как контактные, так и бесконтактные, формируют аналоговый сигнал, не пригодный для работы, поэтому плата регистратора содержит аналого-цифровые преобразователи (АЦП), формирующие уже цифровой сигнал, на основе программного кода, то есть АЦП необходимо программно настроить для работы с каждым датчиком. Различные датчики температуры могут иметь, как пропорциональную зависимость электрических параметров от температуры, так и нелинейную. Например, на рисунке 1 представлен фрагмент из технического описания датчиков серии TMP 35-37 компании Analog Devices, Inc.

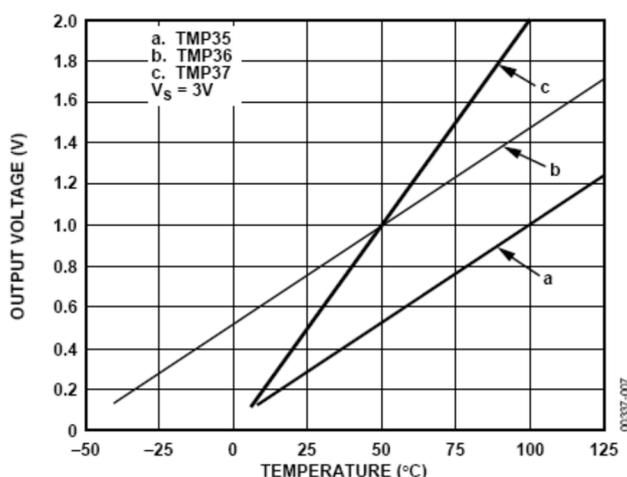
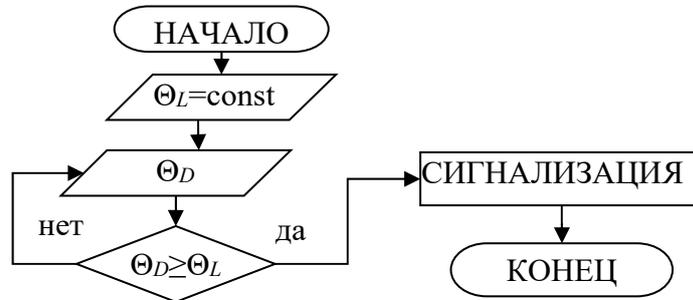


Рис. 1 – Фрагмент из технического описания датчиков серии TMP 35-37 компании Analog Devices, Inc

Как видно из представленного графика, датчики обеспечивают линейную зависимость между измеренной температурой и выходным напряжением. Для программирования микроконтроллера достаточно написать несколько строк программного кода, преобразующего через математические уравнения величину электрического напряжения в температуру. Это от-

носится и к датчикам, имеющим нелинейную зависимость, и их можно применять, основываясь на техническом описании. Даже в случае отсутствия технического описания существует возможность при программировании микроконтроллера произвести тарировку каждого датчика. С целью упрощения представления разработанных алгоритмов пересчет электрических параметров датчиков в температуру в них представлен не будет.

Простейший алгоритм работы цифрового регистратора неисправности трансмиссии представлен на рисунке 2.

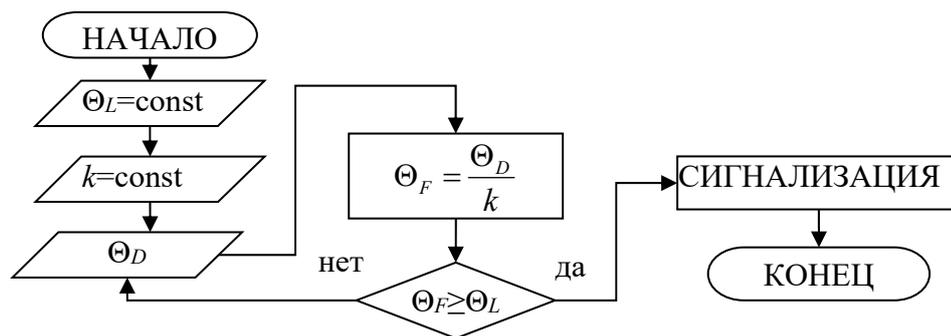


$\Theta_L$  – предельное значение температуры, °С;  $\Theta_D$  – текущее значение диагностической температуры, °С

Рис. 2 – Простейший алгоритм работы цифрового регистратора неисправности трансмиссии

Цифровой регистратор неисправности трансмиссии на основе представленного алгоритма работает следующим образом. Задается величина предельной температуры  $\Theta_L$ , после этого принимается значение текущей температуры  $\Theta_D$ , затем производится их сравнение. Если текущая температура больше или равна предельной, то включается сигнализация, иначе снова принимается значение текущей температуры от датчика и цикл повторяется непрерывно.

Принципиальным недостатком простейшего алгоритма является невозможность контроля температуры в зоне трения элемента трансмиссии  $\Theta_F$ . Проблема заключается в невозможности непосредственного измерения температуры в зоне трения и установке датчика на поверхности узла трансмиссии. Решение проблемы возможно на основе системного подхода, позволяющего рассчитать коэффициент пропорциональности  $k$ , показывающий зависимость между  $\Theta_D$  и  $\Theta_F$ . В этом случае регистратор будет вычислять теоретическое значение температуры в зоне трения, и сравнивать его с предельным значением в 215...250°С (рисунок 3).

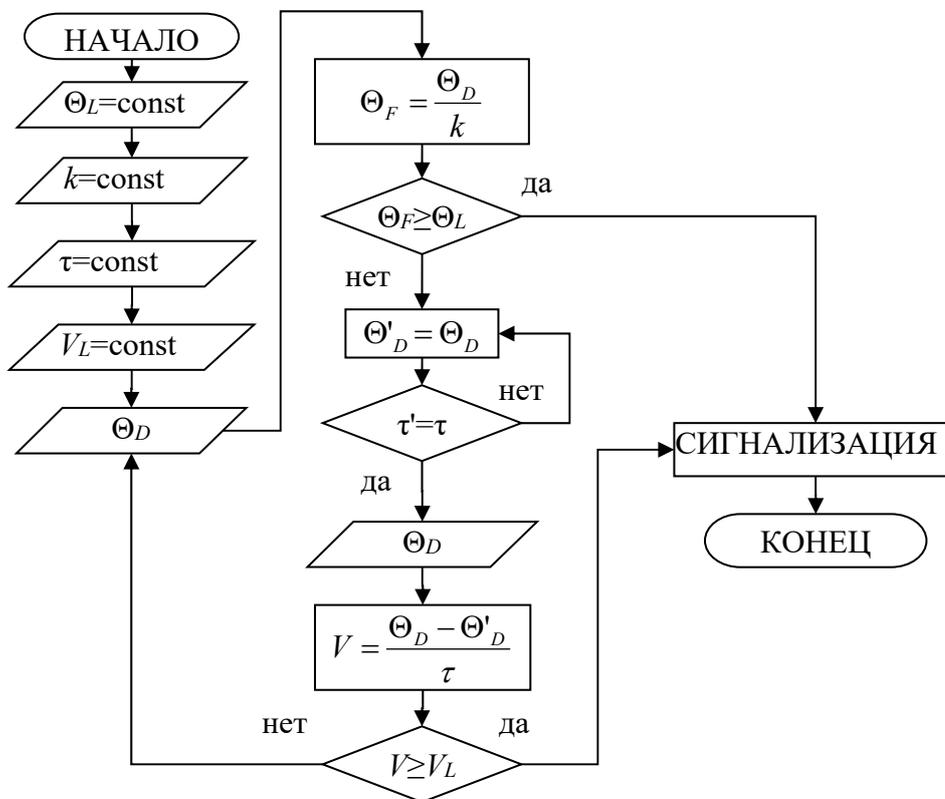


$\Theta_F$  – температура в зоне трения, °С;  $k$  – коэффициент пропорциональности

Рис. 3 – Алгоритм работы цифрового регистратора неисправности трансмиссии с коэффициентом пропорциональности

При реализации представленного алгоритма задаются величины предельной температуры  $\Theta_L$  и коэффициента пропорциональности  $k$ . На основе значения текущей диагностической температуры  $\Theta_D$  вычисляется значение температуры в зоне трения  $\Theta_F$ , и уже это значение сравнивается с предельной температурой  $\Theta_L$ . Если текущая температура больше или равна предельной, то включается сигнализация.

В результате стендовых испытаний установлено, что часто узел трансмиссии выходит в предельное состояние, не достигнув предельной температуры в зоне трения, а диагностическим критерием в этом случае можно считать увеличение скорости роста температуры. Для реализации такой функции алгоритм необходимо дополнить расчетом скорости роста температуры на основе измерения промежутков времени (рисунок 4).

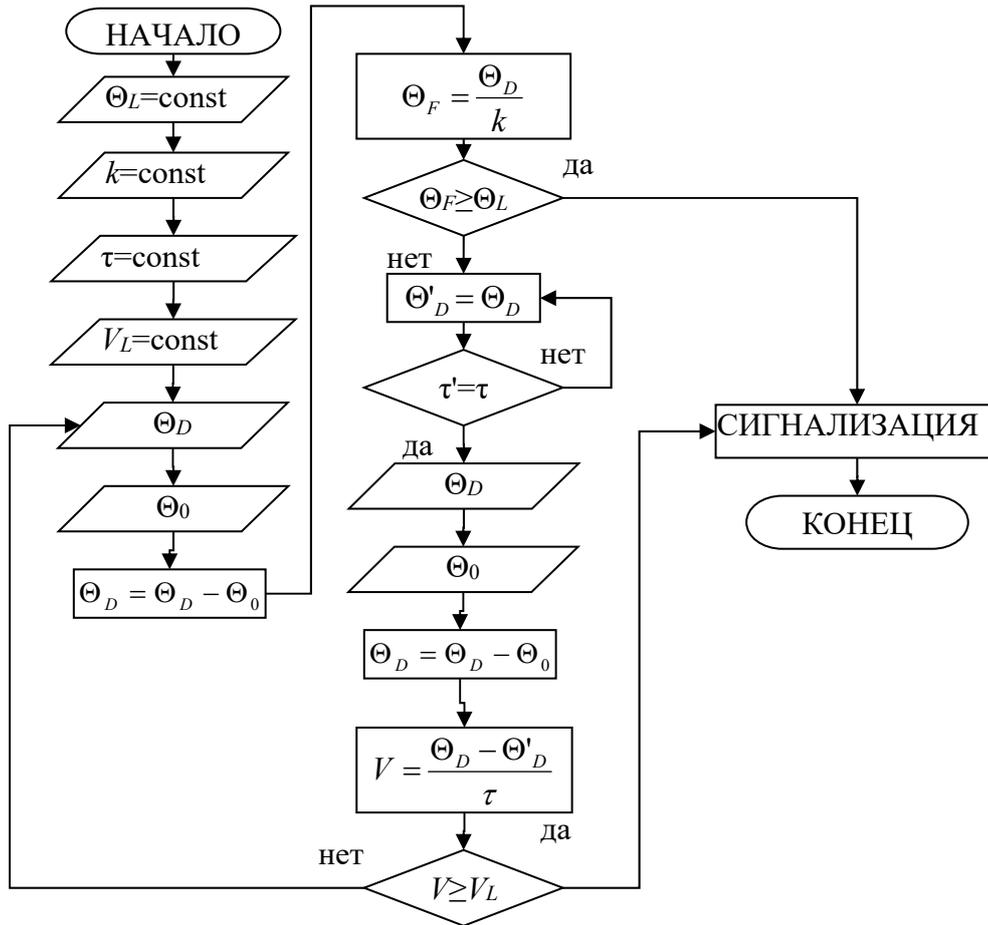


$\tau$  – интервал измерения времени, мин;  $V_L$  – предельная скорость роста температуры, °C/мин;  
 $\tau$  – текущее значение времени, мин

**Рис. 4 – Алгоритм работы цифрового регистратора неисправности трансмиссии с измерением скорости роста температуры**

Для этого алгоритма дополнительно задаются величины предельной скорости роста температуры  $V_L$  и интервала измерения времени  $\tau$ . На основе значения текущей диагностической температуры  $\Theta_D$  вычисляется значение температуры в зоне трения  $\Theta_F$ , и уже это значение сравнивается с предельной температурой  $\Theta_L$ . Если текущая температура больше или равна предельной, то включается сигнализация. В противном случае переменной  $\Theta'_D$  присваивается значение диагностической температуры  $\Theta_D$  и выполнение алгоритма ставится на паузу, продолжительность которой соответствует интервалу измерения времени  $\tau$ , после паузы запрашивается новое значение  $\Theta_D$  и вычисляется скорость изменения температуры  $V$ . Полученная скорость сравнивается с предельной, и если значение больше или равно, то включается сигнализация, в противном случае производится очередное измерение текущей диагностической температуры и цикл повторяется.

Во всех представленных алгоритмах не учитывается фактор внешней среды – температура окружающего воздуха. Этот фактор можно учесть, используя информацию от дополнительного датчика температуры окружающего воздуха. Дополненный алгоритм представлен на рисунке 5.

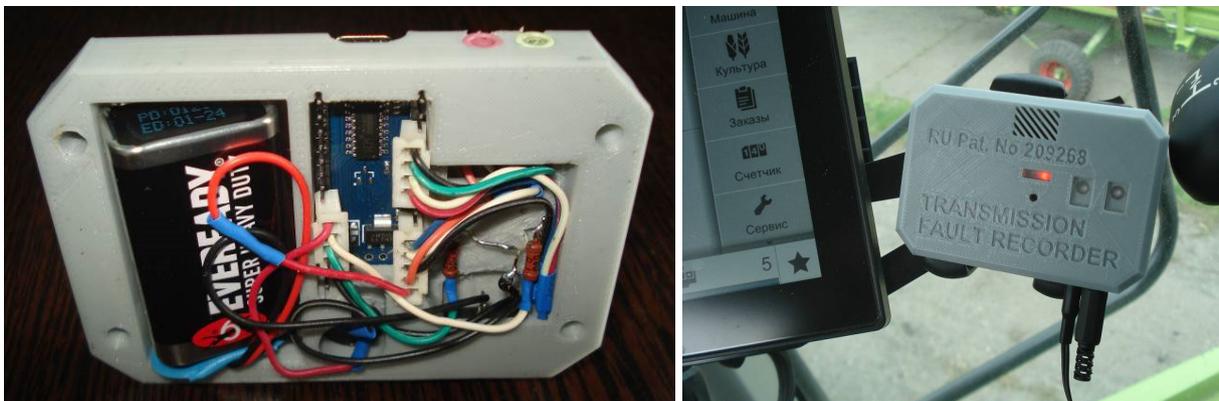


$\Theta_0$  – температура окружающего воздуха, °С

Рис. 5 – Алгоритм работы цифрового регистратора неисправности трансмиссии с учетом температуры окружающего воздуха

В алгоритме на рисунке 5 запрос температуры окружающего воздуха и корректировка диагностической температуры предусмотрены перед проверкой на превышение предельной температуры и перед проверкой на превышение предельной скорости.

По наиболее развитому алгоритму (рисунок 5) была написана компьютерная программа и загружена в память микроконтроллера цифрового регистратора неисправности трансмиссии, общий вид которого и устройство представлены на рисунке 6.



а) общий вид

б) регистратор в кабине зерноуборочного комбайна

Рис. 6 – Цифровой регистратор неисправности трансмиссии

Задачей дальнейших исследований является развитие алгоритма и написание компьютерной программы для многоканального регистратора неисправности трансмиссии, позволяющего производить диагностику нескольких узлов трансмиссии одновременно.

### Выводы

1. Разработаны научно-методические рекомендации для написания программного обеспечения на основе алгоритмов, наиболее эффективно реализующих возможности аппаратной части цифрового регистратора неисправности трансмиссии.

2. Для микроконтроллера ATmega328 и датчиков температуры TMP36 разработаны четыре алгоритма, наиболее развитый из которых позволяет производить диагностику с учетом температуры в зоне трения, температуры окружающей среды и скорости изменения температуры.

3. По наиболее развитому алгоритму была написана компьютерная программа и апробирована в изготовленной конструкции цифрового регистратора неисправности трансмиссии.

### Библиография

1. Ерохин М.Н., Пастухов А.Г. Надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники в эксплуатации : монография. – Белгород : Изд-во БелГСХА, 2008 – 160 с.
2. Пастухов А.Г. Повышение надежности агрегатов механических трансмиссий сельскохозяйственной техники (на примере карданных передач) // Труды ГОСНИТИ. 2008. Т. 101. С. 60-63.
3. Пастухов А.Г. Повышение долговечности карданных шарниров // Механизация и электрификация сельского хозяйства. 2007. № 4. С. 24-25.
4. Пастухов А.Г. Обеспечение эффективной эксплуатации грузовых автомобилей путем повышения надежности карданных передач // Вестник Орловского государственного аграрного университета. 2010. № 1 (22). С. 13-19.
5. 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/
6. Gligorić R., Ašonja A., Пастухов А., Kuznetsov Y., Degtyarev M., Molnar T. Measuring of reliability of cardan shaft // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1 (1). С. 368-374.
7. Erokhin, M.N. Analysis of wear of the cardan cross the joints John Deere tractor / M.N. Erokhin, A.G. Pastukhov, E.P. Timashov // Traktori i pogonske mašine. – 2016. – Vol. 21. – № 1. – P. 24-29.
8. Ерохин, М.Н. Оценка износа крестовин шарниров типа CR115, применяемых в тракторах JOHN DEERE / М.Н. Ерохин, А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов // Труды ГОСНИТИ. – 2017. – Т. 126. – С. 14-21.
9. Assessment of operability of compressor crankshaft / A. Pastukhov, A. Kolesnikov, D. Bakharev, I. Be-rezhnaya // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23-25 мая 2018 года. – Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 850-855. – DOI 10.22616/ERDev2018.17.N164.
10. 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.
11. Gabitov I.I., Insafuddinov S.Z., Kharisov D.D. [et al.] Diagnostics and regulation of fuel equipment of diesels on stands with injection to medium with counter-pressure // Journal of Engineering and Applied Sciences. – 2018. – Vol. 13. – № S11. – P. 8782-8788. – DOI 10.3923/jeasci.2018.8782.8788.
12. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A.G., Chayka Ye.A. [et al.] Methodology for Assessing the Efficiency of Measures for the Operational Management of the Technical Systems' Reliability // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021»: Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Rostov-on-Don. 2022. – P. 13-20.
13. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A., Zhurba V.V. [et al.]. Operational Management of Reliability of Technical Systems in the Agro-Industrial Complex // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021»: Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Rostov-on-Don. 2022. – P. 79-87.
14. Voronin V.V. Theoretical principles for the diagnostic support development for transport and technological machines. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 913(4), 042055.
15. Karagodin V.I., Khapugin R.A. Rationale and frequency of the diagnosis of component parts of tractors Belarus in the development of technology maintenance. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 832(1), 012005.
16. Пат. № 2205377 С1 Стенд для испытания карданных передач. Российская Федерация, МПК G01M 13/02. А.Г. Пастухов, Е.П. Тимашов, А.И. Кошелев, заявитель и патентообладатель Белгородская государственная сельскохозяйственная академия : № 2002112352/28 : заявл. 07.05.2002 : опубл. 27.05.2003.
17. Krol O., Sokolov V. Research of modified gear drive for multioperational machine with increased load capacity. Diagnostyka, 2020, 21(3), p. 87-93.

18. Adaptivity of thermal diagnostics method of mechanical transmission assemblies / A. Pastukhov, E. Timashov, I.N. Kravchenko, T. Parnikova // Engineering for Rural Development : 19, Jelgava, 20-22 мая 2020 года. – Jelgava, 2020. – P. 107-113. – DOI 10.22616/ERDev2020.19.TF024.
19. Jakubek B., Barczewski R., Rukat W., Rozanski L., Wróbel M. Stabilization of vibro-thermal processes during post-production testing of rolling bearings. *Diagnostyka*, 2019, 20(3), p. 53-62.
20. Peretiaka N., Boryak K., Vatenko O. Improving the thermal method for assessing the technical condition of rolling bearings based on the heating rate criterion. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 2020, 5/1(107), p. 118-126.

### References

1. Yerokhin M.N., Pastukhov A.G. Nadezhnost' kardanny'x peredach transmissij sel'skoxozyajstvennoj texniki v e'kspluatacii : monografiya. [Reliability of cardan transmissions of agricultural machinery in operation : monograph]. Belgorod : BelSHA Publishing house, 2008 – 160 p.
2. 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; 101: 60-63.
3. Pastukhov A.G. Povy'shenie dolgovechnosti kardanny'x sharnirov [Increase of durability of cardan joints]. *Mexanizaciya i e'lektrifikaciya sel'skogo xozyajstva*, 2007; 4: 24-25.
4. Pastukhov A.G. Obespechenie e'ffektivnoj e'kspluatacii gruzovy'x avtomobilej putem povy'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): 13-19.
5. 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/
6. Gligorić R., Ašonja A., Пастухов А., Кознетсов Я., Дегтярев М., Молнар Т. Measuring of reliability of cardan shaft // *Agrotehnika i energoobespechenie*. 2014. № 1 (1). 368-374.
7. Erokhin, M.N. Analysis of wear of the cardan cross the joints John Deere tractor / M.N. Erokhin, A.G. Pastukhov, E.P. Timashov // *Traktori i pogonske mašine*. – 2016. – Vol. 21. – № 1. – P. 24-29.
8. Yerokhin M.N., Pastukhov A.G., Timashov E.P. Ocenka iznosa krestovin sharnirov tipa CR115, primenyaemyh v traktorah JOHN DEERE [Assessment of wear of the CR 115 type hinge crosspieces used in JOHN DEERE tractors]. *Trudy GOSNITI*, 2017. 126: 60-63.
9. Assessment of operability of compressor crankshaft / A. Pastukhov, A. Kolesnikov, D. Bakharev, I. Be-rezhnaya // Engineering for Rural Development : Proceedings, Jelgava, 23-25 мая 2018 года. – Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2018. – P. 850-855. – DOI 10.22616/ERDev2018.17.N164.
10. 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.
11. Gabitov I.I., Insafuddinov S.Z., Kharisov D.D. [et al.] Diagnostics and regulation of fuel equipment of diesels on stands with injection to medium with counter-pressure // *Journal of Engineering and Applied Sciences*. – 2018. – Vol. 13. – № S11. – P. 8782-8788. – DOI 10.3923/jeasci.2018.8782.8788.
12. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A.G., Chayka Ye.A. [et al.] Methodology for Assessing the Efficiency of Measures for the Operational Management of the Technical Systems' Reliability // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021»: Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Rostov-on-Don. 2022. – P. 13-20.
13. Lebedev A.T., Arzhenovskiy A., Zhurba V.V. [et al.]. Operational Management of Reliability of Technical Systems in the Agro-Industrial Complex // XIV International Scientific Conference «INTERAGROMASH 2021»: Precision Agriculture and Agricultural Machinery Industry, Rostov-on-Don. 2022. – P. 79-87.
14. Voronin V.V. Theoretical principles for the diagnostic support development for transport and technological machines. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 913(4), 042055.
15. Karagodin V.I., Khapugin R.A. Rationale and frequency of the diagnosis of component parts of tractors Belarus in the development of technology maintenance. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 832(1), 012005.
16. Pat. 2205377 C1. Stend dlya ispytaniya kardannyh peredach [Cardan Test Bench]. Russian Federation, IPC G01M 13/02. Pastuhov A.G., Timashov E.P., Koshelev A.I., Applicant and patent holder Belgorod GAU, №2002112352/28, declared 07/05/2002; publ. 27/05/2003.
17. Krol O., Sokolov V. Research of modified gear drive for multioperational machine with increased load capacity. *Diagnostyka*, 2020, 21(3), p. 87-93.
18. Adaptivity of thermal diagnostics method of mechanical transmission assemblies / A. Pastukhov, E. Timashov, I.N. Kravchenko, T. Parnikova // Engineering for Rural Development : 19, Jelgava, 20-22 мая 2020 года. – Jelgava, 2020. – P. 107-113. – DOI 10.22616/ERDev2020.19.TF024.
19. Jakubek B., Barczewski R., Rukat W., Rozanski L., Wróbel M. Stabilization of vibro-thermal processes during post-production testing of rolling bearings. *Diagnostyka*, 2019, 20(3), p. 53-62.

20. Peretiaka N., Boryak K., Vatrenko O. Improving the thermal method for assessing the technical condition of rolling bearings based on the heating rate criterion. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 5/1(107), p. 118-126.

**Сведения об авторе**

Тимашов Евгений Петрович, 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: timachov@mail.ru

**Information about author**

Timashov Evgeny Petrovich, candidate 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 631.33.024.2

*В.Л. Фадеев, Н.Г. Касимов, П.В. Дородов, А.Г. Иванов, С.Е. Неустроева*

## РАЗРАБОТКА ФУНКЦИОНАЛЬНО-МОРФОЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ СОШНИКА ДЛЯ ВЫСАДКИ РАССАДЫ ОВОЩНЫХ КУЛЬТУР

**Аннотация.** Овощные культуры являются важной частью рациона людей, основой здорового и продуктивного питания. Выращивание овощных культур обеспечивает продовольственную безопасность страны. Мероприятия, направленные на повышение эффективности процесса возделывания овощных культур, снижения потерь урожая еще на стадии проектирования сельскохозяйственной техники являются актуальными. Предлагается модернизация сошника для высадки рассады овощей на основе функционального моделирования. Рассмотрена методика разработки функционально-морфологической модели сошника для высадки рассады овощных культур. Функционально-морфологический анализ является элементом системного подхода к проектированию и развитию техники. На первом этапе строится функциональная модель устройства. Представлен анализ функций сошника для высадки рассады овощных культур, показаны связи между его элементами. Данная методика направлена на выявление наиболее значимых функций сошника и их иерархию по степени значимости. На втором этапе строится морфологическая модель сошника, показывающая строение и конструктивные особенности устройства. На третьем этапе формируется обобщенная функционально-морфологическая модель сошника, необходимая для проектирования рациональной схемы конструкции сошника. С этой целью проводится анализ структурных элементов устройства с соотнесением им выполняемых функций. Такой подход позволяет выявить элементы, которые могут оказаться лишними, так как не выполняют основные функции сошника. С другой стороны, могут быть выявлены переусложненные структурные элементы, несущие слишком много значимых и взаимоисключающих функций. В ходе исследования при помощи альтернативных структурных элементов определены варианты сочетаний в морфологической матрице решений. Критический анализ матрицы решений позволил выявить рациональный вариант схемы сошника для высадки рассады овощных культур.

**Ключевые слова:** рассада, овощи, структура, матрица, сошник, функция, матрица решений, альтернатива, морфологическая модель.

## DEVELOPMENT OF A FUNCTIONAL AND MORPHOLOGICAL MODEL OF A COULTER FOR PLANTING SEEDLINGS OF VEGETABLE CROPS

**Abstract.** Vegetable crops are an important part of people's diet, the basis of a healthy and productive diet. The cultivation of vegetable crops ensures the food security of the country. Measures aimed at improving the efficiency of the process of cultivating vegetable crops, reducing crop losses at the design stage of agricultural machinery are relevant. It is proposed to modernize the coulters for planting vegetable seedlings based on functional modeling. The method of developing a functional and morphological model of a coulters for planting seedlings of vegetable crops is considered. Functional-morphological analysis is an element of a systematic approach to the design and development of technology. At the first stage, a functional model of the device is being built. The analysis of the functions of a coulters for planting seedlings of vegetable crops is presented, the connections between its elements are shown. This technique is aimed at identifying the most significant functions of the coulters and their hierarchy by degree of significance. At the second stage, a morphological model of the coulters is constructed, showing the structure and structural features of the device. At the third stage, a generalized functional-morphological model of the coulters is formed, which is necessary for designing a rational scheme of the coulters design. For this purpose, the analysis of the structural elements of the device is carried out with the correlation of the functions performed by them. This approach allows you to identify elements that may be superfluous, since they do not perform the main functions of the coulters. On the other hand, overcomplicated structural elements carrying too many significant and mutually exclusive functions may be identified. In the course of the study, with the help of alternative structural elements, variants of combinations in the morphological matrix of solutions were determined. A critical analysis of the decision matrix revealed a rational variant of the coulters scheme for planting seedlings of vegetable crops.

**Keywords:** seedlings, vegetables, structure, matrix, coulters, function, solution matrix, alternative, morphological model.

**Введение.** Овощи – один из важнейших продуктов питания. Согласно современным представлениям о здоровом питании [1], рацион человека должен состоять на 65% из продуктов растительного происхождения – фруктов и овощей. В структуре овощей, в свою очередь, значительную часть составляет капуста (30%).

Несмотря на большое разнообразие овощей, одной из основных культур, способной удовлетворить потребности человека, является капуста. Известно, что данная культура бога-

та пищевыми волокнами, макро- и микроэлементами, витаминами и антиоксидантами. Регулярное употребление в пищу капусты улучшает работу пищеварительной, сердечно-сосудистой и эндокринной систем, обеспечивает профилактику злокачественных новообразований.

Однако, объемы производства капусты в России значительно меньше, чем объемы ее потребления. Для устранения дефицита капусты на внутреннем рынке ее завозят из-за рубежа. На рисунке 1 представлен объем ввозимой капусты в Россию.

По отношению к январю-сентябрю 2020 года, поставки сократились на 15,9% (на 17,2 тыс. тонн) [2]. Несмотря на сокращение поставок в 2021 году по сравнению с 2020 годом, объем импорта остается достаточно высоким.

В январе-сентябре 2021 года капусту в Россию поставляли главным образом такие страны, как Китай (29,3% от общего объема поставок), Узбекистан (23,7%), Иран (22,7%), Казахстан (9,4%), Беларусь (6,3%) [2].

Аналогичная ситуация по производству овощей, в том числе капусты, складывается и в Удмуртской Республике. Выращиванием овощей в основном занимаются хозяйства Мало-пургинского, Можгинского, Шарканского, Увинского районов. Статистические данные за 2020 год показывают, что в республику ввезено 58,8 тыс. тонн овощей из других регионов России, в том числе и из-за рубежа. Потребление овощей составило 138,6 тыс. тонн. Чтобы обеспечить потребности населения в овощах республика вынуждена ввозить более 42% овощей [3]. Проведенные исследования показывают, что выращивать капусту в открытом грунте возможно практически на всей территории Удмуртской Республики [4].

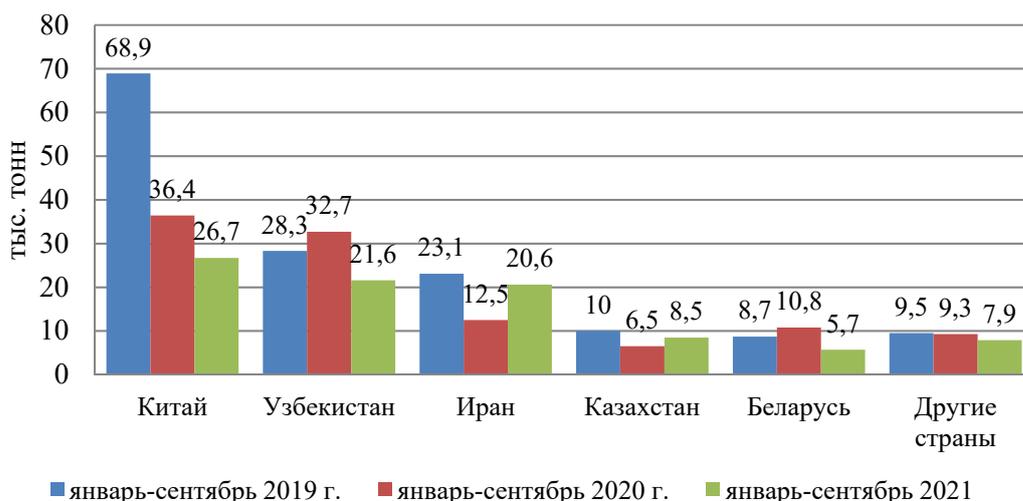


Рис. 1 – Объем поставок капусты в РФ по странам происхождения в январе-сентябре в 2019-2021 гг.

Импорт капусты всех видов в РФ в январе-сентябре 2021 года составил 90,9 тыс. тонн.

В настоящее время согласно Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации пороговые значения самообеспечения объема отечественного производства овощей и бахчевых к объему их внутреннего потребления составляют не менее 90% [5]. Следовательно, в целях обеспечения продовольственной безопасности и с учетом сложившейся геополитической ситуации вокруг Российской Федерации, возникла острая необходимость наращивания объемов производства овощей, в частности капусты на территории страны. Решение данного вопроса возможно за счет устранения негативных факторов, мешающих организации производства, а именно, уменьшения ручного труда, повышения механизации и автоматизации всех циклов производства, начиная от посадки рассады и заканчивая глубокой переработкой.

Технологический процесс выращивания капусты напрямую связан с посадкой рассады. От соблюдения агротехнических сроков и качества высадки рассады зависит будущий урожай. Процесс высадки достаточно трудоемкий. Анализ машинно-тракторного парка, применяемого в настоящее время при посадке капусты (белокачанной), производителей

сельскохозяйственной продукции в Удмуртской Республике показывает, что на сегодняшний день в большинстве хозяйств сложилась следующая удручающая ситуация [6, 7]:

- техника устарела морально и физически;
- высокая стоимость новой техники иностранного производства;
- сложности в доставке зарубежной техники и запасных частей к ней;
- обслуживающий персонал для иностранных машин необходимо заказывать или обучать из специализированных центров;
- присутствует большой процент использования ручного труда, даже в крупных хозяйствах;
- сложная политическая ситуация вокруг России, введение санкций западными странами на поставки запасных частей и расходных материалов для уже имеющихся в хозяйствах рассадопосадочных машин, ставит под угрозу качественное и своевременное выполнение операции по посадке рассады.

Применение существующих отечественных рассадопосадочных машин сдерживается по ряду причин: несовершенство их конструкции, низкое качество посадки рассады, высокая трудоемкость операций по высадке рассады, низкая производительность. С целью устранения указанных недостатков в Ижевской государственной сельскохозяйственной академии разработана машина для посадки рассады с применением распределительно-высаживающего аппарата [8, 9]. Учеными Ижевской ГСХА выполнены теоретические исследования процесса взаимодействия рассады с распределительно-высаживающим аппаратом, определены кинематические параметры и режимы функционирования рассадопосадочного аппарата [7].

Однако, в процессе изучения работы предложенной рассадопосадочной машины были выявлено несовершенство имеющихся сошников рассадопосадочных машин. К таким относятся:

- снижение заглубляющей способности в процессе износа режущей кромки;
- чувствительность к неровностям поля;
- неравномерность заделки рассады в почву;
- требовательность к качеству предпосевной обработки почвы и состоянию полей;
- налипание почвы на рабочие поверхности сошника при повышенной влажности;
- не обеспечивается синхронизация работы рассадопосадочного аппарата и сошниковой группы [10-12].

Вышеперечисленные недостатки конструкции влияют на повышение тягового сопротивления сошников и энергоемкости посадочных агрегатов, расхода топлива и трудоемкости работ, стоимости ремонта и обслуживания сошниковой группы, а также повреждаемости рассады при высадке.

Проведенный анализ и классификация всей существующей совокупности рабочих органов посевных и посадочных машин по основным признакам функционирования позволил выявить достоинства и недостатки, область применения сошников, применяемых в рассадопосадочных машинах [13-15]. Однако такая классификация не раскрывает выполнение основных функций сошников.

Цель исследования: выявление рационального варианта конструктивной схемы сошника для высадки рассады овощных культур на основе анализа основных функций и функциональных связей сошника.

**Материалы и методы.** Воспользуемся известной методикой функционально-морфологического анализа [19-20] для разработки функциональной модели сошника при высадке рассады овощных культур. Анализ функций сошника рассадопосадочной машины и взаимодействие сошника с рассадой позволяет выделить среди них наиболее существенные функции, обеспечивающие высокое качество высадки рассады при высокой производительности машины.

Методика предполагает рассмотрение функций сошника и систематизацию данных функций по степени значимости, а также выявление функций и их взаимосвязь при взаимо-

действию сошника с рассадой, бороздой и высаживающим механизмом. Состав функций приведен в таблице 1.

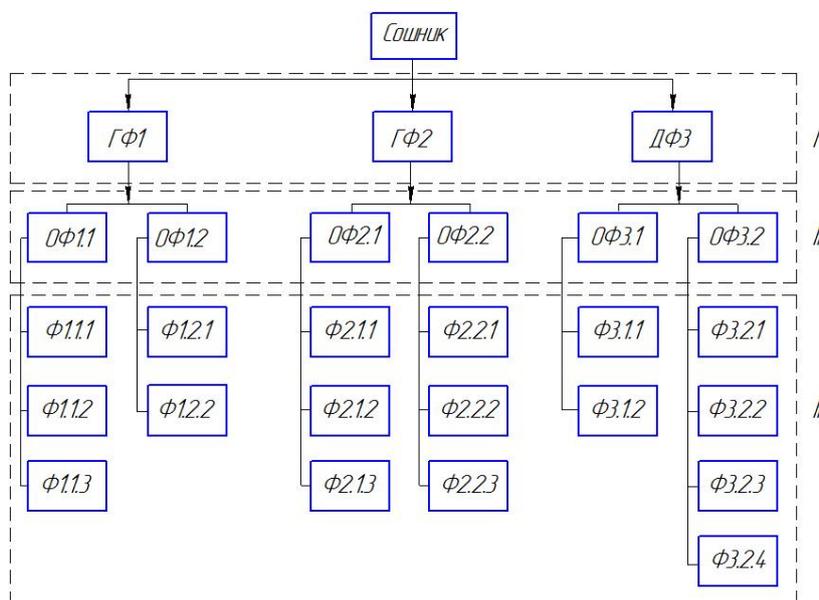
**Таблица 1 – Состав функций сошника рассадопосадочной машины**

Уровень модели	Индекс функции	Содержание функции
I	ГФ1	раскрытие борозды в подготовленной почве
	ГФ2	фиксация рассады в борозде в вертикальном положении
	ДФ3	снижение энерго- и трудозатрат в процессе посадки
II	ОФ1.1	перемещение почвы и образование борозды
	ОФ1.2	подготовка семенного ложа
	ОФ2.1	синхронизация работы высаживающего аппарата и сошника
	ОФ2.2	прикрытие рассады достаточным количеством почвы
	ОФ3.1	снижение удельного сопротивления сошника
	ОФ3.2	увеличение срока службы
III	Ф1.1.1	обеспечение необходимой ширины борозды
	Ф1.1.2	обеспечение необходимой глубины борозды
	Ф1.1.3	равномерность глубины борозды
	Ф1.2.1	обеспечение уплотнения дна борозды
	Ф1.2.2	обеспечение уплотнения стенок борозды (предотвращение осыпания стенок)
	Ф2.1.1	своевременное открытие высаживающего стакана
	Ф2.1.2	обеспечение необходимого времени для освобождения рассады из высаживающего стакана
	Ф2.1.3	полное закрытие высаживающего стакана после освобождения рассады
	Ф2.2.1	оптимальная плотность почвы после прикатывания рассады
	Ф2.2.2	копирование рельефа
	Ф2.2.3	прикатывающие колеса не должны повреждать рассаду
	Ф3.2.1	минимальное количество сопряжений
	Ф3.2.2	обеспечение высокой износостойкости режущей кромки сошника
	Ф3.2.3	возможность обслуживания подшипниковых узлов
Ф3.2.4	уменьшение трудозатрат на обслуживание и ремонт	

Такой подход позволяет выделить наиболее существенные проблемы, решение которых направлено на повышение качества высадки рассады при обеспечении высокой производительности машины.

В представленной таблице 1 функции подразделены на уровни значимости по отношению к выполняемому процессу высадки рассады овощных культур.

Для удобства дальнейшего анализа функции были преобразованы в схему (рисунок 2).



**Рис. 2 – Схема функциональной модели сошника**

Функции, которые выполняет сошник, отличаются по уровням значимости. Первый уровень модели составляют две главные для сошника высаживающих машин функции (ГФ): раскрытие борозды в подготовленной почве и фиксация рассады в борозде в вертикальном положении. Одна дополнительная (ДФ) функция: снижение энерго- и трудозатрат в процессе посадки не является основной, так как она возникает вследствие стабильного развития рыночных отношений. Все главные функции должны выполняться сошником с учетом агротехнических требований.

Следующим (вторым) уровнем функциональной модели является основная функция (ОФ), которая характеризует ряд требований, предъявляемых к рабочему процессу. На втором уровне модели следует отметить следующие основные функции ОФ1.1 и ОФ2.1 – перемещение почвы с образованием борозды и синхронизация работы высаживающего аппарата с сошником. Они должны быть ориентированы на выполнение равнозначно главных функций сошника рассадопосадочной машины ГФ1 и ГФ2.

На третьем уровне значимости располагаются функции (Ф), которые представляют собой подробную дифференциацию основных (ОФ). Функциональная модель сошника позволяет выявить иерархию функций и противоречия между ними. Анализ таблицы 1 и рисунка 2 показывает, что наиболее значимыми функциями сошника являются: Ф1.1.1 – обеспечение необходимой ширины борозды; Ф1.1.2 – обеспечение необходимой глубины борозды. Выполнение сошником данных функций определяет качество выполнения основной функции ОФ1.1, т.е. перемещение почвы с образованием борозды.

Стоит отметить функции Ф2.1.1 – своевременное открытие высаживающего стакана и Ф2.1.2 – обеспечение необходимого времени для перемещения рассады из высаживающего стакана в рассадопровод. Выполнение данных функций должно обеспечивать вертикальную ориентацию рассады в борозде и снижение повреждаемости рассады в процессе посадки. Повреждаемость рассады в процессе высадки напрямую зависит от взаимодействия высаживающего аппарата с сошником. Приживаемость горшечной рассады должна составлять 100%, что непосредственным образом обеспечивает высокую урожайность культуры [14].

**Результаты и обсуждение.** В таблице 2 рассмотрены основные функции сошника и выполняющие эти функции альтернативные структурные элементы. Представленные альтернативные структурные элементы можно использовать при разработке новых конструкций сошников рассадопосадочных машин с присвоением каждому элементу соответствующего условного обозначения [8, 16-18].

Таблица 2 – Альтернативные структурные элементы (обобщенные)

Вариант	1	2	3	Условное обозначение
<b>Функциональная связь</b>				
Характер взаимодействия сошника с почвой	пассивный	реактивный	комбинированный	А
Высота свободного падения рассады в борозду	непосредственно в почву (без падения)	равная или меньшая высоте сошника	больше высоты сошника	В
Наличие взаимосвязи между сошником и моментом подачи рассады высаживающим механизмом	без взаимодействия	механическая связь при достижении ограничительного механизма	электромеханическая связь (датчик положения)	С
Взаимодействие рассады и сошника	не взаимодействует	взаимодействие через рассадопровод	взаимодействие через высаживающий механизм	Д
Перемещение рассады при движении от высаживающего аппарата к сошнику относительно поверхности почвы	вертикальное	вертикальное и горизонтальное	круговое	Е

Анализ перечисленных функциональных связей, представленных в таблице 2, позволил выделить из них наиболее значимые. Выбор этих факторов как основополагающих обосновывается следующими условиями: во-первых, характер взаимодействия сошника с почвой влияет на удельное сопротивление, металлоемкость, стоимость и трудоемкость обслуживания [21-23]; во-вторых, высота свободного падения рассады при высадке непосредственным образом влияет на повреждаемость рассады и наличие (или отсутствие) почвенного прикорневого комка; в-третьих, момент подачи рассады высаживающим механизмом в сошник (рассадопровод) влияет на вертикальную ориентацию рассады относительно почвы после ее высадки, и как следствие, на приживаемость рассады.

Другие факторы, представленные в таблице 2, также воздействуют на процесс высадки рассады, но существенного влияния на приживаемость рассады не оказывают, поэтому в данном исследовании не рассматриваются.

Три основных входа (таблица 3) представляют собой следующие факторы: характер взаимодействия сошника с почвой, высота свободного падения рассады в борозду, наличие взаимосвязи между сошником и моментом подачи рассады высаживающим механизмом.

**Таблица 3 – Альтернативные структурные элементы (усеченные)**

Условное обозначение	Характер взаимодействия сошника с почвой	Условное обозначение	Высота свободного падения рассады в борозду	Условное обозначение	Наличие взаимосвязи между сошником и моментом подачи рассады высаживающим механизмом
A1	пассивный	B1	Непосредственно в почву (без падения)	C1	Без взаимодействия
A2	реактивный	B2	Равная или меньшая высоте сошника	C2	Механическая связь при достижении ограничительного механизма
A3	комбинированный	B3	Больше высоты сошника	C3	Электромеханическая связь (датчик положения)

Используя условные обозначения, были представлены варианты сочетаний структурных элементов в морфологической матрице решений (табл. 4), образующей пространство альтернатив. Среди них отмечаются невозможные решения, применение которых нецелесообразно с точки зрения их эксплуатации и стоимости (отмечены серым цветом), а также перспективные направления развития (выделены рамкой) [8, 16-18].

**Таблица 4 – Морфологическая матрица решений**

	B1			B2			B3		
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A1									
	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3
A2									
	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	A2	C2	C3
A3									
	B1	B1	B1	B2	B2	B2	B3	B3	B3
	C1	C2	C3	C1	C2	C3	C1	C2	C3

Анализ матрицы решений (таблица 4) позволяет сделать следующие выводы. Альтернативными и приемлемыми типами сошников в момент разработки рассадопосадочной машины с распределительно-высаживающим механизмом являются:

- сошник с реактивным характером взаимодействия с почвой;
- сошник с комбинированным характером взаимодействия с почвой.

Применение комбинированного сошника в конструкции машины имеет ряд недостатков. Стоит отметить большое удельное сопротивление и высокую металлоемкость [11, 21]. Поэтому предпочтение следует отдать сошнику с реактивным характером взаимодействия с почвой.

Наличие электромеханической связи между сошником и высаживающим механизмом для синхронизации момента подачи рассады в рассадопровод усложняет конструкцию машины и не обеспечивает долговечную и безотказную работу в сложных полевых условиях эксплуатации. Поэтому преимущество будет иметь механическая связь между сошником и моментом подачи рассады высаживающим механизмом.

Сложность возникает с реализацией конструкции машины с высаживающим механизмом, который обеспечивает непосредственную подачу рассады в почву. К недостаткам такого механизма можно отнести налипание почвы и сложность конструкции [24].

Выбор в пользу конструкции сошника, который обеспечивает перемещение рассады в свободном падении с высоты равной или меньшей высоты сошника, обосновывается следующими причинами:

- малая высота перемещения рассады обеспечивает сохранение почвенного прикорневого комка;
- малая траектория движения рассады из высаживающего механизма в борозду позволяет сохранить вертикальное положение рассады после ее высадки.

Применение сошника с реактивным характером взаимодействия с почвой, который имеет механическую связь с высаживающим механизмом, является перспективным направлением в разработке конструкции сошниковой группы рассадопосадочной машины с распределительно-высаживающим механизмом.

На следующем этапе исследований для выявления связей между элементами в выбранной схеме конструкции сошника рассадопосадочной машины была составлена морфологическая модель сошника (рисунок 3).

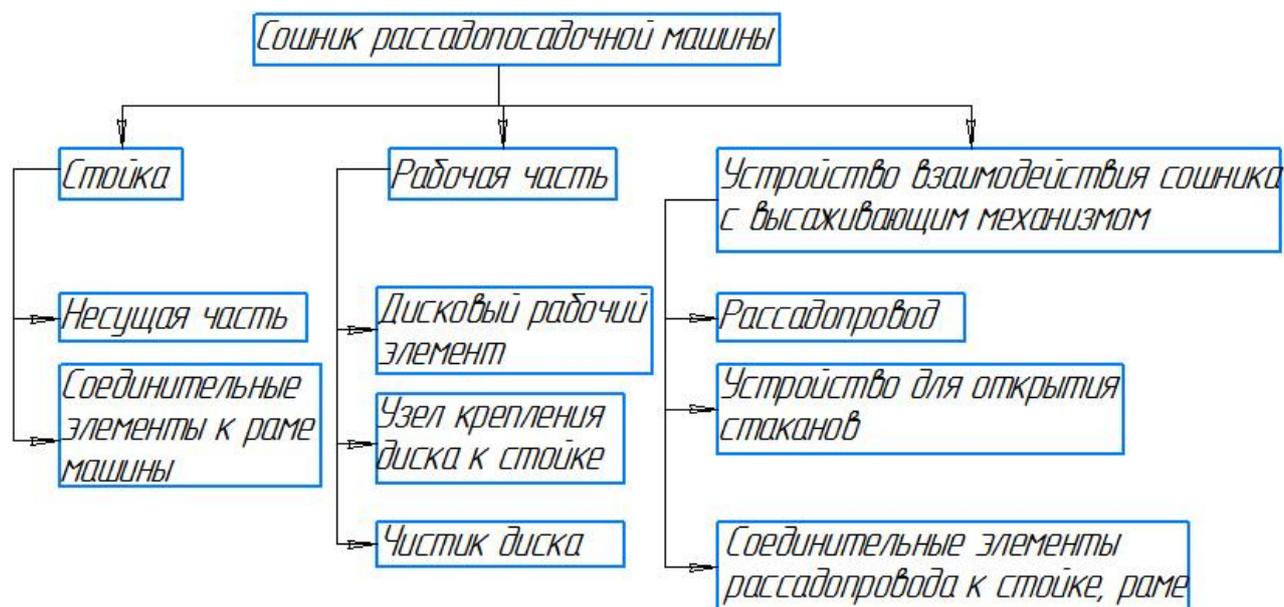


Рис. 3 – Морфологическая модель сошника рассадопосадочной машины

Представленная модель позволяет выделить основные компоненты сошника (блоки) и показать их внутренний состав (элементы блоков). Для выявления динамики взаимодействия между блоками и элементами сошника при выполнении требуемых функций была получена функционально-морфологическая модель (рисунок 4). Такая модель соединяет в себе конструктивные компоненты сошника рассадопосадочной машины и функции, которые они выполняют.

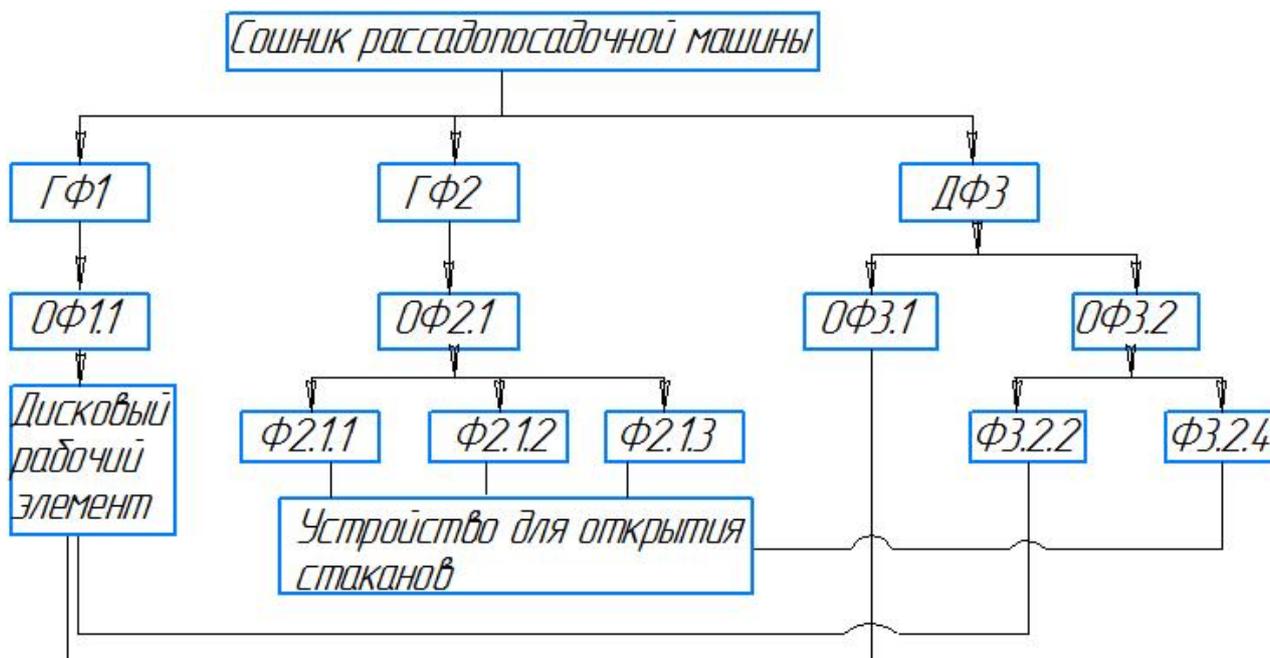


Рис. 4 – Функционально-морфологическая модель сошника рассадопосадочной машины

Представленная модель не является полной, так как в ней акцентировано внимание на основные элементы и связи, выявленные в функциональной модели сошника и направленные на обеспечение высокой приживаемости рассады.

Полученная модель позволяет выявить в сошниковой группе те составные элементы, которые выполняют главные функции. Такие элементы требуют наибольшего внимания, их следует тщательно просчитывать и обосновывать конструктивные параметры. В построенной модели сошника рассадопосадочной машины подобными элементами является устройство для открытия стаканов и сошник реактивного типа в виде дисков.

Проведенный функционально-морфологический анализ позволил определить функции сошника рассадопосадочных машин, связи между элементами конструкции, выполняющие эти функции, направленные на обеспечение высокой приживаемости рассады. Выбран наиболее рациональный вариант конструкции сошника рассадопосадочной машины – А2В2С2. Такой сошник представляет собой дисковый рабочий орган, имеющий механическое устройство для открытия стаканов высаживающего механизма. Причем, рассада из высаживающего механизма перемещается с высоты, равной или меньшей высоте сошника.

#### Заключение.

1. Анализ потребления и возделывания капусты в Российской Федерации, как важной овощной культуры, позволил выявить недостаток её воспроизводства, который компенсируется импортом. Критический анализ причин этой тенденции позволил установить несовершенство парка техники для возделывания капусты, в частности, выявлены недостатки существующих сошников в рассадопосадочных машинах.

2. Функционально-морфологический анализ выявил главные и вспомогательные функции сошника и структурные элементы конструкции, выполняющие данные функции. Такой подход позволяет установить направления развития техники. В частности, на выполнение сошником своих функций влияют: характер взаимодействия сошника с почвой; высота свободного падения рассады; момент подачи рассады высаживающим механизмом в сошник (рассадопровод).

3. Полученная матрица решений позволила найти рациональный вариант конструкции сошника рассадопосадочной машины – А2В2С2 с дисковым рабочим органом, имеющим механическое устройство для открытия стаканов высаживающего механизма.

4. Предлагаемый системный подход, выявил элементы, требующие наибольшего внимания, а именно, дисковый рабочий орган и устройство для открытия стаканов. Даль-

нейшие теоретические исследования будут направлены на обоснование геометрических размеров дискового рабочего органа и расчет временных характеристик движения рассады от высаживающего механизма к сошнику.

### Библиография

1. Российская Федерация. М-во здравоохранения. Об утверждении рекомендаций по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания : приказ Минздрава России от 19.08.2016 N 614. – Доступ из справочно-правовой системы Консультант Плюс (дата обращения 14.02.2022)
2. Об импорте капусты в Россию в 2015-2021 гг. / Агровестник: интернет-портал. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/vegetables/ob-importe-kapusty-v-rossiyu-v-2015-2021-gg.html> (дата обращения: 10.05.2022).
3. Сельское хозяйство, охота и лесное хозяйство / Ресурсы и использование овощей и продовольственных бахчевых культур / Территор. орган Федеральной службы гос. стат. по УР. – Ижевск : Удмуртстат, 2022. – Текст : электронный // сайт Удмуртстата. – Раздел Статистика. – URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/51953> (дата обращения: 15.05.2022).
4. Сорта овощей для Удмуртии // Прасемена - бюро прикладной ботаники : интернет-портал. – URL: [http://prasemena.ru/articles/ovoschi/sorta\\_udmyrtia](http://prasemena.ru/articles/ovoschi/sorta_udmyrtia). (дата обращения: 10.05.2022).
5. Российская Федерация. Президент. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации : указ Президента Российской Федерации от 21 янв. 2020 г. № 20 : Официальный интернет-портал правовой информации <http://www.pravo.gov.ru>, 21.01.2020, «Собрание законодательства РФ», 27.01.2020, N 4, ст. 345 (дата обращения 14.02.2022).
6. Konstantinov V.I., Kasimov N.G. Monitoring of price policy and quality import of cabbage in russia food engineering theory and practice / International Game Theory Review. – 2016. № 1. – С. 13.
7. Константинов, В.И. Обоснование параметров рабочих органов и режимов функционирования машины для посадки рассады капусты : спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / В. И. Константинов. – Ижевск, 2019. – 156 с.
8. Разработка функционально-морфологической модели машины для посадки рассады капусты / Н.Г. Касимов, В.И. Константинов, Р.Р. Шакиров [и др.] // Вестник НГИЭИ. – 2019. – № 8 (99). – С. 5-17.
9. Патент № 2606792 Российская Федерация, МПК 01/02. Рассадопосадочная машина : № 2014149532/13 : заявл. 08.12.2014 : опубли. 10.01.2017 / Касимов Н.Г., Константинов В.И., Ботин А.В., Крылов О.Н., Иванов А.Г., Первушин В.Ф.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА. – 9 с.: ил.
10. Substantiation of design and parameters of rotary harrow for preemployment processing ridge planting of potatoes / M. Salimzyanov, V. Pervushin, N. Kasimov, M. Kalimullin // Engineering for Rural Development. 19. Sep. «19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Proceedings». – 2020. – С. 1431-1436.
11. Карпенко, А.Н. Сельскохозяйственные машины / А.Н. Карпенко, В.М. Халанский. – М. : Агропромиздат, 1989. – 527с., ил.
12. Первушин, В.Ф. Совершенствование технологических операций по уходу за растениями картофеля / В.Ф. Первушин, Н.Г. Касимов // Вестник ФГОУ ВПО Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина. – Москва, 2004. – № 4 (9). – С. 75-77.
13. Касимов, Н.Г. Конструктивные особенности сошников рассадопосадочных машин / Н.Г. Касимов, В.Л. Фадеев // Технологические тренды устойчивого функционирования и развития АПК : мат.-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. году науки и технологии в России. – ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – Т.3. – С. 36-40.
14. Касимов, Н.Г. Разработка функциональной модели сошника для высадки рассады овощных культур / Н.Г. Касимов, В.Л. Фадеев // Научные разработки и инновации в решении стратегических задач агропромышленного комплекса: Мат.-лы Междунар. науч.-практ. конф. – ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2022. – Т. 2. – С. 191-198.
15. Фадеев, В.Л. Классификация сошников сельскохозяйственных машин / В.Л. Фадеев // Развитие инженерного образования и его роль в технической модернизации АПК : мат.-лы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 65-летию подготовки инженеров-механиков Ижевской ГСХА – ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2021. – С. 186-192.
16. Analysis of the functions and connections of the mixer for the preparation of biologically active supplements / I.A. Okhotnikova, N.G. Kasimov, A.G. Ivanov, V.L. Fadeev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Sep. «International Scientific and Practical Conference: Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad, DAICRA 2021». – 2022. – С. 012115.
17. Функционально-морфологический анализ грохотной машины для калибрования клубней картофеля / Ю.А. Боровиков, М.Ю. Васильченко, А.Г. Иванов, О.Б. Поробова // Современные проблемы аграрной науки и пути их решения. Мат.-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевская ГСХА, 2005. – С. 402-406.
18. Галаган, Л.А. Автоматы Калашникова. Функционально-морфологический анализ : монография / Л.А. Галаган, Д.В. Чирков, Р.Ю. Сахратов – Ижевск : Изд-во ИжГТУ им. М.Т. Калашникова, 2018. – 157 с.

19. Иванов, А.Г. Структурно-параметрический синтез и анализ механизмов грохотных калибрующих машин : спец. 05.02.18 «Теория механизмов и машин» : дис. ... канд. техн. наук / А.Г. Иванов. – Ижевск, 2005. – 117 с.
20. Охотникова, И.А. Разработка функционально-морфологической модели смесителя для биопрепаратов / И.А. Охотникова, Л.Я. Лебедев, А.Г. Иванов // «Энергосберегающие агротехнологии техника для северного земледелия и животноводства»: семинар для молодых ученых «Методика научных исследований в механизации сельского хозяйства»: мат.-лы Междунар. науч.-практич. конф. – Киров, 2018. – С. 241-247.
21. Васильева, О.П. Определение тягового сопротивления комбинированного сошника / О.П. Васильева, К.Л. Шкляев // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: Мат.-лы Всерос. науч.-практ. конф. – ФГБОУ ВПО Ижевская ГСХА, 2016. – С. 13-16.
22. Касимов, Н.Г. Обоснование основных параметров и режимов работы ротационного рабочего органа для ухода за растениями картофеля : спец. 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства» : дис. ... канд. техн. наук / Н.Г. Касимов. – Киров, 2005. – 162 с.
23. Обоснование расходных характеристик рекуператора для тепловой подготовки агрегатов машин и оборудования / Р.В. Чернухин, А.А. Долгушин, Н.Г. Касимов [и др.] // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2020. – Т. 22. № 4. – С. 82-93.
24. Касимов, Н.Г. Особенности строения посадочного механизма рассадопосадочных машин / Н.Г. Касимов, В.И. Константинов, А.М. Митрошин // Научное и кадровое обеспечение АПК для продовольственного импортозамещения: мат.-лы Всерос. науч.-практ. конф. – Ижевск : ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, 2016. – Т. 3. – С. 29-32.

### References

1. Rossijskaya Federaciya. M-vo zdavoohraneniya. Ob utverzhdenii rekomendacij po racional'nym normam potrebleniya pishchevych produktov, otvechayushchih sovremennym trebovaniyam zdorovogo pitaniya [On the approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation]: pri-kaz Minzdrava Rossii ot 19.08.2016 № 614. – Dostup iz spravochno-pravovoj sistemy Konsul'tant Plyus (data obrashcheniya 14.02.2022)
2. Ob importe kapusty v Rossiyu v 2015-2021 gg. [On the import of cabbage to Russia in 2015-2021] / Agrovestnik: internet-portal. – URL: <https://agrovesti.net/lib/industries/vegetables/ob-importe-kapusty-v-rossiyu-v-2015-2021-gg.html> (data obra-shcheniya: 10.05.2022).
3. Sel'skoe hozyajstvo, ohota i lesnoe hozyajstvo / Resursy i ispol'zovanie ovoshchej i prodovol'-stvennyh bahchevych kul'tur [Resources and use of vegetables and food melons] / Territor. organ Federal'noj sluzhby gos. stat. po UR. – Izhevsk : Udmurtstat, 2022. – Tekst : elektronnyj // sayt Udmurtstata. – Razdel Statistika. – URL: <https://udmstat.gks.ru/folder/51953> (data obrashcheniya: 15.05.2022).
4. Sorta ovoshchej dlya Udmurtii [Vegetable varieties for Udmurtia] // Prasemena - byuro prikladnoj botaniki : internet-portal. – URL: [http://prasemena.ru/articles/ovoschi/sorta\\_ydmyrtia](http://prasemena.ru/articles/ovoschi/sorta_ydmyrtia). (data obrashcheniya: 10.05.2022).
5. Rossijskaya Federaciya. Prezident. Ob utverzhdenii Doktriny prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii : ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 21 yanv. 2020 g. № 20 [Russian Federation. President. On the approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation : Decree of the President of the Russian Federation № 20 of January 21, 2020] : Oficial'nyj internet-portal pravovoj informacii <http://www.pravo.gov.ru>, 21.01.2020, «Sobranie zakonodatel'stva RF», 27.01.2020, № 4, st. 345 (data obrashcheniya 14.02.2022).
6. Konstantinov V.I., Kasimov N.G. Monitoring of price policy and quality import of cabbage in russia food engineering theory and practice / International Game Theory Review. – 2016. № 1. – S. 13.
7. Konstantinov, V.I. Obosnovanie parametrov rabochih organov i rezhimov funkcionirovaniya mashiny dlya posadki rassady kapusty [Justification of the parameters of the working bodies and modes of operation of the machine for planting cabbage seedlings] : spec. 05.20.01 «Tekhnologii i sredstva mekhanizacii sel'skogo ho-zyajstva» : dis. ... kand. tekhn. nauk / V.I. Konstantinov. – Izhevsk, 2019. – 156 s.
8. Razrabotka funkcional'no-morfologicheskoy modeli mashiny dlya posadki rassady kapusty [Development of a functional and morphological model of a machine for planting cabbage seedlings] / N.G. Kasimov, V.I. Konstantinov, R.R. SHakirov [i dr.] // Vestnik NGIEI. – 2019. – № 8 (99). – S. 5-17.
9. Patent № 2606792 Rossijskaya Federaciya, MPK 01/02. Rassadoposadochnaya mashina [Seedling machine] : № 2014149532/13 : zayavl. 08.12.2014 : opubl. 10.01.2017 / Kasimov N.G., Konstantinov V.I., Botin A.V., Krylov O.N., Ivanov A.G., Pervushin V.F.; zayavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO Izhevskaya GSKHA. – 9 s.: il.
10. Substantiation of design and parameters of rotary harrow for preemployment processing ridge plant-ing of potatoes / M. Salimzyanov, V. Pervushin, N. Kasimov, M. Kalimullin // Engineering for Rural Develop-ment. 19. Ser. «19th International Scientific Conference Engineering for Rural Development, Proceedings». – 2020. – S. 1431-1436.
11. Karpenko, A.N. Sel'skohozyajstvennyye mashiny [Agricultural machines] / A.N. Karpenko, V.M. Halan-skiy. – M. : Agro-promizdat, 1989. – 527s., il.
12. Pervushin, V.F. Sovershenstvovanie tekhnologicheskikh operacij po uhodu za rasteniyami karto-felya [Im-provement of technological operations for the care of potato plants] / V.F. Pervushin, N.G. Kasimov // Vestnik FGOU VPO Moskovskij gosudarstvennyj agroinzhenernyj universitet imeni V.P. Goryachkina. – Moskva, 2004. – № 4 (9). – S. 75-77.
13. Kasimov, N.G. Konstruktivnye osobennosti soshnikov rassadoposadochnyh mashin [Design features of coul-ters of seedling machines] / N.G. Kasi-mov, V.L. Fadeev // Tekhnologicheskije trendy ustojchivogo funkcion-

irovaniya i razvitiya APK : mat.-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. godu nauki i tekhnologii v Rossii-FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2021. – T. 3. – S. 36-40.

14. Kasimov, N.G. Razrabotka funktsional'noj modeli soshnika dlya vysadki rassady ovoshchnyh kul'tur [Development of a functional coulter model for planting seedlings of vegetable crops] / N.G. Kasimov, V.L. Fadeev // Nauchnye razrabotki i innovatsii v reshenii strategicheskikh zadach agropromyshlennogo kompleksa: Mat.-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf. – FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2022. – T. 2. – S. 191-198.

15. Fadeev, V.L. Klassifikatsiya soshnikov sel'skohozyajstvennykh mashin [Classification of agricultural machinery coulters] / V.L. Fadeev // Razvitie inzhenerenogo obrazovaniya i ego rol' v tekhnicheskoy modernizatsii APK : mat.-ly Mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyashch. 65-letiyu podgotovki inzhenerov-mekhanikov Izhevskoy GSKHA – FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2021. – S. 186-192.

16. Analysis of the functions and connections of the mixer for the preparation of biologically active supplements / I.A. Okhotnikova, N.G. Kasimov, A.G. Ivanov, V.L. Fadeev // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. Ser. «International Scientific and Practical Conference: Development of the Agro-Industrial Complex in the Context of Robotization and Digitalization of Production in Russia and Abroad, DAICRA 2021». – 2022. – S. 012115.

17. Funktsional'no-morfologicheskij analiz grohotnoj mashiny dlya kalibrovaniya klubnej karto-felya [Functional and morphological analysis of a screening machine for potato tubers calibration] / Yu.A. Borovikov, M.Yu. Vasil'chenko, A.G. Ivanov, O.B. Porobova // Sovremennye problemy agrarnoy nauki i puti ih resheniya. Mat.-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. – Izhevskaya GSKHA, 2005. – S. 402-406.

18. Galagan, L.A. Avtomaty Kalashnikova. Funktsional'no-morfologicheskij analiz [Kalashnikov assault rifles. Functional and morphological analysis]: monografiya / L.A. Galagan, D.V. Chirkov, R.Yu. Sahratov – Izhevsk : Izd-vo IzhGTU im. M. T. Kalashnikova, 2018. – 157 s.

19. Ivanov, A.G. Strukturno-parametricheskij sintez i analiz mekhanizmov grohotnykh kalibruyu-shchih mashin [Structural-parametric synthesis and analysis of mechanisms of screen calibration machines]: spec. 05.02.18 «Teoriya mekhanizmov i mashin» : dis. ... kand. tekhn. nauk / A.G. Ivanov. – Izhevsk, 2005 – 117 s.

20. Ohotnikova, I.A. Razrabotka funktsional'no-morfologicheskoy modeli smesitelya dlya biopre-paratov [Development of a functional and morphological model of a mixer for biological products] / I.A. Ohotnikova, L.Ya. Lebedev, A.G. Ivanov // «Energosberegayushchie agrotekhnologii i tekhnika dlya severnogo zemledeliya i zhivotnovodstva»: seminar dlya molodykh uchenykh «Metodika nauchnykh issledovaniy v mekhanizatsii sel'skogo hozyajstva»: mat.-ly Mezhdunar. nauch.-praktich. konf. – Kirov, 2018. – S. 241-247.

21. Vasil'eva, O.P. Opredelenie tyagovogo soprotivleniya kombinirovannogo soshnika [Determination of the traction resistance of the combined coulter] / O.P. Vasil'eva, K.L. Shklyayev // Nauchnoe i kadrovoe obespechenie APK dlya prodovol'stvennogo importozameshcheniya: Mat.-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. – FGBOU VPO Izhevskaya GSKHA, 2016. – S. 13-16.

22. Kasimov, N.G. Obosnovanie osnovnykh parametrov i rezhimov raboty rotatsionnogo rabocheho or-gana dlya uhoda za rasteniyami kartofelya [Justification of the main parameters and modes of operation of the rotary working body for the care of potato plants] : spec. 05.20.01 «Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii sel'skogo hozyajstva» : dis. ... kand. tekhn. nauk / N.G. Kasimov. – Kirov, 2005. – 162 s.

23. Obosnovanie rashodnykh harakteristik rekuperatora dlya teplovoj podgotovki agregatov mashin i oborudovaniya [Justification of the flow characteristics of the heat exchanger for the thermal preparation of aggregates of machines and equipment] / R.V. Chernuhin, A.A. Dolgushin, N.G. Kasimov [i dr.] // Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty). – 2020. – T. 22. № 4. – S. 82-93.

24. Kasimov, N.G. Osobennosti stroeniya posadochnogo mekhanizma rassadoposadochnykh mashin [Features of the structure of the planting mechanism of seedling machines] / N.G. Kasimov, V.I. Konstantinov, A.M. Mitroshin // Nauchnoe i kadrovoe obespechenie APK dlya prodovol'stvennogo importozameshcheniya: mat.-ly Vseros. nauch.-prakt. konf. – Izhevsk : FGBOU VO Izhevskaya GSKHA, 2016. – T. 3. – S. 29-32.

#### Сведения об авторах

Фадеев Владимир Леонидович, аспирант второго года обучения кафедры эксплуатации и ремонта машин, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Россия, 426069, тел.+73412 59-24-23, e-mail: fadeevv1990@mail.ru;

Касимов Николай Гайсович, кандидат технических наук, доцент кафедры эксплуатации и ремонта машин, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Россия, 426069, тел.+73412 59-24-23, e-mail: nikolakas@list.ru;

Дородов Павел Владимирович, доктор технических наук, профессор кафедры теоретической механики и сопротивления материалов, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Россия, 426069, тел.+73412 59-24-23, e-mail: pvd80@mail.ru;

Иванов Алексей Генрихович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой теоретической механики и сопротивления материалов, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Россия, 426069, тел.+73412 59-24-23, e-mail: ivalgen@inbox.ru

Неустroева Светлана Евгеньевна, старший преподаватель кафедры иностранных языков, ФГБОУ ВО Ижевская ГСХА, ул. Студенческая, 11, г. Ижевск, Россия, 426069, тел.+73412 59-24-23, e-mail: svetlanats@inbox.ru

### **Information about authors**

Fadeev Vladimir Leonidovich, graduate student of the second year of training of the department of operation and repair of machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Agricultural Academy», Studentskaya str., 11, Izhevsk, Russia, 426069, tel.+73412 59-24-23, e-mail: fadeevv1990@mail.ru;

Kasimov Nikolai Gaisovich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of operation and repair of machines, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Agricultural Academy», Studentskaya str., 11, Izhevsk, Russia, 426069, tel.+73412 59-24-23, e-mail: pvd80@mail.ru;

Dorodov Pavel Vladimirovich, doctor of technical sciences, professor of the department of theoretical mechanics and resistance of materials, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Agricultural Academy», Studentskaya str., 11, Izhevsk, Russia, 426069, tel.+73412 59-24-23, e-mail: pvd80@mail.ru;

Ivanov Alexey Genrihovich, candidate of technical sciences, associate professor, head of department of theoretical mechanics and resistance of materials, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Agricultural Academy», Studentskaya str., 11, Izhevsk, Russia, 426069, tel.+73412 59-24-23, e-mail: ivalgen@inbox.ru

Neustroeva Svetlana Evgenievna, senior lecturer of the department of foreign languages, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Izhevsk State Agricultural Academy», Studentskaya str., 11, Izhevsk, Russia, 426069, , tel.+73412 59-24-23 e-mail: svetlanats@inbox.ru

УДК 62-5:004.896

*С.В. Шарый, Н.В. Водолазская, О.А. Шарая***ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ КОМПЛЕКСОВ**

**Аннотация.** Сельскохозяйственная отрасль является перспективным рынком для внедрения разработок в области робототехники, поскольку использование подобных машин позволяет создавать высокоинтеллектуальное производство. В связи с этим в последние годы в агросекторе активизировалась работа по конструированию робототехнических устройств. В основном такая техника предназначена для выполнения повторяющихся операций при возделывании различных сельскохозяйственных растений. При этом главная цель ее применения в аграрной отрасли состоит в замене человеческого труда, минимизации вредного воздействия химических средств на людей и окружающую среду, а также в повышении производительности предприятий и урожайности возделываемых культур. Современные тепличные комплексы – важнейший компонент экологически чистого агропромышленного производства. Однако, велика доля применения в них ручного труда. В статье рассмотрена возможность применения роботов отечественного производства для использования в теплицах, при условии их адаптации. Разработана новая система управления, включающая перепрограммирование микроконтроллера, изменение принципиальной схемы блока управления. Функциональные и программные ресурсы операционной системы позволили при управлении двигателями учитывать показатели существующих датчиков. Создана база правил fuzzy регулятора, позволившая устранить проблемы, носящие непредсказуемый характер. Для передачи команд управления разработан удобный человек-машинный интерфейс. По сравнению с ранее применяемыми аналогами разработанный программно-аппаратный комплекс в полной мере реализует виртуальную 3D-модель робота, блокирует некорректные команды, производит расчет траектории методами fuzzy-логики, имеет систему обратной связи.

**Ключевые слова:** теплица, система управления, робот, микроконтроллер, интеллектуальные системы.

**INNOVATIVE SOLUTIONS FOR GREENHOUSE COMPLEXES**

**Abstract.** The agricultural industry is a promising market for the introduction of developments in the field of robotics, since the use of such machines allows the creation of highly intelligent production. In this regard, in recent years, work on the design of robotic devices has intensified in the agricultural sector. Basically, such a technique is need to perform repeated operations in the cultivation of various agricultural plants. At the same time, the main goal of its application in the agricultural industry is to replace human labor, minimize the harmful effects of chemical agents on people and the environment and increase the productivity of enterprises and the yield of cultivated crops. Modern greenhouse complexes are the most important component of environmentally friendly agro-industrial production. However, a large proportion of manual labor is used. The paper considers the possibility of using domestic robots for use in greenhouses, subject to their adaptation. A new control system has been developed, including reprogramming of the microcontroller, changing the circuit diagram of the control unit. The functional and software resources of the operating system made it possible to take into account the performance of existing sensors when controlling motors. A base of rules of the fuzzy regulator has been created, which made it possible to eliminate problems that are unpredictable in nature. A convenient man-machine interface has been developed for transmitting control commands. Compared to previously used analogues, the developed software and hardware complex fully implements the virtual 3D model of the robot, blocks incorrect commands, calculates the trajectory using fuzzy logic methods, and has a feedback system.

**Keywords:** greenhouse, control system, robot, microcontroller, intelligent systems.

**Постановка проблемы.** Согласно статистике, к 2050 году общая численность населения планеты будет превышать отметку в 9,5 миллиардов [1, 2]. Следовательно, резко возрастет потребление продуктов питания, что по данным отчета Продовольственной и сельскохозяйственной Организации Объединенных Наций, приведет к росту потребления на 70% по сравнению с 2006 годом. Обеспечить достижение указанного показателя невозможно без коренных преобразований в аграрном секторе, заключающихся во внедрении принципов умного сельского хозяйства. Несмотря на все его преимущества, умное сельское хозяйство все еще находится на начальной стадии развития. По информации аналитического центра Минсельхоза, к примеру, элементы интеллектуального сельскохозяйственного производства с применением информационных технологий (дифференцированный подход при посеве, внесении удобрений, борьбе с сорняками, измерение содержания хлорофилла в культурах перед уборкой и т. д.) сегодня в той или иной степени используются только в 28 российских регионах [3]. При этом в некоторых весьма скромно – в Коми и Карачаево-Черкесии насчитывает-

ся всего по три хозяйства, начавших осваивать цифровые методы. В Смоленской области – четыре, в Костромской – пять. Абсолютным лидером здесь является Липецкая область, за которой следуют Орловская и Самарская области.

В соответствии со стратегией развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года [4] в ближайшие годы планируется разработка и последующее масштабирование целого ряда комплексных инновационных решений для агропредприятий: «умная» ферма, «умное» поле, «умное» стадо, «умная» теплица, «умная» переработка, «умный» склад и «умный» агроофис. В рамках этих решений некоторые элементы представленных систем работают в синхронизации с другими технологическими решениями [5]. Социальные и экономические факторы, насущные технологические потребности современного производства обуславливают, например, переход к автоматизированной конструкции теплиц, призванной облегчить процесс выращивания агрокультур и минимизировать использование ручного труда. Этот сельскохозяйственный объект, включает в себя исполнительные механизмы, микроконтроллеры, датчики, приложения «интернета вещей» и т.д.

Часто умные теплицы взаимодействуют с инновационными технологиями, например, внедрением и применением робототехнических устройств в отрасли сельского хозяйства.

Современные тепличные комплексы по производству овощей частично автоматизированы: полив растений, введение ядохимикатов и удобрений, поддержание микроклимата, однако на сегодняшний день не слишком высока доля робототехнических устройств, призванных заменить ручной труд, минимизировать вредное воздействие химических средств на людей и окружающую среду, а также повысить производительность и урожайность возделываемых овощных культур.

Важно не только создать механическую часть, но и выполнить работы по программированию робототехнических изделий, при этом следует учитывать значительную трудоемкость создания программного обеспечения, как правило, превосходящую трудоемкость создания аппаратных средств.

Серийно выпускаемые роботы требуют совершенствования системы управления, применительно к особенностям тепличных комплексов.

**Анализ исследований и публикаций.** Ведущими производителями робототехнических комплексов для сельского хозяйства в России являются компании: Agro Robotic Systems, Avroga Robotics, Агрополис, Cognitive Technologies, Р.СЕРТ, УрФУ, ЮРГИ, ГЕОСКАН, ЦНИИ РТК. Зарубежные производители: 3D Robotics Inc. (США), Deepfield Robotics (Германия), Technology Co. Ltd. (Китай), Trimble Inc. (США), Yamaha Motor Co. Ltd. (Япония), Yanmar Co. Ltd. (Япония) и др. [6, 7]. Устройства для выполнения операций в теплицах и их программное обеспечение разрабатываются в основном за рубежом. При этом следует отметить серию разработок по модернизации теплиц компании Panasonic; робот по сбору клубники Strawberry Picking Robot, оснащённый системой оценки степени созревания ягод; манипулятор для промышленных теплиц со специальным хватом для сбора перцев Festo WP5, робот Spray Robot для автоматического распыления растворов в промышленных теплицах с любыми типами овощей. На рисунке 1 представлена диаграмма применения роботов в сельском хозяйстве. При этом основную долю рынка в области сельского хозяйства занимают роботы, применяемые в животноводстве (54% на молочных и 22% – на мясных фермах), а на долю растениеводства приходится всего 24%, причем это уход за посевами, обработка почвы и сбор урожая. Следует отметить, что многие виды работ с овощными культурами осуществляются вручную и представляют собой выполнение однотипных повторяющихся задач, зачастую требуя при этом высокой степени концентрации. Применение роботов в крупных тепличных комплексах может позволить исключить присутствие человека на 80% производственных операций [8-10].

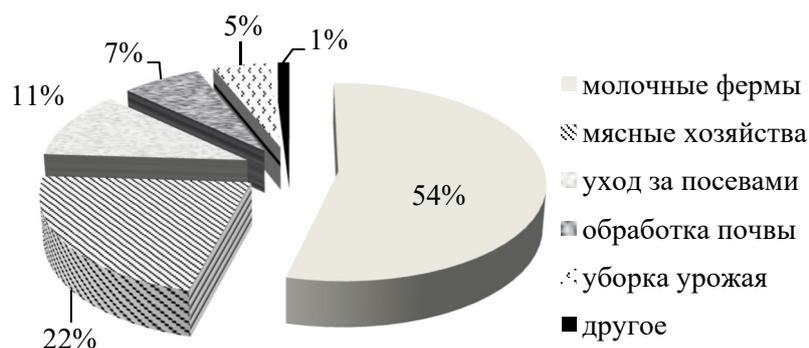


Рис. 1 – Диаграмма распределения применения роботов в сельском хозяйстве

Анализ публикаций показывает, что без инновационной робототехники невозможны дальнейший рост производительности труда, снижение дефицита кадров и увеличение конкурентоспособности сельского хозяйства, поэтому необходима комплексная работа по созданию и совершенствованию роботов для тепличных комплексов и их программированию, что позволит исключить долю ручного труда, повысить производительность и безопасность при проведении работ с ядохимикатами.

**Цель и задачи исследования** – усовершенствование системы управления робототехническим комплексом, отвечающей требованиям работы в теплицах.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

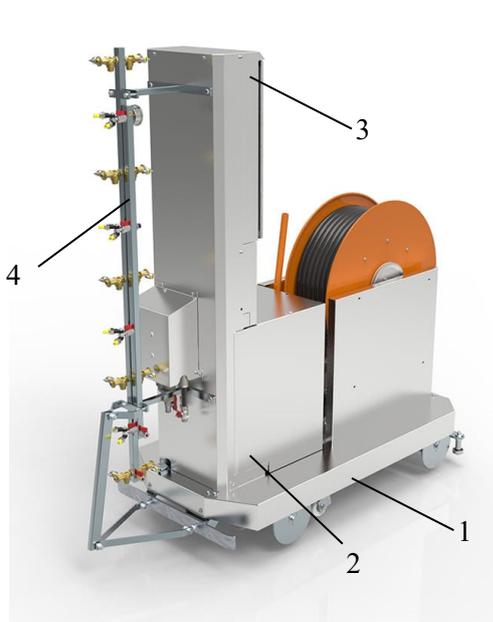
- 1) перепрограммирование микроконтроллера;
- 2) разработка человеко-машинного интерфейса;
- 3) создание базы правил fuzzy регулятора.

**Методика и результаты исследований.** В качестве объекта исследования рассматривается ООО «Теплицы Белогорья» группы компаний «Рост», а именно модуль технологического опрыскивания.

Модуль технологического опрыскивателя для непрерывного опрыскивания вдоль одного технологического прохода имеет транспортную базу 1, отсек систем автономного питания и управления 2 и вертикальную стойку 3 с расположенной относительно нее системой полива 4 (рисунок 2).

В конструкции агрегата с технологическим опрыскивателем (рисунок 3) использован сопрягаемый с рельсами 1 технологических проходов теплицы паз 2. При необходимости перемещения модуль технологического опрыскивателя 3 на другой технологический проход, модуль технологического опрыскивателя въезжает на агрегат транспортный.

Центральным звеном системы управления модуля технологического опрыскивателя является микроконтроллер PIC16F77A [11, 12]. Исходный программный текст был защищен от чтения производителем, что не позволяло модифицировать программу. Для решения задач, связанных с использованием робота, в теплицах выполнены следующие действия: осуществлено перепрограммирование микроконтроллера; по печатной плате восстановлена принципиальная схема блока управления; при помощи осциллографа изучены сигналы системы в рабочем режиме.



1 – транспортная база; 2 – отсек систем автономного питания и управления; 3 – вертикальная стойка; 4 – система полива

**Рис. 2 – Модуль технологического опрыскивателя**



1 – рельсы технологического прохода теплицы; 2 – паз, сопрягаемый с рельсами технологического прохода; 3 – модуль технологического опрыскивателя

**Рис. 3 – Агрегат с технологическим опрыскивателем**

При создании микрокода на новом микроконтроллере были устранены следующие недостатки:

1) отсутствие возможности задать скорость на каждый двигатель. Путем формирования РСом частоты управляющих импульсов стало возможным изменение скорости двигателей робота;

2) невозможность выполнения перемещения нескольких роботов одновременно. В созданной микропрограмме этот недостаток устранен с помощью функции отправки управляющих импульсов на двигатели;

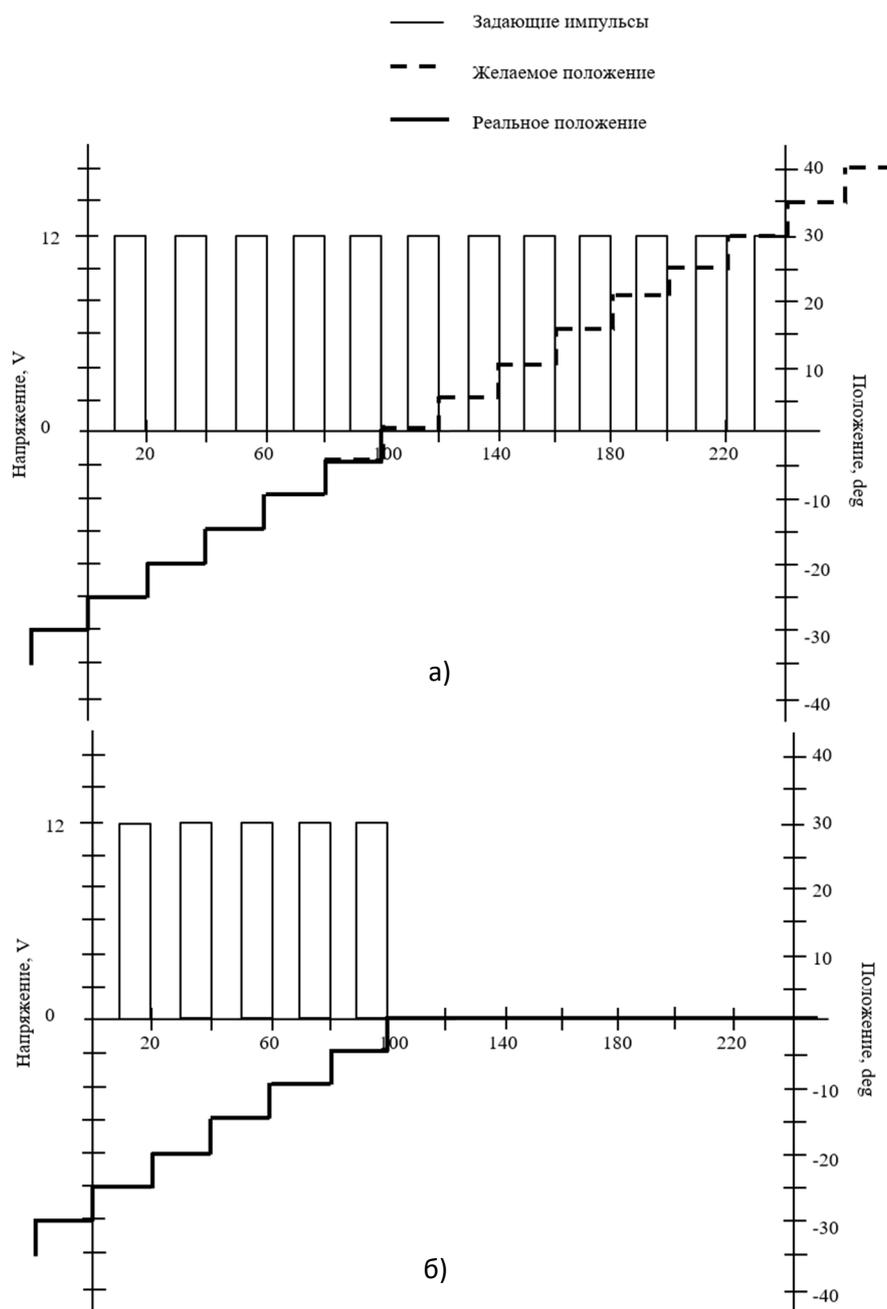
3) отсутствие обратной связи. Штатные потенциометры и щелевые оптроны, ранее используемые для установки робота в нулевое положение, нашли применение в системе контроля микроконтроллером показаний датчиков и преобразованием их для дальнейшего использования при управлении роботом.

Функциональные и программные ресурсы операционной системы позволили в новой системе управления двигателями учитывать показания существующих датчиков. В замкнутом контуре работа двигателя начинается с одного импульса, а последующие импульсы формируются в зависимости от положения вала и/или скорости двигателя.

Поскольку все возможные причины возникших ошибок не могут быть известны, то было принято решение реализации «нечеткого» fuzzy-регулятора. В отличие от всех остальных регуляторов в fuzzy определение входных и выходных переменных осуществляется в лингвистической форме, т.е. словами естественного языка, что является важным преимуществом данного подхода [12-14]. Использование лингвистической интерпретации переменных значительно упрощает процесс описания систем любой сложности.

Создана база правил fuzzy регулятора, которая позволила устранить проблемы, носящие так называемый непредсказуемый характер.

На рисунке 4 показан график достижения предельных значений в рамках исходной системы управления и при помощи fuzzy-регулятора. Ось – это механический предел. Посылка управляющих импульсов происходит с частотой 20 мс. При достижении предельного значения управляющее воздействие продолжается, но работа останавливается, что приводит к сбою системы.

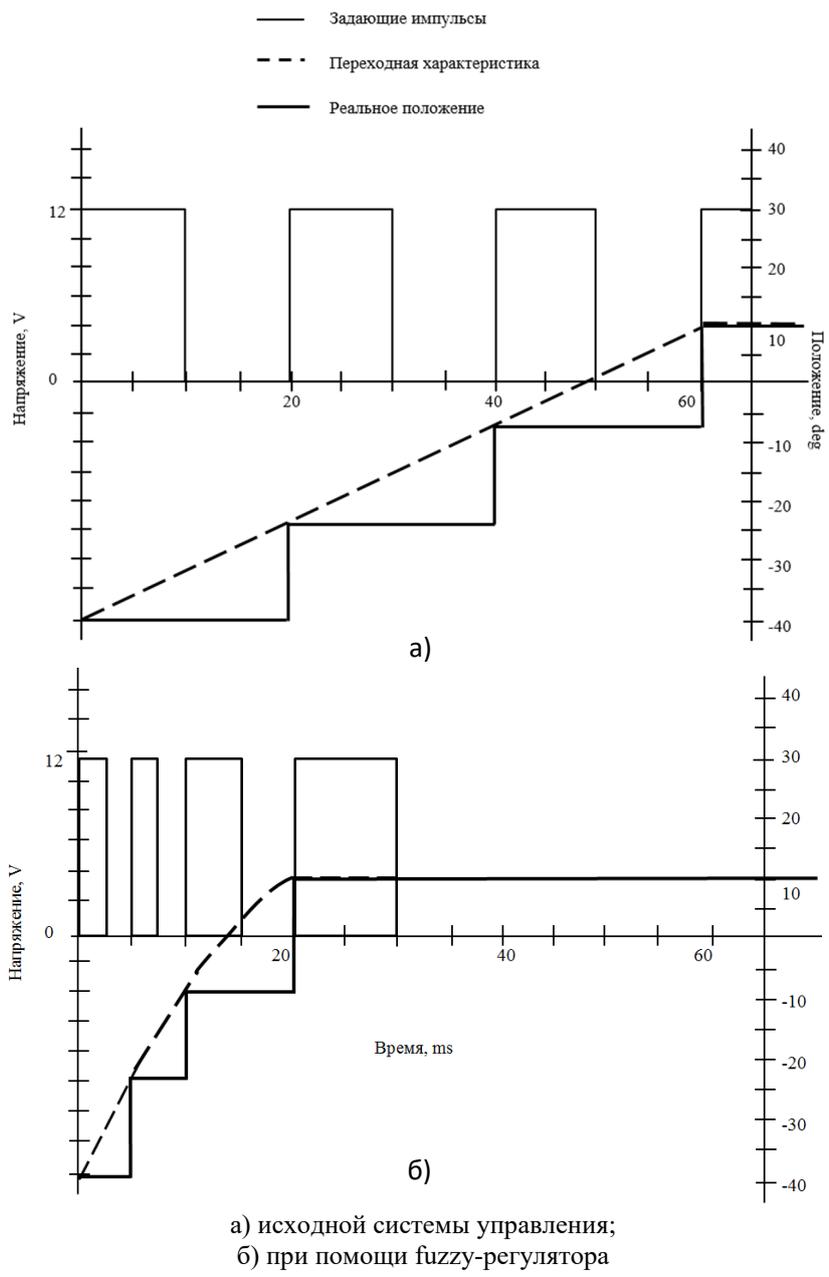


а) исходной системы управления;  
 б) при помощи fuzzy-регулятора

**Рис. 4 – График достижения предельных значений**

График достижения предельных значений при помощи fuzzy-регулятора выглядит следующим образом: в момент достижения предела посылка управляющего воздействия прекращается.

На рисунке 5 показано приближение модуля технологического опрыскивателя к заданной точке от -0 до +10 градусов.



**Рис. 5 – Приближение модуля технологического опрыскивателя к заданной точке**

При сравнении видно, что время достижения при fuzzy-регулировании уменьшилось с 60 мс до 20 мс за счет последовательной посылки сначала импульсов с высокой частотой и замедления по мере приближения к заданной точке.

Для передачи команд управления был разработан удобный человеко-машинный интерфейс, который, в свою очередь, устранил следующие недостатки предшественника:

- введение кода программы осуществлялось путем загрузки txt-файлов. Из этого следуют не только затраты времени на создание программы управления, приложение «блокнот», но и на ее загрузку. Программно реализована загрузка программы управления непосредственно через окно управления;
- отсутствовали условные и безусловные переходы в программе управления;
- невозможность реализации задержки выполнения кода программы управления;
- отсутствие возможности создания цикла выполнения программы управления. Путем введения команд «переходов», «задержки» и «цикла» вышеперечисленные недостатки были устранены;

- отсутствие возможности визуализации процесса на мониторе компьютера;
- отсутствие возможности выполнения кода программы в виртуальном режиме. Решение задачи стало возможно путем создания виртуальной модели робота;

Созданный программно-аппаратный комплекс имеет ряд преимуществ в сравнении с ранее существующими аналогами:

- в полной мере реализует виртуальную 3D-модель;
- блокирует некорректные команды; производит расчет траектории методами fuzzy-логики;
- имеет систему обратной связи.

Усовершенствованная система управления позволит расширить возможности робота и отказаться от ручного труда, оставив за операторами функции контроля.

#### **Выводы.**

1. Без инновационной робототехники невозможны дальнейший рост производительности труда, снижение дефицита кадров и увеличение конкурентоспособности сельского хозяйства.

2. Замена ручного труда в теплицах роботизированным модулем технологического опрыскивания позволит увеличить производительность труда на 37% и привлекательность сельскохозяйственного производства.

3. Для адаптации роботизированного комплекса к условиям работы в теплицах усовершенствована система управления модуля технологического опрыскивателя, включающая перепрограммирование микроконтроллера.

4. Разработан человеко-машинный интерфейс, создана база правил fuzzy регулятора, позволившая снизить проблемы, носящие непредсказуемый характер, в 2,2 раза.

5. Предложенные мероприятия в условиях санкций вносят значительный вклад в импортозамещение и применение отечественных разработок в теплицах.

#### **Библиография**

1. Умное сельское хозяйство: 13 аспектов, которые следует учесть. URL: <https://mgbot.ru/training/2017/umnoe-selskoe-khozyaystvo-13-aspektov-kotorye-sleduet-uchest/> (дата обращения: 01.06.2022).
2. Систематизация составляющих цифровой экономики в современной рыночной среде / А.В. Мешков и др. // Инновационные перспективы Донбасса, 2020. С. 186-190.
3. Анищенко А.Н. «Умное» сельское хозяйство как перспективный вектор роста аграрного сектора экономики России // Продовольственная политика и безопасность. 2019. Т. 6. № 2. С. 97-107.
4. Стратегия развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564654448> (дата обращения: 01.06.2022).
5. Мешков А.В., Бондарева И.А., Водолазская Н.В. Направления совершенствования логистической системы предприятия // Инженерная экономика и управление в современных условиях. Донецк : ДонНТУ. 2019. С. 558-564.
6. Каталог автономных сельскохозяйственных роботов для работы в поле, в саду или теплице. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-avtonomnyh-robotov-dlya-raboty-v-selskom-hozyaystve> (дата обращения: 01.06.2022).
7. Роботизированные системы в сельскохозяйственном производстве: науч. ан. обзор. М. : ФГНУ «Росинформагротех», 2009. 136 с.
8. Review of the world market of agriculture robotics/ A.V. Shevchenko, ect. // Control sciences. № 5. 2019. P. 3-18.
9. Инструменты мотивации персонала на современном инновационном предприятии / А.В. Мешков и др. // Инновационные перспективы Донбасса, 2020. С. 225-227.
10. Смоленко П., Колюховская А. Перспективные направления применения робототехники в бизнесе. Минкомсвязь России. 74 с.
11. Королев В.А., Башилов А.М., Воротников С.А. Робототехническая система для теплиц // Вестник аграрной науки Дона. 2021. № 2 (54). С. 57-63.
12. Разработка системы управления робота-манипулятора методами fuzzy-логики / Л.Г. Любченко и др. // Автоматика и информатика. № 1-2. 2009. С. 55-57.
13. Зенкевич С.Л., Ющенко А.С. Основы управления манипуляционными роботами. – М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. 480 с.

14. Робот для промышленных теплиц/ Королев В.А. и др. // Инновации в сельском хозяйстве. 2016. № 6 (21). С. 73-80.

#### References

1. Umnoe sel'skoe hozyajstvo: 13 aspektov, kotorye sleduet uchest' [Smart Agriculture: 13 aspects to consider]. URL: <https://mgbot.ru/training/2017/umnoe-selskoe-khozyaystvo-13-aspektov-kotorye-sleduet-uchest/> (accessed date: 01.06.2022).
2. Sistematizaciya sostavlyayushchih cifrovoj ekonomiki v sovremennoj rynochnoj srede [Systematization of the components of the digital economy in the modern market environment] / A.V. Meshkov, etc. // Innovative prospects of Donbass, 2020. P. 186-190.
3. Anishchenko A.N. «Umnoe» sel'skoe hozyajstvo kak perspektivnyj vektor rosta agrarnogo sektora ekonomiki Rossii [«Smart» agriculture as a promising vector for the growth of the agricultural sector of the Russian economy] // Food policy and security. 2019. Т. 6. № 2. P. 97-107.
4. Strategiya razvitiya agropromyshlennogo i rybohozyajstvennogo kompleksov Rossijskoj Federacii na period do 2030 goda [Strategy for the development of agro-industrial and fishery complexes of the Russian Federation for the period up to 2030]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/564654448> (date of appeal: 01.06.2022).
5. Meshkov A.V., Bondareva I.A., Vodolazskaya N.V. Napravleniya sovershenstvovaniya logisticheskoy sistemy predpriyatiya [Directions for improving the logistics system of the enterprise] // Engineering economics and management in modern conditions. Donetsk : DonNTU. 2019. P. 558-564.
6. Katalog avtonomnyh sel'skohozyajstvennyh robotov dlya raboty v pole, v sadu ili teplice [Catalog of autonomous agricultural robots to work in the field, garden or greenhouse]. URL: <http://robotrends.ru/robopedia/katalog-avtonomnyh-robotov-dlya-raboty-v-selskom-hozyaystve> (date of circulation: 01.06.2022).
7. Robotizirovannye sistemy v sel'skohozyajstvennom proizvodstve [Robotic systems in agricultural production: scientific an review]. M. : FSNU «Rosinforagrotech», 2009. 136 p.
8. Review of the world market of agriculture robotics/ A.V. Shevchenko, ect. // Control sciences. № 5. 2019. P. 3-18
9. Instrumenty motivacii personala na sovremennom innovacionnom predpriyatii [Tools for motivating personnel at a modern innovative enterprise] / A.V. Meshkov, etc. // Innovative prospects of Donbass, 2020. P. 225-227.
10. Smolenko P., Konyukhovskaya A. Perspektivnye napravleniya primeneniya robototekhniki v biznese [Promising directions for the use of robotics in business]. Ministry of Communications of Russia. 74 p.
11. Korolev V.A., Bashilov A.M., Vorotnikov S.A. Robototekhnicheskaya sistema dlya teplic [Robotic system for greenhouses] // Bulletin of Agrarian Science Don. 2021. № 2 (54). P. 57-63.
12. Razrabotka sistemy upravleniya robota-manipulyatora metodami fuzzy-logiki [Development of the robot manipulator control system using fuzzy logic methods] / L.G. Lyubchenko ect. // Automation and informatics. № 1-2. 2009. P. 55-57.
13. Zenkevich S.L., Yushchenko A.S. Osnovy upravleniya manipulyacionnymi robotami [Basics of manipulative robot management]. – M. : Moscow State Technical University named after N.E. Bauman, 2005. 480 p.
14. Robot dlya promyshlennyh teplic [Robot for industrial greenhouses] / Korolev V.A. ect. // Innovations in agriculture. 2016. № 6 (21). P. 73-80.

#### Сведения об авторах

Шарый Сергей Владимирович, инженер ООО СХП «Теплицы Белогорья», ул. Березовая, д. 24, пгт. Разумное, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308510, тел. +79040831713, e-mail: sergey88.13@mail.ru;

Водолазская Наталия Владимировна, 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. +7909092025127, e-mail: vnv26@bk.ru;

Шарая Ольга Александровна, 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: sharay61@mail.ru

#### Information about authors

Shariy Sergey Vladimirovich, engineer, ООО SHP «Teplitsy Belogorye», str. Berezovaya, 24, Razumnoe, Belgorod region, Russia, 308510, tel. +79040831713, e-mail: sergey88.13@mail.ru;

Vodolazskaya Nataliia Vladimirovna, PhD, associate professor at the Department of Technical Mechanics and Machinery Design, 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. +7909092025127, e-mail: vnv26@bk.ru;

Sharaya Olga Aleksandrovna, PhD, associate professor at the 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. +7 4722 39-12-33, e-mail: sharay61@mail.ru

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

УДК 631.434

*В.Б. Азаров, В.В. Лоткова, Д.О. Борисенко, В.В. Горбунов, А.О. Симашева*

### ДИНАМИКА ЗАПАСОВ МИНЕРАЛЬНОГО АЗОТА В ЧЕРНОЗЁМЕ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ТЕХНОЛОГИЯХ ВОЗДЕЛЫВАНИЯ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР

**Аннотация.** В Центрально-Чернозёмном регионе проведены агрохимические исследования по выявлению закономерностей изменения показателей почвенного плодородия в зависимости от интенсивности использования земель при различных агротехнологиях. Приведенные в статье результаты отражают динамику содержания доступных форм азота в почве при использовании различных органических удобрений. Исследованиями доказано, что при внесении свиноводческих стоков на планируемый урожай содержание минерального азота весной даже несколько снижалось по сравнению с осенними значениями в верхнем слое, однако по мере вегетации его запасы интенсивно росли, достигая величин 124-139 кг/га в летний период. При совместном внесении куриного помета и свиноводческих стоков происходил постоянный рост концентрации минерального азота в почве в верхнем слое почвы. На вариантах с минеральными удобрениями весной наблюдались значительные запасы азота по профилю почвы - 113 и 163 кг/га с превышением в нижележащем слое. При дозе внесения 6 т/га БГК-ВН в слое почвы 0-20 см прибавка по сравнению с весенним отбором составила 22 кг/га при 15 кг/га при меньших дозах. Все органические удобрения были эффективны при их внесении под озимую пшеницу. От свиноводческих стоков прибавка составила 4,1-13,6 ц/га. Более 50 ц/га получено при внесении полной дозы птичьего помета и совместном внесении его со свиноводческими по поверхностной обработке почвы. С увеличением количества вносимого удобрительного субстрата урожайность закономерно пропорционально увеличивалась, достигая уровня 55-56 ц/га.

**Ключевые слова:** агротехнологии, плодородие почвы, чернозём, обработка почвы, удобрения

### DYNAMICS OF MINERAL NITROGEN RESERVES IN CHERNOZEM UNDER VARIOUS TECHNOLOGIES OF GRAIN CULTIVATION

**Abstract.** Agrochemical studies have been carried out in the Central Chernozem region to identify patterns of changes in soil fertility indicators depending on the intensity of land use with various agricultural technologies. The results presented in the article reflect the dynamics of the content of available forms of nitrogen in the soil when using various organic fertilizers. Studies have proved that when pig runoff was applied to the planned harvest, the content of mineral nitrogen in the spring even slightly decreased compared to the autumn values in the upper layer, however, as the growing season progressed, its reserves grew intensively, reaching values of 124-139 kg/ha in the summer. With the joint introduction of chicken manure and piglets, there was a constant increase in the concentration of mineral nitrogen in the soil in the upper layer of the soil. In the variants with mineral fertilizers, significant nitrogen reserves were observed in the spring along the soil profile - 113 and 163 kg/ha with an excess in the underlying layer. At a dose of 6 t/ha of BGC-VN in the soil layer of 0-20 cm, the increase compared to the spring selection was 22 kg/ha at 15 kg/ha at lower doses. All organic fertilizers were effective when applied to winter wheat. The increase from pig runoff was 4.1-13.6 c/ha. More than 50 c/ha was obtained by applying a full dose of bird droppings and jointly applying it with piglets on surface tillage. With an increase in the amount of applied fertilizer substrate, the yield naturally increased proportionally, reaching the level of 55-56 c/ha.

**Keywords:** agrotechnologies, soil fertility, chernozem, tillage, fertilizers

**Введение.** Стабильное сельскохозяйственное производство невозможно без возможности возделывать сельскохозяйственные культуры на хорошо окультуренных, плодородных почвах, насыщенных усвояемыми формами питательных веществ. Еще Д.Н. Прянишников [1] отмечал, что обеспечение растений азотом является главным фактором получения высоких урожаев. В Центрально-Чернозёмном регионе России азот по своей значимости находится в первом минимуме и выступает лимитирующим компонентом планируемой продуктивности. Многие ученые [2, 3] в своих изысканиях отмечали, что недостаток доступных форм азота в почве провоцирует недобор урожая и снижение общего плодородия эксплуатируемых почв. Однако, важен не общий запас в почве нитратных и аммонийных форм азота, а его наличие в критические фазы развития культурных растений [4]. Именно поэтому мы в своих исследо-

ваниях изучали динамику изменения содержания минерального азота в почве по различным срокам отбора.

**Цели и задачи.** Главной целью наших исследований являлось установление зависимости запасов минерального азота в черноземах юго-западной части ЦЧЗ от различных элементов биологической технологии возделывания культур. Задачей же наших изысканий является выведение научно обоснованных рекомендаций для конкретных условий возделывания отдельных культур, посредством которых можно гарантированно добиться высокой продуктивности хозяйствования при создании условий для расширенного воспроизводства плодородия почв [5, 6]. Стоит отметить, что решение вышеуказанных задач возможно лишь посредством внедрения в сельскохозяйственное производство относительно новых элементов агротехнологий – различных видов, сроков, доз и сочетаний органических удобрений и энергосберегающих способов обработки почвы [7, 8].

**Материалы и методы.** Комплексные исследования по изучению приёмов биологизации в агротехнологиях возделывания сельскохозяйственных культур в юго-западной части Центрально-Черноземной зоны России и их влиянию на продуктивность и изменение показателей плодородия черноземов проводились в период с 2016 по 2020 годы в различных административных районах Белгородской области.

В Белгородской области земледельческая отрасль АПК в основном выполняет функцию обеспечения кормами развитой отрасли животноводства. Все агропромышленные холдинги региона имеют структурные подразделения-зерновые компании, которые строят севообороты и моделируют структуру посевных площадей в зависимости от потребностей основной хозяйственной деятельности. Основным севооборотом в области является трехпольный зерновой: соя - озимая пшеница - кукуруза на зерно. Для этих культур в общей площади посева составила в 2020 году 55%.

Опыты проводились в течение полной ротации экспериментальных трехпольных севооборотов, отвечающим общей специализации хозяйства, признанной обеспечивать полноценными качественными кормами основные производства холдинга – птицеводческое и свиноводческое.

Исследования в первом полевом опыте осуществлялись в Ракитянском районе Белгородской области на полях агропромышленного холдинга «БЭЗРК-Белгранкорм» путем закладки осенью 2015 года полевого опыта по изучению эффективности различных видов органических удобрений, являющихся отходами животноводческой отрасли.

Варианты опыта:

1. Контроль без применения удобрений.
2. Минеральные удобрения на планируемый урожай 120 кг/га д.в. (по азоту).
3. Свиноводческие стоки на планируемый урожай.
4. Свиноводческие стоки на планируемый урожай (осенью 0,5 дозы+весной до посева 0,5 дозы).
5. Куриный помет на планируемый урожай.
6. Минеральные удобрения ½ дозы на планируемый урожай.
7. Свиноводческие стоки ½ дозы на планируемый урожай.
8. Куриный помет ½ дозы на планируемый урожай.
9. Свиноводческие стоки+куриный помет по ½ дозы.

Два способа заделки:

1. Мелкий до 15 см (поверхностный).
2. Глубокий до 27 см (безотвальный).

Технология внесения: свиноводческие стоки – механизировано по технологии, принятой в хозяйстве, органический компост и гранулированные удобрения – разбросным способом, вручную.

Ширина деланки равна 4 метра.

Длина деланки – 25 м.

Сортовой материал в опыте: озимая пшеница – Майская юбилейная, соя – Белгородская 48. Обе культуры – селекции Белгородского ГАУ. Кукуруза и сахарная свекла – гибриды известных зарубежных производителей.

**Результаты и обсуждение.** Мы в опыте по влиянию различных видов органических удобрений на показатели плодородия чернозема и продуктивность зерновых культур изучали содержание минерального азота по всем экспериментальным делянкам и двум слоям почвы 0-20 и 20-40 см. Перед закладкой опыта провели контрольное бурение с целью выяснения исходных показателей азотного фонда почвы. Для удобства сравнения цифровых значений данных показателей мы перевели, используя величины плотности почвы содержание азота в почве в его эффективные запасы с размерностью в килограммах на гектар сельскохозяйственных угодий.

Как показывают результаты исследований, осенью запасы азота на опытном поле по делянкам в принципе не отличались и составляли величину от 57 до 85 кг/га в верхнем 20-сантиметровом слое почвы и от 49 до 77 кг/га в более нижнем профиле почвы (табл. 1).

С точки зрения хозяйственной ценности представляет интерес величина запасов минерального почвенного азота перед посевом кукурузы и в период вегетации, особенно в сроки наивысшего потребления азота растениями. С этой целью мы провели исследования в три срока: во второй половине апреля перед посевом, во второй половине июня в период максимального потребления и в начале августа, когда формируется початок и происходит закладка будущего урожая.

**Таблица 1 – Исходные запасы минерального азота в почве до закладки опыта (кг/га)**

Удобрение	1*	2	3	4	5	6	7	8	9	
Пов.	0-20	63	57	69	80	59	62	81	77	69
	20-40	65	49	59	70	55	63	77	52	71
Всп.	0-20	83	85	80	84	71	76	79	66	83
	20-40	66	71	74	72	59	72	74	56	60
НСР <sub>05</sub>		10								

\* – схема опыта в разделе «Материалы и методы».

Для наглядности мы свели результаты исследований в информационные графики по вариантам опыта.

Как показали результаты лабораторного анализа почвы при поверхностной обработке почвы в слое 0-20 см запасы минерального (суммы нитратного и аммонийного) азота а варианте без применения удобрений перед посевом кукурузы были несколько выше осенних значений (на 21 кг/га), что объясняется минерализацией растительной массы предшествующей озимой пшеницы. С началом вегетации запасы закономерно снижаются, достигнув величины около 50 кг/га в начале августа, что, безусловно, является недостаточной величиной для формирования потенциальной продуктивности кукурузы. В нижнем пахотном слое почвы вышеотмеченная закономерность сохраняется (рис.1) с несколько меньшими запасами в августе.

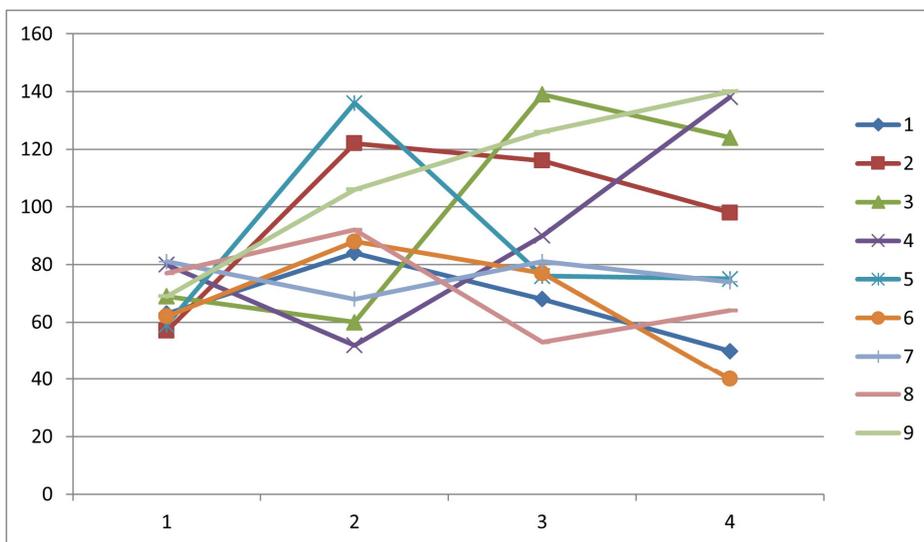


Рис. 1 – Запасы минерального азота в почве в зависимости от уровня удобрения на мелкой обработке в слое почвы 0-20 см

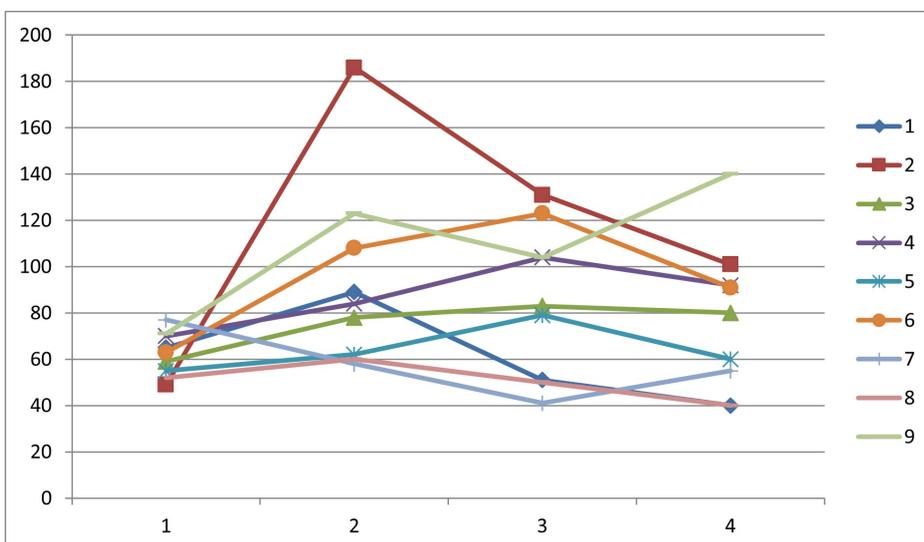


Рис. 2 – Запасы минерального азота в почве в зависимости от уровня удобрения на мелкой обработке в слое почвы 20-40 см

При условии внесения минеральных удобрений на планируемый урожай отмечается значительное повышение запасов подвижных соединений азота перед началом вегетации, что создает предпосылки для позитивной динамики развития кукурузы на начальном этапе вегетации. Следует отметить значительные запасы азота – до 186 кг/га в нижнем слое почвы до 40 см, хотя данный слой не является локацией внесения удобрений осенью. Эти данные подтверждают тезис о высокой подвижности азотных соединений минеральных удобрений, которые, диссоциируя в почвенном растворе могут мигрировать вниз по профилю почвы, что, при избыточном внесении в дозах, отличных от научно-рекомендованных могут создать угрозу загрязнения нитратами окружающей среды посредством проникания в подпочвенные вазы. На экспериментальных делянках с индексом 2 (минеральные удобрения на планируемый урожай) в динамике происходит сокращение почвенных запасов минерального азота, хотя их величина остается достаточно высокой (98-101 кг/га) в начале августа (рис. 2). На этом варианте происходит интенсивное усвоение азота растениями кукурузы, а также, предположительно, потери этих соединений в нижележащие слои почвы. Чтобы установить куда конкретно трансформируется азот удобрений необходимо закладывать опыты с радиоактивными изотопами, так называемым «меченым» азотом, а также проводить исследование почвы на глубину до 1,5 метров.

Наибольший интерес с точки зрения хозяйственной эффективности представляют варианты опыта по изучению характера действия органических удобрений, являющихся побочным продуктом при хозяйственной деятельности животноводческой отрасли холдинга «БЭЗРК-Белгранкорм». Так, при условии внесения свиноводческих стоков на планируемый урожай содержание минерального азота весной даже несколько снижается в верхнем слое, однако по мере вегетации его запасы интенсивно растут, достигая величин 124-139 кг/га в летний период, что создает предпосылки для полноценного развития растений кукурузы. Следует отметить, что именно на делянках с достаточными дозами органики интенсивно развивались воздушные «аминокислотные» корни растений, отвечающие, в том числе и за повышение качества зерна, формированию полноценных початков и равномерности созревания. В нижнем слое почвы 20-40 см данная тенденция сохраняется при несколько меньших абсолютных значениях.

Отрасль животноводства в холдинге развивается непрерывно в течение года и вопрос хранения свиноводческих стоков стоит достаточно остро при недостатке площадей. В своем опыте мы включили в схему вариант с дробным внесением свиноводческих стоков, разбив полную дозу пополам осенью и весной до посева. При подобной системе удобрения кукурузы запасы минерального азота перед посевом несколько снижаются в верхнем слое, затем в июне несколько возрастают до 90 кг/га, а по мере минерализации внесенной массы органики и подтягивания азота почвенного раствора из нижних горизонтов происходит его увеличение до 138 кг/га. В подпахотном слое, напротив, максимальные запасы азота зафиксированы в третий срок отбора. В целом на данном варианте запасы азота в почве находились на достаточно высоком уровне.

На делянках, где схемой опыта было предусмотрено внесение компоста на основе куриного помета (концентрированного органического удобрения), в верхнем слое почвы были отмечены максимальные запасы азота на уровне 136 кг/га. Необходимо отметить, что значительная часть азота компоста находится в аммонийной форме, для которой характерно обильное поглощение почвенно-поглощающим комплексом. Соответственно вертикальная подвижность данного соединения гораздо ниже нитратной формы, которая, растворяясь в почвенной влаге, способна с нисходящими и восходящими токами мигрировать далеко по профилю почвы. По результатам научных наблюдений именно аммонийная форма азота является оптимальной для роста и развития растений кукурузы, ее зерновой продуктивности. Косвенным подтверждением данного тезиса являются данные по запасам минерального азота в слое почвы до 40 см, где весной разница величин с верхним слоем составила 74 кг/га, т.е. в два раза меньше, чем в верхнем слое. По мере усвоения растениями азота запасы его снижаются, составляя в начале августа 75 и 60 кг/га соответственно в верхнем и в нижнем слоях чернозема опытного поля.

Одной из целей нашего исследования являлось возможность сокращения дозы внесения изучаемых удобрений без критической потери продуктивности возделываемых культур. Именно поэтому мы ввели в схему опыта варианты с половинными нормами применяемых в опыте минеральных удобрений, свиноводческих стоков и компоста на основе куриного помета.

При изучении динамики изменения запасов минерального азота в почве мы выяснили, что отмеченные выше тенденции сохраняются по аналогии с полными дозами изучаемых удобрений. Так, при половинной норме минеральных удобрений при дисковании осенью содержание азота в верхнем слое возрастает весной по сравнению с исходными значениями на 26 кг/га в верхнем слое почвы и на 45 кг/га в слое до 40 см, причем по абсолютным значениям подпахотный слой был значительно богаче азотом верхнего.

Определенный интерес вызывает вариант опыта с совместным внесением двух видов органических удобрений – компоста на основе помета и свиноводческих стоков по ½ дозе от полной нормы. В данном случае мы отмечаем постоянный рост концентрации минерального азота в почве именно в верхнем слое почвы. Если весной до посева величина запасов азота была на уровне 106 кг/га, то в июне-августе она возросла до 126 и 140 кг/га соответственно

при условии полноценного развития растений кукурузы на этих вариантах. В нижнем слое максимальное содержание отмечено весной – 126 кг/га, затем происходит сокращение запасов.

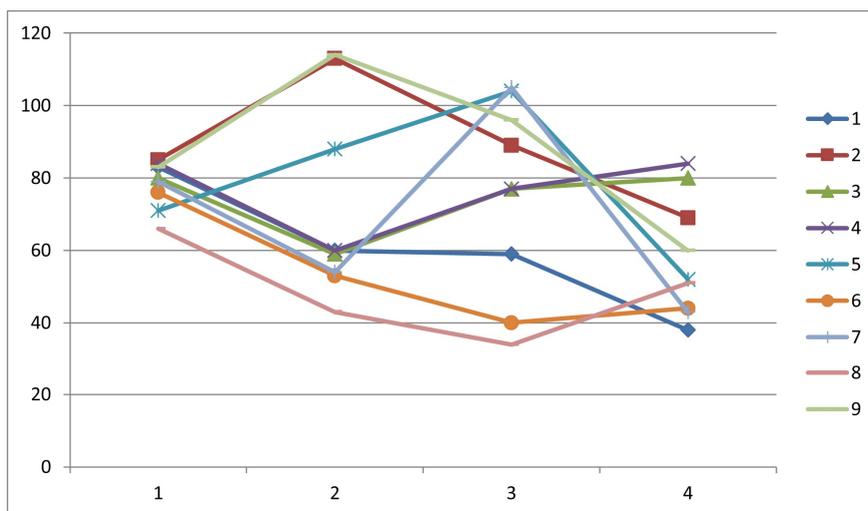


Рис. 3 – Запасы минерального азота в почве в зависимости от уровня удобрения на отвальной обработке в слое почвы 0-20 см

В данном случае можно предположить роль компоста, как органического абсорбента, впитывающего азотные соединения свиноводческих стоков в местах внесения, создавая повышенные концентрации. При постепенном высвобождении питательных веществ через минерализацию для питания растений кукурузы, тем не менее данный процесс протекает все лето, что способствует не только формированию благоприятного азотного режима почвы, но и повышает ее агрофизические свойства и активность почвенной биоты (рис.3).

Несколько иные закономерности динамики минерального азота в почве зафиксированы при отвальной глубокой обработке почвы.

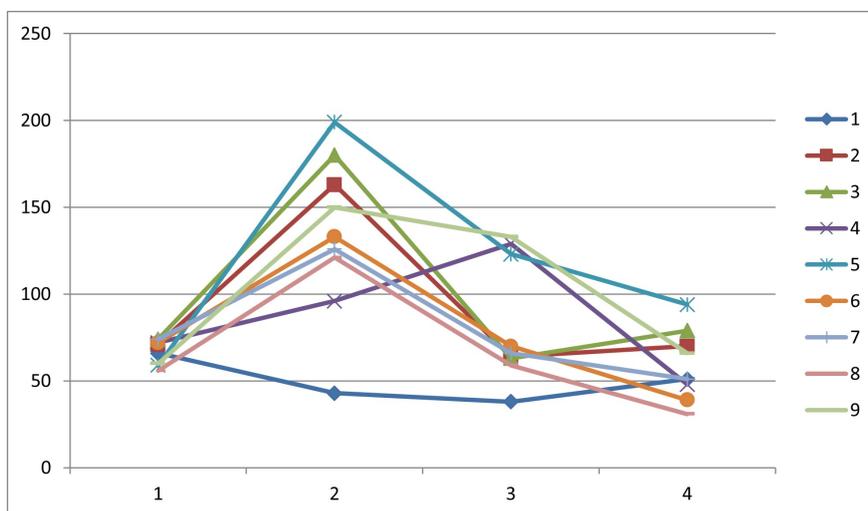


Рис. 4 – Запасы минерального азота в почве в зависимости от уровня удобрения на отвальной обработке в слое почвы 20-40 см

На втором блоке опытного поля предусматривалась глубокая заделка изучаемых видов удобрения на глубину до 30 см.

На абсолютном контроле без применения удобрений запасы минерального азота были на уровне средних значений – 66-83 кг/га в верхнем и нижнем слое соответственно (рис. 4). С началом вегетации кукурузы азотный фонд почвы несколько сократился с устойчивой динамикой по срокам отбора проб. Так, в начале августа в верхнем слое почвы отмечено всего 38 кг/га минерального азота.

На вариантах с минеральными удобрениями весной наблюдались значительные запасы азота по профилю почвы – 113 и 163 кг/га с превышением в нижележащем слое. Во второй половине вегетации запасы по слоям почвы на этих вариантах выровнялись. При внесении половинной нормы промышленных туков величины запасов азота были объективно ниже, причем, весной до посева в верхнем слое в этом случае азоты было даже меньше, чем осенью при исходных значениях. Зато в нижнем слое весной отмечены 133 кг/га минерального азота, т.е. ненамного меньше полной дозы минеральных удобрений.

Общая тенденция при внесении органических удобрений как в полной, так и в половинной норме – снижение концентрации азота в почве в верхнем слое до 20 см. Объяснить это возможно глубокой заделкой органики и невозможность азотным соединением переход в верхние горизонты. Однако, в слое почвы 20-40 см запасы азота были достаточно высоки. На делянках с внесением полной дозы компоста отмечена максимальная концентрация азота – на уровне 200 кг/га. Хотя, как отмечалось выше, в верхнем слое запасы азота меньше, чем в нижнем, тем не менее они находятся на достаточно высоком уровне на удобренных делянках. При воздействии рабочих органов почвенных агрегатов не 100% удобрительной массы попадает на глубину заделки. Так, на пятом и седьмом вариантах в начале июня запасы минерального азота были выше 100 кг/га.

Высокие концентрации азота почвы отмечены при совместном внесении птичьего компоста и свиноводческих стоков по второму и третьему срокам отбора в верхнем и нижнем слое. Однако, в начале августа запасы минерального азота на этих вариантах значительно снизились до уровня 66-80 кг/га. Эта закономерность отмечена и по другим удобренным вариантам при глубокой заделке. Объяснение этому факту следует искать в излишней рыхлости почвы при ее обороте и, соответственно, созданию предпосылок для вымывания почвенного азота вниз по профилю.

В целом, анализируя изменение запасов минерального азота в черноземе опытного поля, следует отметить их крайнюю неоднородность как по вариантам опыта, так и по слоям почвы. Черноземы, обладая высокой ёмкостью поглощения, оптимальной структурой и высокой биологической активностью, способны трансформировать азотные соединения как удобрений, так и почвенных запасов в различные соединения. Процессы минерализации, гумификации органических соединений идут постоянно, меняя свою направленность в зависимости от целого ряда факторов. При разработке системы удобрения сельскохозяйственных культур необходимо учитывать показатели азотного фонда почвы и делать соответствующие корректировки. Методики расчета потребности в удобрениях детально описаны на основе обширного экспериментального материала коллективом белгородских ученых в монографии «Удобрения в современном земледелии».

#### Библиография

1. Азаров В.Б. Мониторинг плодородия почв Центрального Черноземья / В.Б. Азаров. – Белгород, 2004. – 204 с.
2. Родионов В.Я., Клостер Н.И. Удобрения в современном земледелии / В.Я. Родионов. – Белгород, 2013. – 213 с.
3. N.I. Kloster and V.B. Azarov. Biologization technologies in agriculture of the Belgorod region International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» (FSRAABA 2021) BIO Web of Conferences 36, 03010 (2021) Volume 36, 2021.
4. Куликова М.А. Изменение свойств чернозема выщелоченного при длительном применении удобрений в условиях Центрального Черноземья. Автореферат... кандидата с.-х. наук. Курск. 2008. 21 с.
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. Kotlyarova, E.G. Agrophysical properties of typical chernozem depending on its treatment and break crop / E.G. Kotlyarova, I.A. Kazanbekov, A.I. Titovskaya // В сборнике: IoP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness. 624 (2021) 012228 (Scopus & WoS) doi:10.1088/1755-1315/624/1/012228.
7. 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.

8. Rezvyakova S., Eremin L., Matveychuk P., Mitina E. The influence of biofungicide and chemical fungicides on the manifestation of diseases and the yield of soybeans: E3S Web of Conferences. 2. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2021. DOI 10.1051/e3sconf/202124701046.

#### References

1. Azarov V.B. Monitoring of soil fertility in the Central Chernozem region / V.B. Azarov. – Belgorod, 2004. – 204 p.
2. Rodionov V.Ya., Kloster N.I. Fertilizers in modern agriculture / V.Ya. Rodionov. – Belgorod, 2013. – 213 p.
3. N.I. Kloster and V.B. Azarov Biologization technologies in agriculture of the Belgorod region International Scientific and Practical Conference «Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture» (FSRAABA 2021) BIO Web of Conferences 36, 03010 (2021) Volume 36, 2021.
4. Kulikova M.A. Changes in the properties of leached chernozem with prolonged use of fertilizers in the conditions of the Central Chernozem region. Abstract... of the Candidate of agricultural sciences. Kursk. 2008. 21 p.
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. Kotlyarova, E.G. Agrophysical properties of typical chernozem depending on its treatment and break crop / E.G. Kotlyarova, I.A. Kazanbekov, A.I. Titovskaya // In the collection: IoP Conference Series: Earth and Environmental Science. International Conference on World Technological Trends in Agribusiness. 624 (2021) 012228 (Scopus & WoS) doi:10.1088/1755-1315/624/1/012228.
7. 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.
8. Rezvyakova S., Eremin L., Matveychuk P., Mitina E. The influence of biofungicide and chemical fungicides on the manifestation of diseases and the yield of soybeans: E3S Web of Conferences. 2. International Conference on Efficient Production and Processing, ICEPP 2021. DOI 10.1051/e3sconf/202124701046.

#### Сведения об авторах

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

Лоткова Виктория Викторовна, студентка агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: lotkova200@mail.ru

Борисенко Григорий Олегович, аспирант агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: BorisenkoGO@mail.ru

Горбунов Василий Васильевич, аспирант агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: GorbunovVV@mail.ru

Симашева Александра Олеговна, аспирантка агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, e-mail: SimashevaAO@yandex.ru

#### Information about authors

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 Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: azarov.v.b@mail.ru

Lotkova Victoria Viktorovna, student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: lotkova200@mail.ru

Borisenko Grigory Olegovich, Postgraduate student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: Boris-enkoGO@mail.ru

Gorbunov Vasily Vasilyevich, postgraduate student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: Gor-bunovVV@mail.ru

Simasheva Alexandra Olegovna, postgraduate student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, e-mail: Si-mashevaAO@yandex.ru

УДК 633.413:631.8:631.559(470.325)

*А.В. Акинчин, Л.Н. Кузнецова, С.А. Линков, Т.С. Морозова, А.Ю. Белоусова*

## ВЛИЯНИЕ ПОДКОРМОК НА ПРОДУКТИВНОСТЬ САХАРНОЙ СВЕКЛЫ

**Аннотация.** В Белгородской области достаточное внимание уделяют выращиванию сахарной свеклы.

Сахарная свекла – техническая культура, которая возделывается во многих странах мира для получения сахара. В ряде государств она является основным источником получения сахарозы и имеет важное экономическое значение. У этой культуры высокий потенциал продуктивности. Для получения высоких и качественных урожаев сахарной свеклы аграрии используют целый комплекс приемов. Он включает себя обработку почвы, подготовку семян, внесение минеральных, органических и микроудобрений, мероприятия по защите растений от сорняков, вредителей и болезней. Влияние удобрений на объемы и качество продукции свеклосахарного производства сложно переоценить. Вопросу влияния подкормок на урожайности и качество сахарной свеклы уделяется большое внимание. Мнения разных ученых на этот счет противоречивые. Поэтому изучение подкормок на продуктивность сахарной свеклы является актуальным. Исследования проводили в 2021-2022 гг в ПУ «Покровский» ООО «Русагро-Инвест», в опыте изучались доза, формы и сроки внесения удобрений в подкормку сахарной свеклы. Подкормки практически никак не повлияли на густоту стояния растений сахарной свеклы, а при исключении весеннего внесения азота (предпосевная культивация) наблюдалось существенное снижение густоты стояния растений на 15 тыс. шт./га. Проведение подкормок сахарной свеклы положительно влияет на урожайность и качество урожая сахарной свеклы. Максимальное повышение урожайности наблюдается при внесении  $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$ . Прирост составил 10,2 т/га (в сравнении с контролем). Также отмечена положительная роль подкормок на качество продукции, самый низкий сбор сахара с га на контроле, где не проводилась подкормка – 8,5 т/га. Показатель сахаристости и сбор сахара выше на вариантах с подкормкой на 0,7-1,0%, сбор сахара – 1,4-2,0 т/га. Наибольший показатель отмечен на делянке № 2 ( $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$ ) – 10,5 т/га, также схема опыта  $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$  показывает самые высокие показатели рентабельности. Несмотря на то, что затраты на 1 га этом участке выше, чем на варианте № 1 ( $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30}$ ) и на контроле. За счет высокой урожайности процент рентабельности по данному участку достигает 56,98%.

**Ключевые слова:** сахарная свекла, подкормки, удобрения, урожайность, сбор сахара.

## THE EFFECT OF FERTILIZING ON THE PRODUCTIVITY OF SUGAR BEET

**Abstract.** In the Belgorod region, sufficient attention is paid to the cultivation of sugar beet.

Sugar beet is a technical crop that is cultivated in many countries of the world to produce sugar. In a number of States, it is the main source of sucrose production and is of great economic importance. This crop has a high productivity potential. To obtain high and high-quality yields of sugar beet, farmers use a whole range of techniques. It includes tillage, seed preparation, application of mineral, organic and micronutrients, measures to protect plants from weeds, pests and diseases. The impact of fertilizers on the volume and quality of sugar beet production is difficult to overestimate. Much attention is paid to the issue of the effect of fertilizing on the yield and quality of sugar beet. Opinions of different scientists on this matter are contradictory. Therefore, the study of fertilizing on the productivity of sugar beet is relevant. The research was carried out in 2021-2022 at the Pokrovsky PU of Rusagro-Invest LLC, the dose, forms and timing of fertilizing sugar beet were studied in the experiment. Top dressing had practically no effect on the density of standing sugar beet plants, and with the exception of spring nitrogen application (pre-sowing cultivation), there was a significant decrease in the density of standing plants by 15 thousand pcs./ha. Carrying out sugar beet fertilizing has a positive effect on the yield and quality of the sugar beet harvest. The maximum increase in yield is observed when applying  $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$ . The increase was 10.2 t/ha (compared to the control). The positive role of top dressing on the quality of products was also noted, the lowest sugar collection per hectare at the control, where no top dressing was carried out – 8.5 t/ha. The sugar content index and sugar collection are higher in the variants with top dressing by 0.7-1.0%, sugar collection – 1.4-2.0 t/ha. The highest indicator was recorded at plot № 2 ( $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$ ) – 10.5 t/ha, also the scheme of experience  $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$  shows the highest profitability indicators. Despite the fact that the costs per 1 ha of this site are higher than on option № 1 ( $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30}$ ) and on control. Due to the high yield, the percentage of profitability for this site reaches 56.98%.

**Keywords:** sugar beet, top dressing, fertilizers, yield, sugar harvesting.

**Введение.** Влияние удобрений на объемы и качество продукции свеклосахарного производства сложно переоценить. Расчет доз и форм удобрений проводится с учетом принципов рационального использования почв, их плодородия, и данных о содержании элементов питания в доступном растению слое. Сахарная свекла достаточно требовательна к содержанию в почве элементов питания.

Для получения высоких и качественных урожаев сахарной свеклы необходимо комплексно подходить к вопросу. Учитывать климатические условия, особенности почвенного плодородия, полноценно использовать достижения научно-технического прогресса [1, 2, 3, 4, 5].

Научными исследованиями и примерами из передовой практики доказано то, что высокий уровень продуктивности сахарной свеклы не может быть достигнут без широкого применения органических и минеральных удобрений. Рациональное их использование способствует увеличению урожая и улучшению его качества [6, 7, 8, 9, 10, 11].

Цель работы: исследовать влияние изменения доз и форм внесения удобрений на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы.

Задачи исследований:

1. изучить влияние подкормок на густоту стояния растений сахарной свеклы;
2. определить влияние подкормок на урожайность сахарной свеклы;
3. установить зависимость качества урожая корнеплодов сахарной свеклы от доз и форм внесения удобрений;
4. рассчитать экономическую эффективность применения удобрений под сахарную свеклу.

Исследования проводили в 2021-2022 гг в ПУ «Покровский» ООО «Русагро-Инвест», в опыте изучали доза, формы и сроки внесения удобрений в подкормку сахарной свеклы.

Хозяйство ООО «Русагро-Инвест» ПУ «Покровский» расположено в трех районах Белгородской области: Волоконовском (17 804,62 га), Новооскольском (3 461,1 га) и Валуйском (1 808,65 га) районах, входящих в состав юго-западной природно-экономической зоны Белгородской области.

На поле площадью 116,24 га выделили одну контрольную и 4 опытные делянки. В таблице 1 указаны дозы и формы внесения удобрений под сахарную свеклу.

Таблица 1 – Схема опыта

Варианты	Основное внесение		Внесение перед посевом	Подкормка		NPK, кг д.в./га
	Хлористый калий, кг/га	Аммофос, кг/га	Аммиачная селитра, кг/га	КАС, кг/га	ЖКУ, кг/га	
Контроль	300	150	200	0	0	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub>
Делянка №1	300	150	200	100	0	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub>
Делянка №2	300	150	200	100	50	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub> + N <sub>5</sub> P <sub>19</sub>
Делянка №3	300	150	100	200	50	N <sub>45</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>60</sub> + N <sub>5</sub> P <sub>19</sub>
Делянка №4	300	150	0	100	200	N <sub>20</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub> + N <sub>22</sub> P <sub>54</sub>

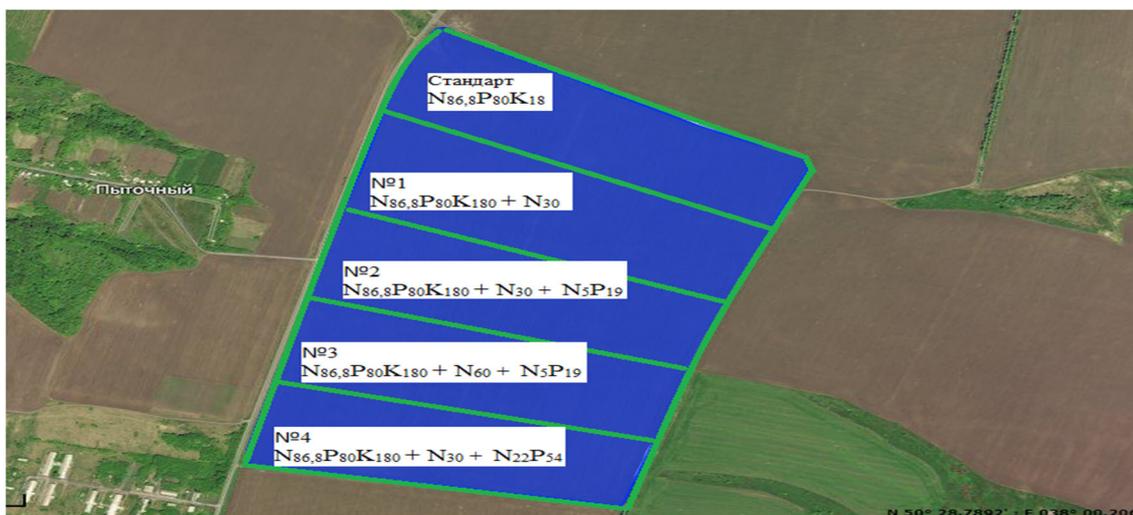


Рис. 1 – Схема производственного опыта

Технология возделывания сахарной свеклы общепринятая для зоны

Посев производился в оптимальные сроки (с 17 по 18 апреля), при температуре почвы 13-15°. Всходы появились на 7 день после посева, равномерные, хорошо развитые. Весной под культивацию вносили по 200 кг/га аммиачной селитры (N<sub>70</sub> кг/га д.в.).

В конце мая проводили подкормку сахарной свеклы.

На опытной делянке № 1 междурядную обработку проводили с внесением КАС по 100 кг/га (N<sub>30</sub> кг/га д.в.).

На опытной делянке № 2 проводили первую азотную подкормку сахарной свёклы с внесением КАС 100 кг/га + 50 кг/га ЖКУ (N<sub>30</sub> + N<sub>5</sub>P<sub>19</sub> кг/га д.в.) на глубину 5 см в прикорневую зону сахарной свеклы.

На опытной делянке №3 проводили первую азотную подкормку сахарной свёклы с внесением КАС 200 кг/га + 50 кг/га ЖКУ (N<sub>60</sub> + N<sub>5</sub>P<sub>19</sub> кг/га д.в.) на глубину 5 см в прикорневую зону сахарной свеклы.

На опытной делянке № 4 проводили первая подкормка с внесением КАС 100 кг/га + 200 кг/га ЖКУ (N<sub>30</sub> + N<sub>22</sub>P<sub>54</sub>).

На опытных делянках № 2, 3, 4 при проведение комплексной подкормки азотными (аммиачная селитра, КАС) и комплексным удобрением ЖКУ растения начали более активно наращивать листовой аппарат (рисунок 3, 4).



Рис. 2 – Развитие листового аппарата свеклы на опытной делянке № 3.



Рис. 3 – Развитие листового аппарата свеклы на опытной делянке № 1.

В мае при полной всхожести производили подсчет густоты стояния посевов сахарной свеклы (Таблица 2).

**Таблица 2 – Густота стояния сахарной свеклы в среднем за 2021-2022 гг.**

Варианты опыта		Густота растений, тыс. шт./га
Контроль	$N_{90}P_{80}K_{180}$	107
Делянка №1	$N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30}$	105
Делянка №2	$N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$	100
Делянка №3	$N_{45}P_{80}K_{180} + N_{60} + N_5P_{19}$	103
Делянка №4	$N_{20}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_{22}P_{54}$	92
НСР 05		7

Положительная роль подкормок сахарной свеклы проявлялась при внесении полной дозы минеральных удобрений в основное внесение и внесении азота под предпосевную культивацию ( $N_{70}$  кг/га д.в.). Существенной разницы по сравнению с контролем (107 тыс. шт./га) не наблюдалось, густота стояния растений находилась в интервале от 100 до 105 тыс. шт./га. При исключении весеннего внесения азота (предпосевная культивация) наблюдалось существенное снижение густоты стояния растений на 15 тыс. шт./га.

К уборке в конце августа был произведен подсчет среднего веса корнеплода сахарной свеклы (таблице 3).

**Таблица 3 – Средний вес корнеплода сахарной в среднем за 2021-2022 гг.**

Варианты опыта		Средний вес корнеплода, г
Контроль	$N_{90}P_{80}K_{180}$	406
Делянка №1	$N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30}$	448
Делянка №2	$N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$	512
Делянка №3	$N_{45}P_{80}K_{180} + N_{60} + N_5P_{19}$	495
Делянка №4	$N_{20}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_{22}P_{54}$	463
НСР 05		19

Средний вес корня – это показатель, который позволяет оценить интенсивность развития сахарной свеклы (при условии посева в одни сроки) и спрогнозировать урожайность.

Наибольший вес корнеплода – 512 г был отмечен на делянке № 2 ( $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$ ), что на 106 г больше контроля (406 г), на остальных вариантах вес корнеплода был больше в интервале от 42 до 89 г.

Разница по сравнению с контролем на опытных делянках в среднем составила 74 г (при практически равной густоте) между средним весом корнеплода на опытных делянках, уже на этом этапе позволяет сделать вывод, что подкормки положительно повлияют на урожайность.

В конце сентября 2021-2022 гг была произведена уборка корнеплодов сахарной свеклы. Показатели урожайности и сахаристости представлены в таблице 4.

**Таблица 4 – Урожайность сахарной свеклы в среднем за 2021-2022 гг.**

Варианты опыта		Урожайность, т/га	Прибавка урожайность, +/- контроль, т/га
Контроль	$N_{90}P_{80}K_{180}$	43,5	
Делянка №1	$N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30}$	49,2	+5,7
Делянка №2	$N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$	53,8	+10,3
Делянка №3	$N_{45}P_{80}K_{180} + N_{60} + N_5P_{19}$	51,7	+8,2
Делянка №4	$N_{20}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_{22}P_{54}$	49,5	+6,0
НСР 05		2,0	

Внесение удобрений в подкормку оказали положительное влияние на урожайность сахарной свеклы, так наибольшая прибавка была отмечена на делянке № 2 ( $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_5P_{19}$ ), прибавка урожайности по сравнению с контролем ( $N_{90}P_{80}K_{180}$ ) составила 10,3 т/га, наименьшая прибавка отмечена на варианте с подкормкой азотом без комплексного удобрения (делянка №1 –  $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30}$ ) – 5,7 т/га, на делянках № 3 и № 4 ( $N_{45}P_{80}K_{180} + N_{60} + N_5P_{19}$ ) – 8,2 т/га и 6,0 т/га соответственно.

N<sub>5</sub>P<sub>19</sub>, N<sub>20</sub>P<sub>80</sub>K<sub>180</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>22</sub>P<sub>54</sub>) прибавка урожайности сахарной свеклы находилась в интервале от 6 до 8,2 т/га., что позволяет сделать вывод, что внесение ЖКУ в оптимальных количествах способствует увеличению урожайности.

**Таблица 5 – Сбор сахара в среднем за 2021-2022 гг.**

Варианты опыта		Сахаристость, %	Сбор сахара, т/га
Контроль	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub>	19,0	8,5
Делянка №1	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub>	19,7	9,7
Делянка №2	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub> + N <sub>5</sub> P <sub>19</sub>	19,7	10,5
Делянка №3	N <sub>45</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>60</sub> + N <sub>5</sub> P <sub>19</sub>	19,9	10,2
Делянка №4	N <sub>20</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub> + N <sub>22</sub> P <sub>54</sub>	20,0	9,9
НСР 05		0,7	

Подкормки положительно влияют на сахаристость сахарной свеклы и сбор сахара, наибольшая сахаристость корнеплодов сахарной свеклы отмечена на делянках № 3 и № 4 (N<sub>45</sub>P<sub>80</sub>K<sub>180</sub> + N<sub>60</sub> + N<sub>5</sub>P<sub>19</sub>, N<sub>20</sub>P<sub>80</sub>K<sub>180</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>22</sub>P<sub>54</sub>) и составила 19,9 и 20%, что на 0,9-1% выше контроля что можно объяснить внесением фосфора в значительном количестве с подкормкой.

Самый низкий сбор сахара с га был отмечен на контроле, на которой не проводилась подкормка и составил 8,5 т/га. С внесением дополнительных питательных веществ в виде подкормки наблюдалось увеличение этого показателя. Наибольший показатель отмечен на делянке № 2 (N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>180</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>5</sub>P<sub>19</sub>) – 10,5 т/га, что на 2,0 т/га больше контроля, на делянках № 3 и № 4 дополнительный сбор сахара находился в интервале от 1,4 до 1,7 т/га.

Таким образом можно сделать вывод, что с точки зрения урожайности и сахаристости наиболее удачным считается вариант с внесением N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>180</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>5</sub>P<sub>19</sub> – делянка № 2.

Экономическая эффективность удобрений – это результат действия их на выход основной продукции, выраженной в прибавке урожая с гектара или на единицу удобрения. Величина прибавки зависит от вида, сорта сельскохозяйственных культур, от условий среды и организационно-хозяйственных факторов (таблица 6).

**Таблица 6 – Экономическая эффективность, в среднем за 2021-2022 гг.**

Показатели	Вариант опыта				
	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub> + N <sub>5</sub> P <sub>19</sub>	N <sub>45</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>60</sub> + N <sub>5</sub> P <sub>19</sub>	N <sub>20</sub> P <sub>80</sub> K <sub>180</sub> + N <sub>30</sub> + N <sub>22</sub> P <sub>54</sub>
Урожайность, т/га	43,52	49,22	53,78	51,68	49,54
Цена реализации, руб./т	5 200,00	5 200,00	5 200,00	5 200,00	5 200,00
Стоимость валовой продукции, руб./га	226 304,00	255 923,93	279 656,00	268 760,00	257 608,00
Производственные затраты, руб./га	105 230,00	110 220,00	120 320,00	125 230,00	138 560,00
Прибыль, руб./га	121 074,00	145 703,93	159 336,00	143 530,00	119 048,00
Себестоимость, руб./т	2 417,97	2 239,51	2 237,26	2 422,96	2 796,93
Рентабельность, %	53,50	54,93	56,98	53,40	46,21

Показатель рентабельности по всем участкам превышает 45%, что позволяет оценивать сахарную свеклу как прибыльную культуру в пределах производства ПУ «Покровский» ООО «Русагро-Инвест».

Показатель прибыли с 1 га колеблется от 119 тыс. руб. до 159 тыс. руб.

Самым экономически выгодным является вариант опыта №2 (N<sub>90</sub>P<sub>80</sub>K<sub>180</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>5</sub>P<sub>19</sub>), несмотря на то, что затраты на 1 га на нем выше, чем на варианте 1 и «контроль». За счет высокой урожайности процент рентабельности по данному участку достигает 56,98%.

В целом можно отметить, что дробное применение минеральных удобрений  $N_{90}P_{80}K_{180} + N_{30} + N_{5}P_{19}$  положительно сказывается на величине урожайности, его качестве и экономической эффективности возделывания сахарной свеклы.

#### Библиография

1. Акинчин А.В. Влияние способов основной обработки почвы и удобрений на формирование урожая и качество силоса кукурузы / А.В.Акинчин, Л.Н. Кузнецова, С.А. Линков, А.Г. Ступаков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 8. – С. 50.
2. Волков С.Н., Вершинин В.В., Турьянский А.В. и др. Институциональные основы научно-технологического прогнозирования в АПК: Монография / Волков С.Н., Вершинин В.В., Турьянский А.В., Дорофеев А.Ф., Линков С.А., Акинчин А.В., Добрунова А.И., Ширяев А.В., Кузнецова Л.Н., Черкашина Е.В. – М. – Белгород: Издательство «КОНСТАНТА», типография ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2019. – 238 с.
3. Изменение плодородия почвы в зависимости от факторов интенсификации земледелия: монография / С.А. Линков, Л.Н. Кузнецова, А.В. Акинчин, А.В. Ширяев – Белгород : Изд-во Белгородского ГАУ, 2016. – 197 с., ил.
4. Кузнецова Л.Н., Акинчин А.В. Комплекс агроприемов как фактор почвенного плодородия. Монография. – Белгород, 2014. – 136 с.
5. Кузнецова Л.Н. Влияние последействия основной обработки почвы на засоренность посевов и продуктивность озимой пшеницы / Кузнецова Л.Н., Ширяев А.В., Титовская А.И., Смуров С.И. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Белгород, 2016. – № 3 (11). – С. 72-78.
6. Лицуков С.Д. Влияние No-till на свойства почвы и урожайность кукурузы на зерно / Лицуков С.Д., Титовская А.И., Ширяев А.В., Кузнецова Л.Н. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – Белгород, 2014. – № 1. – С. 77-83.
7. Лицуков С.Д. Изменение показателей плодородия чернозема типичного и урожайности подсолнечника в зависимости от способа заделки сидератов / Лицуков С.Д., Титовская А.И., Кузнецова Л.Н., Ширяев А.В. // Материалы конференции «Опыт освоения ландшафтных систем земледелия». Всероссийская научно-практическая конференция (13-14 октября 2014 года). – Белгород, 2014. – С. 51-54.
8. Лицуков С.Д., Кузнецова Л.Н. Продуктивность ярового ячменя при различных системах удобрения / Материалы XXII международной научно-производственной конференции «Органическое сельское хозяйство: проблемы и перспективы» (28-29 мая 2018 года). Т. 1– Майский : Издательство ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 2018. – С. 17-19.
9. Морозова Т.С. Агроэкологическая оценка чернозёма типичного Белгородской области. Сборник трудов Международной молодежной научной конференции «Генетическая и агрономическая оценка почв» / Российский государственный аграрный университет – МСХА им. К.А. Тимирязева. – Москва : РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева. – 2018. – С. 132-135.
10. Никитин В.В. Резервы повышения качества свекловичного сырья в условиях неустойчивого увлажнения ЦЧЗ / В.В. Никитин, А.В. Акинчин, С.А. Линков // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2013. – № 4. – С. 46-48.
11. Никитин В.В. Влияние агрогенных и природных факторов на урожайность и качество корнеплодов сахарной свеклы на черноземе типичном В.В. Никитин, В.Д. Соловиченко, А.Г. Ступаков, Е.В. Навольнева // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2015. – № 2. – С. 69-76.

#### References

1. Akinchin A.V. The influence of methods of basic tillage and fertilizers on the formation of the crop and the quality of corn silage / A.V. Akinchin, L.N. Kuznetsova, S.A. Linkov, A.G. Stupakov // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2012. – № 8. – P. 50.
2. Volkov S.N., Vershinin V.V., Turyansky A.V. and others. Institutional foundations of scientific and technological forecasting in agriculture: Monograph / Volkov S.N., Vershinin V.V., Turyansky A.V., Dorofeev A.F., Linkov S.A., Akinchin A.V., Dobrunova A.I., Shiryayev A.V., Kuznetsova L.N., Cherkashina E.V. – M. – Belgorod : publishing house «CONSTANT», printing house of the Belgorod State Agrarian University, 2019. – 238 p.
3. Changes in soil fertility depending on factors of intensification of agriculture: monograph / S.A. Linkov, L.N. Kuznetsova, A.V. Akinchin, A.V. Shiryayev. – Belgorod : Publishing House of Belgorod State Agrarian University, 2016. – 197 p., ill.
4. Kuznetsova L.N., Akinchin A.V. The complex of agricultural practices as a factor of soil fertility. Monograph. – Belgorod, 2014. – 136 p.
5. Kuznetsova L.N. The effect of the aftereffect of basic tillage on the contamination of crops and productivity of winter wheat / Kuznetsova L.N., Shiryayev A.V., Titovskaya A.I., Smurov S.I. // Innovations in agriculture: problems and prospects. – Belgorod, 2016. – № 3 (11). – Pp. 72-78.
6. Litsukov S.D. The influence of No-till on soil properties and corn yield for grain / Litsukov S.D., Titovskaya A.I., Shiryayev A.V., Kuznetsova L.N. // Innovations in agriculture: problems and prospects. – Belgorod, 2014. – № 1. – Pp. 77-83.

7. Litsukov S.D., Titovskaya A.I., Kuznetsova L.N., Shiryaev A.V., Change of indicators of fertility of typical chernozem and sunflower yield depending on the method of seeding // Litsukov S.D., Titovskaya A.I., Kuznetsova L.N., Shiryaev A.V. // Materials of the conference «Experience of development of landscape systems of agriculture». All-Russian Scientific and Practical Conference (October 13-14, 2014). – Belgorod, 2014. – Pp. 51-54.

8. Litsukov S.D., Kuznetsova L.N. Productivity of spring barley under various fertilizer systems / Materials of the XXII International Scientific and Production Conference «Organic Agriculture: problems and prospects» (May 28-29, 2018). Vol. 1. – Maysky : Publishing House of the Belgorod State Agrarian University, 2018. – Pp. 17-19.

9. Morozova T.S. Agroecological assessment of typical chernozem of the Belgorod region Proceedings of the International Youth Scientific Conference «Genetic and agronomic assessment of soils» / Russian State Agrarian University – Ministry of Agriculture named after K.A. Timiryazev. – Moscow : RGAU-MSHA named after K.A. Timiryazev. – 2018. – Pp. 132-135.

10. Nikitin V.V. Reserves for improving the quality of beet raw materials in conditions of unstable humidification of the Central Processing Plant / V.V. Nikitin, A.V. Akinchin, S.A. Linkov // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2013. – № 4. – Pp. 46-48.

11. Nikitin V.V. Influence of agrogenic and natural factors on the yield and quality of sugar beet root crops on typical chernozem V.V. Nikitin, V.D. Solovichenko, A.G. Stupakov, E.V. Navolneva // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2015. – № 2. – Pp. 69-76.

#### **Сведения об авторах**

Акинчин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, e-mail: akinchin\_av@bsaa.edu.ru

Кузнецова Лариса Николаевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, e-mail: slyshinkova@yandex.ru

Линков Сергей Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, e-mail: linkovserg@yandex.ru

Морозова Тамара Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, e-mail: tamara.morozova.1988@mail.ru

Белюсова Ангелина Юрьевна, аспирант агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, e-mail: ayu.belousova@rainvest.ru

#### **Information about authors**

Akinchin Alexander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», e-mail: akinchin\_av@bsaa.edu.ru

Kuznetsova Larisa Nikolaevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», e-mail: slyshinkova@yandex.ru

Linkov Sergey Alexandrovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», e-mail: linkovserg@yandex.ru

Tamara Sergeevna Morozova, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», e-mail: tamara.morozova.1988@mail.ru

Belousova Angelina Yurievna, postgraduate student of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», e-mail: ayu.belousova@rainvest.ru

УДК 628.93:635.64.044

*А.А. Дубровский, В.В. Смирнова, А.А. Манохин*

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СВЕТОДИОДНЫХ СИСТЕМ ОСВЕЩЕНИЯ С РАЗЛИЧНЫМ СПЕКТРАЛЬНЫМ СОСТАВОМ ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ ТОМАТОВ В УСЛОВИЯХ ЗАЩИЩЕННОГО ГРУНТА

**Аннотация.** Современное развитие аграрной отрасли неизменно связано с расширением производства сельскохозяйственной продукции. Одним из важных направлений является развитие тепличного хозяйства. Инвестиции в строительство промышленных теплиц являются в настоящее время наиболее актуальным шагом для развития отечественного бизнеса. Овощеводство нуждается в комплексной интенсификации и научном обеспечении, поэтому изучение и разработка новых технологий в секторе агробизнеса крайне необходима. Вопросы, связанные с фотосинтезом растений, выращиваемых в условиях защищенного грунта, всегда оставляли ряд вопросов. Особенно усовершенствование технологических приемов в искусственном освещении теплиц требует усовершенствования технологий. Облучательные установки в овощеводстве защищенного грунта являются эффективным инструментом управления агроценозами в силу своих специфических характеристик. Рациональное управление облученностью, спектральным составом и продолжительностью воздействия должно осуществляться по определенным закономерностям для получения урожая с требуемыми параметрами качества. Разработка рационального по энергетическим и спектральным характеристикам облучателя для тепличных технологий является актуальной для исследований. В данной статье изучено воздействие светодиодных источников освещения на процесс роста томатов, выращиваемых в условиях защищенного грунта. Исследованы механизмы воздействия спектрального состава искусственного освещения (450 и 650 нм.) на процесс фотосинтеза томатов. Рассмотрены возможности регулирования спектрального состава, которые позволяют воздействовать на скорость роста и другие физиологические характеристики рассады томатов. Выявлена взаимосвязь влияния спектрального состава светодиодного освещения на биохимический состав плодов томатов. Представлен способ регулирования рассады томатов: высоты, количества плодов, массы плодов.

**Ключевые слова:** светодиодное освещение, томаты, теплицы, фотосинтез.

## THE USE OF LED LIGHTING SYSTEMS WITH DIFFERENT SPECTRAL COMPOSITION FOR GROWING TOMATOES IN PROTECTED GROUND CONDITIONS

**Abstract.** The modern development of the agricultural sector is invariably associated with the expansion of agricultural production. One of the important directions is the development of greenhouses. Investments in the construction of industrial greenhouses are currently the most relevant for the development of domestic business. Vegetable growing needs comprehensive intensification and scientific support, so the study and development of new technologies in the agribusiness sector is essential. Issues related to the photosynthesis of plants grown in protected ground have always left a number of questions. Especially the improvement of technological methods in artificial lighting of greenhouses requires the improvement of technologies. Irradiation plants in greenhouse vegetable growing are an effective tool for managing agrocenoses due to their specific characteristics. Rational management of irradiance, spectral composition and duration of exposure should be carried out according to certain patterns in order to obtain a crop with the required quality parameters. The development of an irradiator that is rational in terms of energy and spectral characteristics for greenhouse technologies is relevant for research. In this article, the effect of LED lighting sources on the growth process of tomatoes grown in greenhouse conditions has been studied. The mechanisms of the influence of the spectral composition of artificial illumination (450 and 650 nm.) on the process of photosynthesis of a tomato plant were studied. The possibilities of regulating the spectral composition are considered, which allow influencing the growth rate and other physiological characteristics of tomato seedlings. The relationship between the influence of the spectral composition of LED lighting on the biochemical composition of tomato fruits was revealed. A method for regulating tomato seedlings is presented: height, number of fruits, weight of fruits.

**Keywords:** LED lighting, tomatoes, greenhouses, photosynthesis.

**Введение.** В ходе исследования, проведенного NeoAnalytics на тему «Российский рынок тепличных хозяйств: итоги 2019, прогноз до 2023 г.», выяснилось, что в отрасли сохраняется большой потенциал для роста. Инвестиции в строительство промышленных теплиц являются в настоящее время наиболее актуальным для развития отечественного бизнеса. Эффективность продаж в тепличной отрасли в настоящее время достигает 15-30%. Прибыльность тепличных предприятий увеличивается за счет роста цен реализации.

На сегодняшний день выращивание продукции в теплицах является самой быстро развивающейся отраслью сельского хозяйства. В отрасли повышаются объемы производства, сокращается импорт, открываются новые предприятия. Эмбарго на ввоз в Российскую Федерацию сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия из США, стран ЕС, Канады, Австралии и Норвегии, введенное в 2014 году, послужило хорошим толчком для выращивания продукции в защищенном грунте. В течение 2021 года введено около 500 га новых теплиц, общая площадь должна составить 3,3 тыс. га [1].

**Основная часть.** В настоящее время в России заявлено более 100 крупных (свыше 20 га) и средних (10-20 га) проектов по строительству теплиц. Для правительства Российской Федерации и всего аграрного сектора в текущей экономической ситуации решение проблемы увеличения объемов производства сельскохозяйственной продукции, а также её экологической безопасности выходит на одно из лидирующих мест. Сегодня овощеводство – одна из отраслей, которая нуждается в комплексной интенсификации как в открытом, так и в защищенном грунте. Действующее развитие российской бизнес-системы активно поощряет создание, экспертизу и анализ новых исследований в овощеводстве. Основой роста и развития любого растения на нашей планете является пластический процесс (ассимиляция и анаболизм). В ходе эволюции растения научились сами себе создавать пищу при помощи углекислого газа, воды и энергии солнечного света. Данная химическая реакция называется фотосинтезом. Каждый лист растения является органом питания его самого, для производства пищи листу необходимы самые простые элементы вода и углекислый газ. Вода в свою очередь поступает в растение через корневые клетки и проникает в листья по сосудам, называемым ксилемами, углекислый газ проникает в лист растения через микроскопические отверстия, так называемые устьице. Процесс фотосинтеза происходит в хлоропластах, крошечных клеточных ячейках, заполненных хлорофиллом. Хлорофилл – это ключ, который использует энергию солнца для соединения углекислого газа из воздуха и водорода из воды. В результате образуется глюкоза в виде крахмала, которая необходима для роста растения, также выделяются газ и кислород. Как и углекислый газ, кислород проникает через устьице. Формула фотосинтеза проста, этот процесс является жизненно важным для всех растений. Как уже и обсуждалось, источником энергии для фотосинтеза является солнечный свет. Свет представляет собой одновременно и волну, и частицы света, фотоны. Фотон – это и электромагнитная волна, имеющая определённую длину (рис 1.). Солнечный свет представляет собой смесь различных фотонов или волн разной длины [2].

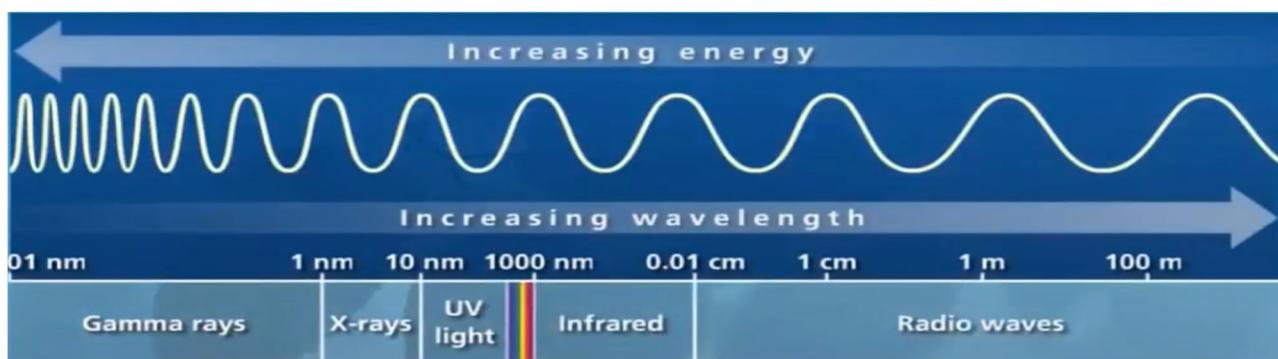


Рис. 1 – Длина световой волны

Фотосинтезирующие организмы используют специальные пигменты, которые поглощают кванты света в этом видимом диапазоне. Фотосинтетические пигменты имеют свет, который определяется тем спектром световых волн, который отражается от молекул этих пигментов.

К примеру, листья зеленые, потому что пигменты в их клетках отражают волны желтого и зеленого цветов, красные и синие световые волны поглощаются этими пигментами, и их энергия используется в фотосинтезе.

Успех в разведении тепличных растений во многом зависит от достатка основных факторов для любой культуры – влаги и света.

Выращивание растений в условиях защищенного грунта с учетом сезонности и дефицита естественного освещения ставит новые задачи для ученых в этой области.

Недостаток естественного освещения может сказываться на одной или на всех этих реакциях растения, и когда для изменения этих условий пользуются искусственным освещением, следует учитывать его воздействие на все указанные реакции. Зимние дни относительно коротки, и интенсивность освещения очень низка. Так как скорость роста растений зависит от общего количества света, получаемого ими в течение дня, оба параметра являются лимитирующими и скорость роста очень сильно ограничивается. Общее количество света, получаемого растениями в пасмурный декабрьский день, может составлять 6% количества света, получаемого в ясный июньский день, а средняя освещенность в декабре может составить всего 7% соответствующей величины для июня. Овощеводам хорошо известен вызванный этим медленный рост растений в зимние месяцы. В определенных пределах скорость суточного прироста вегетативной массы растения приблизительно пропорциональна интегралу интенсивности освещения, умноженному на время. Поэтому рост может быть ускорен путем увеличения интенсивности освещения или продолжительности периода, в течение которого растение получает свет, или же и того и другого. Это может быть эффективно осуществлено при помощи относительно интенсивного искусственного досвечивания [3].

Технологическое или искусственное освещение, применяемое для выращивания растений, является одной из тех областей науки и практики, которая находится на стыке биологии и прикладной электротехники. Многочисленные опыты по светокультуре и сравнительно широкое применение осветительных установок в практике овощеводства защищенного грунта, наличие богатого опыта хозяйственной эксплуатации различного рода установок для светокультуры в настоящее время позволяют рекомендовать наиболее целесообразные варианты искусственного освещения для условий защищенного грунта с учетом современного уровня развития светотехники. Быстро развивающаяся светотехника, однако, постоянно вносит существенные изменения в технику светокультуры.

Освещение в теплице, как и своевременный полив, обуславливает развитие растительных клеток, рост побегов, цветение и своевременное плодоношение. Но далеко не всякий свет полезен саженцам, в некоторых ситуациях посевы могут увядать или выдавать буйные побеги вместо объемного урожая или плоды окажутся несъедобными. Чтобы не допустить порчи растительности в теплице из-за некачественного освещения, стоит разобраться с основными правилами и требованиями для его обустройства.

Светокультура растений – возделывание растений с применением искусственного облучения.

Следует отметить, что все представители растительного мира по-разному реагируют на воздействие светового излучения. Также спектр излучения будет стимулировать различные функции у произрастающих культур, поэтому необходимо учитывать длину излучаемых волн [4].

Светокультура растений проводится или полностью при помощи искусственного освещения, или при дополнительном к солнечному освещению; последнее применяется в теплицах в зимние месяцы для удлинения короткого дня и увеличения интенсивности освещения растений. Для светокультуры существенное значение имеют спектральный состав излучения, интенсивность физиологической радиации, а также длина дня. Работы многих авторов свидетельствуют, что для ускорения цветения растений и получения раннего урожая семян и плодов применяют источники освещения, богатые оранжево-красными лучами. При необходимости задержать развитие растений или получить урожай листьев (у салата) или корнеплодов (у редиса) используют источники сине-фиолетовых лучей. Сочетание различных лучей, а точнее говоря спектров светового потока позволяет оказать различное влияние на процесс роста растения и его продуктивные показатели [5].

Данный способ позволяет как получить белый цвет, так и изменять цветовую диаграмму при изменении тока через разные светодиоды. Обеспечивается высокий суммарный световой поток при большом количестве светодиодов в матрице. Но из-за неравномерного отвода тепла с краев матрицы светодиоды нагреваются по-разному и различно меняется их цвет за время эксплуатации. Близкий к белому цвет получают нанесением желто-зеленого или зеленого плюс красный люминофоров на голубой светодиод. Светодиодные источники света являются направленными и излучают свет только в нужном направлении. Значительно меньшая, чем у люминесцентных ламп, газоразрядных и ламп накаливания светящая поверхность позволяет использовать более эффективную оптику и лучше управлять светом. Последние достижения в области производства светодиодов обеспечивают постоянство цвета и цветовую температуру, эквивалентные или превосходящие эти характеристики у традиционных источников света [5].

Электрическое освещение растений необходимо применять для увеличения скорости протекания процесса фотосинтеза в зимний период, когда суммарная общая освещенность солнечным светом за сутки может составлять всего 6% от соответствующей величины летом. Для того, чтобы ускорить рост растений в это время в условиях защищённого грунта, необходимо применять специализированные источники света, отличные от обычных, применяемых в общей светотехнике. Различия этих источников обусловлены рядом факторов, лимитирующих скорость фотосинтеза [6, 7].

Суммарный процесс фотосинтеза растений можно разделить на две взаимосвязанные стадии: световую и темновую. Со времен К.А. Тимирязева было ясно, что центральное место в системе фотосинтеза занимают первичные фотопроецессы. Это реакции, в которых энергия света, поглощенная пигментами фотосинтезирующего организма, преобразуется непосредственно в энергию химических связей продуктов фотосинтеза. Раньше систему первичных процессов фотосинтеза называли системой световых реакций, где поглощение квантов света приводит к тому, что энергия электронного возбуждения молекул хлорофилла запасается в виде химической энергии молекул восстановленного никотинамидадениндинуклеотидфосфата (НАДФ) и аденозинтрифосфата (АТФ). Эти соединения являются конечными продуктами световой стадии фотосинтеза. Они необходимы и достаточны для того, чтобы в темноте (без непосредственного участия света) произошло восстановление CO<sub>2</sub> в цикле Кальвина.

В настоящее время установлено, что фотосинтетические пигменты в мембранах хлоропластов имеют не беспорядочное расположение, а организованы в две пигментные системы – фотосистему I (ФС I) и фотосистему II (ФС II).

Существование двух фотосистем удалось установить благодаря тому, что пигменты, входящие в состав ФС I и ФС II, отличаются по спектральным свойствам. Интенсивность фотосинтеза при освещении светом с длиной волны 680-700 нм может быть значительно повышена добавлением света с более короткой длиной волны (650-660 нм), и наоборот. Оказалось, что интенсивность фотосинтеза при освещении смешанным светом (650-700 нм) выше суммы интенсивностей фотосинтеза, наблюдаемой при освещении светом каждого из указанных выше диапазонов длин волн в отдельности (эффект Эмерсона). Это указывает на то, что в фотосинтезе участвуют обе фотосистемы одновременно.

Каждая фотосистема состоит из светособирающих (антенных) молекул пигментов (хлорофилла а, хлорофилла б, каротиноидов, фикобилинов) и реакционного центра (РЦ). Реакционный центр, в свою очередь, включает фотоактивный пигмент-ловушку и первичные доноры, и акцепторы электронов. Пигмент-ловушка ФС I поглощает свет с длиной волны 700 нм и обозначается P700 (или P700), а пигмент-ловушка ФС II поглощает свет с длиной волны 680 нм и обозначается P680 (или P680).

Энергию света поглощает помимо хлорофилла ряд других пигментов, входящих в состав фотосинтетической единицы. Однако, их вклад в поглощение энергии для обеспечения фотосинтеза невелик, и наибольшими коэффициентами поглощения обладают хлорофилл а, и хлорофилл б.

Выращивание овощей и фруктов в искусственных условиях не является принципиально новой технологией. Однако, интенсивный рост населения планеты в последние годы приводит к повышению уровня потребления продуктов. Это делает актуальными вопросы повышения производительности и эффективности систем искусственного выращивания растений.

Производительность всей системы выращивания определяет количественный критерий оценки – например, полезная масса сухого вещества или объем целевого экстракта из листьев/корней. Для качественной оценки можно анализировать химический состав растений и морфологию (отклонение формы и размеров стебля/листьев/плода).

Для большинства культур лучший урожай и качество продукции могут быть получены при обеспечении растениям комфортных условий, где все основные физиологические потребности максимально приближены к естественным уровням.

Таким образом, в большинстве практических задач за эталон для сравнения и оценки результатов искусственного выращивания можно брать растение, выращенное в естественных условиях. Естественные условия для конкретной культуры, как правило, соответствуют климату в регионе его изначального происхождения.

С момента появления светодиодов ежегодно отмечается 35%-ное повышение их эффективности по параметрам светового потока.

Их спектры поглощения различны. Свет, который не поглощается в значительной степени хлорофиллом b, например, с длиной волны 660 нм, улавливается хлорофиллом a, который обладает интенсивным поглощением именно при этой длине волны.

При этом вот уже в течение нескольких десятилетий происходит ежегодное снижение стоимости светодиодов в среднем на 20%. Другими словами, общая эффективность светодиодов удваивается каждые 1,5-2 года.

Современные светодиоды перекрывают весь диапазон оптического спектра: от красного до ультрафиолетового цвета. Таким образом, составляя комбинации из светодиодов разных цветовых групп, можно получить источник света с практически любым спектральным составом в видимом диапазоне. Это позволяет при облучении растений создать источник света, в котором будет оптимальное соответствие относительной спектральной эффективности фотосинтеза растений.

Современные светодиоды разных цветов свечения имеют диапазон излучения от 370 до 1000 нм. На их основе можно создавать системы освещения с управляемым спектральным составом излучения для растениеводства в защищенном грунте.

Для минимизации количества цветов светодиодов определяют оптимальный спектр искусственного источника света.

#### **Цели и задачи исследований.**

В научной работе использованы семена и растения томатов сорта «розовый слон». Объекты исследования – процесс облучения растений светодиодными светильниками с регулируемым спектральным составом излучения. Предметом исследования является взаимосвязь энергоемкости процесса облучения растений с энергетическими и спектральными характеристиками светодиодного светильника, воздействующего на растения в процессе роста. Цель работы – оценить возможность использования светодиодного освещения с определенной цветовой температурой в условиях закрытого грунта в теплицах УНИЦ «Агротехнопарк» Белгородского ГАУ.

#### **Материалы и методы исследований.**

Опыт длился в течение 3,5 месяцев, 110-115 дней до наступления полной биологической спелости плодов.



**Рис. 3 – Алгоритм исследований**

В работе использованы теоретические и экспериментальные (лабораторные) методы научного исследования.

Из партии семян одного урожая и одного сорта было сформировано по принципу аналогов 2 группы по 70 образцов в каждой.

Для эксперимента были взяты гибриды F1 гибрид «Розовый слон» полудетерминантного типа.

Подготовку почвы в опытных теплицах начинали в конце лета со внесения в почву минеральных удобрений. В сентябре промачивали грунт и фрезеровали в 2 следа. Схема опыта представлена в таблице 1. Контрольная группа (1 группа) освещалась светильниками с полным спектром излучения, а опытная (2 группа) с длиной спектра от 450 до 650 нм.

Параметры микроклимата были аналогичными для всех групп рассады и соответствовали нормативным показателям.

Рассаду выращивали горшечным способом, это способ является наиболее эффективным для получения ранних овощей. При пересадке рассады сохранилась корневая система, вследствие чего не приостанавливается рост молодых растений. Рассада образовала мощную, компактно размещенную корневую систему.

Для наполнения полиэтиленовых горшочков приготовили смесь, состоящую из 3 частей низинного торфа и 1 части торфяно-возного компоста. На 1 м<sup>3</sup> такой смеси добавляли 0,6-0,8 кг аммиачной селитры, 1-1,5 суперфосфата, 0,8-1 кг сернокислого калия.

Температурный режим соответствовал общепринятым нормам выращивания рассады томатов.

**Таблица 1 – Схема опыта**

Периоды выращивания (фазы роста)	Группы	
	1 – Контрольная	2 – Опытная
I	полный спектр светового излучения	450 нм. и 650 нм.
II	полный спектр светового излучения	450 нм. и 650 нм.
III	полный спектр светового излучения	450 нм. и 650 нм.
IV	полный спектр светового излучения	450 нм. и 650 нм.

Для начала опыта семена были помещены в чашку петри, обогащены водой для прорастания, находясь в теневой фазе.

После прорастания в горшках с подготовленной почвой были сделаны небольшие углубления, семена томатов посеяли в них и поместили под СД освещение с различным спектральным составом.

Полиэтиленовые горшки емкостью 0,5-1,0 л. наполнили торфо-минеральной смесью. Субстрат пропаривали. Время пропаривания составило 6 часов, так как при увеличении экспозиции резко возрастает содержание аммиачного азота.

Для приготовления торфо-минеральной смеси использовали торф с низкую степенью разложения, зольностью 10-12%, объемной массой 0,15-0,3 г/см<sup>3</sup> и общей порозностью 80-90%.

Для выращивания рассады смесь имела следующие показатели: рН (водная) = 5,5-6,5; концентрация солей – 2,0-2,5 мСм/см, N – 100-110 мг/л; P – 40-45 мг/л, K – 140-160 мг/л, Mg – 25-30 мг/л. Смесь увлажняли до 70-75%.

Температуру воздуха в светотехнической комнате поддерживали с помощью принудительной системы вентилирования воздуха. Досвечивание вели круглосуточно. Уровень освещенности составлял не менее 8-15 тыс. люкс. С четвертых суток досветка составляла 18-20 часов до пикировки рассады.

**Результаты исследования.** Из приведенных данных таблиц видно, что в процессе роста и развития растения всех групп имели различную высоту стебля, диаметр и количество листьев (табл. 2, 3). Количество листьев, сформировавшихся на стебле во второй опытной группе, превышало контрольную на 26,19%.

**Таблица 2 – Характеристика рассады томата**

Показатели	Рассада к высадке	
	полный спектр	450-650 нм
Высота растения, мм	208±1,17	209±1,13
Количество листьев, шт	17,5±1,15	18,1±1,16
Диаметр стебля, мм	3,7±1,18	3,8±1,38

Различная энергия роста растений у всех групп является следствием различия эффективности использования спектра света.

Формирование кисти – это нормировка количества плодов в кисти. Если формирование куста – это агротехнический прием, обязательный при выращивании томатов, то формирование кистей прием необязательный. Но проведение такого приема в конечном итоге дает возможность повысить урожай.

Сеянцы пикировали в возрасте 10 суток. Температура воздуха в течение первых 3-4 суток после пикировки составляла 20-22°С круглосуточно. После этого период досвечивания снижали до 16-18 часов в сутки. После приживания растений температура воздуха – 2-3 недели днем в пасмурную погоду 19-20°С, в солнечную погоду – на 2°С выше.

Ночные температуры 18-19°С после пасмурного дня и на 2°С выше после солнечного.

Начиная с пятой недели период досвечивания постепенно сокращали с 18 до 12 часов в сутки на день высадки, температура воздуха снижается до 19°С днем и 17°С ночью.

При длительном пасмурном периоде температуру воздуха днем снижали до 17,5°С, ночью – до 15,5-16,0°С. Температура воды при поливе рассады не ниже 20-23°С.

**Таблица 3 – Продолжительность фаз роста сортов томата, суток**

№ группы	Посев - всходы	Всходы - первый лист	Всходы - цветение	Всходы - начало плодоношения	Наступление технической спелости
1 контрольная группа (полный спектр)	10	15	107	110	115
2 опытная группа (450-650 нм.)	10	14	105	108	112

Результаты таблицы свидетельствуют о разных характеристиках контроля и опытной группы.

Всходы-первый лист разница составила 1 день. Во второй опытной на 1 день раньше. Показатель всходы-цветение также отличались: вторая опытная группа на 2 дня ранее, чем первая. Наступление технической спелости во второй опытной группе на 3 дня ранее первой контрольной.

**Таблица 4 – Характеристика урожайности томатов**

№ группы	1 контрольная группа (полный спектр)	2 опытная группа (450-650 нм.)
плодов в кисти, шт.	4,6	4,8
масса плодов в кисти	290	295

Результаты, представленные в таблице 4, свидетельствуют о разных характеристиках контрольной и опытной группы. По количеству плодов 1 контрольная группа (СД полное спектральное излучение) уступала 2 опытной группе (СД с длиной спектра 450-650 нм.) на 4,34%. Масса плодов также отличалась в контрольной и опытной группах. В 1 контрольной группе средняя масса плодов на 1,72% меньше, чем во второй опытной группе.

Эти обстоятельства позволяют сделать вывод, что СД с длиной волны 450-650 нм. оказывают положительное влияние на характеристики урожайности томатов.

#### **Выводы**

1. Анализ существующих источников оптического излучения показал, что применение светильников на основе светодиодов с различным спектральным составом позволяет повысить энергоэффективность процесса облучения, при этом возможность регулирования спектрального состава СД освещения открывает новые пути решения по дальнейшему повышению энергоэффективности.

2. Разработанная модель системы светодиодного освещения с различным спектральным составом позволяет установить взаимосвязь между параметрами растений (рост стебля) и характеристиками светодиодной облучательной установки (электрическая мощность, интенсивность излучения), а также идентифицировать фазу развития растений. Проведенные исследования показывают, что при использовании более узкого спектрального состава светодиодного освещения (450 и 650 нм.) получается оказать положительное влияние на рост, развитие и плодообразование томатов.

3. Разработанный способ управления ростом томатов позволил подобрать наиболее благоприятный спектральный состав излучения для роста, увеличения биометрических показателей томатов: высоты, количества плодов, массы плодов.

#### **Библиография**

1. Дубровский А.А. Использование светодиодного освещения с различной цветовой температурой при выращивании родительского стада птицы / Дубровский А.А., Смирнова В.В. // Вестник мичуринского государственного аграрного университета. – 2020. – № 4. – С. 188-195.
2. Коцарева Н.В. Научные основы производства овощей в Белгородской области / Коцарева Н.В., Быков И.А. // Бюллетень научных работ Белгородской государственной сельскохозяйственной академии им. В.Я. Горина. – 2009. – № 17 – С. 9-12.
3. Валеев Р.А. Анализ солнечного спектра [Текст] / Р.А. Валеев, Н.П. Кондратьева // Материалы международной научно-практической конференции «Научное обеспечение АПК. Итоги и перспективы». – Ижевск : Ижевская ГСХА, 2013. Том 2. – С. 50-53.
4. Галиуллин Р.Р. Разработка и исследование энергосберегающей автоматизированной системы освещения теплицы на основе светодиодных технологий [Текст] / Р.Р. Галиуллин, С.М. Яковлев и др. // Отчет по научно-исследовательской работе. – Уфа: Башкирский ГАУ, 2014. – 97 с.
5. Каримов И.И. К вопросу выбора ценовой категории как способа оптимизации затрат на электроэнергию для условий защищенного грунта [Текст] / И.И. Каримов, С.М. Яковлев // Материалы VI всероссийской научно-практической конференции «Наука молодых – инновационному развитию АПК» Уфа : Башкирский ГАУ, 2013. – С. 207-211.
6. Рядинская А.А. Использование продуктов переработки томатов в кормлении цыплят-бройлеров / Рядинская А.А., Ордина Н.Б., Мезинова К.В., Чуев С.А., Коцаев И.А. // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. – 2020. – № 4 (18). С. 134-140.

7. Кунгс Я.А. Энергосберегающие облучательные установки для сооружений защищенного грунта [Текст] / П.П. Долгих, В.Р. Завей-Борода, Я.А. Кунгс, В.Д. Никитин, Н.В. Цугленок. – Красноярск : Красноярский ГАУ, 2006. – 108 с.

#### References

1. Dubrovsky A.A. The use of LED lighting with different color temperatures when growing a parent flock of poultry / Dubrovsky A.A., Smirnova V.V. // Bulletin of the Michurinsky State Agrarian University. – 2020. – № 4. – Pp. 188-195.
2. Kotsareva N.V. Scientific bases of vegetable production in the Belgorod region / Kotsareva N.V., Bykov I.A. // Bulletin of scientific works of the Belgorod State Agricultural Academy named after V.Ya. Gorin. – 2009. – № 17 – Pp. 9-12.
3. Valeev R.A. Analysis of the solar spectrum [Text] / R.A. Valeev, N.P. Kondratieva // Materials of the international scientific and practical conference «Scientific support of agriculture. Results and prospects». – Izhevsk : Izhevsk State Agricultural Academy, 2013. Volume 2. – Pp. 50-53.
4. Galiullin R.R. Development and research of an energy-saving automated greenhouse lighting system based on LED technologies [Text] / R.R. Galiullin, S.M. Yakovlev et al. // Report on research work. – Ufa : Bashkir State University, 2014. – 97 p.
5. Karimov I.I. On the issue of choosing a price category as a way to optimize electricity costs for protected ground conditions [Text] / I.I. Karimov, S.M. Yakovlev // Materials of the VI All-Russian Scientific and Practical conference «Science of the young – innovative development of agriculture» Ufa : Bashkir State Agrarian University, 2013. – Pp. 207-211.
6. Ryadinskaya A.A. The use of tomato processing products in feeding broiler chickens / Ryadinskaya A.A., Ordina N.B., Mesinova K.V., Chuev S.A., Koshchaev I.A. // Actual issues of agricultural biology. – 2020. – № 4 (18). Pp. 134-140.
7. Kungs Ya.A. Energy-saving irradiation installations for protected ground structures [Text] / P.P. Dolgikh, V.R. Zavey-Beard, Ya.A. Kungs, V.D. Nikitin, N.V. Tsuglenok. – Krasnoyarsk : Krasnoyarsk State University, 2006. – 108 p.

#### Сведения об авторах

Дубровский Антон Андреевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель 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

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

Манокhin Андрей Александрович, кандидат биологических наук, начальник отдела библиографической и наукометрической информации, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, +74722 39-11-69

#### Information about authors

Dubrovsky Anton Andreevich, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Department of Agricultural Production and Processing Technology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maysky, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74 722 39-14-26.

Smirnova Victoria Viktorovna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Production and Processing of Agricultural Products, 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, tel.+74722 39-14-26, e-mail: svic.belgorod@mail.ru

Manokhin Andrey Aleksandrovich, Candidate of Biological Sciences, Head of the Department of Bibliographic and Scientometric Information, 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, +74722 39-11-69

УДК 633.16.321.631.526.32:631.529

*Н.В. Дююн, С.Н. Зюба, О.В. Григоров, П.В. Андреев*

## АДАПТИВНОСТЬ НОВОГО СОРТА МНОГОРЯДНОГО ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ БЛАГОДАР

**Аннотация.** Создание потенциально высокоурожайных сортов ячменя, приспособленных к условиям определенного региона, является первоочередной задачей отечественной селекции. Цель настоящего исследования – охарактеризовать новый перспективный шестирядный сорт ярового ячменя Благодар по урожайности и адаптивности к различным технологиям возделывания в условиях юго-западной части Центрально-Черноземного региона. Комплексные исследования были проведены в лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского ГАУ с 2017 г. по 2020 г. Оригинатор ярового ячменя сорта Благодар – ФГБОУ ВО Белгородский аграрный университет им. В.Я. Горина. Данный высокопродуктивный сорт Благодар относится к лесостепной экологической группе сортов, засухоустойчивый, среднеспелый, среднеустойчив к полеганию. Отличительные особенности сорта: разновидность рикотензе. Куст полупрямостоячий. Растение среднерослое. Колос шестирядный, цилиндрический, рыхлый. Ости длинные, гладкие. Vegetационный период от 69 до 79 суток. В условиях многолетних полевых испытаний отмечена устойчивость к засухе и пыльной головне. Масса 1000 зерновок варьирует от 38 г. до 54 г. Средняя урожайность по Центрально-Чернозёмному региону составляет 5,59 т/га. Максимальная урожайность – 9,23 т/га – получена в Курской области в условиях 2020 года. В контрастных погодных условиях в Белгородском ГАУ средняя прибавка в опыте к стандарту Гелиос УА составила 0,22 т/га. Сорт характеризуется хорошей отзывчивостью на улучшение уровня агротехники особенно к обеспечению наличия доступных элементов минерального питания в почве. Зернофуражный сорт Благодар по результатам государственного сортоиспытания в 2022 году рекомендован к возделыванию по 5 региону.

**Ключевые слова:** ячмень, сорт, адаптивность, стабильность, пластичность, стрессоустойчивость.

## ADAPTIVITY OF NEW VARIETY OF BLAGODAR SPRING BARLEY

**Abstract.** The creation of potentially high-yielding barley varieties adapted to the conditions of a particular region is a top priority for domestic breeding. The purpose of this study is to characterize a new promising six-row spring barley variety Blagodar in terms of productivity and adaptability to various cultivation technologies in the southwestern part of the Central Black Earth region. Comprehensive studies were carried out in the laboratory for the study of farming systems of the Belgorod State Agrarian University from 2017 to 2020. V.Ya. Gorin. This highly productive variety Blagodar belongs to the forest-steppe ecological group of varieties, drought-resistant, mid-ripening, medium-resistant to lodging. Distinctive features of the variety: a variety of ricotense. The bush is semi-erect. The plant is medium. Spike six-row, cylindrical, loose. Awns long, smooth. The growing season is from 69 to 79 days. Under the conditions of many years of field trials, resistance to drought and loose smut was noted. The weight of 1000 grains varies from 38 g to 54 g. The average yield in the Central Black Earth region is 5.59 t/ha. The maximum yield - 9.23 t / ha - was obtained in the Kursk region in the conditions of 2020. In contrasting weather conditions in the Belgorod State Agrarian University, the average increase in the experiment to the Helios UA standard was 0.22 t/ha. The variety is characterized by good responsiveness to the improvement of the level of agricultural technology, especially to ensuring the availability of available mineral nutrients in the soil. According to the results of the state variety testing in 2022, the grain forage variety Blagodar is recommended for cultivation in the 5th region.

**Keywords:** barley, variety, adaptability, stability, plasticity, stress resistance.

**Введение.** Ячмень – широко распространенная зерновая культура в Российской Федерации, исключительная по многообразию использования зерновая культура. Максимальные площади он занимает на Северном Кавказе, Урале, в Сибири, Центрально-Черноземной и Нечерноземной зонах [1].

В сложных климатических условиях юго-западной части Центрально-Черноземного региона ячмень имеет приоритет перед яровой пшеницей и овсом как зернофуражная и кормовая культура благодаря таким качествам, как засухоустойчивость, продуктивность и кормовые достоинства [2]. В Белгородской области посевами ярового ячменя в 2020 году было занято 106,5 тысяч или 7,5% пашни [3].

Повышенное содержание белка в сортах многорядного ячменя ограничивает его применение в пивоваренной промышленности, но делает его более ценным сырьем в кормовой промышленности [4].

Каждый регион России имеет присущие ему климатические и почвенные особенности, что требует создавать адаптированные для каждого из них сорта, с повышенной приспособляемостью к жаре, холоду и другим неблагоприятным природным факторам, устойчивыми к воздействию вредных организмов, обладающими высокой продуктивностью и экологической пластичностью [5]. На сегодняшний день сорт является главнейшим условием повышения урожайности, роль которого и в дальнейшем будет возрастать [6].

По мнению члена-корреспондента РСХА Баталовой Г.А. «Высокая потенциальная урожайность, безусловно, была и будет важнейшей задачей работы селекционера. В то же время создание сортов, обеспечивающих среднюю, но стабильную по годам урожайность качественной продукции, является не менее, а возможно и более важной задачей, решение которой, требует значительных усилий и знаний со стороны селекционера» [7].

Каждый новый сорт создается с актуальными на нынешнем этапе характеристиками – высоким потенциалом урожайности, отзывчивостью на улучшение условий выращивания, устойчивостью к неблагоприятным факторам, имеющих место в природно-климатических условиях региона возделывания [8].

В Белгородской области почвенно-климатические условия пригодны для выращивания ячменя, но урожайность культуры на сортоучастках в среднем 3,5 т/га [9], хотя в научных учреждениях на фоне высокой температуры воздуха во время формирования урожая и участвовавших воздушных и почвенных засух сборы зерна достигают 6,59 т/га [10]. Нередко в производстве на величине урожая отражаются человеческие и технические факторы при внедрении и освоении новых технологий, а также увлечение выращивания сортов из других регионов, зачастую не обладающих адаптивными свойствами к местным условиям.

Все описанное выше позволяет сделать заключение о том, что создание сортов ячменя, обладающих потенциальной высокой урожайностью, приспособленных к условиям определенного региона, является первоочередной задачей селекции, как в широком понимании, так и применительно к Белгородской области. Каждый вновь создаваемый здесь сорт ячменя должен обладать адаптивностью к местным агроклиматическим условиям возделывания с летними засухами и суховеями.

**Цель исследований.** Цель настоящего исследования – охарактеризовать новый многорядный сорт ярового ячменя Благодар по урожайности и адаптивности для условий юго-западной части ЦЧР.

**Материалы и методы.** Комплексные исследования проводились в стационарах лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского ГАУ с 2017 по 2020 гг [11].

Предмет исследований – новый перспективный кормовой сорт многорядного ярового ячменя Благодар, переданный на государственное сортоиспытание в 2019 г. В качестве стандартного сорта в опыте использован Гелиос УА. Для аналогии приведены данные высокоурожайного двурядного сорта Осколец.

Годы исследований (2017-2020 гг.) характеризовались контрастными погодными условиями, что характерно для умеренно-континентальных условий Белгородской области. Период вегетации в 2017 и 2020 году был засушливым с ГТК соответственно равным 0,83 и 0,89 единицы, в 2018 году он проходил при избыточном увлажнении – ГТК = 1,42, а в 2019 году он был сухой с ГТК = 0,57 (Рис. 1 и 2).

Во второй и третьей декадах июня в колосе растения образуется зерновка, поэтому климатические условия данных периодов оказывают непосредственное воздействие на урожайность. Указанный временной интервал июня в большинстве лет исследований характеризовался недобором осадков в этом месяце, а также низкой влажностью и среднесуточными температурами воздуха выше среднемноголетних данных (Табл. 1).

Существенный дефицит осадков наблюдался в 2019 и 2020 году. Их выпало ниже среднеемноголетних данных соответственно на 20,3 мм и на 19,7 мм во второй декаде и на 22,0 и 23,0 мм в третьей декаде июня, что составляло от 93,8% до 100% минус от нормы.

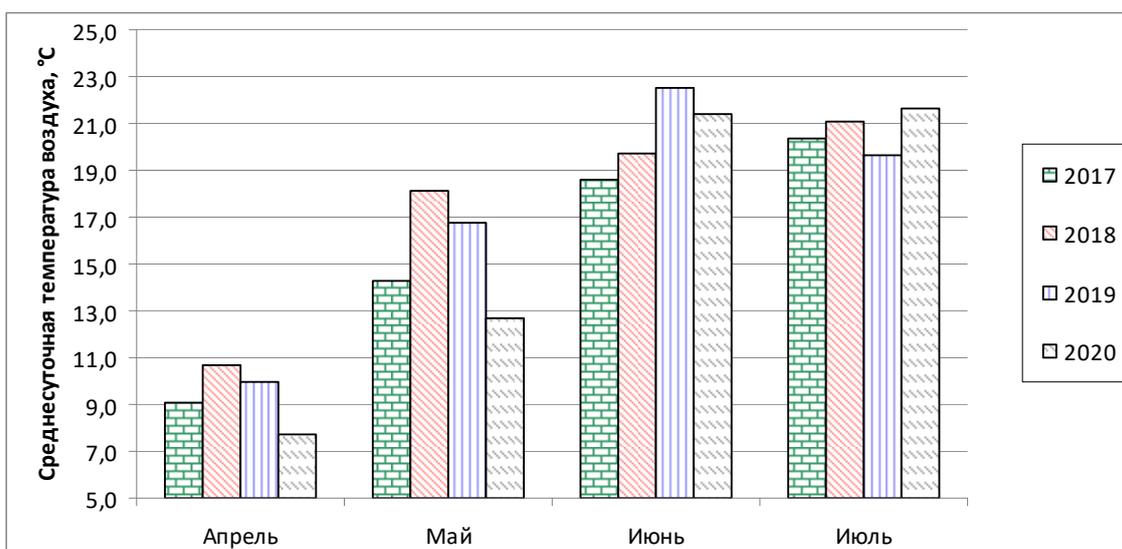


Рис. 1 – Средняя температура воздуха вегетационных периодов с 2017 по 2020 г. (метеопост ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ)

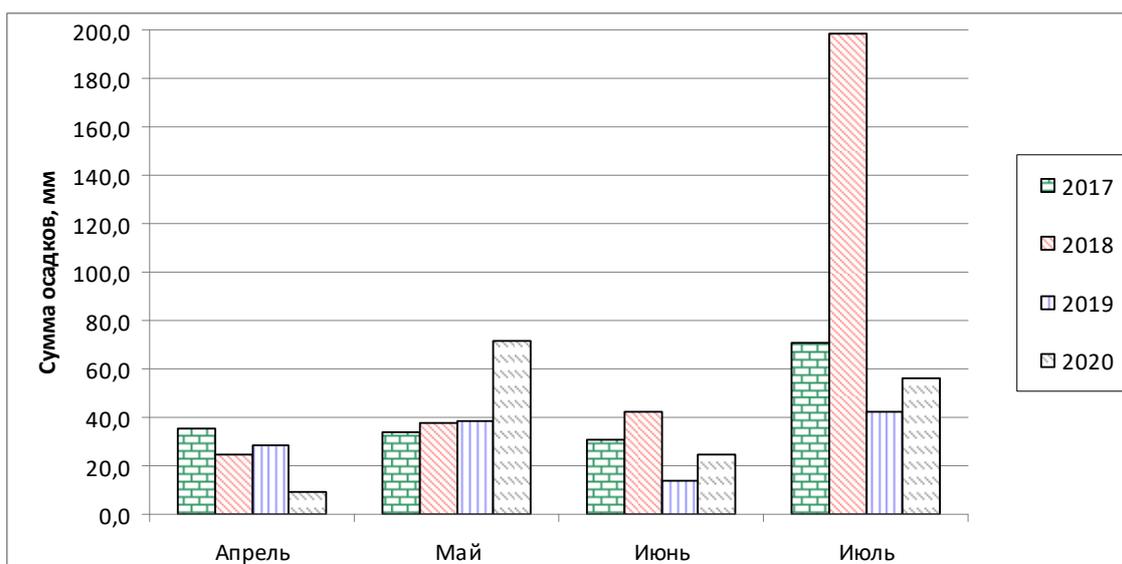


Рис. 2 – Суммы осадков вегетационных периодов с 2017 по 2020 г. (метеопост ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ)

Таблица 1 – Метеорологические данные в июне 2017-2020 гг.

Показатели	Декада	Средние многолетние данные	Год				В среднем
			2017	2018	2019	2020	
Температура воздуха, °С	1	17,3	16,4	16,7	14,0	18,5	16,4
	2	17,6	18,2	20,6	16,7	23,8	19,8
	3	18,9	21,2	21,7	19,7	22,0	21,2
Осадки, мм	1	19	16,9	–	12,0	23,1	13,0
	2	21	–	5,0	0,7	1,3	1,8
	3	23	14,1	20,1	1,0	–	8,8
Влажность воздуха, %	1	43	64	26	27	32	37
	2	46	58	24	22	18	31
	3	48	59	20	23	26	32

Агротехника ячменя была общепринятая для Центрально-Черноземного региона. В опыте по изучению фонов минерального питания ячмень высевался после сахарной свеклы. Основная обработка почвы включала дискование непосредственно после уборки предшественника и зяблевую вспашку. Обработка зяби весной состояла из закрытия влаги шлейфованием с последующей культивацией лапчатыми боронами ВНИС-Р на глубину 4-6 см.

Изучение влияния различных технологий, основных на вспашке и No-Till, на продуктивность культуры было в звене севооборота «подсолнечник – ячмень». В первом случае внесение удобрений происходило с их заделкой в почву дисками и вспашки на 25-27 см. Нулевая технология включала поверхностное внесение основной дозы удобрений и прямой посев культуры.

При посеве использовались сеялки СЗ-3,6 и SHM 15/17. Норма высева была 4,5 млн. всхожих зерен на 1 га. В комплекс мероприятий по уходу за посевами ячменя входила борьба с сорняками путем опрыскивания гербицидами.

По приведенным данным урожайности перечисленных сортов за исследуемый период проведена математическая обработка [12]. Статистическая обработка данных проведена с использованием специально разработанных программ на персональном компьютере.

**Результаты и их обсуждение.** Оригинатором ярового ячменя сорта Благодар является ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. В качестве родительских форм выступал сортовой материал Федерального исследовательского центра «Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова», а также полученные на их основе линии, адаптированные к местным экологическим условиям, так как, согласно литературным данным, большое значение в селекции имеют и коллекция генетических ресурсов растений, и местные формы [13-18]. Основным методом получения нового селекционного материала ярового ячменя в ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ является внутривидовая гибридизация с привлечением сортов инорайонной и местной селекции, коллекционных сортообразцов ВИРа, обладающих комплексом хозяйственно ценных признаков и свойств для особенностей зоны.

В результате селекционной работы были созданы сорта ярового ячменя с повышенной адаптацией к контрастным условиям Центрального Черноземья. К таким сортам относятся Княжич, Осколец и Краснояружский 6 (шестирядный), которые рекомендованы Госсорткомиссией для использования в производственных условиях первых двух как на пивоваренные, так и на кормовые цели, а многорядного на зернофуражные.

Государственное сортоиспытание новый сорт ярового ячменя Благодар селекции ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ проходил в период с 2020 по 2021 г. По положительным итогам сортоиспытания сорт Благодар в 2022 г. внесен в Государственный реестр селекционных достижений с рекомендацией к возделыванию в Центрально-Черноземном регионе.

Сорт ярового ячменя Благодар был получен в результате внутривидовой гибридизации с последующим индивидуальным отбором в F<sub>3</sub> из гибридной популяции (Зевс х Краснояружский 6) х Гелиос. Разновидность *ricotense*. Колос шестирядный, цилиндрический, рыхлый. Сорт среднеспелый. Вегетационный период составляет 69-79 дней. В условиях Центрально-Черноземного региона созревает на 1-2 дня позже стандарта. Сорт относится к лесостепной экологической группе, устойчив к засухе (4,2 балла), среднеустойчив к поражению ринхоспориозом и гельминтоспориозом, на уровне стандарта восприимчив к пыльной головне.

Новый сорт превзошел сорт Гелиос УА по выходу зерна к общей массе растения. Сорт формирует крупное и выполненное зерно полуудлиненной формы массой 1000 штук от 38 граммов до 54 грамм, а в среднем она составляла 47,2 грамм. Соломина полая, прочная. Высота растений за годы изучения составляла в среднем 78 см. (Табл. 2).

Озерненность колоса у сорта Благодар превышала показатель стандарта на 28%, в среднем количество зерен было больше на 9 штук. Натура зерна была выше у стандарта из-за более мелких зерновок. У сорта Благодар она равнялась 603 грамма на 1 литр, у сорта Гелиоса УА 619 грамм. Новый сорт отличается устойчивым содержанием белка в зерне в пределах от 11,4% до 13,3%, а в среднем этот показатель был равен 12,4%.

**Таблица 2 – Хозяйственно-биологическая характеристика многорядного ярового ячменя сорта Благодар в среднем за 2017-2020 гг. (предшественник сахарная свекла)**

Показатель	Единица измерения	Благодар	Гелиос УА, ст.	± к стандарту
Масса 1000 зерен	грамм	47,2	46,8	+0,4
Натура зерна	г/л	603	619	+0,16
Содержание сухого вещества	%	87,9	87,5	+0,4
Содержание белка	%	12,4	12,5	-0,1
Число зерен в колосе	шт.	41	32	+9
Высота растения	см	78	87	-9

За годы конкурсного сортоиспытания на разных фонах минерального питания в лаборатории по изучению систем земледелия ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в стационаре по влиянию фонов минерального питания на продуктивность полевых культур в зависимости от условий года и нормы удобрений урожайность нового сорта многорядного ярового ячменя Благодар колебалась от 1,90 т/га (с избыточным увлажнением в конце вегетации при N<sub>10</sub>P<sub>10</sub>K<sub>10</sub>) до 7,74 т/га (без воздушной засухи в период формирования зерна при N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub>) (Табл. 3).

**Таблица 3 – Урожайность многорядного ярового ячменя сорта Благодар в зависимости от фона минерального питания в ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в 2017-2020 гг. (предшественник сахарная свекла), т/га**

Год	Фоны минерального питания				В среднем	НСР <sub>05</sub>
	N <sub>10</sub> P <sub>10</sub> K <sub>10</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> K <sub>70</sub>		
2017	4,67	5,99	7,74	7,05	6,36	0,10
2018	1,90	2,99	5,02	4,13	3,51	0,28
2019	3,00	4,62	5,43	5,06	4,53	0,33
2020	3,94	4,60	5,19	5,35	4,77	0,09
В среднем	3,38	4,55	5,85	5,40	4,80	0,45

По результатам испытаний, проведенных в 2017-2020 годах, лучшим фоном минерального питания для формирования наибольшей урожайности являлся фон с дозой внесения азот-фоски N<sub>50</sub>P<sub>50</sub>K<sub>50</sub> в килограммах действующих веществ на 1 гектар. На нем в среднем за годы испытаний было получено 5,85 т/га зерна, что на 0,45 т/га превышало урожайность стандарта, а в среднем прибавка к показателю сорта Гелиос УА составила 0,22 т/га (Табл. 3 и 4).

**Таблица 4 – Урожайность многорядного ярового ячменя сорта Благодар в конкурсном сортоиспытании ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ в среднем за 2017-2020 гг. (предшественник сахарная свекла), т/га**

Сорт	Фоны минерального питания				В среднем
	N <sub>10</sub> P <sub>10</sub> K <sub>10</sub>	N <sub>30</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>50</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>	N <sub>70</sub> P <sub>70</sub> K <sub>70</sub>	
Гелиос УА, ст.	3,22	4,39	5,40	5,31	4,58
Осколец	3,17	4,27	5,02	4,98	4,36
Благодар	3,38	4,55	5,85	5,40	4,80
НСР <sub>05</sub>	0,44				0,13

В 2020 году сорта Благодар, Гелиос УА и Осколец проходили испытание по двум технологиям. Это No-Till, то есть технология без обработки почвы и технология со вспашкой осенью оборотным плугом на глубину 25-27 см с весенней обработкой под посев культуры. Урожайность сортов ярового ячменя в зависимости от технологии возделывания представлена в таблице 5.

**Таблица 5 – Урожайность сортов ярового ячменя в зависимости от технологии возделывания в 2020 году (предшественник подсолнечник), т/га**

Сорт	Вспашка		No-Till		Отклонения технологии No-Till от вспашки	Среднее по сортам	± к стандарту НСР <sub>05</sub> = 0,16
	Урожайность	± к стандарту	Урожайность,	± к стандарту			
Гелиос УА, ст.	5,78	–	4,36	–	-1,42	5,07	–
Благодар	6,70	+0,92	5,05	+0,69	-1,65	5,88	+0,81
Осколец	5,66	-0,12	4,94	+0,58	-0,72	5,30	+0,23
НСР <sub>05</sub> =0,23 т/га для опыта							

В этом опыте сорт Благодар достоверно превзошел по зерновой продуктивности как стандартный многорядный сорт Гелиос УА, так и районированный двурядный сорт Осколец. При этом, как у него, так и у других двух сортов наибольший урожай наблюдался при технологии возделывания с рыхлением почвы. Полный отказ от механической обработки почвенного покрова привел к существенному снижению сбора зерна. Многорядные сорта Гелиос УА и Благодар уменьшили зерновую продуктивность на 24,6% или в физическом выражении на 1,42 т/га и 1,65 т/га соответственно. Двурядный сорт Осколец при выращивании по технологии No-Till дал урожай только на 0,72 т/га меньше в сравнении с технологией с отвальным рыхлением почвы.

В 2020 году в госсортоиспытании максимальные урожаи нового сорта ярового ячменя Благодар были получены на Ерешевском ГСУ Воронежской области (6,79 т/га), на Обоянском ГСУ Курской области (9,23 т/га), на Щигровском ГСУ Курской области (8,68 т/га), на Малоархангельском ГСУ Орловской области (4,82 т/га) (Табл. 6).

**Таблица 6 – Результаты испытания многорядного ярового ячменя сорта Благодар по данным ГСИ Центрально-Черноземного региона в 2020 году**

Регион, сортоучасток	Сорт	Урожайность, т/га	+/- к стандарту, т/га
Белгородская область, Новоскольский ГСУ	St. Осколец	4,94	–
	Благодар	4,88	-0,06
	НСР <sub>05</sub>	3,6	–
Воронежская область, Ерешевский ГСУ	St. Приазовский 9	5,56	–
	Благодар	6,79	+1,23
	НСР <sub>05</sub>	0,56	–
Воронежская область, Острогожский ГСУ	St. Эллинолор	3,54	–
	Благодар	4,00	+0,46
	НСР <sub>05</sub>	0,20	–
Курская область, Обоянский ГСУ	St. Паустиан	7,32	–
	Благодар	9,23	+1,91
	НСР <sub>05</sub>	0,45	–
Курская область, Щигровский ГСУ	St. Паустиан	8,71	–
	Благодар	8,68	-0,03
	НСР <sub>05</sub>	0,63	–
Липецкая область, Липецкая ГСИС	St. Грэйс	7,49	–
	Благодар	7,17	-0,32
	НСР <sub>05</sub>	0,45	–
Орловская область, Малоархангельский ГСУ	St. Грэйс	4,05	–
	Благодар	4,82	+0,77
	НСР <sub>05</sub>	0,28	–
Тамбовская область, Тамбовский ГСИС	St. Велес	7,21	–
	Благодар	6,84	-0,37
	НСР <sub>05</sub>	0,20	–

В 2021 году существенные прибавки урожайности сорта ярового ячменя Благодар над стандартами были отмечены на Ерешевском ГСУ Воронежской области (+0,98 т/га), на Обо-

янском ГСУ Курской области (+1,44 т/га), на Щигровском ГСУ Курской области (+0,31 т/га), на Малоархангельском ГСУ Орловской области (+0,37 т/га), на Тамбовской ГСИС (+0,6 т/га). По итогам государственного сортоиспытания за 2 года сорт Благодар в условиях недостаточного увлажнения Центрально-Черноземного региона обеспечил прибавку урожая к уровню стандартов в Воронежской области – 0,21 т/га, в Курской области – 0,5 т/га при урожайности 5,08 т/га и 7,40 т/га соответственно.

**Выводы.** Новый сорт ярового ячменя Благодар сочетает ряд важных хозяйственно-ценных признаков, таких как высокие темпы начального роста, плотный продуктивный стеблестой, высокая устойчивость к ряду заболеваний, что реализуется в формировании крупного хорошо выполненного зерна с преимуществом в продуктивности к ряду сортов на юго-западе ЦЧЗ России не зависимо от технологии их возделывания.

#### Библиография

1. Посевная площадь ярового ячменя в России на Сельхозпортале [Электронный ресурс] // URL: <https://сельхозпортал.рф/analiz-posevnyh-ploshhadej/?area=7> (дата обращения: 11.02.2022).
2. Оценка адаптивных свойств сортов ярового ячменя в степных условиях Сибирского Прииртышья / П.Н. Николаев, Н.И. Аниськов, О.А. Юсова [и др.] // Вестн. НГАУ. – 2018. – № 2. – С. 37-44.
3. Статистический ежегодник. Белгородская область. 2021: Стат. сб. / Белгородстат. – Белгород, 2021. – 508 с.
4. Пигорев И.Я., Агеева А.А. Белок в зерне многорядного ячменя в зависимости от нормы посева семян // Аграрная наука в XXI веке: проблемы и перспективы: сборник статей VII Всерос. науч.-практ. конф. – Саратов, 2013. – С. 63-65.
5. Бессонова, Л.В. Оценка продуктивности и адаптивности сортов ярового ячменя в условиях Предуралья / Л.В. Бессонова, К.Н. Неволина // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2015. – № 5 (55). – С. 48-50.
6. Интегрированная оценка адаптивной способности образцов ячменя из коллекции ВИР в условиях Красноярской лесостепи / Н.А. Сурин, Н.Е. Ляхова, С.А. Герасимов [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2016. – Т. 30, № 6. – С. 32-35.
7. Баталова Г.А. Селекция растений в условиях нестабильности агроклиматических ресурсов // Зернобобовые и крупяные культуры. – 2012. – № 3. – С. 20-25.
8. Рыбась, И.А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур (обзор) / И.А. Рыбась // Сельскохозяйственная биология, 2016. – Т. 51. – № 5. – С. 617-626.
9. Кононенко, Л.А. Оценка урожайности и экологической пластичности сортов ярового ячменя, возделываемого в условиях Белгородской области / Л.А. Кононенко // Известия Оренбургского ГАУ, 2006. – № 1 (9). – С. 53-55.
10. Зюба, С.Н. Изучение сортов ярового ячменя в условиях Белгородской области / С.Н. Зюба // Научные ведомости Белгородского ГУ. Серия: Естественные науки. – 2011. – № 14/1 (98). – С. 84-86.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. – М. : Колос, 1985. – Вып. 1. – 250 с.
12. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М. : Агропромиздат, 1985. – 352 с.
13. Nevo E. Evolution of wild Barley at «Evolution Canyon»: Adaptation, speciation, pre-agricultural collection, and Barley improvement // Israel Journal of Plant Sciences. – 2015. – Vol. 62, N (1-2). – Pp. 22-32. – DOI: 10.1080/07929978.2014.940783.
14. Андреев, А.А. Потенциал урожайности, стрессоустойчивость и экологическая пластичность сортов ярового ячменя / А.А. Андреев, М.К. Драчева, А.Г. Павлов // Формирование организационно-экономических условий эффективного функционирования АПК : сборник научных статей 9-й Международной научно-практической конференции, Минск, 25-26 мая 2017 г. – Минск : БГАТУ, 2017. – С. 77-80.
15. Gedif M., Yigzaw D., Tsige G. Genotype-environment interaction and correlation of some stability parameters of total starch yield in potato in Amhara region, Ethiopia // Plant Breed. Crop Sci. – 2014. – Vol. 6, № 3. – Pp. 31-40.
16. Гончаренко А.А. Проблема экологической устойчивости сортов зерновых культур и задачи селекции // Аграр. вестн. Юго-Востока. – 2015. – № 1-2. – С. 32-35.
17. Графічний аналіз адаптивності селекційних ліній ячменю ярого в Центральному Лісостепу України. Plant Varieties Studying and Protection / В.М. Гудзенко, О.А. Демидов, С.П. Васильківський [et al.]. – 2017. – Vol. 13, № 1. – Pp. 20-24. – DOI: 10.21498/2518-1017.1.2017.97233 (На украинском).
18. Юсова О.А., Николаев П.Н., Бендина Я.Б., Сафонова И.В., Аниськов Н.И. Стрессоустойчивость сортов ячменя различного агроэкологического происхождения для условий резко континентального климата // Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. – 2020. – № 181 (4) – С. 44-55. <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-44-55>

#### References

1. The sown area of spring barley in Russia on the Agricultural Portal [e-resource] // URL: <https://сельхозпортал.рф/analiz-posevnyh-ploshhadej/?area=7> (date of reference: 11.03.2022). (In Russian)
2. Assessment of adaptive properties of spring barley varieties in steppe conditions of the Siberian Irtysh region / P.N. Nikolaev, N.I. Aniskov, O.A. Yusova [et al.] // Vestn. NGAU. – 2018. – № 2. – Pp. 37-44. (In Russian)
3. Statistical Yearbook. Belgorod region. 2021: Stat. sat./ Belgorodstat. – Belgorod, 2021. – 508 p. (In Russian)

4. Pigorev I.Ya., Ageeva A.A. Protein in the grain of multi-row barley depending on the seeding rate // Agrarian science in the XXI century: problems and prospects: collection of articles of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference. – Saratov, 2013. – Pp. 63-65. (In Russian)
5. Bessonova, L.V. Assessment of productivity and adaptability of spring barley varieties in the conditions of the Urals / L.V. Bessonova, K.N. Nevolina // Proceedings of the Orenburg State Agrarian University. – 2015. – № 5 (55). – Pp. 48-50. (In Russian)
6. Integrated assessment of the adaptive ability of barley samples from the VIR collection in the conditions of the Krasnoyarsk forest-steppe / N.A. Surin, N.E. Lyakhova, S.A. Gerasimov [et al.] // Achievements of science and technology of the agro-industrial complex. – 2016. – Vol. 30, № 6. – Pp. 32-35. (In Russian)
7. Batalova G.A. Plant breeding in conditions of instability of agro-climatic resources // Leguminous and cereal crops. – 2012. – № 3. – Pp. 20-25. (In Russian)
8. Rybas, I.A. Improving adaptability in the selection of grain crops (review) / I.A. Rybas // Agricultural Biology, 2016. – Vol. 51. – № 5. – Pp. 617-626. (In Russian)
9. Kononenko, L.A. Assessment of yield and ecological plasticity of spring barley varieties cultivated in the conditions of the Belgorod region / L.A. Kononenko // Izvestiya Orenburg GAU, 2006. – № 1 (9). – Pp. 53-55. (In Russian)
10. Zyuba, S.N. The study of spring barley varieties in the conditions of the Belgorod region / S.N. Zyuba // Scientific Bulletin of the Belgorod State University. Series: Natural Sciences. – 2011. – № 14/1 (98). – Pp. 84-86. (In Russian)
11. Methodology of state variety testing of agricultural crops. – M.: Kolos, 1985. – Issue 1. – 250 p. (In Russian)
12. Dospikhov, B. A. Methodology of field experience / B. A. Dospikhov. – M.: Agropromizdat, 1985. – 352 p. (In Russian)
13. Nevo E. Evolution of wild Barley at "Evolution Canyon": Adaptation, speciation, pre-agricultural collection, and Barley improvement // Israel Journal of Plant Sciences. – 2015. – Vol. 62, № (1-2). – Pp. 22-32. – DOI: 10.1080/07929978.2014.940783.
14. Andreev, A.A. Yield potential, stress resistance and ecological plasticity of spring barley varieties / A.A. Andreev, M.K. Dracheva, A.G. Pavlov // Formation of organizational and economic conditions for the effective functioning of the agro-industrial complex : collection of scientific articles of the 9th International Scientific and Practical Conference, Minsk, May 25-26, 2017 – Minsk : BGATU, 2017. – Pp. 77-80. (In Russian)
15. Gedif M., Yigzaw D., Tsige G. Genotype-environment interaction and correlation of some stability parameters of total starch yield in potato in Amhara region, Ethiopia // Plant Breed. Crop Sci. – 2014. – Vol. 6, № 3. – Pp. 31-40.
16. Goncharenko A.A. The problem of ecological sustainability of grain varieties and breeding tasks // Agrar. vestn. Southeast. – 2015. – № 1-2. – Pp. 32-35. (In Russian)
17. Grafichnyj analiz adaptivnosti selekciynih linij yachmenyu yarogo v Central'nomu Lisostepu Ukraïni. Plant Varieties Studyng and Protection / V.M. Gudzenko, O.A. Demidov, S.P. Vasil'kiv'skij [et el.] . – 2017. – Vol. 13, N 1. – P. 20-24. – DOI: 10.21498/2518-1017.1.2017.97233. (In Ukrainian)
18. Yusova O.A., Nikolaev P.N., Bendina Y.B., Safonova I.V., Aniskov N.I. Stress resistance in barley cultivars of various agroecological origin under extreme continental climate conditions. Proceedings on applied botany, genetics and breeding. 2020; 181(4): Pp. 44-55. (In Russian) <https://doi.org/10.30901/2227-8834-2020-4-44-55>

#### Сведения об авторах

Дуон Николай Васильевич, селекционер, агроном 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.

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.

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

Duyn Nikolay Vasilyevich, breeder, 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.

Zyuba Svetlana N., Candidate of Sciences in Agriculture, Junior research assistant 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.

Oleg Grigоров, Leading specialist of the Laboratory for the study of agricultural 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.

Andreev Pavel Vladimirovich, agronomist of the Laboratory for the Study of Agricultural 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.

УДК 631.582:631.816.1:631.452:631.445.41:631.811:631.415.1:631.417.2

*С.Н. Зюба, О.В. Гапиенко, П.В. Андреев*

## ПРОДУКТИВНОСТЬ ЗВЕНЬЕВ СЕВООБОРОТА И ИЗМЕНЕНИЕ ПЛОДОРОДИЯ ПОЧВЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ДОЗ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

**Аннотация.** В полевом опыте на чернозёме типичном изучено изменение продуктивности полевых культур и агрохимических показателей почвы в звеньях четырехпольного севооборота: «люцерна – озимая пшеница», «горох на зерно – озимая пшеница», «яровой ячмень – озимая пшеница» и «чёрный пар – озимая пшеница». В поле предшественников озимой пшеницы вносились следующие дозы удобрений:  $N_{10}P_{10}K_{10}$  – условно низкий фон минерального питания,  $N_{30}P_{30}K_{30}$  – условно средний фон,  $N_{50}P_{50}K_{50}$  – условно высокий фон. Внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу в ротации 2014-2017 гг. и 2018-2021 гг. имели различия. В 2013-2016 гг. было внесено на низком фоне  $N_{63}P_{10}K_{10}$ , на среднем –  $N_{83}P_{30}K_{30}$ , на высоком –  $N_{103}P_{50}K_{50}$ . В 2016-2020 гг. количество внесённых удобрений составляло: низкий фон –  $N_{70}P_{10}K_{10}$ , средний –  $N_{90}P_{30}K_{30}$ , высокий –  $N_{110}P_{50}K_{50}$ . Установлено, что наиболее продуктивным в пересчёте на кормопroteinовые единицы, как в ротации 2013-2016 гг., так и в период 2017-2020 гг., было звено севооборота «люцерна – озимая пшеница» при максимальной дозе внесения минерального удобрения, соответственно 170,86 т/га и 200,57 т/га. Наиболее высокий урожай озимой пшеницы в среднем за 2013-2016 гг. отмечался на высоком фоне минерального в звене «горох на зерно – озимая пшеница» 5,97 т/га, а в 2017-2020 гг. на том же фоне в «чёрный пар – озимая пшеница» с урожайностью 7,93 т/га. Изменение содержания макроэлементов в почве, в частности азота, фосфора и калия, в значительной мере определялось количеством внесения минерального удобрения. Степень кислотности, а также содержание органического вещества в почве зависело как от предшественника, так и от дозы вносимых минеральных удобрений.

**Ключевые слова:** звено севооборота, ротация, продуктивность, чернозём типичный, минеральные удобрения, гидролизующий азот, обменный фосфор, обменный калий, степень кислотности, органическое вещество.

## PRODUCTIVITY OF CROPPED ROTATION AND CHANGES IN SOIL FERTILITY DEPENDING ON DOSES OF MINERAL FERTILIZERS

**Abstract.** In a field experiment on a typical chernozem, the change in the productivity of field crops and agrochemical indicators of the soil in the links of a four-field crop rotation was studied: «lucerne – winter wheat», «peas for grain – winter wheat», «spring barley – winter wheat» and «black fallow – winter wheat». The following doses of fertilizers were applied in the field of winter wheat predecessors:  $N_{10}P_{10}K_{10}$  – conditionally low background of mineral nutrition,  $N_{30}P_{30}K_{30}$  – conditionally average background,  $N_{50}P_{50}K_{50}$  – conditionally high background. Application of mineral fertilizers for winter wheat in rotation 2014-2017 and 2018-2021 had differences. In 2013-2016 was introduced on a low background  $N_{63}P_{10}K_{10}$ , on a medium background  $N_{83}P_{30}K_{30}$ , and on a high background  $N_{103}P_{50}K_{50}$ . In 2016-2020, the amount of applied fertilizers was: low background –  $N_{70}P_{10}K_{10}$ , medium –  $N_{90}P_{30}K_{30}$ , high –  $N_{110}P_{50}K_{50}$ . It has been established that the most productive in terms of fodder protein units, both in the rotation of 2013-2016 and in the period of 2017-2020, was the crop rotation link «alfalfa - winter wheat» at the maximum dose of mineral fertilizer, respectively 170,86 t/ha and 200,57 t/ha. The highest yield of winter wheat on average for 2013-2016. was noted against a high background of the mineral in the link «peas for grain - winter wheat» 5,97 t/ha, and in 2017-2020. on the same background in «black fallow – winter wheat» with a yield of 7,93 t/ha. The change in the content of microelements in the soil, in particular nitrogen, phosphorus, and potassium, was largely determined by the amount of mineral fertilizer application. The degree of acidity, as well as the content of organic matter in the soil, depended both on the predecessor and on the dose of applied mineral fertilizers.

**Keywords:** link of crop rotation, rotation, productivity, typical chernozem, mineral fertilizers hydrolysable nitrogen, exchangeable phosphorus, exchangeable potassium, degree of acidity, organic matter.

**Введение.** В настоящее время чернозёмы остаются самыми плодородными почвами России, позволяющими получать стабильные урожаи и тем самым обеспечивать продовольственную безопасность страны. Вследствие их длительного сельскохозяйственного использования постепенно снижается потенциальное плодородие прогрессирующим развитием эрозии и другими видами деградации, что подтверждают многочисленные исследования [1, 10].

Плодородие почвы – одно из условий повышения продуктивности сельскохозяйственных культур, действенным средством которого является применение систем удобрений [19]. Рыночные отношения привели к сокращению опытной работы с удобрениями, хотя именно опыты являются источником исходной информации для разработки рекомендаций [16]. Си-

стемы удобрений в севооборотах могут быть рациональными только в сочетании с местными агроэкологическими условиями и биологическими особенностями культур на основе комплексного агрохимического обследования почв, позволяющего дать всестороннюю оценку их состояния [11].

Севообороты составляют основу системы земледелия и являются важнейшим агротехническим средством получения высоких и устойчивых урожаев. Они относятся к мероприятиям широкого действия на сельскохозяйственные культуры и плодородие почвы. Одна из главных причин необходимости чередования одновидовых культур в севообороте заключается в том, что они существенно различаются выносом элементов питания с урожаем, накоплением в почве биологического азота и органического вещества [7].

Часть культур формирует мощную глубоко проникающую по профилю почвы корневую систему, вследствие чего истощают и иссушают пахотный и подпахотный слой почвы, а другие – имеют корневую систему, забирающую воду и питательные вещества с верхних слоев почвы. Зернопропашные севообороты, как и другие виды, состоят из звеньев. Во главе звена обычно размещается культура, повышающая плодородие почвы, а за ней следует, как правило, ведущая зерновая культура, которая эффективно использует это плодородие почвы. В севооборот включают такие культуры, дающие наибольшую отдачу. В настоящее время многие хозяйства перешли на севообороты зернового типа, и выращивают узкий круг зерновых культур. Такой подход имеет свои преимущества: не требуется широкий набор шлейфа машин, разносторонней квалификации кадров, большого набора технологий и т.д. Но преимущества такого подхода несравнимы с издержками, которые получаются вследствие неправильного видения систем земледелия. Насыщение севооборотов зерновыми культурами приводит к почвоутомлению, к распространению сорняков, вредителей и болезней, к снижению урожая и особенно к снижению качества производимой продукции [5].

Высокая продуктивность звеньев обеспечивает высокую продуктивность севооборота в целом. В зернопропашных севооборотах возделываются как зерновые, так и пропашные культуры, такие как озимая пшеница, кукуруза, горох, горох в смеси с овсом, эспарцет в занятых парах и другие. Эти культуры существенно отличаются количеством получаемой продукции, и соответственно выходом кормовых единиц с гектарной площади, помимо этого неодинаково реагируют на тот или иной способ основной обработки почвы [4, 8, 17], а также на вносимые удобрения, применяемые средства защиты растений и т.д.

На эффективности удобрений, применяемых под озимую пшеницу, в сильной степени сказывается качество предшествующей культуры. Например, в опытах Воронежского СХИ азот вносили под пшеницу, высеваемую по черному пару и гороху в дозе 30 кг/га и 60 кг/га. Урожай зерна по первой дозе составил 43 ц/га и 36 ц/га, а по второй – 46 ц/га и 44 ц/га соответственно предшественнику [12].

На черноземах типичных в лесостепи лучшие результаты при посеве пшеницы по стерневым предшественникам получены от использования дозы минеральных удобрений  $N_{90}P_{90}K_{90}$ , по кукурузе  $N_{90}P_{90}K_{40}$ , по викоовсяной смеси  $N_{60}P_{60}K_{60}$  [16]. Увеличение количества вносимого азота до 120 кг/га было неэффективным. В степной зоне Украины при возделывании пшеницы по черному пару максимальный урожай обеспечивало внесение только фосфора и калия в дозе  $P_{60}K_{90}$ , а при посеве ее после кукурузы комплексное применение макроэлементов в количестве  $N_{90}P_{60-90}K_{60}$  [3]. На черноземе слабовыщелоченном Краснодарского края при посеве пшеницы по пшенице, кукурузе на силос и подсолнечнику на фоне  $P_{80}K_{60}$  наиболее эффективной дозой азота была 120 кг/га [9]. На выщелоченных черноземах в Молдове оптимальной дозой под пшеницу следует считать  $N_{90-120}P_{60}K_{60}$ , так как при этом содержание белка увеличивалось на 1,8-3,1%, клейковины – на 4-7 % [18].

Данные длительных опытов свидетельствуют о том, что при систематическом научно обоснованном применении минеральных удобрений, а также соблюдении правильного выбора предшественника происходит накопление органического вещества и макроэлементов [2, 14].

По мнению М.С. Сигиды в настоящее время большую проблему представляет одностороннее несбалансированное применение минеральных удобрений, зачастую без учёта

предшественника, что приводит к сокращению содержания фосфора и калия в почве. В результате при внесении высоких доз азота увеличивается поражаемость растений вредителями и болезнями, снижается эффективность вносимых удобрений [13]. Опыты, проведённые в Белгородской области С.И. Смуровым и Н.В. Шелухиной в 1991-2013 гг., показали, что внесение дозы минеральных удобрений  $N_{41}P_{32,5}K_{32,5}$  в севообороте горох – озимая пшеница – подсолнечник – ячмень приводило к формированию отрицательного баланса азота и положительного фосфора и калия [14].

Важную роль предшественника в формировании урожая озимой пшеницы подтверждают исследования, проводимые в лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского ГАУ. По полученным данным существенное влияние на урожайность и качество зерна озимой пшеницы оказывали предшественники, тогда как действия способов подготовки зяби под них отмечено не было [15].

Академик РАСХН Сычев В.Г. утверждает, что «Применение удобрений нельзя рассматривать только как простое пополнение запасов питательных веществ в почве. Значение удобрений гораздо шире, а их действие значительно сложнее, так как они оказывают большое многостороннее влияние на химические, физико-химические, биологические свойства почвы и микробиологические процессы, протекающие в ней и в конечном итоге на урожай культур и его качество» [16].

Зависимость плодородия почвы и урожайности культур севооборота от доз в России еще недостаточно исследована. Результаты изучения данного вопроса рассматриваются в представляемой работе.

**Целью исследований** было изучение влияния длительного применения минеральных удобрений на продуктивность звеньев полевого севооборота, а также на изменение агрохимических показателей чернозёма типичного.

**Материалы и методы.** Полевой опыт проводился в стационаре по изучению продуктивности основных полевых культур в зависимости от уровня минерального питания и севооборотов в лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского ГАУ в 2014–2021 гг. Исследования выполнялись на трёх фонах минерального питания по четырём предшественникам – многолетние травы одногодичного использования (люцерна на один укос), горох на зерно, яровой ячмень, черный пар. В поле предшественников вносились следующие дозы удобрений:  $N_{10}P_{10}K_{10}$  – условно низкий фон минерального питания,  $N_{30}P_{30}K_{30}$  – условно средний фон минерального питания,  $N_{50}P_{50}K_{50}$  – условно высокий фон минерального питания. Внесение минеральных удобрений под озимую пшеницу в первую ротацию (2013-2016 гг.) и во вторую (2017-2020 гг.) имели различия. Связано это с корректировкой дозы внесения азотного удобрения в подкормку, которая происходила при оценке перезимовки культуры. Таким образом, в первую ротацию 2013-2016 гг. было суммарно внесено: низкий фон –  $N_{63}P_{10}K_{10}$ , средний –  $N_{83}P_{30}K_{30}$ , высокий –  $N_{103}P_{50}K_{50}$ , а во вторую ротацию 2017-2020 гг., количество внесённых удобрений составляло на низком фоне  $N_{70}P_{10}K_{10}$ , на среднем –  $N_{90}P_{30}K_{30}$  и на высоком  $N_{110}P_{50}K_{50}$ .

Агрохимическое обследование почвы проводилось один раз в четыре года в 2017 году и в 2021 году. Гидролизуемый азот в почве определялся по методу Корнфилда, обменный калий и фосфор по методу Чирикова. Погрешность анализа для определения органического вещества составляла 0,5%. 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>, а учётной – 50 м<sup>2</sup>. Агротехника культур общепринятая для зоны. Исследования проводились по общепринятым методикам. Продуктивность звеньев севооборота определяли в кормопротеиновых единицах (КПЕ).

**Результаты и их обсуждение.** Урожайность сельскохозяйственных культур, а соответственно и эффективность удобрений зависели, как от дозы внесения, так и от соотноше-

ния элементов питания в них. Результаты исследований подтверждают зависимость продуктивности культур севооборота от доз минеральных удобрений и показывают различия в их влиянии на этот показатель (таблицы 1 и 2) и (рисунки 1 и 2).

Анализ данных урожайности всех звеньев севооборота в первой ротации (2013-2016 гг.) показал, что её величина зависела в большой степени от вида сельскохозяйственных культур. Урожайность зерна озимой пшеницы была напрямую связана с увеличением дозы минеральных удобрений – с 5,35 т/га на низком фоне до 7,64 т/га на высоком фоне минерального питания. Зерновая продуктивность звена «люцерна – озимая пшеница» соответствовала урожаю озимой пшеницы, так как урожайность зелёной массы люцерны не учитывалась при подсчёте зерновой продуктивности. При расчёте показателя учитывался только урожай зерна озимой пшеницы. Урожай зелёной массы соответственно фонам минерального питания был равен 19,78 т/га, 20,90 т/га и 20,41 т/га.

**Таблица 1 – Урожайность звеньев севооборота в зависимости от фона минерального питания, в среднем за 2013-2016 гг, т/га**

Звено севооборота	Фоны минерального питания		
	N <sub>63</sub> P <sub>10</sub> K <sub>10</sub>	N <sub>83</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>103</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>
Люцерна	19,78	20,90	20,41
Озимая пшеница	5,35	5,62	7,64
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>5,35</b>	<b>5,62</b>	<b>7,64</b>
Горох на зерно	1,88	2,01	2,18
Озимая пшеница	5,58	5,87	5,97
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>7,46</b>	<b>7,88</b>	<b>8,15</b>
Яровой ячмень	3,47	4,42	4,98
Озимая пшеница	4,60	5,20	5,33
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>8,07</b>	<b>9,62</b>	<b>10,31</b>
Чёрный пар	–	–	–
Озимая пшеница	5,66	5,35	5,86
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>5,66</b>	<b>5,35</b>	<b>5,86</b>

Звено севооборота «горох на зерно – озимая пшеница» было на втором месте по показателю зерновой продуктивности. Она составляла 7,46 т/га на низком фоне минерального питания, затем по мере увеличения дозы удобрений возрастала до 7,88 т/га, а максимальная доза минерального питания способствовала тому, что этот показатель достиг уровня равного 8,15 т/га. Урожайность культур в этом звене напрямую зависела от количества внесенных минеральных удобрений. Сбор зерна у гороха составлял 1,88 т/га, 2,01 т/га, 2,18 т/га, соответственно фонам минерального питания. Урожайность озимой пшеницы была равной 5,58-5,97 т/га.

Продуктивность звена «яровой ячмень – озимая пшеница» по зерновой продуктивности была на первом месте. Дозы вносимых минеральных удобрений также оказали на него значительное влияние, как на урожайность каждой культуры в отдельности, так и в целом на продуктивность всего звена. Так урожай зерна ярового ячменя находился в пределах от 3,47 т/га до 4,98 т/га. Озимая пшеница по этому предшественнику сформировала урожайность равную 8,07-10,31 т/га.

Низкая зерновая продуктивность отмечалась в звене севооборота «чёрный пар – озимая пшеница», так как фактически урожай был получен только по озимой пшенице. Его показатель на низком фоне минерального питания был равен 5,66 т/га, на среднем 5,35 т/га, а на высоком 5,86 т/га. Урожай зерна культуры превышал 5,0 т/га и в соответствии с фонами минерального питания равнялся 5,66 т/га, 5,35 т/га и 5,86 т/га.

На рисунке 1 представлена продуктивность звеньев севооборота в среднем за 2013-2016 гг., выраженная в тоннах с гектара кормопротеиновых единиц.

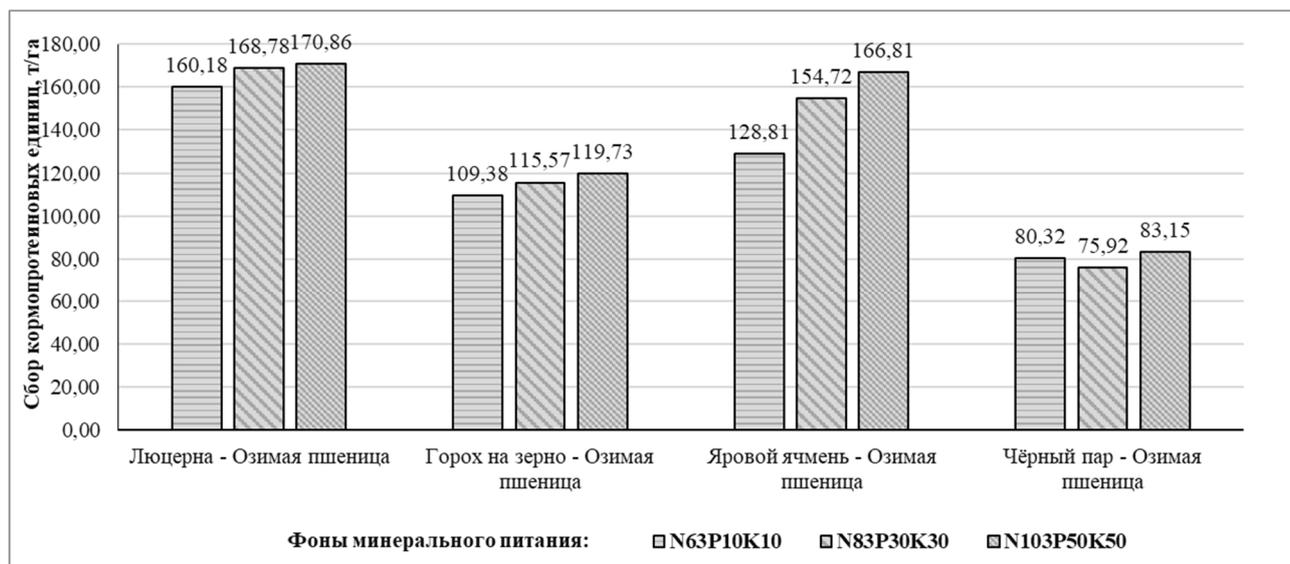


Рис. 1 – Продуктивность звеньев севооборота в зависимости от фонов минерального питания (2013-2016 гг.)

Сбор кормопротеиновых единиц в звене севооборота «люцерна – озимая пшеница», практически не зависел от дозы внесения минеральных удобрений, при этом показывая лучший результат среди взятых для изучения звеньев.

В звеньях севооборота «горох на зерно – озимая пшеница» и «яровой ячмень – озимая пшеница» отмечалась тенденция роста сбора кормопротеиновых единиц с увеличением дозы внесения минерального удобрения. Звено «горох на зерно – озимая пшеница» имело продуктивность на уровне 109,38-119,73 т/га, в то время как в звене «яровой ячмень – озимая пшеница» она возрастала до 128,81-166,81 т/га. Наименее продуктивным было звено «чёрный пар – озимая пшеница». На сбор КПЕ этого звена минеральные удобрения не оказали значительного влияния.

В 2017-2021 гг. также была определена продуктивность изучаемых звеньев севооборота (Таблица 2, рисунок 2).

Зерновая продуктивность звена севооборота «люцерна – озимая пшеница» увеличилась по сравнению с предыдущей ротацией и занимала третье место среди остальных звеньев, изучавшихся в этот период. Минеральные удобрения также оказывали большое влияние, как на урожайность культур, так и на продуктивность звена в целом. Зерновая продуктивность составляла 7,26-7,83 т/га. Урожай зелёной массы люцерны на низком и среднем фоне составлял 21,59 т/га и 20,41 т/га, а на высоком фоне отмечалось его увеличение до 21,00 т/га. Сбор зерна у озимой пшеницы в этом звене был равен 7,26 т/га при внесении N70P10K10, 7,64 т/га на фоне N90P30K30 и 7,83 т/га на фоне N110P50K50.

Звено севооборота «горох на зерно – озимая пшеница» находилось на втором месте по показателю продуктивности. Увеличение дозы минеральных удобрений приводило к росту урожайности культур. На низком фоне минерального питания урожайность зерна гороха была равной 2,34 т/га, а на среднем и высоком показатель достигал отметки 2,49 т/га и 2,58 т/га, соответственно. У озимой пшеницы урожай находился в пределах от 6,51 т/га до 7,55 т/га, причём максимальное его значение было получено на среднем фоне минерального питания. Зерновая продуктивность соответственно фонам минерального питания была следующей: 8,85 т/га, 9,63 т/га и 10,13 т/га.

**Таблица 2 – Урожайность звеньев севооборота, в зависимости от фона минерального питания, в среднем за 2017-2020 гг, т/га**

Звено севооборота	Фоны минерального питания		
	N <sub>70</sub> P <sub>10</sub> K <sub>10</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>30</sub> K <sub>30</sub>	N <sub>110</sub> P <sub>50</sub> K <sub>50</sub>
Люцерна	21,59	20,41	21,00
Озимая пшеница	7,26	7,64	7,83
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>7,26</b>	<b>7,64</b>	<b>7,83</b>
Горох на зерно	2,34	2,49	2,58
Озимая пшеница	6,51	7,14	7,55
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>8,85</b>	<b>9,63</b>	<b>10,13</b>
Яровой ячмень	3,15	4,28	5,30
Озимая пшеница	5,38	6,18	6,64
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>8,53</b>	<b>10,46</b>	<b>11,94</b>
Чёрный пар	–	–	–
Озимая пшеница	7,00	7,58	7,93
<b>Зерновая продуктивность</b>	<b>7,00</b>	<b>7,58</b>	<b>7,93</b>

В звене севооборота «яровой ячмень – озимая пшеница» показатель зерновой продуктивности находился в пределах от 8,53 т/га до 11,94 т/га и был на первом месте среди изучаемых звеньев, за исключением низкого фона, где наибольший показатель равнялся 8,85 т/га в звене «горох на зерно – озимая пшеница». У ярового ячменя и озимой пшеницы также наблюдалась тенденция к увеличению урожайности с ростом дозы вносимых минеральных удобрений. Урожай зерна у ярового ячменя составлял 3,15-5,30 т/га, у озимой пшеницы – от 5,38 т/га до 6,64 т/га.

Последнее звено севооборота «чёрный пар – озимая пшеница» показал низкую зерновую продуктивность на уровне 7,00-7,93 т/га, несмотря на самую высокую в опыте урожайность озимой пшеницы.

Анализ данных таблицы 1 и 2 позволяет сделать выводы о том, что наибольшая зерновая продуктивность, как в 2013-2016 гг., так и в 2017-2020 гг., была в звене севооборота «яровой ячмень – озимая пшеница» при максимальной дозе внесения минерального удобрения. Такая закономерность объяснялась тем, что были получены высокие урожаи зерна ярового ячменя и озимой пшеницы. Лучшим предшественником озимой пшеницы был чёрный пар, где был получен наибольший сбор.

По аналогии с предыдущей ротацией продуктивность звеньев севооборота в среднем за 2017-2020 гг. представлена на рисунке 2. Наибольший сбор кормопротеиновых единиц был получен в звене севооборота «люцерна – озимая пшеница» по всем фонам минерального питания. В этом звене отмечалась тенденция к увеличению данного показателя при росте количества вносимых в почву минеральных удобрений.

На продуктивность звена «горох на зерно – озимая пшеница» минеральные удобрения оказывали незначительное влияние, однако на высоком фоне сбор кормопротеиновых единиц был наибольшим. Чёткая динамика увеличения их сбора в зависимости от увеличения питательности фонов минерального питания, от низкого к высокому, прослеживалась в звене севооборота «яровой ячмень – озимая пшеница». Звено «чёрный пар – озимая пшеница» в среднем за 2017-2020 гг., так же как и в 2013-2016 гг., было наименее продуктивно.

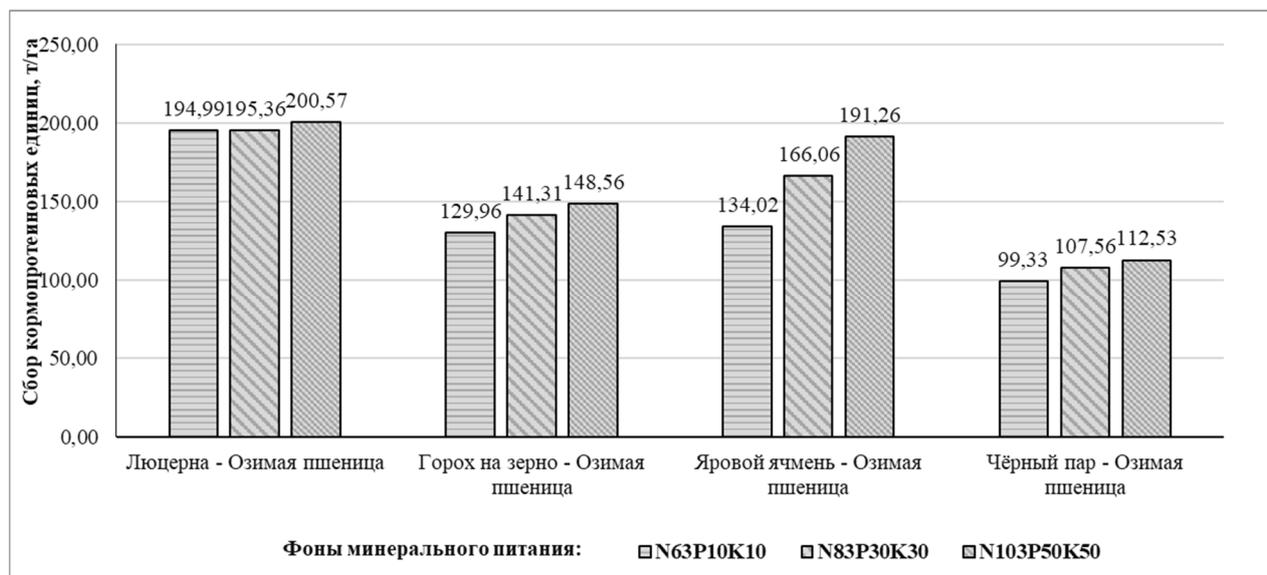


Рис. 2 – Продуктивность звеньев севооборота в зависимости от фонов минерального питания (2017-2020 гг.)

Анализ данных агрохимических исследований в 2013-2021 годах показал, что содержание основных показателей, определяющих плодородие почвы, зависело от фона минерального питания и изменялось по годам. В таблицах 3-6 показаны эти изменения в изучавшихся звеньях севооборота.

Данные, приведенные в таблице 3, показывают, что увеличение дозы внесения минеральных удобрений приводило к прибавкам накопления азота в звене севооборота «люцерна – озимая пшеница» в 2017 и 2021 году, что касается 2013 года, то на низком и высоком фонах минерального питания содержание азота было одинаковым и составляло 161 мг/кг, а на среднем снижалось до 147 мг/кг. В 2021 году на низком фоне показатель остался на том же уровне, что и в 2013 году и был равен 161 мг/кг. На среднем и высоком фонах происходило его накопление, от 147 мг/кг до 167 мг/кг и от 161 мг/кг до 168 мг/кг.

Таблица 3 – Изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «люцерна – озимая пшеница»

Фон минерального питания	Гидролизуемый азот, мг/кг			Подвижный фосфор, мг/кг			Обменный калий, мг/кг			Степень кислотности, pH			Органическое вещество, %		
	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021
Низкий	161	154	161	130	170	83	134	195	69	5,2	5,5	5,5	4,9	4,4	4,5
Средний	147	161	167	208	155	158	156	133	101	5,0	5,3	5,3	4,2	4,7	4,5
Высокий	161	165	168	307	245	341	217	246	103	5,2	5,3	5,1	4,8	4,8	5,1
Среднее	156	160	165	215	190	194	215	191	91	5,1	5,4	5,4	4,6	4,6	4,7

Содержание подвижного фосфора в 2021 на низком фоне минерального питания уменьшилось практически в полтора раза по сравнению с 2013 годом и в два раза по сравнению с 2017 годом. Так если в 2013 году его количество составляло 130 мг/кг, а в 2017 году 170 мг/кг и по обеспеченности характеризовалось как высокое, то в 2021 году снизилось до 83 мг/кг, что соответствовало среднему содержанию элемента питания в почве. На среднем фоне минерального питания этот показатель снижался с 208 мг/кг в 2013 году до 158 мг/кг в 2021 году. Максимальным содержание подвижного фосфора было на высоком фоне минерального питания – 307 мг/кг в 2013 году, 245 мг/кг в 2017 году, а в 2021 году оно возрастало до 341 мг/кг и характеризовалось как очень высокое.

Количество обменного калия уменьшалось на всех фонах минерального питания. Наибольшее снижение произошло на высоком фоне, где в 2013 году оно составляло 217 мг/кг, а в 2021 году 103 мг/кг, что было ниже на 114 мг/кг. На среднем фоне количество обменного калия в 2013 году равнялось 156 мг/кг, а 2021 году уменьшилось на 55 мг/кг и в ре-

зультате чего достигло отметки 101 мг/кг. Следует отметить, что на низком и высоком фонах минерального питания обеспеченность обменным калием можно охарактеризовать как высокую, а на среднем фоне высокой и повышенной.

Степень кислотности почвы в 2017 году на низком и среднем фонах минерального питания увеличилась по сравнению с 2013 годом с 5,2 ед. до 5,5 ед. и с 5,0 ед. до 5,3 ед., а на момент проведения агрохимического обследования в 2021 году оставалась на уровне 2017 года. На высоком фоне произошло подкисление почвенного раствора с 5,2 ед. в 2013 году до 5,1 ед. в 2021 году. Почвы в этом звене севооборота, не зависимо от дозы внесённых минеральных удобрений, можно охарактеризовать, как слабокислые.

Почва в звене севооборота «люцерна – озимая пшеница» была со средним содержанием органического вещества. На низком и высоком фонах питания происходило его незначительное, в пределах погрешности анализа, снижение с 4,9% до 4,5%, а на среднем и высоком фонах увеличение с 4,2% до 4,5% и с 4,8% до 5,1%, соответственно годам отбора почвенных проб.

В таблице 4 представлено изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «горох на зерно – озимая пшеница».

**Таблица 4 – Изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «горох на зерно – озимая пшеница»**

Фон минерального питания	Гидролизуемый азот, мг/кг			Подвижный фосфор, мг/кг			Обменный калий, мг/кг			Степень кислотности, pH			Органическое вещество, %		
	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021
Низкий	147	152	156	172	182	108	162	163	100	5,0	5,7	5,3	4,2	4,8	4,6
Средний	147	155	158	278	203	228	251	189	130	5,0	5,1	5,3	4,5	4,8	5,0
Высокий	147	245	341	324	232	277	255	214	211	5,2	5,3	5,1	4,3	4,6	5,0
Среднее	147	184	218	258	206	204	223	187	147	5,1	5,4	5,2	4,3	4,7	4,9

По всем фонам минерального питания в 2021 году происходило накопление гидролизуемого азота, относительно 2013 и 2017 гг. Увеличение дозы минерального удобрения как в 2017 году, так и в 2021 году приводило к возрастанию показателя с 152 мг/кг до 245 мг/кг и с 156 мг/кг до 341 мг/кг, соответственно. В 2013 году показатель был на одном уровне и составлял 147 мг/кг. На высоком фоне минерального питания произошел максимальный рост содержания гидролизуемого азота, с 147 мг/кг в 2013 году до 245 мг/кг в 2017 году, а в 2021 году он достиг своего максимума и его значение составило 341 мг/кг.

Накопление подвижного фосфора, аналогично гидролизуемому азоту, от низкого к высокому фону минерального питания происходило во все годы проведения агрохимического обследования. В 2013 году с 172 мг/кг до 324 мг/кг, в 2017 году с 182 мг/кг до 232 мг/кг и с 108 мг/кг до 277 мг/кг в 2021 году. Уменьшение обменного фосфора в 2021 году относительно показателей 2013 года отмечалось на всех фонах минерального питания, с 172 мг/кг до 108 мг/кг на низком фоне. На среднем и высоком фонах минерального питания снижение показателя было с 278 мг/кг до 228 мг/кг и с 324 мг/кг до 277 мг/кг, соответственно фонам минерального питания и годам проведения агрохимического обследования.

По результатам трёх лет изучения химического состава почвы в этом звене севооборота содержание обменного калия так же возрастало с увеличением дозы внесения минерального удобрения. Но по всем фонам минерального питания происходило снижение этого показателя в 2021 году относительно 2013 года и 2017 года, причём наибольшее его уменьшение отмечалось на низком и среднем фонах, с 162 мг/кг до 100 мг/кг и с 251 мг/кг до 130 мг/кг, а на высоком 255-211 мг/кг.

Величина степени кислотности почвы в звене севооборота «горох на зерно – озимая пшеница» позволяет охарактеризовать их как слабокислые, за исключением низкого фона минерального питания в 2017 году, где водородный показатель pH был равным 5,7 единицам, что соответствует градации близкая к нейтральным. Повышение дозы минеральных удобрений приводило к подкислению почвы, как в 2017 году, так и в 2021 году, а в 2013 году

наоборот происходило подщелачивание почв. В 2021 году произошли изменения показателя степени кислотности. Так на низком и среднем фонах питания в 2013 году она была равна 5,0 ед., а в 2021 году увеличилась на 0,3 ед. и составляла 5,3 ед., а на высоком снижалась с 5,2 ед. до 5,1 ед.

В 2021 году происходило увеличение содержания органического вещества относительно 2013 года от 4,2% до 4,6% на низком фоне, а на среднем и высоком с 4,5% до 5,0% и с 4,3% до 5,0%, соответственно.

В таблице 5 представлено изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «яровой ячмень – озимая пшеница».

**Таблица 5 – Изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «яровой ячмень – озимая пшеница»**

Фон минерального питания	Гидролизуемый азот, мг/кг			Подвижный фосфор, мг/кг			Обменный калий, мг/кг			Степень кислотности, pH			Органическое вещество, %		
	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021
Низкий	147	151	154	175	159	80	142	135	82	5,3	5,7	5,5	4,3	4,6	4,8
Средний	147	152	158	259	185	156	181	166	85	5,2	5,5	5,2	4,2	4,9	5,0
Высокий	147	158	161	290	284	356	185	206	154	5,3	5,9	5,6	4,1	4,8	5,0
Среднее	147	153	158	241	209	197	169	169	107	5,3	5,7	5,4	4,2	4,8	4,9

Содержание гидролизуемого азота в почве в звене «яровой ячмень – озимая пшеница» было высоким и возрастало с увеличением дозы внесения минерального удобрения, за исключением 2013 года, где показатель был одинаковым и равнялось 147 мг/кг. По всем фонам минерального питания происходило накопление гидролизуемого азота в 2021 году относительно 2013 года и 2017 года. На низком фоне показатель был равен 147-154 мг/кг, на среднем 147-158 мг/кг, а на высоком 147-161 мг/кг.

Содержание обменного фосфора на низком фоне в 2013 году было равным 175 мг/кг и характеризовалось как среднее. В 2017 году произошло его резкое уменьшение до 159 мг/кг, а в 2021 достигло минимума 80 мг/кг. Также снижался показатель и на среднем фоне от 259 мг/кг до 156 мг/кг, а на высоком отмечалось значительное увеличение с 290 мг/кг до 356 мг/кг, что соответствовало очень высокому его содержанию. Накопление обменного фосфора по фонам питания в 2013 году происходило от 175 мг/кг до 290 мг/кг, в 2017 году от 159 мг/кг до 284 мг/кг, а в 2021 году от 80 мг/кг до 356 мг/кг, соответственно.

Снижение обменного калия на время агрохимического обследования в 2021 году относительно результатов 2013 года отмечалось по всем фонам. В 2013 году в зависимости от роста дозы вносимых минеральных удобрений происходило увеличение этого показателя от 142 мг/кг до 185 мг/кг, в 2017 году от 135 мг/кг на низком фоне до 206 мг/кг на высоком, а в 2021 году от 82 мг/кг до 154 мг/кг. Наибольшее уменьшение содержания обменного калия в 2021 году произошло на среднем фоне с 181 мг/кг до 85 мг/кг.

В звене севооборота «яровой ячмень – озимая пшеница» почва опытного участка на низком и высоком фонах минерального питания по степени кислотности характеризовалась как близкая к нейтральной, а на среднем как слабокислая. Повышение доз внесения минеральных удобрений приводило к нейтрализации почвы. В 2021 году по всем фонам произошло увеличение кислотности, относительно 2013 года, за исключением среднего фона, где она оставалась такой же, как и на момент проведения первого агрохимического обследования. Так, на низком фоне она увеличилась на 0,2 ед. и составляла 5,5 ед., на высоком на 0,3 ед. и была равной 5,6 ед. Что касается среднего фона, то здесь степень кислотности почвы была зафиксирована на отметке 5,6 единиц на уровне 2013 года, но ниже на 0,3 ед. относительно 2017 года.

Процент содержания органического вещества на период проведения агрохимического обследования в 2021 году относительно результатов предыдущих анализов увеличился по всем вариантам минерального питания. Максимальное содержание органического вещества в

почве было на среднем и высоком фонах минерального питания. Колебание по годам составляло от 4,3% до 5,0%.

В таблице 6 представлено изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «чёрный пар – озимая пшеница».

В звене севооборота «чёрный пар – озимая пшеница» содержание гидролизуемого азота увеличивалось пропорционально количеству внесения минеральных удобрений. В 2013 году его количество равнялось на низком фоне 140 мг/кг, на среднем 142 мг/кг, а на высоком 147 мг/кг, в 2017 году 147 мг/кг, 151 мг/кг, 154 мг/кг. В 2021 году произошло накопление гидролизуемого азота до 161 мг/кг, 154 мг/кг и 161 мг/кг, соответственно фонам минерального питания.

Неоднозначная ситуация сложилась по содержанию подвижного фосфора в почве. На низком и среднем фонах оно было высоким, а на высоком фоне минерального питания очень высоким. Минеральные удобрения, применяемые в звене севооборота, положительным образом сказались на формировании запасов анализируемого элемента. В 2013 году в почве было обнаружено 133-261 мг/кг обменного фосфора, в 2017 году 161-318 мг/кг, а в 2021 году 132-336 мг/кг. На низком фоне происходило его увеличение с 133 мг/кг в 2013 году до 161 мг/кг в 2017 году, затем отмечалось его снижение до 132 мг/кг в 2021 году. Уменьшение запасов подвижного фосфора происходило на среднем фоне питания с 204 мг/кг в 2013 году до 188 мг/кг в 2021 году. Что касается высокого фона, то здесь произошло увеличение этого показателя с 261 мг/кг на момент проведения первого обследования в 2013 году до 318 мг/кг в 2017 году и до 336 мг/кг в 2021 году.

**Таблица 6 – Изменение агрохимических показателей почвы в звене севооборота «чёрный пар – озимая пшеница»**

Фон минерального питания	Гидролизуемый азот, мг/кг			Подвижный фосфор, мг/кг			Обменный калий, мг/кг			Степень кислотности, pH			Органическое вещество, %		
	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021	2013	2017	2021
Низкий	140	147	161	133	161	132	147	148	92	5,2	5,5	5,4	3,7	4,5	4,6
Средний	142	151	154	204	189	188	157	164	100	5,1	5,2	5,3	3,9	4,5	4,7
Высокий	147	154	161	261	318	336	184	204	174	5,1	5,3	5,0	4,3	4,6	4,9
Среднее	142	151	159	199	223	219	163	172	122	5,1	5,4	5,2	4,0	4,5	4,7

Содержание обменного калия, как и у предыдущих звеньев севооборота, снижалось по всем фонам минерального питания. По результатам агрохимического исследования в 2013 году на низком фоне минерального питания было определено количество обменного калия равное 147 мг/кг, на среднем 157 мг/кг, а на высоком 184 мг/кг. В 2017 и 2021 годах прослеживалась аналогичная закономерность, где этот показатель был равен 148 мг/кг и 92 мг/кг, 164 мг/кг и 100 мг/кг, а так же 184 мг/кг и 174 мг/кг, соответственно фонам.

Почва звена севооборота «чёрный пар – озимая пшеница» по степени кислотности характеризовалась как слабокислая. Увеличение водородного показателя pH почвы происходило на низком и среднем фонах, где в 2013 году был равен 5,2 ед. и 5,1 ед., а в 2021 году поднялся до 5,4 ед. и 5,3 ед., соответственно. На высоком зафиксировано снижение с 5,1 ед. до 5,0 ед.

Содержание органического вещества в почве в 2021 году относительно 2013 года возросло на низком фоне на 0,9%, на среднем на 0,8%, а на высоком на 0,6%. Количество органического вещества слабо зависело от фона минерального питания. Так в 2013 году оно находилось в пределах от 3,7% до 4,3%, в 2017 году варьировало от 4,5% на низком и на среднем фонах питания до 4,6% на высоком, а в 2021 году от 4,6% при минимальной дозе внесения минеральных удобрений до 4,9% при внесении максимальной дозы.

В среднем по фонам минерального питания наибольшая обеспеченность азотом в 2017 и 2021 годах была в звене севооборота «горох на зерно – озимая пшеница» и составляла в 2013 году 184 мг/кг, а в 2021 году 218 мг/кг, а в 2013 году в звене «люцерна – озимая пшеница». Очень высокое содержание обменного фосфора в 2013 году было в звене «горох на

зерно – озимая пшеница» 258 мг/кг, в 2017 и 2021 годах оно отмечалось в звене «чёрный пар – озимая пшеница» 223 мг/кг и 219 мг/кг, соответственно годам. Лучшее содержание обменного калия отмечалось в 2013 и 2021 годах равное 223 мг/кг и 147 мг/кг в звене «горох на зерно – озимая пшеница», а в 2017 году в звене «люцерна – озимая пшеница», где этот показатель составлял 191 мг/кг. По степени кислотности почва во всех звеньях севооборота относилась к слабокислой. Содержание органического вещества в почве было максимальным в звеньях «горох – озимая пшеница» и «яровой ячмень – озимая пшеница» 4,9% в 2021 году.

**Выводы.** Применение различных доз минеральных удобрений по-разному влияло на продуктивность изучаемых звеньев севооборота. Наиболее продуктивным оказалось звено севооборота «люцерна – озимая пшеница», как за ротацию в 2013-2016 гг. с показателем кормопротеиновых единиц равным 160,18-170,86 т/га, так и за период с 2017 г. по 2020 г., когда сбор кормопротеиновых единиц составлял 194,99-200,57 т/га. Учитывая полученные данные по продуктивности звеньев севооборота, лучшим предшественником в опыте под озимую пшеницу следует считать многолетние травы одногодичного использования на один укос и горох на зерно. Звено севооборота «чёрный пар – озимая пшеница» при высокой урожайности озимой пшеницы показало низкую продуктивность. С экономической точки зрения использование черного пара в качестве предшественника озимой пшеницы не эффективно.

Относительно результатов исследования почвы в 2013 году на момент проведения агрохимического обследования в 2021 году запасы гидролизуемого азота в почве увеличивались по всем звеньям севооборота. Дозы удобрений за две ротации севооборота оказывали неоднозначное влияние на содержание подвижного фосфора. Ко времени последнего агрохимического обследования на низком фоне минерального питания по всем звеньям севооборота отмечалось его снижение, а на высоком происходило увеличение. Содержание обменного калия уменьшалось по всем звеньям севооборота и фонам минерального питания. По степени кислотности почва в зависимости от варианта опыта характеризовалась как слабокислая или близкая к нейтральной. По всем звеньям севооборота происходило накопление органического вещества в почве.

#### Библиография

1. Акулов, П.Г. Воспроизводство плодородия и продуктивность черноземов / П.Г. Акулов. – М. : Колос, 1992. – 223 с.
2. Аль Дхухайбави, Хаидер Халаф. Агрохимические свойства чернозёма типичного в зависимости от минеральных удобрений и предшественников озимой пшеницы / Аль Дхухайбави Хаидер Халаф, С.И. Смуров, М.А. Куликова, А.Г. Ступаков // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 1 (25). – С. 146-153.
3. Бондаренко, В.И. Эффективность производства озимой пшеницы в зависимости от удобрений / В.И. Бондаренко // Химия в сельском хозяйстве, 1987. – № 6. – С. 51-55.
4. Власова, О.И. Формирование клубеньков гороха в зависимости от способа и глубины обработки почвы чернозема выщелоченной зоны умеренного увлажнения Ставропольского края / Власова, О.И., Горбачева Л.А. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2011. – № 70. – С. 707-716.
5. Вольтерс, И.А. Влияние предшественников озимой пшеницы на агрофизические факторы плодородия и урожайность в условиях умеренно влажной зоны / И.А. Вольтерс, О.И. Власова, Л.В. Трубачёва // Агрохимический вестник. – 2011. – № 4. – С. 16-17.
6. Глянце, А.Ф. Действие доз и соотношений питательных веществ в основном удобрении на урожай озимой пшеницы по разным предшественникам. Пути повышения урожайности зерновых культур в восточной Лесостепи / А.Ф. Глянце. – Харьков, 1985. – С. 75-79.
7. Донцов, А.Ф., Есаулко А.Н., Сигида М.С.. Изучение доз и способов ранневесенней подкормки озимой пшеницы на черноземе обыкновенном / А.Ф. Донцов, А.Н. Есаулко, М.С. Сигида, Д.А. Шевченко // Агрохимический вестник. – 2012. – № 6. – С. 22-25.
8. Дорожко, Г.Р. Способ обработки – фактор регулирования фитосанитарного состояния почвы и посевов озимой пшеницы на черноземах выщелоченных зоны умеренного увлажнения Ставропольского края / Г.Р. Дорожко, О.И. Власова, В.М. Передериева // Научный журнал КубГАУ. – 2011. – № 68. – С. 442-450.
9. Казанкова, В.И. Содержание нитратов в почве и их влияние на урожай и качество зерна озимой пшеницы / В.И. Казанкова, Б.И. Тарасенко, Н.Н. Тарасенко // Сб. науч. тр. Краснодарского НИИСХ, вып. 13. – Краснодар, 1977. – С. 61-66.
10. Плодородие черноземов России / Под ред. Н.З. Милащенко. – М. : Агроконсалт, 1998. – 688 с.

11. Постников, П.А. Адаптивное земледелие на Среднем Урале: состояние, проблемы и пути их решения / П.А. Постников, Л.П. Огородников, Т.В. Павленкова, И.С. Бызов // Екатеринбург : Уральский НИИСХ, 2010. – 338 с.
12. Пресняков, Н.А. Роль удобрений в повышении урожайности и качества зерна озимой пшеницы при систематическом применении в севообороте. Эффективность применения удобрений и мелиорантов на почвах ЦЧЗ / Н.А. Пресняков. – Воронеж, 1986. – С. 15-18.
13. Сигида, М.С. Урожайность озимой пшеницы в зоне умеренного увлажнения в зависимости от систем удобрений и предшественников / М.С. Сигида, Т.С. Айсанов и др. // Сборник Научных Трудов Всероссийского Научно-исследовательского института овцеводства и козоводства. – 2015. – Т. 1. – № 8. – С. 985-987.
14. Смуров, С.И. Влияние способов основной обработки почвы на некоторые агрохимические показатели чернозёма типичного / С.И. Смуров, Н.В. Шелухина // Достижения науки и техники АПК. – 2013. – № 11. – С. 24-26.
15. Смуров, С.И. Формирование урожая озимой пшеницы при различных приемах возделывания / С.И. Смуров, О.В. Гапиенко, Н.В. Шелухина // Вестник Курской ГСХА. – 2012. – № 5. – С. 39-41.
16. Сычев, В.Г. Агрохимическая служба – 50 лет на благо урожая / В.Г. Сычев // Агроэкологические основы применения удобрений в современном земледелии: материалы 48 Междунар. науч. конф. молодых ученых, специалистов-агрохимиков и экологов. М. : ВНИИА, 2014. – С. 3-11.
17. Тивиков, А.И. Продуктивность основных звеньев зернопропашного севооборота на черноземе выщелоченном / А.И. Тивиков: Автореф. дис. канд. с.-х. наук. – Ставрополь, 2006. – 24 с.
18. Туртуряну, Н.А. Система применения удобрений в севообороте на выщелоченном черноземе / Н.А. Туртуряну. – Кишинев, 1979. – С. 3-16.
19. Чеботарев, Н.Т. Эффективность применения органических и минеральных удобрений в кормовом севообороте на дерново-подзолистой почве Севера / Н.Т. Чеботарев, А.А. Юдин, П.И. Конкин, А.В. Облизов // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 1. – С. 29-33.

#### References

1. Akulov, P.G. Vosproizvodstvo plodorodiya i produktivnost' chernozemov. [Reproduction of fertility and productivity of chernozems] / P.G. Akulov. – М. : Kolos, 1992. – 223 s.
2. Al' Duhajbavi, Haider Halaf Agrohimiicheskie svoystva chernozyoma tipichnogo v zavisimosti ot mineral'nyh udobrenij i predshestvennikov ozimoy pshenicy. [Agrochemical properties of typical chernozem depending on mineral fertilizers and precursors of winter wheat] / Al' Duhajbavi Haider Halaf, S.I. Smurov, M.A. Kulikova, A.G. Stupakov // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2020. – № 1 (25). – S. 146-153.
3. Bondarenko, V.I. Effektivnost' proizvodstva ozimoy pshenicy v zavisimosti ot udobrenij [Efficiency of winter wheat production depending on fertilizers] / V.I. Bondarenko // Himiya v sel'skom hoz'yajstve. – 1987. – № 6. – S. 51-55.
4. Vlasova, O.I. Formirovanie kluben'kov goroha v zavisimosti ot sposoba i glubi-ny obrabotki pochvy chernozema vyshchelochennogo zony umerennogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraja. [Formation of pea nodules depending on the method and depth of tillage of the chernozem of the leached zone of moderate moisture in the Stavropol Territory] / O.I. Vlasova, L.A. Gorbacheva // Politematicheskij setevoy elektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2011. – № 70. – S. 707-716.
5. Vol'ters, I.A. Vliyanie predshestvennikov ozimoy pshenicy na ag-rofizicheskie faktory plodorodiya i urozhajnost' v usloviyah umerenno vlazhnoj zony [Influence of winter wheat precursors on agrophysical factors of fertility and productivity in a moderately humid zone] / I.A. Vol'ters, O.I. Vlasova, L.V. Trubacheva // Agrohimiicheskij vestnik. – 2011. – № 4. – S. 16-17.
6. Glyance, A.F. Dejstvie doz i sootnoshenij pitatel'nyh veshchestv v osnovnom udobrenii na urozhaj ozimoy pshenicy po raznym predshestvennikam. Puti povysheniya urozhajnosti zernovyh kul'tur v vostochnoj Lesostepi. [The effect of doses and ratios of nutrients in the main fertilizer on the yield of winter wheat according to various predecessors. Ways to increase the yield of grain crops in the eastern Forest-Steppe] / A.F. Glyance – Har'kov, 1985. – S. 75-79.
7. Doncov, A.F. Izuchenie doz i sposobov rannevesennej podkormki ozimoy pshenicy na chernozeme obyknovennom [Study of doses and methods of early spring feeding of winter wheat on ordinary chernozem] / A.F. Doncov, A.N. Esaulko, M.S. Sigida, D.A. Shevchenko // Agrohimiicheskij vestnik. – 2012. – № 6. – S. 22-25.
8. Dorozhko, G.R. Sposob obrabotki – faktor regulirovaniya fitosanitarnogo sostoyaniya pochvy i posevov ozimoy pshenicy na chernozemah vyshchelochennyh zony umerennogo uvlazhneniya Stavropol'skogo kraja [The method of processing is a factor in regulating the phytosanitary condition of the soil and winter wheat crops on the leached chernozems of the moderate humidification zone of the Stavropol Territory] / G.R. Dorozhko, O.I. Vlasova, V.M. Perederieva // Nauchnyj zhurnal KubGAU. – 2011. – № 68. – S. 442-450.
9. Kazankova, V.I. Soderzhanie nitratov v pochve i ih vliyanie na urozhaj i kachestvo zerna ozimoy pshenicy [The content of nitrates in the soil and their impact on the yield and grain quality of winter wheat] / V.I. Kazankova, B.I. Tarasenko, N.N. Tarasenko // Sb. nauch. tr. Krasnodarskogo NIISKH, vyp. 13. – Krasnodar, 1977. – S. 61-66.
10. Plodorodie chernozemov Rossii [Fertility of black soils of Russia] / Pod red. N.Z. Milashchenko. – М. : Agrokonsalt, 1998. – 688 s.

11. Postnikov, P.A. Adaptivnoe zemledelie na Srednem Urале: sostoyanie, problemy i puti ih resheniya [Adaptive agriculture in the Middle Urals: state, problems and ways to solve them.] / P.A. Postnikov, L.P. Ogorodnikov, T.V. Pavlenkova, I.S. Byzov. – Ekaterinburg : Ural'skij NIISKH, 2010. – 338 s.
12. Presnyakov, N.A. Rol' udobrenij v povyshenii urozhajnosti i kachestva zerna ozimoy pshenicy pri sistemicheskom primenenii v sevooborote. Effektivnost' primeneniya udobrenij i meliorantov na pochvah CCHZ [The role of fertilizers in increasing the yield and quality of winter wheat grains with systematic use in crop rotation. The effectiveness of the use of fertilizers and ameliorants on the soils of the Central Black Soil] / N.A. Presnyakov. – Voronezh, 1986. – S. 15-18.
13. Sigida, M.S. Urozhajnost' ozimoy pshenicy v zone umerennogo uvlazhneniya v zavisimosti ot sistem udobrenij i predshestvennikov [Productivity of winter wheat in the zone of moderate moisture depending on fertilizer systems and predecessors] / M.S. Sigida, T.S. Ajsanov i dr. // Sbornik Nauchnyh Trudov Vserossijskogo Nauchno-issledovatel'skogo instituta ovcevodstva i kozovodstva. – 2015. – T. 1. – № 8. – S. 985-987.
14. Smurov, S.I. Vliyanie sposobov osnovnoj obrabotki pochvy na nekotorye agrohimicheskie pokazateli chernozyoma tipichnogo [Influence of basic tillage methods on some agrochemical indicators of typical black soil] / S.I. Smurov, N.V. Sheluhina // Dostizheniya nauki i tekhniki APK. – 2013. – № 11. – S. 24-26.
15. Smurov, S.I. Formirovanie urozhaya ozimoy pshenicy pri razlichnyh priemah vzdelyvaniya [Formation of the harvest of winter wheat with different methods of cultivation] / S.I. Smurov, O.V. Gapienko, N.V. Sheluhina // Vestnik Kurskoj GSKHA. – 2012. – № 5. – S. 39-41.
16. Sychev, V.G. Agrohimicheskaya sluzhba – 50 let na blago urozhaya [Agrochemical service – 50 years for the benefit of the harvest] / V.G. Sychev // Agroekologicheskie osnovy primeneniya udobrenij v sovremennom zemledelii: materialy 48 Mezhdunar. nauch. konf. molodyh uchenykh, specialistov-agrohimikov i ekologov. – M. : VNIIA, 2014. – S. 3-11.
17. Tivikov, A.I. Produktivnost' osnovnykh zven'ev zernopropashnogo sevooborota na chernozeme vyshchelochennom [Productivity of the main links of grain-row crop rotation on leached chernozem] / A.I. Tivikov: Avtoref. dis. kand. s.-h. nauk. – Stavropol', 2006. – 24 s.
18. Turturyanu, N.A. Sistema primeneniya udobrenij v sevooborote na vyshchelochennom chernozeme [Fertilizer application system in crop rotation on leached chernozem] / N.A. Turturyanu. – Kishinev, 1979. – С. 3-16.
19. Chebotarev, N.T. Effektivnost' primeneniya organicheskikh i mineral'nykh udobrenij v kormovom sevooborote na dernovo-podzolistoj pochve Severa [Efficiency of application of organic and mineral fertilizers in fodder crop rotation on soddy-podzolic soil of the North] / N.T. Chebotarev, A.A. Yudin, P.I. Konkin, A.V. Oblizov // Rossijskaya sel'skohozyajstvennaya nauka. – 2017. – № 1. – S. 29-33.

#### 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.

Гапиенко 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 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.

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.

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.

УДК 633.11"324":631.5(470.325)

*Е.Г. Котлярова, С.В. Андреев, О.С. Кузьмина, Е.В. Ковалева*

## ПРОИЗВОДСТВО И СОРТОВОЙ ПОДБОР ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

**Аннотация.** Сравнительный анализ результатов государственного сортоиспытания 52 сортов озимой мягкой пшеницы в Белгородской области выявил влияние микрорегионального районирования территории на урожайность зерна. Средняя урожайность по всем испытываемым сортам на госсортоучастке в Алексеевском районе (5,96 т/га) достоверно выше, чем на Белгородском (5,69) и Новооскольском (4,79 т/га) ГСУ. В производственных условиях отмечена противоположная тенденция: наименьшая урожайность получена в Алексеевском районе – 4,18 т/га, тогда как в Новооскольском и Белгородском районах показатель выше на 19-23%. В Алексеевском районе различия среднерайонного показателя и госсортоучастка составляют 1,78 т/га или 43%. При правильном подборе сортового состава различия в потенциале производства зерна озимой пшеницы между агроэкологическими районами устраняются. В Белгородском районе 4 сорта превзошли стандарт по урожайности более 6 т/га, в Алексеевском – 11, в Новооскольском – 2. Выявлена высокая специфичность наиболее урожайных сортов в отношении агроэкологических условий области. Установлено влияние природно-климатических условий зон происхождения сортов на данную специфичность. Прослеживается тенденция приуроченности регионов оригинаторов к районам расположения госсортоучастков Белгородской области с запада на юго-восток: в направлении от смешанных и широколиственных лесов через лесостепь к зоне степей. Наибольшие прибыль и уровень рентабельности выявлены у сортов с высокой урожайностью, несмотря на низкое содержание клейковины, чем у менее урожайных сортов с зерном высокого качества. Даны рекомендации для товаропроизводителей западной, центральной и юго-восточной частей Белгородской области по сортовому составу посевов озимой пшеницы. Учитывая значимость показателя качества, наравне с высокоурожайными сортами рекомендованы сорта, обладающие высоким содержанием клейковины в зерне.

**Ключевые слова:** озимая мягкая пшеница, сорт, сортоиспытание, урожайность, содержание клейковины, экономическая эффективность.

## PRODUCTION AND VARIETAL RECRUITMENT OF WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION

**Abstract.** A comparative analysis of the state variety trials of 52 varieties of winter soft wheat in the Belgorod region results revealed the influence of territory micro zoning on grain yield. The average yield for all varieties at the site testing (GSU) in the Alekseevsky district (5.96 t/ha) is significantly higher than at the Belgorod (5.69) and Novooskolsky (4.79 t/ha) GSU. In production conditions, the opposite trend was noted: the lowest yield 4.18 t/ha was obtained in the Alekseevsky district, while in the Novooskolsky and Belgorod districts the indicator was 19-23% higher. In the Alekseevsky district, the differences between the average regional indicator and the GSU was 1.78 t/ha or 43%. With the correct selection of varietal composition, differences in the potential of winter wheat grain production between agroecological areas are eliminated. Four varieties exceeded the standard in yield (more than 6 t/ha) in the Belgorod district, in the Alekseevsky – 11, in the Novooskolsky – 2. The high specificity of the most productive varieties in relation to the region agroecological conditions was revealed. The influence of natural and climatic conditions of the varieties origin zones on this specificity has been established. There was a tendency of corresponding the originators regions to the GSU areas of the Belgorod region located in the direction from the west to the southeast: from mixed and broad-leaved forests through the forest-steppe to the steppe zone. The highest profit and profitability were found in varieties with high yields, despite the low gluten content, than in less productive varieties with high-quality grain. Recommendations were given for producers of the western, central and south-eastern parts of the Belgorod region on the varietal composition of winter wheat crops. Considering the importance of the quality indicator, along with high-yielding varieties, varieties with a high gluten content in grain were recommended.

**Keywords:** winter soft wheat, variety, variety trials, yield, gluten content, economic efficiency.

**Введение.** Ежегодно производство зерна пшеницы в мире составляет в среднем 770 млн т. Россия занимает третье место после Китая и Индии, на долю трех стран приходится 41% мирового производства [1], и лидирует по экспорту с объемом продаж 30 млн т [2]. В современных условиях обострения продовольственной безопасности в мире производство зерна имеет первостепенное значение, в том числе в нашей стране, которая является ведущим экспортером. Такая востребованность продукта способствует развитию производства озимой пшеницы в стране.

С 2000 по 2010 годы производство зерна озимой пшеницы в Российской Федерации выросло на 20%, рост в последнее десятилетие составил 80%, а урожайности – на 38% (рис. 1). В Белгородской области в аналогичный период уровень урожайности культуры уступал на 10-20% средней по стране. Однако в последнее время темпы роста были значительными (в 2,2 раза) и в итоге за 2019-2021годы урожайность озимой пшеницы на 30% выше, чем в среднем по России (рис. 2).

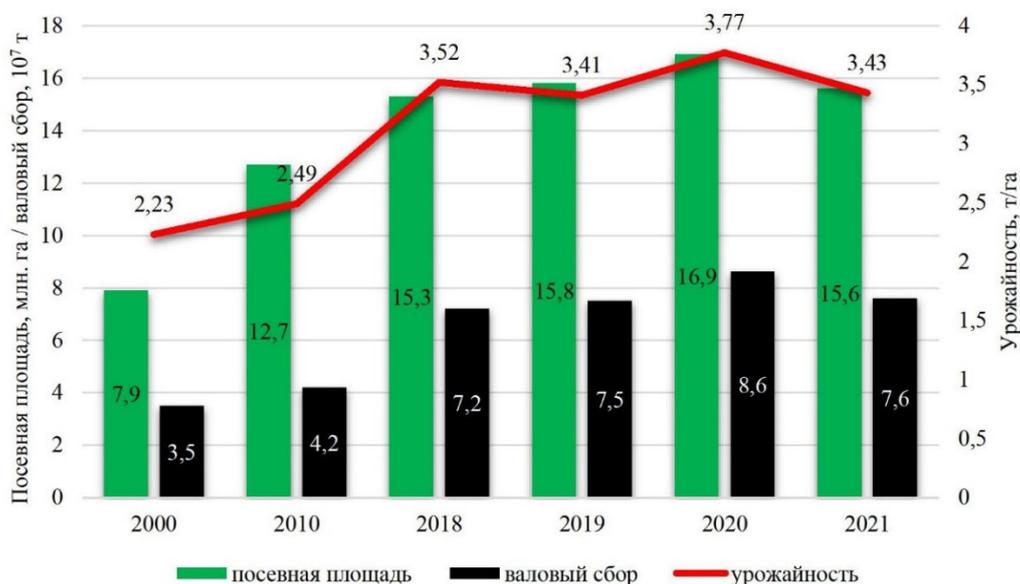


Рис. 1 – Динамика показателей производства озимой пшеницы в России (по данным Росстата: <http://www.gks.ru>)

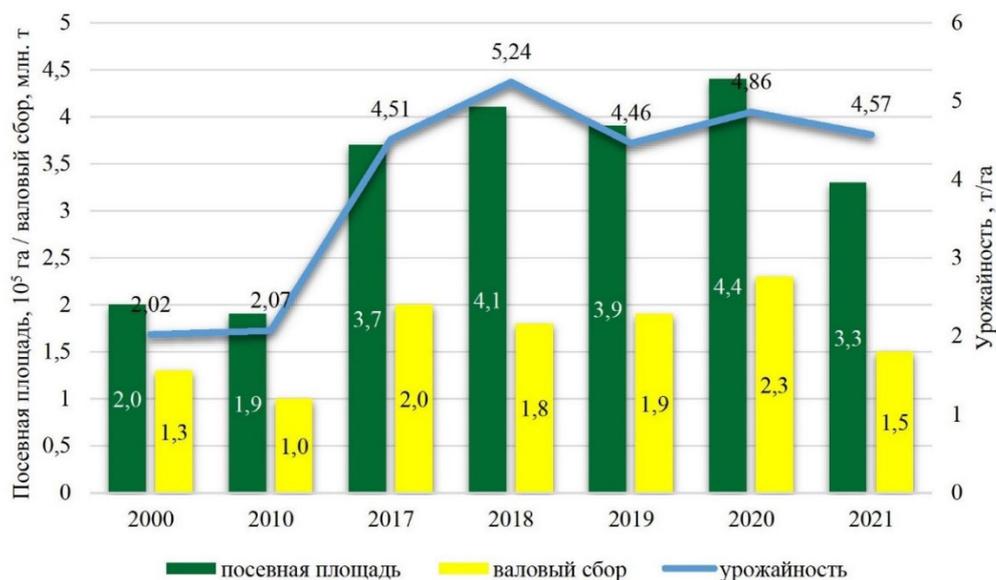


Рис. 2 – Динамика показателей производства подсолнечника в Белгородской области (по данным Белгородстата: <https://belg.gks.ru>)

Проблема нашего региона заключается в производстве зерна не самого высокого качества. Эта задача требует своего дальнейшего решения. Многочисленные исследования подтверждают высокую зависимость не только урожайности, но и показателей качества от природно-климатических условий [3-6].

Считается, что вклад сорта в формирование урожая составляет не менее 25% [7], и реализация генетического потенциала является важнейшей задачей современного производства. Совершенствование технологии возделывания на основе оптимизации питательного и водного режимов за счет эффективных систем обработки почвы, удобрения, защиты и других элементов агротехники позволяет значительно повысить урожайность, о чем свидетельствует ее рост в целом по стране и Белгородской области [8-10]. Тем не менее определяющее значение имеет правильный сортовой подбор, особенно в регионах, характеризующихся неоднородностью природно-климатических условий и высокой изменчивостью метеопараметров [3, 11, 12].

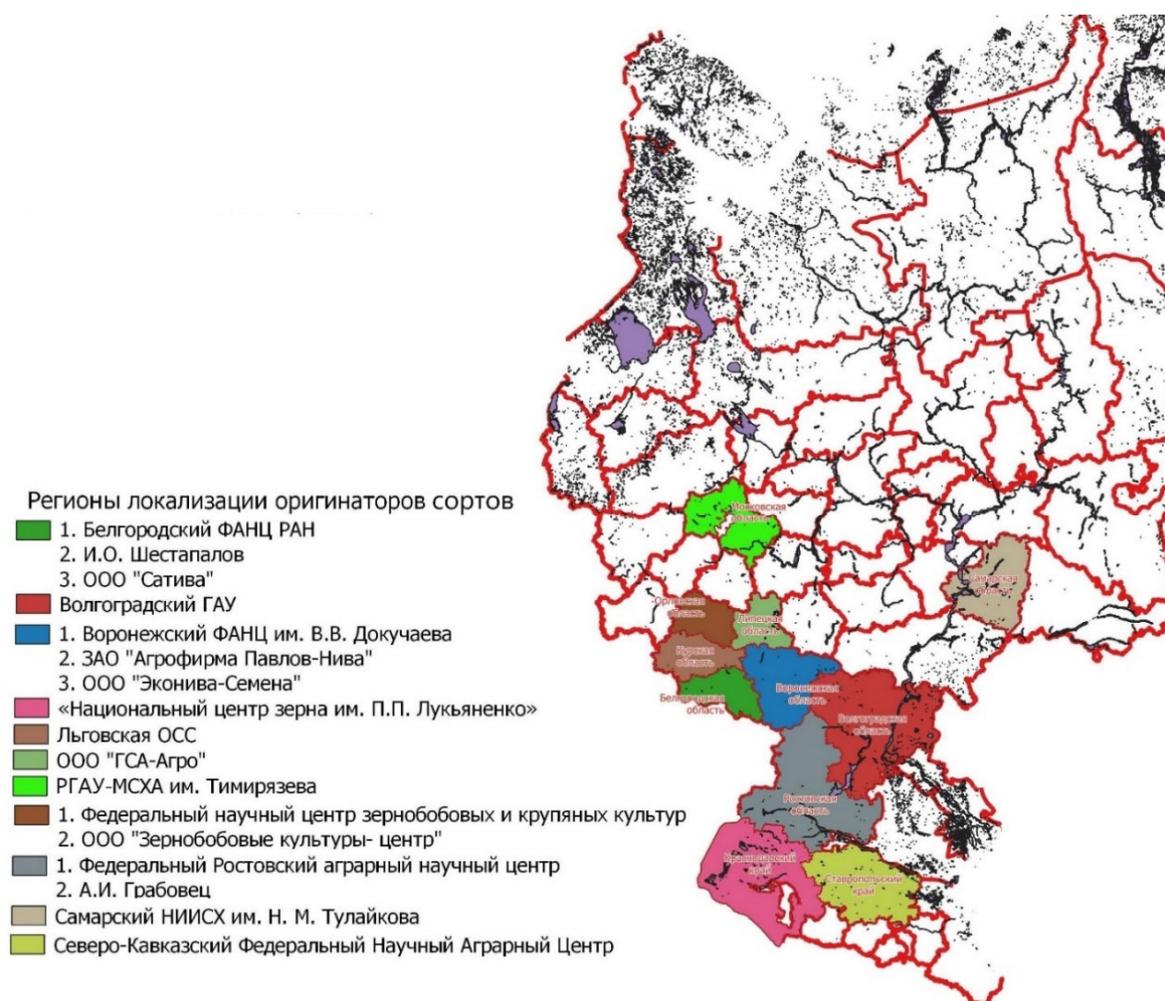
Мы предположили, что помимо гения селекционера, который имеет преобладающую долю при создании более продуктивных сортов с высоким адаптивным потенциалом, большое значение имеют природно-климатические условия локализации оригинаторов этих сортов для определения предпочтительного использования в хозяйствах, расположенных в том или ином агроэкологическом районе Белгородской области.

Цель исследования: выявить происхождение сортов, имеющих преимущество в различных агроэкологических условиях Белгородской области, что позволит дать научно-обоснованные рекомендации для товаропроизводителей по сортовому обеспечению производства озимой пшеницы.

**Материалы и методы.** Район исследований расположен в южной лесостепи Центрального Черноземья, характеризуется умеренно-континентальным климатом со среднегодовой температурой 6,2°C, суммой среднесуточных температур выше 10° около 2900°, среднегодовой суммой осадков 475 мм. Годовой гидротермический коэффициент около 1 и указывает на то, что район неустойчивого увлажнения. Вероятность влажных лет 25-40%, полувлажных и засушливых 30-50%.

В исследованиях обработаны данные по урожайности и содержанию клейковины в зерне озимой мягкой пшеницы трех госсортоучастков (ГСУ) Белгородской области, расположенных в Белгородском, Новооскольском и Алексеевском районах. Объектом исследований послужили 52 сорта конкурсного сортоиспытания селекции центральных и южных регионов России (рис. 3).

Учеты и наблюдения проведены по Методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур (1985). Урожайность приведена к 14% влажности (ГОСТ 12041-82) и 100% чистоте (ГОСТ 12037-81). Оценка количества и качества клейковины выполнена в соответствии с ГОСТ Р 54478-2011. Метеорологические условия периода вегетации культуры трех лет исследования (2019-2021 гг.) характеризовались неравномерностью тепла и влагообеспеченности, что отразилось на уровне продуктивности культуры. Экономическая оценка проведена на основании расчета технологических карт по ценам 2022 года. Статистическая обработка результатов исследований проводилась методом дисперсионного анализа с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office Excel и Statistica.



**Рис. 3 – Регионы локализации оригинаторов сортов озимой мягкой пшеницы**

**Результаты и обсуждение.** Очень часто сортовой подбор сельскохозяйственных культур в хозяйствах основан на передовом опыте. Например, широкое распространение в последнее время получил сорт озимой пшеницы краснодарской селекции (НЗЦ им. П.П. Лукьяненко) – Гром. Площадь его посевов в среднем за 2019-2021 гг. составила 70 тыс. га. С учетом того, что в Белгородской области возделывалось в эти годы от 61 до 65 сортов, 20% сорта Гром в сортовой структуре посевов озимой пшеницы свидетельствует о его высокой востребованности среди товаропроизводителей.

Тем не менее, большую, если не сказать определяющую роль в продвижении сортов имеют результаты конкурсного сортоиспытания в госсортосети. В Белгородской области три госсортоучастка распределены территориально с запада на восток, приурочены к различным агроэкологическим районам и имеют довольно заметные различия по природно-климатическим условиям. Анализ влияния микрорайонирования Белгородской области на урожайность сортов озимой пшеницы показал, что различия между госсортоучастками существенны на 5% уровне значимости (табл. 1).

Средняя урожайность по всем испытываемым сортам на госсортоучастке в Алексеевском районе наибольшая и составила 5,96 т/га, что достоверно выше и средней урожайности сортов госсортоучастка «Октябрьский» в Белгородском районе, занимающей промежуточное положение (5,69), и минимальной (4,79 т/га), которая сформировалась на госсортоучастке в Новооскольском районе. Это свидетельствует, что условия Алексеевского района наиболее благоприятны для создания урожая озимой пшеницы.

**Таблица 1 – Урожайность сортов в зависимости от района расположения госсортоучастка, т/га (2019-2021 гг.)**

Сорт	Оригинатор	Районы локализации ГСУ						
		Белгородский		Новооскольский		Алексеевский		
Альмера (St.)	И.О. Шестопапов (г. Белгород)	6,00	± St.	4,66	± St.	6,01	± St.	
Слобода		5,85	-0,15	4,67	0,01	5,92	-0,09	
Сурава		5,34	-0,66	3,80	-0,86	5,51	-0,5	
Богданка	Белгородский ФАНЦ РАН	5,50	-0,5	4,13	-0,53	5,58	-0,43	
Искринка		5,74	-0,26	4,50	-0,16	5,63	-0,38	
Свирская		5,42	-0,58	5,45	0,79	6,07	0,06	
Заречная		5,68	-0,32	5,74	1,08	6,07	0,06	
Сирена		6,40	0,4	5,35	0,69	6,06	0,05	
Устивица		3,70	-2,3	3,92	-0,74	5,90	-0,11	
Травица	ООО «Сатива»	5,60	-0,4	4,41	-0,25	6,74	0,73	
Университетская 1	Волгоградский ГАУ	4,97	-1,03	5,41	0,75	5,70	-0,31	
Черноземка 188	Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева	5,80	-0,2	4,45	-0,21	5,85	-0,16	
Солоха	ЗАО «Агрофирма Павлов-Нива»	6,02	0,02	5,76	1,1	6,20	0,19	
Алиот	ООО «Эконива-Семена»	6,00	0	4,39	-0,27	5,97	-0,04	
Цефей		5,65	-0,35	4,06	-0,6	5,63	-0,38	
Шератан		5,38	-0,62	4,12	-0,54	5,64	-0,37	
Авиор		6,13	0,13	4,36	-0,3	5,90	-0,11	
МВ Иква		6,32	0,32	4,38	-0,28	5,56	-0,45	
Алексеич		6,17	0,17	4,11	-0,55	6,08	0,07	
Ахмат	«Национальный центр зерна им. П.П. Лукьяненко»	6,19	0,19	3,95	-0,71	6,56	0,55	
Герда		5,95	-0,05	4,19	-0,47	6,21	0,2	
Гомер		5,99	-0,01	4,62	-0,04	6,25	0,24	
Еланчик		5,56	-0,44	3,71	-0,95	5,87	-0,14	
Кавалерка		5,09	-0,91	3,82	-0,84	5,87	-0,14	
Собербаш		5,81	-0,19	4,74	0,08	5,66	-0,35	
Тимирязевка 150		5,44	-0,56	4,37	-0,29	6,81	0,8	
Льговская 31		Льговская ОСС	6,43	0,43	5,20	0,54	5,88	-0,13
ВВ Зака 1210261		ООО «ГСА-Агро»	5,09	-0,91	5,19	0,53	5,77	-0,24
Торрилд			5,43	-0,57	5,42	0,76	5,57	-0,44
ЛЕУ 60205	5,81		-0,19	5,10	0,44	5,42	-0,59	
Норд 19	5,74		-0,26	6,48	1,82	6,23	0,22	
Норд 76	4,88		-1,12	6,53	1,87	6,64	0,63	
Тимирязевский юб	РГАУ-МСХА им. Тимирязева		5,98	-0,02	5,09	0,43	6,65	0,64
Валторна	ФНЦ зернобобовых и крупяных культур	6,67	0,67	4,55	-0,11	5,03	-0,98	
Скипетр 2		5,98	-0,02	4,92	0,26	6,79	0,78	
Аист	ООО «Зернобобовые культуры-Центр»	4,68	-1,32	4,26	-0,4	3,28	-2,73	
Вольница	Федеральный АНЦ «Донской»	5,45	-0,55	5,60	0,94	5,87	-0,14	
Вольный Дон		6,05	0,05	6,03	1,37	6,41	0,4	
Донская степь		5,94	-0,06	5,97	1,31	6,27	0,26	
Жаворонок		5,34	-0,66	6,03	1,37	6,01	0	
Шеф		5,60	-0,4	5,57	0,91	6,21	0,2	
Акапелла		А.И. Грабовец (Ростовская обл.)	5,93	-0,07	4,76	0,1	6,61	0,6
Былина Дона	6,15		0,15	4,56	-0,1	6,20	0,19	
Октава 15	5,50		-0,5	4,00	-0,66	5,75	-0,26	
Богема	5,92		-0,08	4,47	-0,19	5,06	-0,95	
Пафос	6,05		0,05	4,59	-0,07	6,57	0,56	
Вьюга	Самарский НИИСХ им. Н. М.Тулайкова	5,45	-0,55	5,74	1,08	6,04	0,03	
Армада	Северо-Кавказский Федеральный Научный Аграрный Центр	5,93	-0,07	4,46	-0,2	6,39	0,38	
Княгиня Ольга		5,44	-0,56	4,33	-0,33	5,18	-0,83	
Паритет		5,52	-0,48	4,23	-0,43	6,42	0,41	
Партнер		5,80	-0,2	4,36	-0,3	5,88	-0,13	
Форпост		5,66	-0,34	4,39	-0,27	5,92	-0,09	
Средняя (НСР <sub>05</sub> = 0,23)			5,69		4,76		5,96	

Обращает на себя внимание тот факт, что в производственных условиях урожайность зерна озимой пшеницы в среднем за последние три года по представленным районам имеет совершенно противоположные тенденции формирования. Наименьшая урожайность отмечена в Алексеевском районе – 4,18 т/га, тогда как в Новооскольском районе показатель выше на 0,79, в Белгородском – на 0,97 т/га или на 19-23%. Причем уровень урожайности в Ново-

оскольском районе сравним с данными ГСУ, в Белгородском районе уступает незначительно – на 0,54 т/га, а в Алексеевском районе различия среднерайонного показателя и госсортоучастка составляют 1,78 т/га или 43%. Недобор продукции в Алексеевском районе значителен, что свидетельствует о неоптимальном сортовом составе посевов в нем.

У стандарта Альмера урожайность в Белгородском и Алексеевском ГСУ была 6 т/га, в Новооскольском – 4,7 т/га. В Белгородском районе выделилось четыре сорта, урожайность зерна которых достоверно выше стандарта: Валторна (ФНЦ зернобобовых и крупяных культур), Льговская 31 (Льговская ОСС), Сирена (Белгородский ФАНЦ) и МВ Иква (ООО «Эконива-Семена»). Превышения по данному показателю по сортам составили соответственно 0,67, 0,43, 0,40 и 0,32 т/га. Несмотря на сходный уровень урожайности стандарта в Алексеевском районе его превзошли одиннадцать совершенно других сортов: Тимирязевка 150 и Ахмат (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко), Скипетр 2 (ФНЦ зернобобовых и крупяных культур), Травица (ООО «Сатива»), Тимирязевский юбилейный (РГАУ-МСХА им. Тимирязева), Акапелла и Пафос (А.И. Грабовец), Норд 76 (ООО «ГСА-Агро»), Паритет и Армада (Северо-Кавказский ФНАЦ), Вольный Дон (ФАНЦ «Донской») (рис. 4).

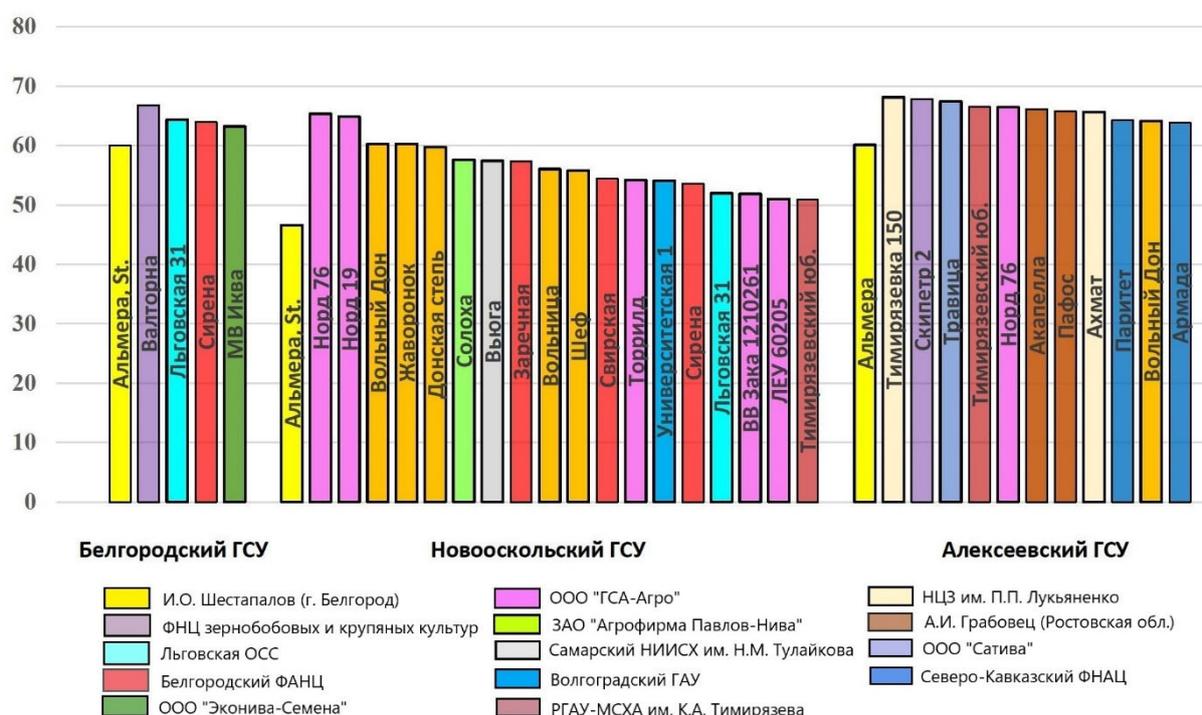


Рис. 4 – Сорта озимой пшеницы, урожайность которых существенно превосходила стандарт (2019-2021 гг.)

Причем сходным преимуществом в указанных районах, имеющих ярко выраженные гидротермические отличия, обладали сорта только одного оригинатора: Валторна и Скипетр 2 ФНЦ зернобобовых и крупяных культур (Орловская область). Очевидно предположение, что на уровне микрорайонного районирования имеет значение не только специфичность сортов, но и их происхождение, справедливо, по крайней мере, для Белгородской области. Наибольшее количество сортов, которые существенно превосходили стандарт, отмечено в Новооскольском ГСУ – 18, что во многом обусловлено низким уровнем урожайности стандарта. И только два сорта Норд 76 (6,53 т/га) и Норд 19 (6,48 т/га) селекции ООО «ГСА-Агро» (Липецкая область) сформировали урожайность более 6 т/га.

Несмотря на то, что в среднем урожайность испытанных сортов значительно различалась по госсортоучасткам Белгородской области, при правильном подборе сортового состава различия в потенциале производства зерна озимой пшеницы между агроэкологическими

районами устраняются. В этом заключается непреходящее значение ГСУ, которое трудно переоценить.

Различия в реальной урожайности между районами являются следствием либо неоптимального сортового подбора, либо не репрезентативности условий ГСУ (а это лучшие, по крайней мере почвенные, условия). Мы предполагаем, что обе эти причины являются факторами влияния. И надо не сворачивать такую важную деятельность, а расширять ее с учетом разнообразия почвенного покрова Белгородской области. Особенно учитывая тот факт, что во многих исследованиях школы ландшафтного земледелия под руководством О.Г. Котляровой было показано, что и урожайность, и качество зерна зависят от степени эрозированности почв, имеющих значительное распространение в нашей области [13-16].

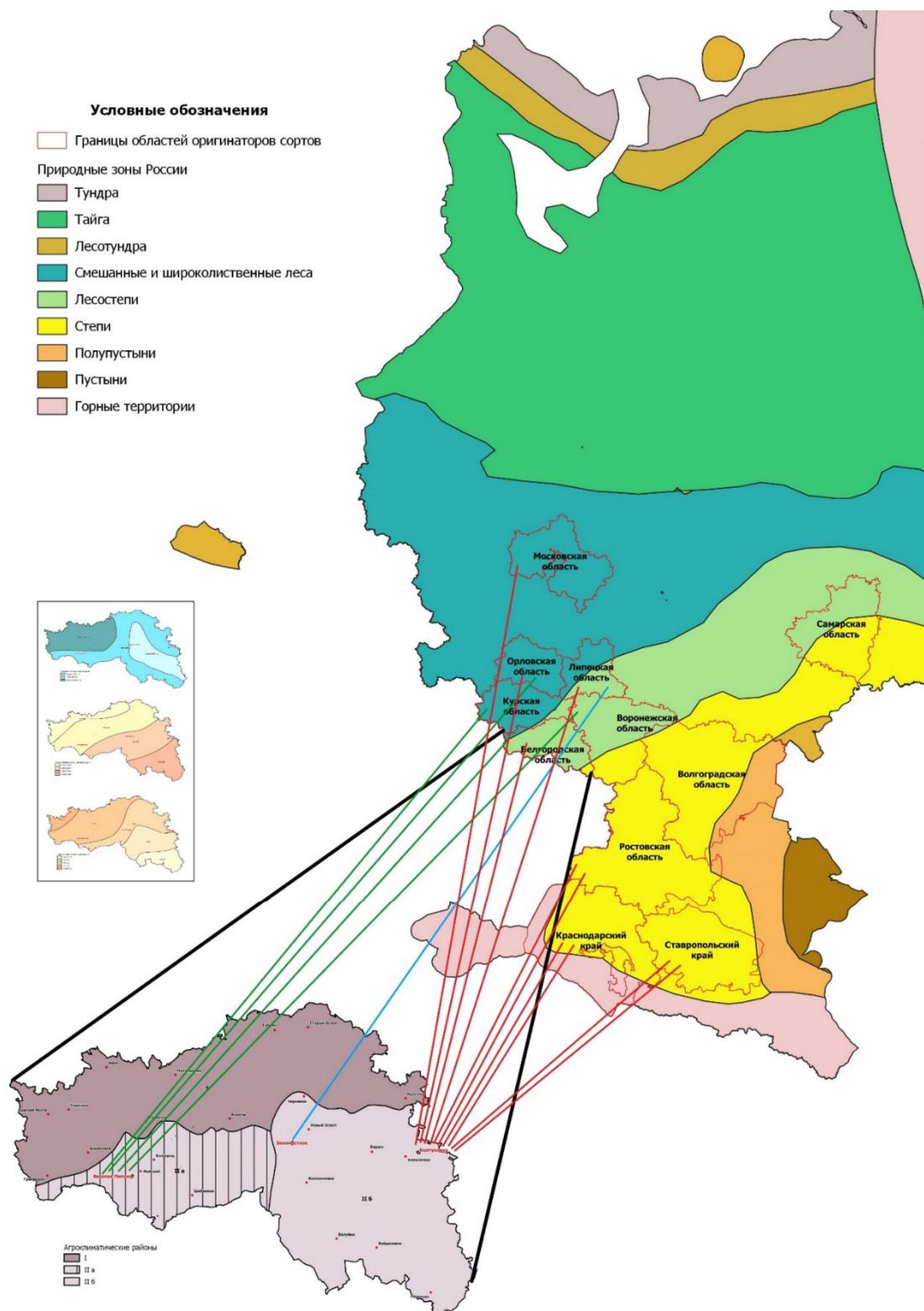
Следует подчеркнуть, что только два оригинатора – ФНЦ зернобобовых и крупяных культур и ООО «ГСА-Агро» – смогли обеспечить высокоурожайными адаптивными сортами, по крайней мере, два госсортоучастка. Причем только один сорт Норд 76 был эффективен на двух ГСУ, остальные высокоурожайные сорта имели строгую приуроченность к агроэкологическим условиям испытаний. Очевидно, условия природно-климатических зон происхождения сортов имеют непосредственное влияние на данную специфичность, что вполне оправдано, учитывая ярко выраженную микроразнообразие территории Белгородской области. Рисунок 5 хорошо иллюстрирует установленную закономерность: приуроченность регионов локализации оригинаторов к госсортоучасткам при движении с запада на восток Белгородской области. Оригинаторы сортов, наиболее урожайных в западной части области на Белгородском ГСУ, размещены в Орловской, Курской, Белгородской и Воронежской областях соответственно в природных зонах смешанных и широколиственных лесов и лесостепной. Как уже указывалось, два сорта Новооскольского ГСУ Норд 76 и Норд 19 селекции ООО «ГСА-Агро» Липецкой области, которая расположена на границе этих природных зон. Меньшая специфичность отмечена на Алексеевском ГСУ, где успешными были оригинаторы, регионы которых локализованы в трех природно-климатических зонах: смешанных и широколиственных лесов, лесостепной и степной. Селекционные центры Волгоградской и Самарской областей не представили конкурентных сортов.

Важным показателем качества зерна озимой пшеницы является содержание в нем клейковины. Несмотря на то, что значимых различий по содержанию клейковины между госсортоучастками не установлено, тем не менее, на Алексеевском ГСУ в среднем этот показатель составил 22,7%, что на 0,6 и 1,0% ниже, чем на Новооскольском и Белгородском ГСУ соответственно. По отдельным сортам данный показатель варьировался значительно: от 17 до 29,3% в среднем за 2019-2021 гг.

Требованиям, предъявляемым ко 2-му классу качества, соответствовало по 4 сорта озимой пшеницы, испытанных на трех госсортоучастках (рис. 6). К третьему классу качества относились 29 сортов на Белгородском ГСУ, 23 и 20 соответственно на Новооскольском и Алексеевском ГСУ. Обратное распределение сортов по ГСУ отмечалось в отношении 4 класса качества соответственно 19, 25 и 27. Более того, в Алексеевском ГСУ отмечен один сорт 5 класса по содержанию клейковины.

Между урожайностью и содержанием клейковины в зерне наблюдалась слабая корреляционная связь: от  $r = 0,02$  в Алексеевском ГСУ до  $r = 0,2$  в Белгородском ГСУ (рис. 7). На Белгородском ГСУ сорта Гомер и Алексеич (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко), Пафос, Льговская 31, МВ Иква и Сирена сочетали высокую урожайность (5,99-6,43 т/га) и содержание клейковины в зерне 25,0-28,7%. Максимальную урожайность показал сорт Валторна (6,67 т/га), а сорта Жаворонок, Шеф (ФАНЦ «Донской») и Еланчик (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко) – содержание клейковины 27,7-28,8%. Высокие показатели урожайности (6,03-6,53 т/га) и качества зерна (24,0-27,3%) сочетали сорта Вольный Дон, Норд 19 и Норд 76 на Новооскольском ГСУ, более высокое содержание клейковины отмечалось в зерне сортов ЛЕУ 60205 и Льговская 31 (Льговская ОСС) – 28,0-28,7%. Помимо уже указанных 11 высокоурожайных сортов на Алексеевском ГСУ выделились сорта Гомер, Жаворонок и Алексеич с высоким уровнем продуктивности 6,01-6,25 т/га и содержание клейковины в зерне 27,3-28,3%. Рекомендуются

также сорта с высоким содержанием клейковины 28,0-29,3%: Вольница (ФАНЦ «Донской»), Кавалерка и Еланчик (НЦЗ им. П.П. Лукьяненко).



**Рис. 5 – Природные зоны локализации оригинаторов наиболее урожайных сортов озимой мягкой пшеницы в госсортосети Белгородской области**

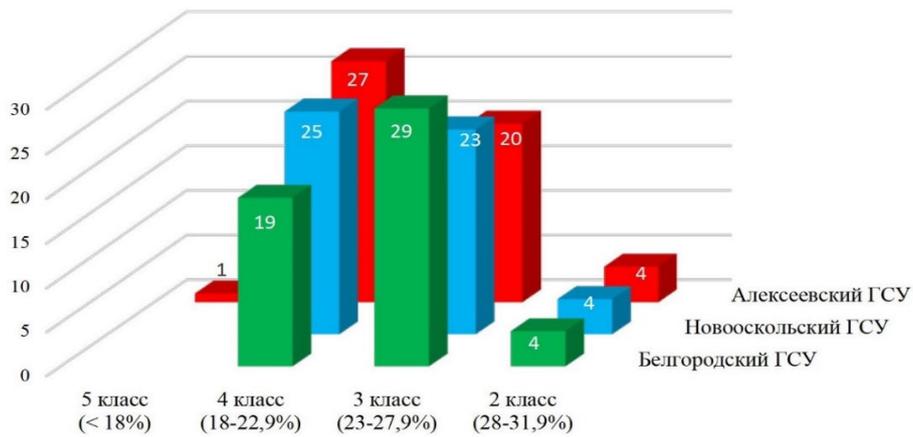


Рис. 6 – Распределение сортов озимой пшеницы по содержанию клейковины в зерне в госсортосети Белгородской области (2019-2021 гг.)

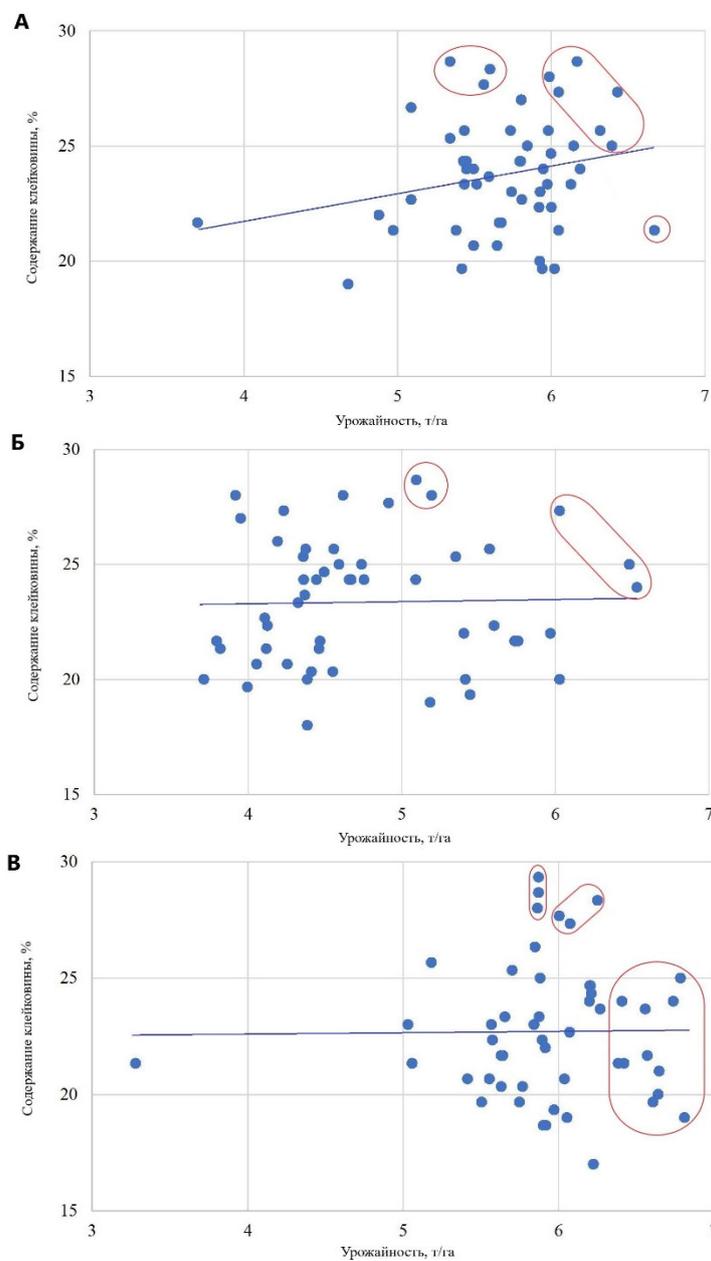


Рис. 7 – Взаимосвязь между урожайностью и содержанием клейковины в зерне у сортов озимой пшеницы на Белгородском (А), Новооскольском (Б) и Алексеевском (В) ГСУ (2019-2021 гг.)

Важнейшим фактором, влияющим на качество рекомендаций производству, являются экономические показатели. С целью выявления значимости показателей, которые непосредственно влияют на цену зерна и его стоимость, урожайности и содержания клейковины для экономической эффективности возделывания озимой пшеницы проведен расчет по сортам, сочетающим в себе контрастные варианты соотношения данных показателей отдельно по каждому госсортоучастку. Установлено, что наибольшие показатели прибыли и уровня рентабельности выявлены у сортов с большей урожайностью, несмотря на низкое содержание клейковины, чем у менее урожайных сортов с зерном высокого качества. Наибольшую прибыль 51-53 тыс. руб./т с уровнем рентабельности 102-106% показали сорта Волторна (6,7 т/га) и Тимирязевка 150 (6,8 т/га), у которых зерно 4 класса качества (табл. 2). Получение 6,2 т/га зерна даже 5 класса качества сорта Норд 19 обеспечит прибыль 41 тыс. руб./га при уровне рентабельности 82%, что почти в 3 раза выгоднее, чем производство 3,9 т/га зерна 2 класса качества сорта Устивица (ООО «Сатива»).

**Таблица 2 – Показатели экономической эффективности при контрастном соотношении урожайности и содержания клейковины в зерне озимой пшеницы**

Районы ГСУ	Сорт	Урожайность, т/га	Содержание клейковины, %	Цена, руб./т	Защиты, руб./га	Стоимость, руб./га	Себестоимость, руб./т	Прибыль, руб./га	Уровень рентабельности, %
Белгородский	Волторна	6,67	21,3	15070	49775	100517	7463	50742	101,9
	Кавалерка	5,09	26,7	15840	48736	80626	9575	31890	65,4
Новооскольский	Жаворонок	6,03	20,0	15070	49494	90872	8208	41378	83,6
	Устивица	3,92	28,0	15840	48016	62093	12249	14077	29,3
Алексеевский	Тимирязевка 150	6,81	19,0	15070	49800	102627	7313	52827	106,1
	Княгиня Ольга	5,18	25,7	15840	48820	82051	9425	33231	68,1
	Норд 19	6,23	17,0	14470	49494	90148	7944	40654	82,1

Тем не менее, учитывая значимость содержания клейковины для пищевой промышленности, мы рекомендуем для товаропроизводителей западной и юго-западной части области наравне с высокоурожайными сортами, такими как Волторна ФНЦ зернобобовых и крупяных культур и Сирена Белгородского ФАНЦ вводить в производство сорта, обладающие высоким содержанием клейковины, но несколько уступающие по урожайности – Жаворонок и Шеф АНЦ «Донской» и Алексеич и Гомер НЦЗ им. Лукьяненко.

В центральной части области – сорта ООО «ГСА-Агро» Норд 19 и Норд 76, а также Льговская 31 Льговской ОСС и Устивица ООО «Сатива».

На востоке и юго-востоке области рекомендуются сорта Краснодарской селекции Тимирязевка 150, Ахмат, Гомер, Алексеич, Скипетр-2 ФНЦ зернобобовых и крупяных культур и Травица ООО «Сатива».

**Заключение.** Сравнительный анализ результатов государственного сортоиспытания в Белгородской области выявил влияние микрорегионального районирования территории на урожайность сортов озимой мягкой пшеницы. Средняя урожайность по всем испытуемым сортам на госсортоучастке в Алексеевском районе (5,96 т/га) достоверно выше, чем на Белгородском (5,69) и Новооскольском (4,79 т/га) ГСУ. В производственных условиях отмечена противоположная тенденция: наименьшая урожайность отмечена в Алексеевском районе – 4,18 т/га, тогда как в Новооскольском и Белгородском районах показатель выше на 19-23%. В Алексеевском районе различия среднерайонного показателя и госсортоучастка составляют 1,78 т/га или 43%. При правильном подборе сортового состава различия в потенциале производства зерна озимой пшеницы между агроэкологическими районами устраняются. В Белгородском районе 4 сорта превзошли стандарт по урожайности более 6 т/га, в Алексеевском – 11, в Новооскольском – 2.

Установлено, что оригинаторы сортов, наиболее урожайных в западной части Белгородской области, размещены в Орловской, Курской, Белгородской и Воронежской областях соответственно в природных зонах смешанных и широколиственных лесов и лесостепной. Два сорта центральной части области: Норд 76 и Норд 19 селекции ООО «ГСА-Агро» Липецкой области, которая расположена на границе этих природных зон. Меньшая специфичность отмечена на юго-востоке области (Алексеевский ГСУ), где успешными были оригинаторы, регионы которых локализованы в трех природно-климатических зонах: смешанных и широколиственных лесов, лесостепной и степной.

Значимых различий по содержанию клейковины в зерне сортов озимой пшеницы между госсортоучастками не установлено, однако по отдельным сортам данный показатель варьировался значительно: от 17 до 29,3% в среднем за 2019-2021 гг.

Установлено, что наибольшие показатели прибыли и уровня рентабельности выявлены у сортов с большей урожайностью, несмотря на низкое содержание клейковины, чем у менее урожайных сортов с зерном высокого качества. Наибольшую прибыль 51-53 тыс. руб./т с уровнем рентабельности 102-106% показали сорта Волторна (6,7 т/га) и Тимирязевка 150 (6,8 т/га), у которых зерно 4 класса качества. Получение 6,2 т/га зерна даже 5 класса качества сорта Норд 19 обеспечит прибыль 41 тыс. руб./га при уровне рентабельности 82%, что почти в 3 раза выгоднее, чем производство 3,9 т/га зерна 2 класса качества сорта Устивица (ООО «Сатива»).

Тем не менее, учитывая значимость содержания клейковины для пищевой промышленности, мы рекомендуем для товаропроизводителей западной и юго-западной части области наравне с высокоурожайными сортами, такими как Валторна (ФНЦ зернобобовых и крупяных культур), Льговская 31 (Льговская ОСС), Сирена (Белгородский ФАНЦ) и МВ Иква (ООО «Эконива-Семена») вводить в производство сорта, обладающие высоким содержанием клейковины, но несколько уступающие по урожайности – Жаворонок и Шеф АНЦ «Донской», Алексеич, Гомер и Еланчик НЦЗ им. Лукьяненко. В центральной части области – сорта ООО «ГСА-Агро» Норд 19 и Норд 76, а также ЛЕУ 60205 и Льговская 31 Льговской ОСС и Устивица ООО «Сатива». На востоке и юго-востоке области рекомендуются сорта Краснодарской селекции Тимирязевка 150, Ахмат, Гомер, Кавалерка, Еланчик и Алексеич, Скипетр-2 ФНЦ зернобобовых и крупяных культур, Травица ООО «Сатива», Тимирязевский юбилейный (РГАУ-МСХА им. Тимирязева), Акапелла и Пафос (А.И. Грабовец), Норд 76 (ООО «ГСА-Агро»), Паритет и Армада (Северо-Кавказский ФНАЦ), Вольный Дон и Вольница (ФАНЦ «Донской»).

#### Библиография

1. Wheat Production by Country 2022 [Internet]. Available from: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/wheat-production-by-country>
2. Крупнейшие экспортеры зерна (пшеницы) в мире: топ 10 стран лидеров отрасли [Internet]. Available from: <https://lindeal.com/news/kрупнейshie-ehkспортеры-zерна-pshenicy-v-mire-top-10-stran-liderov-otrasli>
3. Изотов, А.М. Урожайность сортов озимой пшеницы в Крыму в зависимости от условий произрастания / А.М. Изотов, Б.А. Тарасенко, Д.П. Дударев // Известия сельскохозяйственной науки Тавриды. – 2015. – № 1. – С. 9-15.
4. Гармашов, В.М. Оценка агроэкологического потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур в Воронежской области / В.М. Гармашов, Н.А. Нужная, И.М. Корнилов // В сборнике: Современные проблемы инновационного развития сельского хозяйства и научные пути технологической модернизации АПК. Материалы международной научно-практической конференции, посвященной 60-летию юбилею Дагестанского научно-исследовательского института сельского хозяйства имени Ф.Г. Кисриева. – 2016. – С. 85-88.
5. Подгорный, С.В. Показатели качества сортов озимой мягкой пшеницы в экологическом сортоиспытании / С.В. Подгорный [и др.] // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 4 (24). С. 143-150.
6. Солодовников, А.П. Влияние способов обработки почвы и агрохимикатов на урожайность и качество зерна озимой пшеницы в Саратовском Заволжье / А.П. Солодовников, А.Ю. Левкина // Аграрный научный журнал. – 2020. – № 3. – С. 29-35.
7. Сапега, В.А. Урожайность среднеспелых сортов яровой пшеницы и параметры их адаптивности в различных природно-климатических зонах Северного Зауралья / В.А. Сапега, Г.Ш. Турсумбекова // Успехи современного естествознания. – 2016. – № 11. – С. 65-69.

8. Оразаева, И.В. Оценка сортов и линий озимой мягкой пшеницы в коллекционном питомнике БелГАУ / И.В. Оразаева [и др.] // В сборнике: Селекция растений: Прошлое, настоящее и будущее. – 2017. – С. 139-143.
9. Гармашов, В.М. Приемы повышения качества зерна озимой пшеницы / В.М. Гармашов [и др.] // АгроФорум. – 2019. – № 1. – С. 42-44.
10. Ермилов, А.В. Совместное применение органоминеральных и минеральных удобрений в системе удобрения озимой пшеницы на черноземе южном Нижнего Дона / А.В. Ермилов [и др.] // Аграрный научный журнал. – 2021. – № 2. – С. 20-24.
11. Некрасова, О.А. Результаты изучения селекционных линий озимой мягкой пшеницы в конкурсном сортоиспытании по урожайности и качеству зерна / О.А. Некрасова [и др.] // Зерновое хозяйство России. – 2019. – № 2 (62). – С. 32-37.
12. Павлов, М.И. Оценка адаптивных и продуктивных характеристик перспективных линий озимой мягкой пшеницы / М.И. Павлов, И.В. Оразаева, А.А. Муравьев // Успехи современного естествознания. – 2018. – № 1. – С. 43-48.
13. Котлярова, О.Г. Ландшафтная система земледелия Центрально-Черноземной зоны / О.Г. Котлярова. – Белгород : Изд-во БГСХА, 1995. – 293 с.
14. Котлярова, О.Г. Влияние способов обработки, удобрений и сортов на продуктивность смытых почв / О.Г. Котлярова [и др.] // В книге: Проблемы сельскохозяйственного производства на современном этапе и пути их решения. II международная научно-производственная конференция. – 1998. – С. 98-99.
15. Ширяев, А.В. Влияние способов обработки почвы и удобрений на плодородие смытых склонов, продуктивность и качество озимой пшеницы / А.В. Ширяев // Автореферат ... дисс. канд. с.-х. наук. 2000. – 25 с.
16. Котлярова, О.Г. Плодородие агроландшафтов Центрально-Черноземной зоны / О.Г. Котлярова, Г.И. Уваров, Е.Г. Котлярова. – Белгород: Изд-во БелГСХА, 2004. – 277 с.

#### References

1. Wheat Production by Country 2022 [Internet]. Available from: <https://worldpopulationreview.com/country-rankings/wheat-production-by-country>
2. Krupneishiye exporter zerna (pshenitsy) v mire: top 10 stran liderov otrasli [Internet]. Available from: <https://lindeal.com/news/krupnejshie-ehksportery-zerna-pshenicy-v-mire-top-10-stran-liderov-otrasli>
3. Izotov, A.M. Urozhainost sortov ozimoy pshenicy v Krymu v zavisimosti ot usloviy proizrastaniya [Variety of winter wheat yield in Crimea depending on growing conditions] / A.M. Izotov, B.A. Tarasenko, D.P. Dudarev // Transactions of Taurida Agricultural Science. – 2015. – № 1. – Pp. 9-15.
4. Garmashov, V.M. Ocenka agroecologicheskogo potentsiala productivnosti selskohozyaistvennykh kultur v Voronezhskoy oblasti [Evaluation of agri-environmental productivity potential of agricultural crops in the Voronezh Region] / V.M. Garmashov, N.A. Nuzhnaya, I.M. Kornilov // In the collection: Modern problems of innovative development of agriculture and scientific ways of technological modernization of agriculture. Materials of the international scientific and practical conference dedicated to the 60th anniversary of the Dagestan Research Institute of Agriculture named after F.G. Kisriev. – 2016. – Pp. 85-88.
5. Podgorny, S.V. Pokazateli kachestva sortov ozimoy myagkoy pshenicy v ekologicheskom sortoispytanii [Quality indicators of winter soft wheat varieties in ecological variety trials] / S.V. Podgorny [et al.] // Transactions of Taurida Agricultural Science. – 2020. – № 4 (24). – Pp. 143-150.
6. Solodovnikov, A.P. Vliyaniye sposobov obrabotki pochvy i agrohimiKatov na urozhaynost i kachestvo zerna ozimoy pshenicy v Saratovskom Zavolzhye [The influence of soil cultivation methods and agrochemicals on the productivity and quality of winter wheat grain in the Saratov Trans-Volga Region] / A.P. Solodovnikov, A.Yu. Lyovkina // The Agrarian Scientific Journal. – 2020. – № 3. – Pp. 29-35.
7. Sapega, V.A. Urozhaynost srednespelykh sortov yarovoy pshenicy i parametry ih adaptivnosti v razlichnykh prirodno-klimaticheskikh zonah Severogo Zauralya [Productivity of mid-season spring wheat varieties and parameters of their adaptability in various climatic zones of Northern Transuralia] / V.A. Sapega, G.Sh. Tursumbekova // Advances in current natural sciences. – 2016. – № 11. – Pp. 65-69.
8. Orazava, I.V. Ocenka sortov i liniy ozimoy myagkoy pshenicy v kolekcionnom pitomnike BelGAU [Evaluation of varieties and lines of winter soft wheat in the collection nursery of BelGAU] / I.V. Orazava [et al.] // In the collection: Plant breeding: Past, present and future. – 2017. – Pp. 139-143.
9. Garmashov, V.M. Priemy povysheniya kachestva zerna ozimoy pshenitsy [Methods of improving the quality of winter wheat grain] / V.M. Garmashov [et al.] // AgroForum – 2019. – № 1. – Pp. 42-44.
10. Ermilov, A.V. Sovmestnoye primeneniye organomineralnykh i mineralnykh udobreniy v sisteme udobreniya ozimoy pshenicy na chernozeme yuzhnom Nizhnego Dona [Combined application of organomineral and mineral fertilizers in the fertilization system of winter wheat on the southern black soil of the lower Don] / A.V. Ermilov [et al.] // The Agrarian Scientific Journal. – 2021. – № 2. – Pp. 20-24.
11. Nekrasova, O.A. Rezultaty izucheniya selekcionnykh liniy ozimoy myagkoy pshenicy v konkursnom sortoispytanii po urozhaynosti i kachestvu zerna [The steady results of productivity and grain quality of the breeding lines of winter soft wheat in the competitive variety-testing] / O.A. Nekrasova [et al.] // Grain Economy of Russia. – 2019. – № 2 (62). – Pp. 32-37.

12. Pavlov, M.I. Ocenka adaptivnyh i productivnyh harakteristic perspektivnyh liniy ozimoy myagkoy pshenici [Evaluation of adaptive and productive characteristics of perspective lines of winter soft wheat] / M.I. Pavlov, I.V. Orazava, A.A. Muravev // Advances in current natural sciences. – 2018. – № 1. – Pp. 43-48.

13. Kotlyarova, O.G. Lanshaftnaya Sistema zemledeliya Centralno-Cherozemnoy zony [Landscape system of agriculture of the Central Chernozem zone] / O.G. Kotlyarova. – Belgorod : Publishing House of the BSSA, 1995. – 293 p.

14. Kotlyarova, O.G. Vliyaniye sposobov obrabotki, udobreniy i sortov na produktivnost smytyh pochv [The influence of processing methods, fertilizers and varieties on the productivity of washed soils] / O.G. Kotlyarova [et al.] // In the book: Problems of agricultural production at the present stage and ways to solve them. II International Scientific and Industrial Conference. – 1998. – Pp. 98-99.

15. Shiryayev, A.V. Vliyaniye sposobov obrabotki pochvy i udobreniy na plodorodiye smytyh sklonov [The influence of methods of tillage and fertilizers on the fertility of washed slopes, productivity and quality of winter wheat] / A.V. Shiryayev // Abstract ... dissertation of the Candidate of agricultural Sciences. 2000. – 25 p.

16. Kotlyarova, O.G. Plodorodiye agrolandshavtov Centralno-Chernozemnoy zony [Fertility of agricultural landscapes of the Central Chernozem zone] / O.G. Kotlyarova, G.I. Uvarov, E.G. Kotlyarova. – Belgorod : Publishing House of the BelGSHA, 2004. – 277 p.

#### Сведения об авторах

Котлярова Екатерина Геннадьевна, 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: kotlyarovaeg@mail.ru

Андреев Сергей Владимирович, студент, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, e-mail: andreevsergej519@gmail.com

Кузьмина Ольга Сергеевна, преподаватель 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 39-23-96, e-mail: osk9592@mail.ru

Ковалёва Елена Владимировна, кандидат географических 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.+79045324673, e-mail: eleserikova@yandex.ru

#### Information about authors:

Kotlyarova Ekaterina Gennadyevna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, FSBEI HE Belgorod SAU, st. Vavilova, d. 1, Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. + 79065674459, e-mail: kotlyarovaeg@mail.ru

Andreev Sergey Vladimirovich, student, FSBEI HE Belgorod SAU, e-mail: vitalii-gricina@mail.ru

Kuzmina Olga Sergeevna, teacher of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, FSBEI HE Belgorod SAU, st. Vavilova, d.1, Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. + 74722 39-23-96, e-mail: osk9592@mail.ru

Kovalyova Elena Vladimirovna, candidate of geographical sciences, associate professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, FSBEI HE Belgorod SAU, st. Vavilova, d. 1, Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. + 79045324673, e-mail: eleserikova@yandex.ru

УДК 634.11:632.4:631.559(470.325)

*А.Н. Крюков, А.В. Акинчин, Т.С. Морозова, Е.Ю. Колесниченко*

## **ЭФФЕКТИВНОСТЬ ДЕЗИНФИЦИРУЮЩЕГО СРЕДСТВА «ЭТОКСАМИН» В БОРЬБЕ С КОМПЛЕКСОМ ВРЕДНЫХ ОРГАНИЗМОВ НА ЯБЛОНЕ**

**Аннотация.** В структуре мирового производства плодородческой продукции яблоки занимают значимое место. Поскольку на данный момент существует достаточно большое количество сортов яблони, то ее можно возделывать в различных климатических условиях. Сбор яблок по объему уступает только бананам и цитрусовым. Страны, в которых сады заложены под интенсивные технологии выращивания, могут демонстрировать высокую урожайность, которая в среднем может составлять порядка 50 т/га (Италия, Франция, Германия). Россия пока еще на начальном этапе развития, и не демонстрирует высокие показатели урожайности из-за низкой доли товарного яблока в общем объеме производства (менее 50%), но тем не менее, урожайность последние годы растет. При этом важен не только рост урожайности, но и его качество. Главным требованием, предъявляемым к современным технологиям защиты растений, является обеспечение безопасности не только получаемой продукции, но и окружающей среды. Основным технологическим приемом, который направлен на стабилизацию экологической ситуации, повышение продуктивности сельского хозяйства, производство экологически безопасной продукции, снижение риска возникновения резистентности вредных видов к препаратам химического синтеза является использование биологического метода. Его доминирующее направление – применение микробиологических препаратов на основе живых микроорганизмов или веществ биологического происхождения. Наши испытания дезинфицирующего средства «Этоксамин» в борьбе с комплексом вредных организмов на яблоне проводились на территории Белгородской области. Результаты испытаний показали достаточно высокую эффективность применения препарата в борьбе с паршой на листьях яблони и ее плодах при всех исследуемых концентрациях. Масса одного яблока была выше на вариантах с применением Этоксамина, следовательно, и урожайность была выше. Разница между различными концентрациями применения препарата была не существенной.

**Ключевые слова:** яблоня, технология, биологическая защита, урожайность, этоксамин.

## **THE EFFECTIVENESS OF THE DISINFECTANT «ETHOXAMINE» IN THE FIGHT AGAINST THE COMPLEX OF HARMFUL ORGANISMS ON THE APPLE TREE**

**Abstract.** Apples occupy a significant place in the structure of world production of fruit-growing products. Since at the moment there are quite a large number of apple varieties, it can be cultivated in various climatic conditions. Apple picking is second only to bananas and citrus fruits in terms of volume. Countries in which gardens are laid under intensive cultivation technologies can demonstrate high yields, which on average can be about 50 t/ha (Italy, France, Germany). Russia is still at the initial stage of development, and does not demonstrate high yields due to the low share of marketable apples in total production (less than 50%), but nevertheless, yields have been growing in recent years. At the same time, not only the yield growth is important, but also its quality. The main requirement for modern plant protection technologies is to ensure the safety of not only the products obtained, but also the environment. The main technological technique aimed at stabilizing the ecological situation, increasing agricultural productivity, producing environmentally safe products, reducing the risk of resistance of harmful species to chemical synthesis preparations is the use of a biological method. Its dominant direction is the use of microbiological preparations based on living microorganisms or substances of biological origin. Our tests of the disinfectant «Ethoxamine» in the fight against a complex of harmful organisms on an apple tree were carried out on the territory of the Belgorod region. The test results showed a sufficiently high efficacy of the drug in the fight against scab on apple leaves and its fruits at all concentrations studied. The weight of one apple was higher in the variants with the use of Ethoxamine, therefore, the yield was higher. The difference between the different concentrations of the drug was not significant.

**Keywords:** apple tree, technology, biological protection, yield, ethoxamine.

**Введение.** В современных условиях ключевой проблемой садоводства является внедрение принципа устойчивого развития отрасли, который предполагает ее ведение с сохранением природной основы и обеспечивающего непрерывный прогресс. Решить данную проблему возможно путем реконструирования агроэкосистем или за счет повышения эффективности их функционирования, используя специальные регуляторные механизмы [1, 2, 3]. Несмотря на высокие темпы развития отрасли по-прежнему основное место в мире занимает традиционная система производства плодов, основанная на создании слаборослых садов. Тем не менее во многих странах мира в том числе и России все шире внедряется органическое садоводство. Данный вид предполагает исключение применения геномодифицирован-

ных сортов и пород, фармацевтических препаратов, синтетических удобрений и химических пестицидов благодаря использованию агрономических и биологических способов защиты растений, обеспечивающих безопасность плодовой продукции [4, 5, 6, 7]. В этой связи изучение биологических препаратов при производстве яблок является актуальным направлением исследований.

**Материалы и методы.** Испытания проводились в условиях Белгородской области. Почва опытного участка представлена черноземом типичным тяжелосуглинистым с содержанием гумуса (по Тюрину) 5,0-5,8%, рНксл 5,8-6,2. Гидролитическая кислотность почвы по Каппену составляет 1,6-2,5 мг-экв. на 100 г. почвы. Содержание подвижного фосфора (по Чирикову) – 6,8-7,8 и обменного калия (по Масловой) соответственно 8,8-11,2 мг-экв. на 100 г. почвы. Сумма поглощенных оснований по Каппену – 37,6-40,8 мг-экв. на 100 г. почвы.

Культура – яблоня, сорт – Ренет Симеренко.

Повторность опыта – трехкратная.

Площадь опытной делянки – 400 м<sup>2</sup>, площадь учетной делянки – 200 м<sup>2</sup>. Общее число учетных растений – 50 (4x10), размещение вариантов и повторностей – последовательное.

Расход рабочего раствора – 800 л/га.

**Таблица 1 – Варианты опыта**

Опрыскивания	Время проведения опрыскиваний Дата	Фенофаза	Этоксамин, 1,0% раствор	Этоксамин, 2,0% раствор	Контроль Вода
1	21.04.09	«Зеленый конус»- «Мышиное ухо»	+	+	+
2	6-8.05.09	Розовый бутон	+	+	+
3	15-16.05.09	Цветение	+	+	+
4	22.05.09	После цветения	+	+	+
5	29.05.09	Завязь «лещина»	+	+	+
6	7.06.09	«Грецкий орех»	+	+	+

**Агротехнические мероприятия.**

Агротехнические мероприятия классические (согласно технологической карте)

- схема размещения – уплотненная, 4 x 1 м;
- формировка крон – веретеновидная;
- система обрезки и зеленые операции – регулирующие рост и плодоношение;
- вид опорных конструкций – железобетонные столбы, железные и асбестовые трубы;
- система защиты – интегрированная;
- система содержания почвы – задернение междурядий, гербицидный пар в ряду;
- орошение – капельное;
- минеральное питание с использованием микроэлементов;
- формирование качества плода, предуборочные обработки;
- оптимальные средства механизации;
- высокий уровень агротехники возделывания (своевременность и качество выполнения).

**Таблица 2 – Программа наблюдений и учетов**

Виды анализов и учетов	Метод, методика	Прибор	Дата проведения исследований
Фенологические наблюдения	Визуальные наблюдения	-	Май-сентябрь
Фитопатологические, энтомологические наблюдения	Стандартные методы фитопатологических и энтомологических наблюдений	Визуально, бальная шкала	Май-сентябрь
Урожайность	Стандартные методы фитопатологических наблюдений	Лабораторные весы, угольник, штангенциркуль	Сентябрь
Структура урожая	Метод отбора проб с последующим взвешиванием	Лабораторные весы, угольник, штангенциркуль	Сентябрь

Установление биологической эффективности препаратов проводилось в период от фазы «зеленого конуса» до сбора урожая.

Вегетационный период в среднем составил 181 день. В течение вегетационного периода проводили испытания препарата и измерения следующих показателей: фенологические наблюдения, агробиологические учеты, урожайность, качество урожая (калибр, товарность); интенсивность развития грибных заболеваний в динамике, численность популяции вредителей, биологическую эффективность обработок, %.

**Таблица 3 – Влияние обработок на распространение и развитие парши на яблоне**

Вариант	Распространение,%		Развитие,%	
	листья	плоды	листья	плоды
I. Контроль.	27,7	34,3	4,43	4,78
II. Этоксамин, 1,0% раствор	9,4	7,8	0,34	0,37
III. Этоксамин, 2,0% раствор	7,4	7,1	0,26	0,16

**Результаты и обсуждение.** Как показали исследования применение препарата значительно снизило распространение парши, как на листьях, так и на плодах. Наиболее эффективным оказалось применение Этоксамина в концентрации 2%, по отношению к контролю распространение парши на листьях снизилось с 27,7% до 7,4%, а на плодах с 34,3% до 7,1%. Аналогичный результат был получен и при определении развития заболевания, при применении 2% раствора произошло значительное снижение процента развития заболевания.

Уборка урожая была проведена в первой декаде сентября 2021 года. После уборки урожая определяли влияние испытываемых препаратов на качество урожая, показатели качества урожая.

Урожайность по вариантам опыта представлена в таблице 4.

В сравнении с показателями, полученными на контроле, средняя масса одного яблока на вариантах II-III была на 7 и 9 грамм больше.

Разница между контролем и вариантами по показателю «вес яблок с одного растения» и дала прибавку по обоим вариантам опыта.

Прибавка урожая на вариантах II и III к контролю составила 2,058-2,142 т на гектар. Урожай, собранный на вариантах II-III, по качественным показателям был выше, чем собранный на контроле (табл. 4). Разница по показателям товарности (размера яблок в поперечном диаметре и массе одного плода) вариантами опыта была не существенной, с контролем – достоверная.

**Таблица 4 – Урожай по вариантам опыта, сорт Ренет Симеренко, в среднем за 2021-2022 г.**

Вариант опыта	Вес одного яблока, кг	Прибавка веса одного яблока		Вес яблок с одного дерева, кг	Прибавка веса яблок с одного растения		Урожайность, т/га	Прибавка урожая, т/га	
		кг	% к контролю		кг	% к контролю		т/га	% к контролю
I. Контроль	0,166	-	-	16,80	-	-	42,00	-	-
II. Этоксамин, 1,0% раствор	0,173	0,007	4,22	17,62	0,82	4,90	44,06	2,058	4,9
III. Этоксамин, 2,0% раствор	0,175	0,009	5,42	17,66	0,86	5,10	44,14	2,142	5,1

**Заключение.** Таким образом, результаты наших исследований показывают достаточно высокую эффективность применения Этоксамина в борьбе с вредоносными объектами на яблоне. При этом следует продолжить данные испытания на других сортах и в других климатических условиях для подтверждения или опровержения полученных данных.

#### Библиография

1. Борисова А. Неограниченный рынок органической продукции // Пищевая индустрия. – 2019. – № 3. – С. 10-13.

2. Жеребин П.М. «Зерокс»: новый бактерицид и фунгицид широкого спектра действия на основе коллоидного серебра / Жеребин П.М., Крутяков Ю.А., Кудринский А.А., Климов А.И., Еланский С.Н., Побединская М.А. Игнатов А.Н. // Молодой учёный. 2015. № 9.2. – С. 25-26.
3. Котлярова О.Г. Агрономическая эффективность минеральных удобрений под влиянием различных систем земледелия в условиях Белгородской области / О.Г. Котлярова, С.Д. Лицуков, Е.Г. Котлярова // Агроэкологические проблемы в сельском хозяйстве. Сборник научных трудов (в 2 частях). – Воронеж. – 2005 г. – С. 10-13.
4. Линков С.А. Эффективность использования ландшафтных систем земледелия / С.А. Линков, О.Г. Котлярова, Н.А. Линков // Перспективные направления развития АПК. Материалы 43-й студенческой научной конференции. – Великие Луки : Издательство РИО-ФГОУ ВПО «Великолукская ГСХА», 2007. – С. 12-15.
5. Органическое сельское хозяйство России в преддверии вступления в силу закона об органической продукции. – М., 2019. – 48 с.
6. Соломахин М.А. Актуальные вопросы инновационного развития садоводства России // Достижения и перспективы научно-инновационного развития АПК: матер. Всеросс. (национальной) науч.-практ. конф. С междунар. участием / Под общей ред. И.Н. Миколайчика. – Курган, 2020. – С. 274-277.
7. Штерншис М.В. Биологическая защита растений / М.В. Штерншис [и др.]. – М. : КолосС, 2004. – 264 с.

#### References

1. Borisova A. Unlimited market of organic products // Food industry. – 2019. – № 3. – Pp.10-13.
2. Zherebin P.M. «Zerox»: a new broad-spectrum bactericide and fungicide based on colloidal silver / Zherebin P.M., Krutyakov Yu.A., Kudrinsky A.A., Klimov A.I., Elansky S.N., Pobedinskaya M.A. Ignatov A.N. // Young scientist. 2015. № 9.2. – Pp. 25-26.
3. Kotlyarova O.G. Agronomic efficiency of mineral fertilizers under the influence of various farming systems in the Belgorod region / O.G. Kotlyarova, S.D. Litsukov, E.G. Kotlyarova // Agroecological problems in agriculture. Collection of scientific papers (in 2 parts). – Voronezh. – 2005 – Pp. 10-13.
4. Linkov S.A. Efficiency of use of landscape systems of agriculture / S.A. Linkov, O.G. Kotlyarova, N.A. Linkov // Promising directions of agro-industrial complex development / materials of the 43rd student Scientific conference. – Velikiye Luki : Publishing House of RIO-FGOU VPO «Velikiye Luki State Agricultural Academy», 2007. – P. 12-15.
5. Organic agriculture of Russia on the eve of the entry into force of the law on organic products. – М., 2019. – 48 p.
6. Solomakhin M.A. Topical issues of innovative development of horticulture in Russia // Achievements and prospects of scientific and innovative development of the agro-industrial complex: mater. All-Russian (national) scientific and practical conf. From the international. participation / Under the general editorship of I.N. Mikolajczyk. – Kurgan, 2020. – Pp. 274-277.
7. Sternshis M.V. Biological protection of plants / M.V. Sternshis [et al.]. – М. : KolosS, 2004. – 264 p.

#### Сведения об авторах

- Крюков Александр Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, тел. +79040995774, e-mail: Kryukov\_AN@bsaa.edu.ru
- Акинчин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, тел. +79611719057, e-mail: akinchin\_av@bsaa.edu.ru
- Морозова Тамара Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, тел.+79511328879, e-mail: tamara.morozova.1988@mail.ru
- Колесниченко Елена Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ

#### Information about authors

- Kryukov Alexander Nikolaevich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU, tel. +79040995774, e-mail: Kryukov\_AN@bsaa.edu.ru
- Akinchin Alexander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU, tel. +79611719057, e-mail: akinchin\_av@bsaa.edu.ru
- Morozova Tamara Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU, tel.+79511328879. e-mail tamara.morozova.1988@mail.ru
- Kolesnichenko Elena Yurievna, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, FSBEI HE Belgorod SAU

# ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АПК И СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛА

УДК 331.08

*В.Л. Аничин, Г.И. Худобина, Н.Ю. Яковенко*

## КАДРОВАЯ ПОЛИТИКА АГРОПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ: ВОЗМОЖНОСТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ

**Аннотация.** Кадровая политика является эффективным инструментом долгосрочного устойчивого развития современного агропромышленного предприятия. В связи с этим представляется актуальным использовать возможности совершенствования кадровой политики. Предметное поле потенциальных усовершенствований охватывает объект, субъект и технологию кадровой политики. Показано, что объектом кадровой политики рационально считать совокупность человеческих ресурсов, уже вовлеченных в его хозяйственную деятельность и тех, которые предполагается задействовать. Несмотря на то, что трудовые действия по формированию и реализации кадровой политики предусмотрены профессиональным стандартом «Специалист по управлению персоналом», субъектами кадровой политики следует считать всех лиц, принимающих и реализующих решения в области управления человеческими ресурсами предприятия. Совершенствование технологии кадровой политики рационально проводить в системе стратегического управления предприятием, в тесной увязке кадровой политики с другими составляющими стратегии предприятия в условиях, когда все оперативные управленческие решения разрабатываются и принимаются исходя из стратегических приоритетов. Ключевым элементом технологии кадровой политики является целеполагание. Прежде чем разрабатывать или корректировать кадровую политику, необходимо сформулировать и принять в качестве руководящего императива адекватную современным условиям цель предприятия. Релевантная генеральная цель предприятия должна отвечать как интересам работодателей, так и работников. Эмпирической основой для внесения изменений в кадровую политику может служить анализ уровня и динамики сбалансированных показателей. Более детальный анализ целесообразно проводить в разрезе социально-экономических факторов, определяющих содержание трудовой деятельности персонала. Концепция поиска лимитирующего фактора должна стать лейтмотивом в поиске резервов повышения эффективности кадровой политики и повышения экономической эффективности предприятия в целом.

**Ключевые слова:** управление персоналом, кадровая политика, человеческие ресурсы, целеполагание, агропромышленные предприятия.

## PROSPECTS FOR IMPLEMENTING LEAN PRODUCTION ELEMENTS IN THE PERSONNEL MANAGEMENT SYSTEM OF AGRO-INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Abstract.** Personnel policy is an effective tool for the long-term sustainable development of a modern agro-industrial enterprise. In this regard, it seems relevant to use the opportunities to improve personnel policy. The subject field of potential improvements covers the object, subject and technology of personnel policy. It is shown that it is rational to consider the totality of human resources already involved in its economic activities and those that are supposed to be involved as the object of personnel policy. Despite the fact that labor actions for the formation and implementation of personnel policy are provided for by the professional standard «Personnel Management Specialist», all persons who make and implement decisions in the field of human resource management of the enterprise should be considered subjects of personnel policy. It is rational to improve the technology of personnel policy in the strategic management system of the enterprise, in close coordination of personnel policy with other components of the enterprise strategy in conditions when all operational management decisions are developed and made based on strategic priorities. The key element of HR policy technology is goal setting. Before developing or adjusting the personnel policy, it is necessary to formulate and adopt as a guiding imperative the objective of the enterprise adequate to modern conditions. The relevant general purpose of the enterprise should meet the interests of both employers and employees. An empirical basis for making changes to personnel policy can be an analysis of the level and dynamics of balanced indicators. It is advisable to conduct a more detailed analysis in the context of socio-economic factors that determine the content of the staff's work activity. The concept of finding a limiting factor should become a leitmotif in the search for reserves to increase the effectiveness of personnel policy and increase the economic efficiency of the enterprise as a whole.

**Keywords:** personnel management, personnel policy, human resources, goal setting, agro-industrial enterprises.

**Введение.** Актуальность формирования и реализации эффективной кадровой политики современного агропромышленного предприятия определяется тем, что последняя выступает его движущей силой, она является не только инструментом управления человеческими

ресурсами, но и в значительной мере – средством управления всем имущественно-производственным комплексом [6]. В постоянно меняющихся условиях хозяйственной деятельности экономические результаты предприятий зависят от правильно выбранной кадровой политики [5].

В первую очередь необходимо определиться с тем, что следует понимать под кадровой политикой предприятия. Чтобы дать адекватное определение кадровой политики, необходимо аргументировано ответить на ряд вопросов, из которых основными являются следующие:

- для чего нужна кадровая политика;
- что служит объектом кадровой политики;
- что является предметом кадровой политики;
- кто является субъектом кадровой политики.

Кадровая политика представляет собой важнейший компонент стратегии предприятия. Таковым он является потому, что без достаточного количества и приемлемого качества человеческих ресурсов невозможна эффективная деятельность предприятия. Следовательно, **основная причина**, по которой должна разрабатываться и реализовываться кадровая политика – это экономическая целесообразность.

Б.А. Воронин, И.П. Чупина и Я.В. Воронина считают, что объектом кадровой политики предприятия являются человеческие ресурсы [4]. Данное утверждение вполне обосновано. Человеческие ресурсы – более широкое понятие, чем персонал предприятия. В состав человеческих ресурсов агропромышленного предприятия входят не только его работники, но и лица, которые с большой вероятностью могут войти в его штат. Это, прежде всего, выпускники профильных образовательных учреждений, проживающие на территории сельских поселений, в границах которых осуществляют свою деятельность сельскохозяйственные и перерабатывающие предприятия. Представляется рациональным рассматривать **объектом** кадровой политики развивающегося предприятия совокупность человеческих ресурсов, уже вовлеченных в его хозяйственную деятельность и тех, которые предполагается задействовать.

Считается, что кадровая политика представляет собой совокупность целевых установок и принципов, определяющих направление и содержание работы с персоналом. Кадровая политика служит инструментом управления человеческими ресурсами предприятия [7]. С.А. Волкова и И.Ю. Бавыкина полагают, что эффективная кадровая политика должна решать такие задачи как повышение мотивации к трудовой деятельности, стабилизация состава работников, создание возможностей для карьерного роста работников, повышение квалификации, формирование кадрового резерва на предприятии [3]. Отсюда следует, что **предметом** кадровой политики выступают социально-экономические отношения работников предприятия, возникающие в процессе выполнения ими своих служебных обязанностей.

Распространено мнение, что кадровая политика формируется руководством организации, реализуется кадровой службой в процессе выполнения её работниками своих функций [9]. По нашему мнению, кадровая политика в агропромышленных предприятиях реализуется не только и далеко не кадровой службой. Анализ трудовых функций, выполняемых работниками кадровой службы сельскохозяйственных предприятий, показывает, что в основном кадровая служба выполняет документационное обеспечение работы с персоналом и частично осуществляет деятельность по обеспечению персоналом [1]. Поэтому более точным утверждением является, что субъектом кадровой политики выступают линейные и функциональные руководители всех уровней, также сотрудники кадровой службы [4]. Следовательно, **субъектами** кадровой политики являются все лица, принимающие и реализующие решения в области управления человеческими ресурсами предприятия.

В целом кадровая политика предприятия представляет собой комплекс целей, направлений и приоритетов формирования и использования человеческих ресурсов.

#### **Изложение основного материала исследований и их обсуждение.**

Важным элементом административно-функционального окружения кадровой политики выступает технология кадровой политики (рисунок 1). Технология кадровой политики –

это совокупность способов, методов и процедур воздействия на человеческие ресурсы для достижения цели управления предприятием.

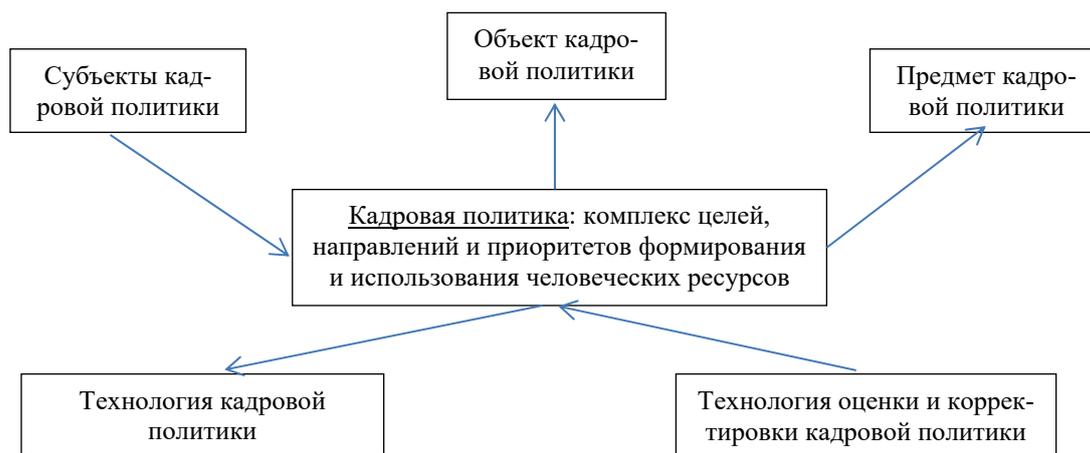


Рис. 1 – Кадровая политика предприятия и ее административно-функциональное окружение

Ключевым элементом технологии кадровой политики является целеполагание. Несмотря на всю экономическую значимость человеческих ресурсов, и кадровой политики, цель последней является подчиненной по отношению к цели предприятия. С другой стороны, цель кадровой политики и цель предприятия во многом пересекаются. Цель предприятия будет реалистичной и соответственно выполнимой только при условии её согласования с интересами персонала, в полный круг которого входят все лица, принимающие и исполняющие управленческие решения. Отсюда следует, что прежде чем разрабатывать или корректировать кадровую политику, необходимо сформулировать адекватную цель предприятия. Можно априори подставить под сомнение качество кадровой политики того предприятия, в уставе которого приводится банальная формулировка «Целью предприятия является извлечение прибыли».

Анализ уставов нескольких тысяч акционерных обществ России показал, что большинство этих организаций обозначили в качестве основной своей цели извлечение прибыли. Однако то, что эти предприятия имеют невысокую рентабельность и даже понесли убытки, с одной стороны, указывает на несоответствие заявленной цели интересам собственников (основных акционеров), с другой, – дает основания предположить, что низкая рентабельность является следствием ошибок при реализации функции целеполагания [2]. Важность целеполагания для развития предприятия отмечают В.Н. Ходыревская и Е.М. Сахарова. Выделяя пять градаций качественного состояния менеджмента предприятия, эти авторы характеризуют самый низкий уровень нереализованной функцией целеполагания [8].

Релевантная современным условиям генеральная цель предприятия должна отвечать как интересам работодателей, так и работников, например: **Целью предприятия является устойчивое развитие, обслуживающее долгосрочные интересы собственников предприятия и наемных работников.** Под устойчивым развитием предприятия понимается расширенное воспроизводство в трех основных сферах: экономической, социальной и экологической. Соответственно основная цель кадровой политики может быть сформулирована следующим образом: **Целью кадровой политики является обеспечение предприятия человеческими ресурсами в количестве и качестве, необходимыми для устойчивого развития предприятия.**

Неотъемлемым элементом технологии кадровой политики является оплата труда. Корреляционно-регрессионный анализ, выполненный по данным 127 рентабельных сельхозпредприятий Белгородской области, не входящих в состав агропромышленных формирований, позволил установить, что вариация уровня оплаты в этой совокупности не оказывает

существенного влияния на выход прибыли (до налогообложения) в расчете на одного работника (рисунок 2).

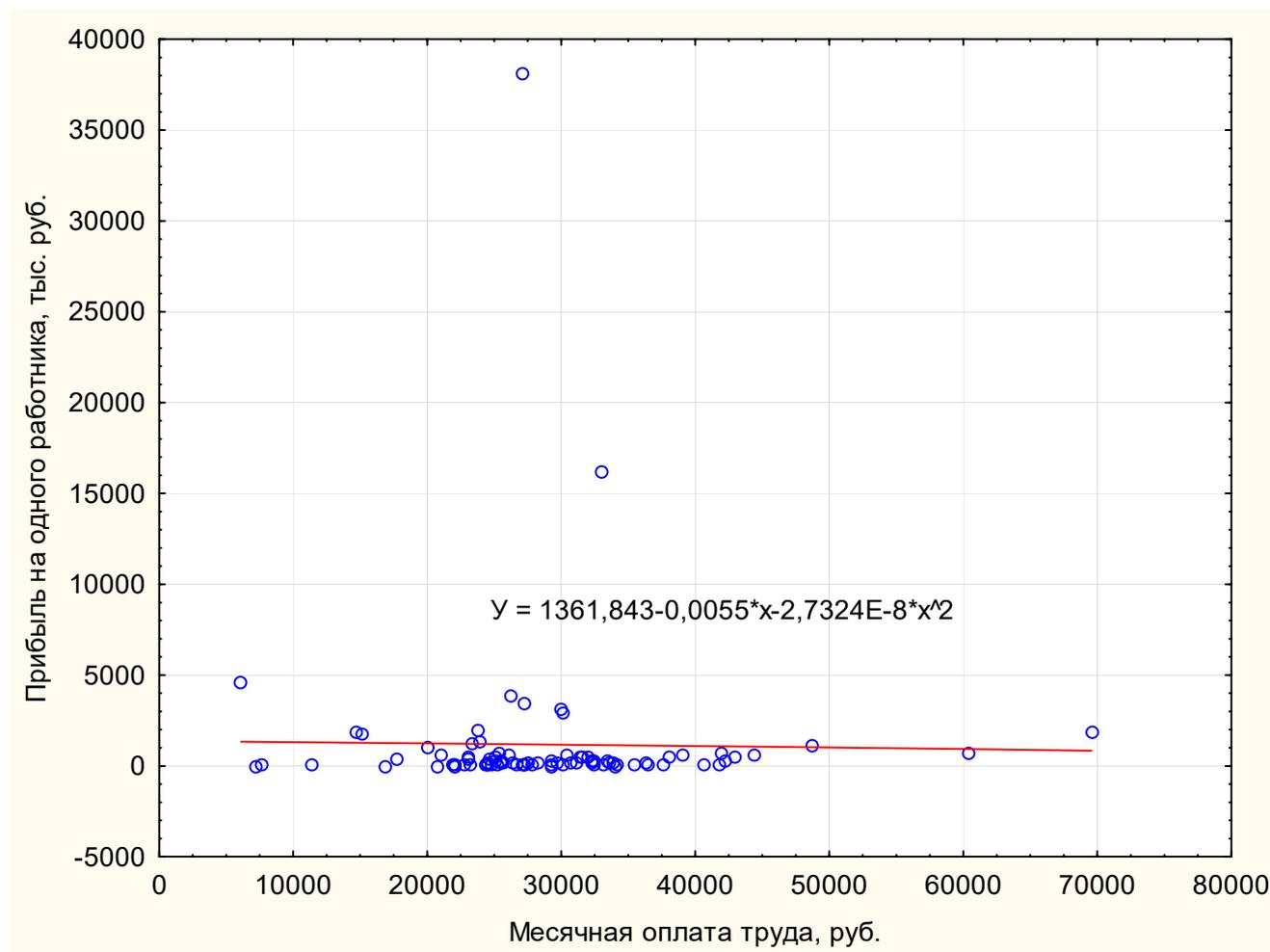


Рис. 2 – Зависимость выхода прибыли от уровня оплаты труда в совокупности рентабельных сельскохозяйственных организаций Белгородской области в 2019 г.

Вопреки предположению о параболической форме зависимости, фактическая линия регрессии приобрела по факту форму прямой, параллельной оси X, что означает отсутствие какой-либо связи удельного выхода прибыли с уровнем оплаты труда работников. Из этого следует, что для работодателя при сложившихся условиях на рынке сельскохозяйственного труда и практики использования человеческих ресурсов нет никаких особых причин, кроме тактических, изменять уровень оплаты труда. С другой стороны, если работодатель сможет изменить условия использования человеческих ресурсов, то у него появится возможность обеспечить экономический рост предприятия за счет инструментов, влияющих на мотивацию и производительность труда работников.

Неэластичность выхода прибыли в расчете на одного работника на фоне значительной вариации уровня оплаты труда в исследованной совокупности может быть преодолена за счет кадровой политики, основными элементами которой должны служить: повышение компетентности, исполнительность и активизации предприимчивости персонала. Перечисленные качества объекта кадровой политики имеют двойную природу. Отчасти они являются врожденными, что важно учитывать при подборе персонала. Отчасти они приобретаются и развиваются в процессе трудовой деятельности под воздействием различных факторов, основным из которых должна быть технология кадровой политики.

Эмпирической основой для внесения изменений в кадровую политику может служить анализ уровня и динамики сбалансированных показателей, основные из которых представлены в таблице 1.

**Таблица 1 – Сбалансированные показатели для оценки эффективности кадровой политики**

Показатели	Способ определения
Удовлетворенность персонала условиями работы	Периодические опросы и собеседования
Стабильность списочного состава	100 – коэффициент оборота по выбытию
Экономическая эффективность использования персонала	Выход добавленной стоимости в расчете на одного работника
Темп прироста добавленной стоимости	Прирост добавленной стоимости за отчетный период к объему добавленной стоимости за базисный период

Более детальный анализ целесообразно проводить в разрезе социально-экономических факторов, определяющих содержание трудовой деятельности персонала. Для каждого предприятия существует свое индивидуальное соотношение между социально-экономическими факторами. Тот фактор, который в наименьшей степени развит по отношению к остальным, выступает в роли ограничивающего условия. В таблице 2 приводится фрагмент такого анализа, согласно которому имеются основания полагать, что у этого условного предприятия есть проблемы с комплектованием и сохранением квалифицированных кадров, что не позволяет в полной мере использовать его материально-техническую базу. Это означает, что в роли ограничивающего условия находится состояние субъекта управления и доступ к рынку квалифицированных кадров.

**Таблица 2 – Состояние социально-экономических факторов условного предприятия**

Фактор	Состояние фактора
Техническая оснащенность рабочих мест	Достаточная. Предприятие оснащено современным оборудованием.
Уровень оплаты труда	Недостаточная. В 2021 г. средняя заработная плата составила 35,9 тыс. руб. Это ниже, чем в среднем по виду экономической деятельности «...» в РФ на 18,7%, на 15,3% – чем в среднем по организациям Белгородской области и на 14,8% – чем в СПК «Колхоз имени Горина».
Развитость субъекта управления	Недостаточная. Текучесть кадров, в основном по собственному желанию, в 2021 г. составила 44%.
Доступ к рынку ресурсов и к рынку готовой продукции	Доступ к рынку сырья и к рынку готовой продукции достаточны для рентабельной работы предприятия.
Финансовая состоятельность предприятия	Достаточная. Уставный капитал составляет ... млн руб. В 2021 г. предприятием были уплачены налоги на сумму ... млн руб., задолженностей по пеням и штрафам нет.
Социальная инфраструктура	Требует развития в соответствии с федеральными и региональными программами

Для совершенствования кадровой политики важна процедура ее оценки. Анализ публикаций показывает, что состояние кадровой политики может быть оценено различными способами. Первый способ предполагает сопоставление достигнутого результата с запланированным (например, в разрезе сбалансированных показателей). Возможно также измерение степени достижения поставленной цели. Таким образом, первый способ заключается в оценке эффективности кадровой политики как одного из инструментов управления предприятием.

Второй способ предполагает сопоставление результатов двух или нескольких предприятий, сходных по своим экономическим условиям, но различающихся по содержанию кадровой политики. По сути – это бенчмаркинг, поскольку в конечном итоге имеет место изучение опыта успешных организаций по разработке и реализации кадровой политики, а также выделение перспективных к внедрению практик в данном предприятии. Основным недостатком бенчмаркинга является проблематичность получения объективной информации в силу коммерческой тайны и ограниченности средств по сбору и обработке данных о деятельности других предприятий.

Третий способ заключается в измерении уровня эффективности хозяйственной деятельности предприятия с учетом проводимой кадровой политики и вносимых в нее измене-

ний. Поскольку кадровая политика оказывает влияние на все аспекты деятельности предприятия, то для оценки ее эффективности вполне пригоден анализ по всему кругу индикаторов хозяйственной деятельности, включая урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность сельскохозяйственных животных, абсолютные и относительные финансовые показатели. Основным из таких показателей является уровень производительности труда, достигнутый на предприятии (частное от деления добавленной стоимости на среднегодовую численность работников). Важным аспектом применения третьего способа оценки является то, что общехозяйственные показатели эффективности изменяются вследствие управления человеческими ресурсами.

Каждый из рассмотренных способов оценки эффективности кадровой политики агропромышленного предприятия имеет свои преимущества и недостатки так, что нельзя назвать однозначно лучший из них. Их не следует рассматривать как альтернативные, они в значительной мере дополняют друг друга.

**Выводы.** Кадровая политика агропромышленного предприятия представляет собой комплекс целей, направлений и приоритетов формирования и использования человеческих ресурсов. В состав последних входят работники предприятия и лица, потенциально способные войти в его штат, например выпускники профильных образовательных учреждений, проживающие на территории присутствия агропромышленного предприятия. Человеческие ресурсы предприятия выступают объектом его кадровой политики. Предмет кадровой политики – социально-экономические отношения работников предприятия, возникающие в процессе выполнения ими своих служебных обязанностей. Субъектами кадровой политики являются все лица, принимающие и реализующие решения в области управления человеческими ресурсами предприятия, включая линейных и функциональных руководителей, сотрудников кадровой службы.

В среде социально-экономических отношений работников предприятия, как правило, имеются такие, которые в конкретных условиях места и времени выступают в качестве слабого звена – фактора, лимитирующего реализацию производственно-коммерческих возможностей предприятия. Поэтому концепция поиска лимитирующего фактора должна стать лейтмотивом в поиске резервов повышения эффективности кадровой политики и повышения экономической эффективности предприятия в целом. Совершенствование кадровой политики рационально проводить в системе стратегического управления предприятием, в тесной увязке кадровой политики с другими составляющими стратегии предприятия в условиях, когда все оперативные управленческие решения разрабатываются и принимаются исходя из стратегических приоритетов.

#### Библиография

1. Аничин В.Л., Ващейкина Ю.Ю., Терновенко Т.А. Повышение роли кадровой службы в формировании человеческого капитала сельскохозяйственных предприятий // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2017. № 9. С. 67-71.
2. Аничин В.Л., Желябовский А.Ю. Современные проблемы целеполагания коммерческих организаций // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2016. № 1 (9). С. 26-31.
3. Волкова С.А., Бавыкина И.Ю. Методические подходы к оценке кадровой политики предприятия // Экономинфо. 2018. Т. 15. № 4. С. 5-9.
4. Воронин Б.А., Чупина И.П., Воронина Я.В. Кадровая политика как целостная система взаимодействия с персоналом // Аграрное образование и наука. 2020. № 1. С. 4.
5. Кузьменко Н.И. К вопросу о выборе эффективной кадровой политики предприятия в условиях социально-экономической трансформации общества // Синергия. 2016. № 3. С. 37-42.
6. Петергова А.В., Киселева А.Е. Эффективность кадровой политики на промышленном предприятии // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 2. С. 44-48.
7. Стратегия кадровой политики в эпоху цифровой экономики: научная монография / Авдеева И.Л., Базарнова О.А., Боброва Е.А. и др.; под общ. редакцией Н.А. Лытневой. Орел : Издательство Среднерусского института управления - филиала РАНХиГС, 2019. – 273 с.
8. Ходыревская В.Н., Сахарова Е.М. К вопросу об управлении интегрированными формированиями на основе инструментов и методов менеджмента // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2010. Т. 5. № 5. С. 2-6.
9. URL: Кадровая политика [https://ru.wikipedia.org/wiki/Кадровая\\_политика](https://ru.wikipedia.org/wiki/Кадровая_политика)

### References

1. Anichin V.L., Vashcheykina Yu.Yu., Ternovenko T.A. Povyshenie roli kadrovoj sluzhby v formirovanii chelovecheskogo kapitala sel'skohozyajstvennyh predpriyatij // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'sko-hozyajstvennoj akademii. 2017. № 9. S. 67-71.
2. Anichin V.L., Zhelyabovskij A.Yu. Sovremennye problemy celepolaganiya kommercheskih organizacij // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. 2016. № 1 (9). S. 26-31.
3. Volkova S.A., Bavykina I.Yu. Metodicheskie podhody k ocenke kadrovoj politiki predpriyatiya // Ekonominfo. 2018. T. 15. № 4. S. 5-9.
4. Voronin B.A., Chupina I.P., Voronina Ya.V. Kadrovaya politika kak celostnaya sistema vzaimodejstviya s personalom // Agrarnoe obrazovanie i nauka. 2020. № 1. S. 4.
5. Kuz'menko N.I. K voprosu o vybore effektivnoj kadrovoj politiki predpriyatiya v usloviyah soci-al'no-ekonomicheskoy transformacii obshchestva // Sinergiya. 2016. № 3. S. 37-42.
6. Petergova A.V., Kiseleva A.E. Effektivnost' kadrovoj politiki na promyshlennom predpriyatii // Mezhdunarodnyj tekhniko-ekonomicheskij zhurnal. 2015. № 2. S. 44-48.
7. Strategiya kadrovoj politiki v epohu cifrovoj ekonomiki: nauchnaya monografiya / Avdeeva I.L., Bazarnova O.A., Bobrova E.A. i dr.; pod obshch. redakciej N.A. Lytnevoj. Orel : Izdatel'stvo Srednerusskogo in-stituta upravleniya - filiala RANHiGS, 2019. – 273 s.
8. Hodyrevskaya V.N., Saharova E.M. K voprosu ob upravlenii integrirovannymi formirovaniyami na osnove instrumentov i metodov menedzhmenta // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skohozyajstvennoj aka-demii. 2010. T. 5. № 5. S. 2-6.
9. URL: Kadrovaya politika [https://ru.wikipedia.org/wiki/Kadrovaya\\_politika](https://ru.wikipedia.org/wiki/Kadrovaya_politika)

### Сведения об авторах

Аничин Владислав Леонидович, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+79038860493, e-mail: vladislavanichin@rambler.ru

Худобина Галина Ивановна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, e-mail: galja4561@mail.ru

Яковенко Наталья Юрьевна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, e-mail: nata.jackovencko2010@yandex.ru

### Information about authors

Anichin Vladislav Leonidovich, Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy, Belgorod region, Russia, tel. +79038860493, e-mail: vladislavanichin@rambler.ru

Khudobina Galina Ivanovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy, Belgorod region, Russia, e-mail: galja4561@mail.ru

Yakovenko Natalya Yuryevna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy, Belgorod region, Russia, e-mail: nata.jackovencko2010@yandex.ru

УДК 338.314:330.14

*Е.А. Голованева, Ж.А. Ульянова*

## ЭФФЕКТ ФИНАНСОВОГО РЫЧАГА ПРИ ОЦЕНКЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАПИТАЛА В СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ

**Аннотация.** Собственный капитал компании служит базовой характеристикой финансовой деятельности хозяйствующего субъекта. От того, насколько эффективно используется собственный капитал, зависит платежеспособность, финансовая устойчивость и конкурентоспособность организации. Финансовая устойчивость компании определяется соотношением собственного (уставный капитал, добавочный капитал, резервный капитал, нераспределенная прибыль, собственные акции, выкупленные у акционеров, переоценка внеоборотных активов, целевое финансирование и прочие поступления) и заемного капитала (долгосрочные и краткосрочные кредиты и займы, в том числе вексельные, облигационные займы, коммерческие, товарные кредиты). Формирование капитала компании происходит за счет собственных (внутренних) и за счет заемных (внешних) средств. Существенным источником финансирования служит собственный капитал. Развитие рыночных отношений сопровождается существенными сдвигами в составе и структуре источников финансового обеспечения хозяйственной деятельности компании. Для подробного обоснования эффективных управленческих решений по повышению эффективности вложений капитала, менеджменту компании необходима полная и достоверная информация о всех текущих экономических показателях (рентабельность бизнеса, рентабельность продаж, рентабельность внеоборотных активов, рентабельность оборотных активов, рентабельность собственного капитала). Показатели рентабельности и эффект финансового рычага всесторонне рассматриваются в достаточно многочисленных источниках. В статье проанализированы состав и структура собственного капитала на примере ЗАО «Краснояржская зерновая компания», который представлен, по большей части, нераспределенной прибылью, оценены краткосрочные (заемные средства, кредиторская задолженность и оценочные обязательства) и долгосрочные обязательства в виде заемных средств, рассчитаны показатели использования собственного капитала, представлен подробный алгоритм расчета эффекта финансового и операционного рычага.

**Ключевые слова:** собственный и заемный капитал, эффект финансового рычага, рентабельность собственного капитала.

## THE EFFECT OF FINANCIAL LEVERAGE IN ASSESSING THE EFFICIENCY OF CAPITAL USE IN AN AGRICULTURAL ORGANIZATION

**Abstract.** The company's equity capital serves as a basic characteristic of the financial activity of an economic entity. How effectively equity capital is used depends on the solvency, financial stability and competitiveness of the organization. The financial stability of the company is determined by the ratio of equity (authorized capital, additional capital, reserve capital, retained earnings, own shares repurchased from shareholders, revaluation of non-current assets, targeted financing and other proceeds) and borrowed capital (long-term and short-term loans and borrowings, including promissory notes, bond loans, commercial, commodity loans). The company's capital is formed at the expense of its own (internal) and at the expense of borrowed (external) funds. A significant source of financing is equity. The development of market relations is accompanied by significant shifts in the composition and structure of the sources of financial support for the company's economic activity. For a detailed justification of effective management decisions to improve the efficiency of capital investments, the company's management needs complete and reliable information about all current economic indicators (business profitability, return on sales, return on non-current assets, return on current assets, return on equity). Profitability indicators and the effect of financial leverage are comprehensively considered in quite numerous sources. The article analyzes the composition and structure of equity capital on the example of CJSC Krasnoyarskaya Grain Company, which is represented, for the most part, by retained earnings, short-term (borrowed funds, accounts payable and estimated liabilities) and long-term liabilities in the form of borrowed funds are estimated, indicators of the use of equity are calculated, a detailed algorithm for calculating the effect of financial and the operating lever.

**Keywords:** equity and debt capital, the effect of financial leverage, return on equity.

Значимость собственного капитала для жизнеспособности финансовой устойчивости организации очень высока. Любое предприятие, ведущее производственную и (или) коммерческую деятельность, должно обладать определенным капиталом, представляющим собою совокупность материальных ценностей и денежных средств, финансовых вложений, затрат на приобретение прав и привилегий, необходимых для осуществления его хозяйственной деятельности. Таким образом, собственный капитал является важнейшим источником образо-

вания активов, финансирования средств, являющихся неотъемлемой частью функционирования предприятия [3].

Деятельность любого предприятия невозможна без привлечения капитала [6]. Отметим, что привлечение заемных источников финансирования деятельности довольно распространенное явление на сегодняшний день. Однако, компания будет платежеспособной лишь при использовании в своей деятельности в большей степени собственного капитала [5].

ЗАО «Краснояржская зерновая компания» образовано в 2007 году и за годы работы занимает прочные позиции в аграрном секторе России. Компания занимается выращиванием сельскохозяйственных культур и производством семян. Залог успеха организации заключается в соблюдении принципов, направленных на совершенствование производства. Организация, самостоятельно осуществляющая производственную и иную предпринимательскую деятельность, имеет определенный объем капитала. Рассмотрим структуру собственного и заемного капитала на примере ЗАО «Краснояржская зерновая компания» в таблице 1.

**Таблица 1 – Размер и структура капитала**

Наименование показателей	2019 г.		2020 г.		2021 г.		Отклонение 2021 г. от 2019 г. (+; -)
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	
<b>Капитал и резервы</b>							
Итого	1543989	34,31	3959136	61,6	5010136	66,22	3466147
<b>Обязательства</b>							
Долгосрочные	551247	12,25	450936	0,64	1048620	13,86	497373
Краткосрочные	2403586	53,43	2016983	31,38	1507229	19,92	-896357
Итого	2954833	65,68	2467919	38,4	2555849	33,78	-398984
Всего	4498822	100	6427055	100	7565985	100	3067163

Как показывают данные таблицы, в отчетном году размер собственного капитала увеличился на 3466 147 тыс. руб. и составил 5 010 136 тыс. руб., в структуре капитала это составляет более 66%, а на долю заемного капитала приходится 34%, размер его, напротив, сократился на 398 984 тыс. руб. и составил в отчетном году 2555 849 тыс. руб. Данное обстоятельство характеризуется положительно для предприятия, т.к. происходит постепенное погашение краткосрочных обязательств с 2 403 833 тыс. руб. до 1 507 229 тыс. руб. или на 37%.

Таким образом, можно отметить, что наблюдается положительная тенденция сокращения заемных источников и рост собственного капитала. Далее детально проанализируем структуру заемных источников по показателям, представленным в таблице 2.

**Таблица 2 – Размер и структура обязательств**

Наименование показателей	2019 г.		2020 г.		2021 г.		Отклонение 2021 г. от 2019 г. (+; -)
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	
<b>Долгосрочные обязательства</b>							
Займы и кредиты	551247	18,66	450936	18,27	1048620	41,03	497373
<b>Краткосрочные обязательства</b>							
Займы и кредиты	1821938	61,66	1486943	60,25	1059903	41,47	-762035
Кредиторская задолженность	530109	17,94	486608	19,72	399308	15,62	-130801
Оценочные обязательства	51539	1,74	43432	1,76	48018	1,88	-3521
Итого	2403586	81,34	2016983	81,73	1507229	58,97	-896357
Всего	2954833	100	2467919	100	2555849	100	-398984

Анализируя данные таблицы видно, что наблюдается рост долгосрочных обязательств почти в два раза или на 497 373 тыс. руб. и, наоборот, сокращением краткосрочных обязательств на 896 357 тыс. руб. В структуре заемного капитала большая часть приходится на краткосрочные обязательства около 60% всех заемных источников: 41,47% приходится на

заемные средства в размере 10599 903 тыс. руб. и более 15,5% – на кредиторскую задолженность – 399308 тыс. руб. За анализируемый период структура краткосрочных обязательств складывается по-разному. Так, например, заемные краткосрочные средства уменьшились с 1 821 938 тыс. руб. 2019 года до 1 059 903 тыс. руб. к 2021 году. Рост долгосрочных обязательств связан с приобретением компанией новых внеоборотных средств. Снижение объема краткосрочных обязательств связано с оптимизацией управления запасами и расчетами с кредиторами компании.

Далее считаем целесообразным рассмотреть структуру собственного капитала ЗАО «Краснояржская зерновая компания» в таблице 3.

**Таблица 3 – Структура собственного капитала**

Показатели	2019г.		2020г.		2021 г.		Отклонение 2021 г. от 2019 г. (+; -)
	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	тыс. руб.	%	
Уставный капитал	100	0,006	100	0,002	100	0,001	-
Нераспределённая прибыль	1543889	99,99	3959036	0,99	5010036	0,99	3466147
Итого	1543989	100	3959136	100	5010136	100	3466147

По данным таблицы видим, что собственный капитал представлен уставным капиталом и нераспределенной прибылью. На протяжении трех лет размер уставного капитала не менялся и составляет 100 тыс. руб. На его долю приходится лишь 0,001% всего капитала. Таким образом, собственный капитал представлен нераспределенной прибылью. Размер ее составил в отчетном году 5 010 036 тыс. руб., увеличившись по отношению к базисному году на 3 466 147 тыс. руб. Устойчивость объемов собственных источников средств показывает, что компания справляется с соответствующим увеличением затрат на обслуживание долга.

Отдача собственного капитала зависит от финансовых источников организации. Если организация привлекает заемные средства, то это может привести к увеличению рентабельности собственного капитала, в таком случае срабатывает эффект финансового рычага (левериджа). Основной задачей использования финансового левериджа является рост прибыли ввиду изменения состава общего капитала, а эффект возникает из-за того, что привлечение платных финансовых ресурсов даст возможность увеличить результативность деятельности, т.к. привлеченный капитал используют при приобретении других активов, которые в дальнейшем приведут к увеличению не только финансового потока, но и чистой прибыли хозяйствующего субъекта.

Далее приведем показатели использования собственного капитала, которые рассчитаны на основании данных бухгалтерской отчетности. Расчет показателей представлен в таблице 4.

По данным таблицы видно, что коэффициент автономии в 2021 году составил 0,44 и показывает ту долю активов, которая формируется за счет собственного капитала.

Коэффициент финансовой зависимости показывает долю зависимости компании от внешних источников финансирования [4]. Поскольку этот коэффициент в отчетном году составил 0,56, то можно судить о высокой финансовой зависимости от заемного капитала.

Коэффициент финансового равновесия показывает, сколько собственных средств приходится на каждый рубль заемных. У предприятия просматривается отрицательная динамика данного показателя за отчетный период, он превышает нормативное значение существенно.

Коэффициент финансового риска показывает сколько заемных средств приходится на каждый рубль собственных [1]. У данного предприятия показатель ниже нормативного значения и свидетельствует о том, что на 1 руб. собственного капитала приходится 1,30 руб. заемного. Риск невозврата заемного капитала незначительный. Также показатель на протяжении 3-х лет снижается, что говорит о нарастании собственного капитала у предприятия.

**Таблица 4 – Показатели эффективности использования собственного капитала**

Коэффициенты	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Отклонение 2021 г. от 2019 г. (+; -)
Коэффициент автономии	0,29	0,40	0,44	0,15
Коэффициент финансовой зависимости	0,71	0,60	0,56	-0,15
Коэффициент финансового риска	2,56	1,50	1,30	-1,26
Коэффициент финансового равновесия	0,40	0,66	0,66	0,37
Коэффициент обеспеченности запасов собственными оборотными средствами	0,29	0,95	1,28	0,99
Коэффициент инвестирования	1,11	2,56	2,24	1,13
Коэффициент постоянного актива	0,67	0,36	0,37	-0,3
Коэффициент маневренности	0,33	0,64	0,63	0,3
Коэффициент обеспеченности оборотных активов собственными средствами	0,23	0,59	0,73	0,5

Существенная доля заемных средств в структуре капитала компании обусловлена эффектом финансового рычага (финансовым леввериджем) (таблица 5). С его помощью оцениваются резервы привлечения заёмного финансирования, которые может позволить себе компания [7]. Коэффициент финансового леввериджа можно определить по исходным данным, содержащимся в бухгалтерском балансе: отношением обязательств – сумма строк 1400 «Долгосрочные обязательства» и 1500 «Краткосрочные обязательства» к собственному капиталу – строка 1300 «Капитал». Расчет дает понять за счёт каких источников преимущественно финансируется деятельность компании [2].

Эффект финансового рычага – это приращение рентабельности собственных средств, которое происходит в случае использования заемных средств, при условии, что экономическая рентабельность активов компании больше ставки процента по кредиту.

$$\begin{aligned} \text{ЭФР} &= (1 * \text{ННП}) * \text{Д} * \text{П} \\ \text{П} &= \text{ЗС} / \text{СС} \\ \text{Д} &= \text{ЭР} - \text{СРСП} \end{aligned}$$

Критерии оценки эффекта финансового рычага представлены на рисунке 1.

Из показателей таблицы видно, что показатель эффекта финансового рычага в 2021 г. составил 0,31%. Наибольшее значение показателя наблюдается в 2019 г. – 1,69%. Эффект операционного рычага также имеет тенденцию к снижению на 1,96% и составил в отчетном году 1,97%. Плечо рычага в отчетном году было почти в 2 раза ниже базисного года (2,51 против 1,30). Рассчитанные показатели свидетельствуют о том, что заемные средства используются эффективно, что подтверждает рост уровня рентабельности собственного капитала (значение показателя эффекта финансового рычага).



Рис. 1 – Критерии оценки эффекта финансового рычага

Таблица 5 – Расчет эффекта финансового рычага

Показатели	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Изменение (+, -)
Прибыль от обычных видов деятельности (ЧП)	825422	2415147	3451000	2625578
Прибыль до налогообложения (БП)	845218	2438914	3499514	2654296
Прибыль к уплате (ПУ)	230223	138548	53983	-176240
Прибыль до уплаты процентов (НРЭИ=БП+ПУ)	1075441	2577462	3553497	2478056
Налог на прибыль (ННП=1-ЧП/БП)	0,01	0,01	0,01	-
Заемные источники (ЗС)	3999114	6019551	6565383	2566269
Собственные средства (СС)	1595528	4002568	5058154	3462626
Капитал (К=ЗС+СС)	5594642	10022119	11623537	6028895
Экономическая рентабельность (ЭР=НРЭИ/К)	0,19	0,26	0,31	0,12
Средняя расчетная ставка процента (СРСП=ПУ/ЗС*100)	5,76	2,30	0,46	-5,3
Плечо рычага (П)	2,51	1,50	1,30	-1,21
Дифференциал (Д)	-5,57	-2,04	-0,15	-5,72
Эффект финансового рычага	1,69	0,54	0,31	-1,38
Эффект операционного рычага	3,92	2,08	1,97	-1,96
Рентабельность собственных средств РСС=(1-ННП)*ЭР+ЭФР	0,52	0,60	0,68	0,16

Исходя из критериев оценки и расчета эффекта финансового рычага, можно отметить, что он оказывает положительное влияние на рентабельность собственного капитала.

Таким образом, эффект финансового рычага складывается под влиянием двух составляющих: дифференциала и плеча рычага, которые тесно взаимосвязаны между собой. Если дифференциал имеет тенденцию к увеличению, то и рентабельность собственного капитала будет расти.

#### Библиография

1. Базовкина Е.А. Бухгалтерский учет и анализ собственного капитала в сельскохозяйственных организациях [Текст] / Базовкина Е.А., Божченко Ж.А., Голованева Е.А. // Белгород, 2018.
2. Базовкина Е.А. Структура капитала предприятия: прогнозные варианты оптимизации [Текст] / Базовкина Е.А., Божченко Ж.А. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 4 (28). – С. 257-262.
3. Божченко Ж.А. Доходность сельскохозяйственной организации как основной элемент оценки эффективности деятельности [Текст] / Божченко Ж.А., Голованева Е.А., Божченко В.Ю. // В сборнике: устойчивое и инновационное развитие в цифровую эпоху. Материалы III Международной научно-практической конференции. – 2021. – С. 275-282.

4. Божченко Ж.А. Совершенствование учета уставного капитала в сельскохозяйственных организациях [Текст] / Божченко Ж.А. // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2018. – № 6 (73). – С. 283-290.
5. Голованева Е.А. Совершенствование учета собственного капитала в сельскохозяйственных организациях [Текст] / Голованева Е.А. // Вестник Белгородского университета кооперации, экономики и права. – 2018. – № 6 (73). – С. 265-274.
6. Наседкина Т.И. Бухгалтерская отчетность как основа анализа финансовой устойчивости предприятия [Текст] / Наседкина Т.И., Черных А.И., Демешева И.А. // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 1 (33). – С. 39-50.
7. Чегринцева А.А. Роль бухгалтерской отчетности в оценке финансового состояния организации [Текст] / Чегринцева А.А., Решетняк Л.А. // В сборнике: материалы международной студенческой научной конференции. – 2017. – С. 132.

#### References

1. Basovkina E.A. Accounting and equity analysis in agricultural organizations [Text] / Basovkina E.A., Bozhchenko Zh.A., Golovaneva E.A. // Belgorod, 2018.
2. Basovkina E.A. Capital structure of the enterprise: forecast options of optimization [Text] / Basovkina E.A., Bozhchenko J.A. // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2020. – № 4 (28). – Pp. 257-262.
3. Bozhchenko Zh.A. Profitability of an agricultural organization as the main element of evaluating the effectiveness of activities [Text] / Bozhchenko Zh.A., Golovaneva E.A., Bozhchenko V.Yu. // In the collection: sustainable and innovative development in the digital era. Materials of the III International Scientific and Practical Conference. – 2021. – Pp. 275-282.
4. Bozhchenko Zh.A. Improving the accounting of authorized capital in agricultural organizations [Text] / Bozhchenko Zh.A. // Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. – 2018. – № 6 (73). – Pp. 283-290.
5. Golovaneva E.A. Improving equity accounting in agricultural organizations [Text] / Golovaneva E.A. // Bulletin of the Belgorod University of Cooperation, Economics and Law. – 2018. – № 6 (73). – Pp. 265-274.
6. Nasedkina T.I. Accounting statements as a basis for analyzing the financial stability of an enterprise [Text] / Nasedkina T.I., Chernykh A.I., Demesheva I.A. // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2022. – № 1 (33). – Pp. 39-50.
7. Chegrintseva A.A. The role of accounting statements in assessing the financial condition of an organization [Text] / Chegrintseva A.A., Reshetnyak L.A. // In the collection: materials of the international student scientific conference. – 2017. – p. 132.

#### Сведения об авторах

Голованева Елена Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-22-04, e-mail: GEA010481@yandex.ru

Ульянова Жанна Александровна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-22-04, e-mail: bja19810104@yandex.ru

#### Information about authors

Golovaneva Elena Aleksandrovna, candidate of economic Sciences, associate Professor of the Department of Economics, 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 39-22-04, e-mail: GEA010481@yandex.ru

Ulyanova Janna Aleksandrovna, candidate of economic Sciences, associate Professor of the Department of Economics, 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 39-22-04, e-mail: bja19810104@yandex.ru

УДК 338.43

*Д.П. Кравченко, О.С. Акуниян*

## СТИМУЛИРОВАНИЕ ИННОВАЦИОННОЙ АКТИВНОСТИ В АГРАРНОМ СЕКТОРЕ РОССИИ

**Аннотация.** Активное развитие сельского хозяйства усиливает конкурентную борьбу между сельскохозяйственными предприятиями, когда одним из ключевых рычагов в усилении их конкурентоспособности выступает инновационная деятельность.

Научно-технический прогресс, основой которого является инновационная действительность, превращается в решающий фактор социально-экономического развития РФ и играет ведущую роль в решении экономических, экологических, социальных и культурных задач. Недооценка его грозит быстрой потерей позиций на мировом рынке, спадом производства, банкротством и переходом производственных проблем в социально-экономические и политические.

Аграрный сектор является важнейшей частью материального производства и формирует продовольственную безопасность, основной целью которой является обеспечение населения безопасными сельскохозяйственными продуктами и, как следствие, обеспечивает независимость от импорта продовольствия из других стран. Несмотря на то, что из года в год инновационная активность отечественных сельхозтоваропроизводителей увеличивается, на практике ситуация складывается таким образом, когда данного роста недостаточно и требуются дополнительные инструменты финансирования, в том числе из средств бюджетов разного уровня.

В статье рассмотрены особенности современного подхода к применению инновационных финансовых инструментов для развития аграрной сферы, особенностью которых является наличие альтернатив для финансирования в форме дотаций, что даёт возможность не только привлечь больше финансовых ресурсов, но и их применение на возвратной основе, что позволяет обеспечивать дальнейшее стимулирование развития инноваций. Охарактеризованы современные модели поддержки и финансирования инновационного развития аграрного сектора в развитых странах, в частности модель развития аграрного сектора, которая предусматривает не столько рост производительности, а приоритеты предоставляются устойчивому развитию, инновациям, улучшению условий содержания животных, развития возобновляемых источников энергии, сохранению окружающей природной среды и развития сельских территорий. Систематизированы подходы к финансированию инновационного развития аграрного сектора и предложены источники финансирования инновационного развития в России.

**Ключевые слова:** инновации, аграрный сектор, инновационная деятельность, инновационная активность, стимулирование инновационной активности, инструменты стимулирования инноваций.

## STIMULATING INNOVATION ACTIVITY IN THE AGRICULTURAL SECTOR OF RUSSIA

**Abstract.** The active development of agriculture strengthens the competition between agricultural enterprises, when one of the key levers in strengthening their competitiveness is innovation.

Scientific and technological progress, which is based on innovative reality, turns into a decisive factor in the socio-economic development of the Russian Federation and plays a leading role in solving economic, environmental, social and cultural problems. Underestimating it threatens a rapid loss of positions on the world market, a decline in production, bankruptcy and the transition of production problems into socio-economic and political ones.

The agricultural sector is the most important part of material production and forms food security, the main purpose of which is to provide the population with safe agricultural products and, as a result, ensures independence from food imports from other countries. Despite the fact that the innovative activity of domestic agricultural producers increases from year to year, in practice the situation develops in such a way that this growth is not enough and additional financing tools are required, including from budgets of different levels.

The article discusses the features of the modern approach to the use of innovative financial instruments for the development of the agricultural sector, the peculiarity of which is the availability of alternatives for financing in the form of subsidies, which makes it possible not only to attract more financial resources, but also their use on a return basis, which allows for further stimulation of innovation development. Modern models of support and financing of innovative development of the agricultural sector in developed countries are characterized, in particular, the model of development of the agricultural sector, which provides not so much productivity growth, but priorities are given to sustainable development, innovation, improvement of animal welfare, development of renewable energy sources, preservation of the environment and rural development. Approaches to financing innovative development of the agricultural sector are systematized and sources of financing innovative development in Russia are proposed.

**Keywords:** innovation, agricultural sector, innovation activity, innovation activity, stimulation of innovation activity, tools for stimulating innovation.

Активное развитие сельского хозяйства в России и мире усиливает конкурентную борьбу между сельскохозяйственными предприятиями, когда одним из ключевых рычагов их усиления является инновационная деятельность. Реализация инноваций именно в сельском хозяйстве является значимым, способствуя сбережению и более рациональному использованию материальных, трудовых, природных и финансовых ресурсов, повышению продуктивности труда.

Развитие в сфере инноваций обусловлено также стоящими вызовами перед современным аграрным сектором РФ, а именно необходимостью реализации реформ по техническому регулированию, гарантированию продовольственной безопасности, приспособлению к регуляторным нормам в соответствии с международными стандартами. Одним из вызовов, который возникает перед инновационным развитием аграрной отрасли, является повышение ее эффективности и экологичности.

Проблематике внедрения и стимулирования инновационной деятельности в АПК отечественной экономики уделено внимание в исследованиях А.И. Алтухова, А.Е. Бережного, В.А. Иванова, В.П. Нечаева, И.Г. Ушачева, А.В. Турьянского и др. В указанных работах исследовались вопросы динамики производства в аграрном секторе России, теоретические подходы структуризации инноваций при производстве сельскохозяйственной продукции, финансовые инструменты стимулирования инновационной деятельности.

Однако, исследование вопросов осуществления инновационной деятельности в сельскохозяйственном секторе экономики РФ преимущественно сфокусированы на отдельных вопросах его реализации и требуют дальнейшего рассмотрения.

В частности, аграрное производство поддерживают во всем мире, поскольку от состояния его развития зависит в целом, как продовольственная безопасность государства, так и стабильность работы ряда кластеров.

Ситуация из года в год складывается таким образом, когда поддерживать сельское хозяйство только лишь за счет экстенсивных мер невозможно, и ряд задач требует интенсификации развития как технологического, так и ресурсного фактора, которая возможна лишь путем внедрения инноваций.

Аграрная инновация (агроинновация) – это «...разновидность инновации, реализуемая в аграрном секторе экономики с целью повышения эффективности его деятельности и обеспечения стабильного расширенного воспроизводства сельскохозяйственного производства» [2].

Понятие инноваций в сельском хозяйстве наиболее широко раскрывает В.А. Иванов, рассматривая их в качестве «...системного внедрения в аграрную сферу результатов научно-исследовательской работы, приводящих к положительным качественным и количественным изменениям в характеристике взаимосвязей между биосферой и техносферой, а также в качестве фактора, улучшающего состояние окружающей среды» [5].

И.С. Ефименко, Н.А. Лытнева, П.В. Гончаров определяют сущность понятия инновации в сельском хозяйстве как конечный результат внедрения новации в отрасль сельского хозяйства (сорта растений, пород животных, средств защиты растений или животных, технологий выращивания и т.д.) [3].

Основными направлениями внедрения инноваций могут быть такие, как:

- 1) разработка и освоение новых технологий, связанных с растениеводством и животноводством;
- 2) обеспечение усовершенствования обновления технико-технологического потенциала предприятий;
- 3) подготовка, обучение и переподготовка профессионалов, способных максимально эффективно использовать технику, оборудование и технологии [7].

Агропромышленный комплекс является ведущей отраслью РФ, на территорию которой приходится порядка 35% черноземов мира, а площадь сельхозугодий составляет 930,9 тыс. га (32,1% земельного фонда страны).

Так, например, по итогам 2021 года объем экспорта продукции АПК составил \$37,7 млрд. В натуральном выражении экспорт продукции АПК в 2021 году составил 71,086 млн

тонн. Наибольший объем поставок приходится на экспорт зерновых культур, в 2021 году на данный сектор приходилось порядка \$11,4 млрд (43,1 млн тонн), на втором месте экспорт масложировой продукции – \$7,3 млрд (7,7 млн тонн), на экспорт рыбы и морепродуктов за аналогичный период приходилось \$7,3 млрд (2,1 млн тонн), продукция пищевой и перерабатывающей промышленности составила \$5,2 млрд (9,3 млн тонн), экспорт прочей продукции АПК достиг \$5 млрд (8,2 млн тонн).

Поставки мясной продукции за рубеж составили \$1,2 млрд (532,8 тыс. тонн), молочной продукции – \$412,7 млн (242,6 тыс. тонн).

Таким образом, Россия входит в семерку мировых лидеров по производству зерновых культур и подсолнечного масла, и сельское хозяйство является наиболее стабильно функционирующим сектором экономики.

Однако Россия, в отличие от развитых стран (США, Канады, стран ЕС), лишь на треть использует свой естественно-ресурсный потенциал. Об этом свидетельствует ряд факторов, среди которых отставание по показателям эффективности отечественных сельскохозяйственных производителей (низкая урожайность сельскохозяйственных культур, продуктивность животноводства и т.п.) [9].

По данным ВШЭ на область сельскохозяйственных наук в РФ в 2021 году приходилось 4,4% (в 2016 году данный показатель составлял 1,5%) внутренних затрат на исследования и разработки. Для сравнения: в Индии этот показатель достигает 16,7%, Аргентине – 11,4%, Казахстане – 11,1%, ЮАР – 9,1%, Нидерландах – 8,7%, Китае – 7,9%, Бразилии – 6,9%, Испании – 6,5%, Беларуси – 6,2%, Австралии – 5,1%, Турции – 4,6%, России – 4,4%, Украине – 2,5%, Корее – 2,4%, Великобритании – 1,7% (рис. 1) [8].

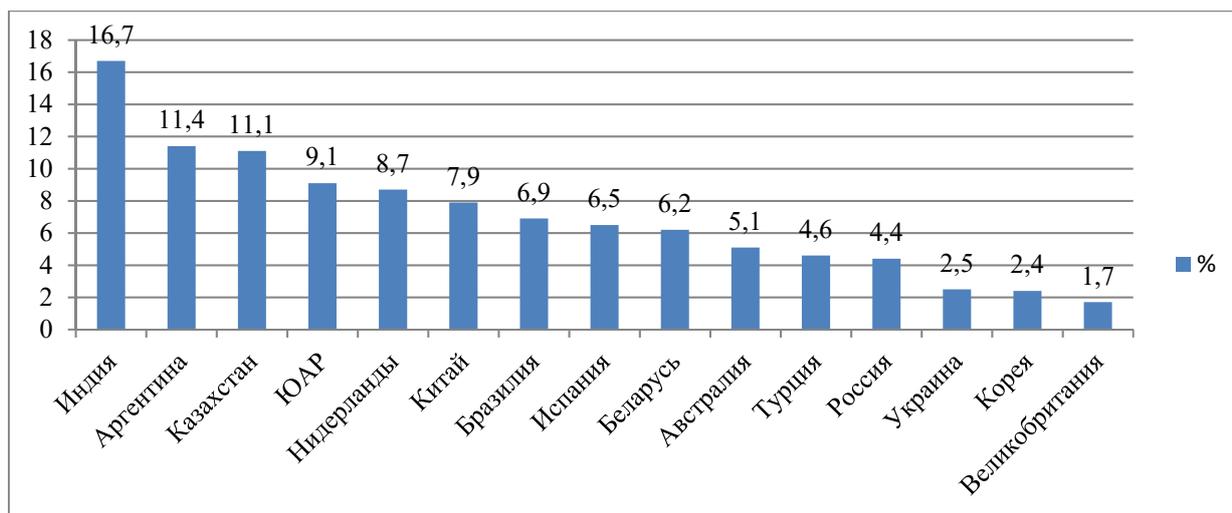


Рис. 1 – Доля внутренних затрат на исследования и разработки на область сельскохозяйственных наук в различных странах (2021 год), %\*

\*Составлено автором

Динамика выполнения научных и научно-технических работ в сельском хозяйстве с 2015-2021 годов имела тенденцию роста. Так, всего в 2021 году было выполнено на 1981 работу (или на 29,5%) больше, чем в 2015 году, ресурсосберегающих технологий зафиксировано на 357 единиц больше (или на 43,8%), количество новых материалов увеличилось на 193 ед. (или на 79,2%), количество новых сортов растений и пород животных увеличилась на 1632 ед. (почти в 3 раза) за аналогичный период.

То есть, учитывая увеличение результатов по почти всем направлениям научных и научно-технических работ на фоне общего увеличения таких результатов почти в 2 раза, можем предположить, что именно аграрный сектор, в котором рост составил почти 300%, преимущественно обеспечил положительную динамику указанного показателя (рис. 2).

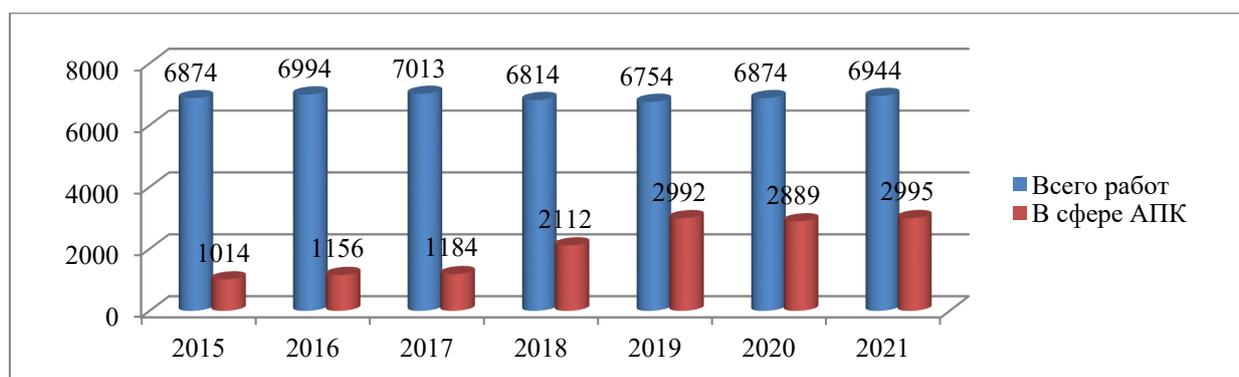


Рис. 2 – Динамика количества выполненных научных и научно-технических работ в сельском хозяйстве РФ, 2015-2021 годы [11]

\*Составлено авторами

Насколько стимулируется и признается приоритетной инновационная деятельность, свидетельствует также объем капитальных инвестиций и их динамика. Да, капитальные инвестиции в сельское, лесное, а также рыбное хозяйства в течение 2015-2021 годов увеличились на 112,8 млрд руб. (или на 130,1%).

Анализ объемов инвестирования и финансирования инновационной деятельности в аграрном секторе России в течение 2015-2021 годов (табл. 1) свидетельствует, что общие объемы финансирования в течение исследуемого периода увеличились на более чем на 200 млрд руб. (или на 8,2%).

Финансирование за счет средств бюджета сократилось только в 2016 и 2021 годах по сравнению с предыдущими, остальные периоды характеризуются существенным ростом.

Таблица 1 – Показатели финансирования АПК в 2015-2021 гг. [10]

Показатели	Годы							Отклонение 2021-2015	
	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	(+; -)	%
	Объем инвестиций в АПК, млрд руб.	374,4	387,4	400,5	431,7	469,7	466,5	487,2	+112,8
Собственные средства, %	61	58	60	57	62	61	62	+1	101,6
Инвестиции в НИОКР АПК, млрд руб.	2,4	2,5	2,3	2,7	3,3	3,7	3,5	+1,1	145,8
Объем финансирования АПК из средств бюджета, млрд руб.	236,8	224,5	194,1	222,3	318,2	319,5	256,2	19,4	108,2
Финансирование внутренних расходов на выполнение научных и научно-технических работ в АПК из средств бюджета, млрд руб.	21,3	22,8	24,2	25,6	25,9	26,3	25,1	+3,8	117,8
Собственные средства, %	3,6	4,2	4,4	4,7	5,0	5,1	4,9	4,3	119,4

По данным таблицы, несмотря на доминирование инвестиций, в то же время бюджет остается основным источником финансирования инновационной деятельности.

Однако, наряду с прямыми экономическими методами поддержки НИОКР, среди которых государственное стимулирование, в частности инструменты финансово-бюджетной политики, образования и повышения квалификации в сельской местности, широко применяются административные методы, включающие государственные программы, проведение внешнеторговой политики, направленной на повышение эффективности государственного регулирования сельхозтоваропроизводителей, существуют и косвенные (ценовая и налоговая, финансово-кредитная политика и др.).

В зарубежной практике сельское хозяйство относится к приоритетным отраслям экономики, и, исходя из этого, государство в том или ином виде субсидирует сельскохозяйственное производство [6]. Среди наиболее эффективных государственных методов поддержки инновационной деятельности в других странах можно выделить следующие:

- государственные программы финансовой и технической поддержки инновационных предприятий малого и среднего бизнеса, выполняющих НИОКР в рамках тематики правительственных организаций (США, Япония, Великобритания, Индия, Китай);
- создание фондов внедрения инноваций с учетом возможного коммерческого риска (Англия, Германия, Франция, Швейцария, Нидерланды);
- прямое финансирование (субсидии, займы), достигают 50% затрат на создание новой продукции и технологий (Франция, США и др.);
- целевые дотации на научно-исследовательские разработки (практически во всех развитых странах);
- предоставление займов, в том числе без выплаты процентов (Швеция), безвозмездные займы на покрытие 50% расходов на внедрение нововведений (Германия);
- снижение государственных пошлин для индивидуальных изобретателей и предоставление им налоговых льгот (Австрия, Германия, США, Япония и др.), а также создание специальной инфраструктуры для их поддержки и экономического страхования (Япония);
- отсрочка уплаты пошлин или освобождение от них, если изобретение касается экономики энергии (Австрия);
- бесплатные услуги патентных поверенных по заявкам индивидуальных изобретателей, освобождение от уплаты пошлин (Нидерланды, Германия, Япония, Индия);
- облегчение налогообложения для предприятий, действующих в инновационной сфере, в том числе включение по налогообложению расходов на НИОКР, льготное налогообложение университетов и НИИ (США, Великобритания, Индия, Китай, Япония);
- законодательное обеспечение защиты интеллектуальной собственности и авторских прав (во всех развитых странах и развивающихся странах);
- создание мощных государственных организаций (корпораций, агентств), обеспечивающих всестороннюю научно-техническую, финансовую и производственную поддержку инновационных МСП (США, Япония, Индия, Китай), сети научных парков, бизнес-инкубаторов и зон технологического развития (во всех развитых и развивающихся странах);
- информационно-поисковые специализированные сайты в сфере прогрессивных технологий и инновационных разработок, позволяющим заинтересованным предприятиям быстро найти необходимые технические решения и возможных партнеров.

В России на протяжении последних лет также активно продвигаются программы стимулирования инновационной активности в аграрном секторе. Например, программы ВЭБ, ряда министерств, среди которых: экономического развития, сельского хозяйства, цифрового развития, связи и массовых коммуникаций, а также Фонд содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере использует разнообразные финансовые инструменты и направления, важнейшие из которых стимулируют инновационное развитие сельского хозяйства и пищевой промышленности:

- научно-исследовательская и инновационная деятельность, в том числе международные проекты в сфере научных исследований и инноваций;
- координационная деятельность и помощь: проекты в сфере формирования инновационных сетей;
- инструмент развития малого и среднего бизнеса: инновационные проекты, организованные МСП с одним участником;
- быстрый путь к инновациям: пилотные проекты.

Для внедрения инноваций предприятия и фермерские хозяйства могут воспользоваться финансовой поддержкой объемами от 350,0 тыс. руб. до 150,0 млн руб.

Современная финансовая политика РФ в сфере инновационного развития аграрного сектора направлена на стимулирование инвестиций в форме займов, гарантий, венчурного капитала и других механизмов управления риском в сочетании с технической поддержкой, возмещением части процентной ставки по кредитам и страховой премии при страховании рисков внедрения инноваций.

Особенность финансовой политики в применении инновационных финансовых инструментов для инновационного развития аграрного сектора заключается в том, что они выступают альтернативой для финансирования в форме дотаций и дают возможность не только привлечь больше финансовых ресурсов, но и использовать их на возвратной основе, что позволяет обеспечивать дальнейшее стимулирование развития инноваций. Такой подход обеспечивает более эффективное использование финансовых ресурсов, стимулирует ускоренное внедрение инноваций с целью их быстрой отдачи.

Фонды венчурного капитала позволяют привлечь нужные финансовые ресурсы для внедрения инноваций малым и средним бизнесом, в частности фермерским хозяйством, если оно имеет высокий инновационный потенциал для развития, однако не может взять коммерческий кредит за неимением залога, гарантий поручительства. Привлечение средств венчурного фонда происходит на конкурсной основе и таким образом инновационные предприятия с наиболее перспективными инновациями могут их реализовать.

В последнее время распространенным инструментом содействия инновационному развитию аграрных предприятий в РФ становится поддержка гарантийного фонда, способствующего привлечению средств под гарантию Фонда поддержки малого и среднего бизнеса или в случае, когда нужные предприятию средства не могут быть привлечены по причине недостаточности залога или гарантии.

Следует отметить, что в ряде развитых (США, страны ЕС) и развивающихся (Китай) странах меняются подходы к реализации финансовой политики и модели поддержки и финансирования инновационного развития аграрного сектора. Например, в США с 2014 года осуществлен переход от прямого субсидирования фермеров к страхованию рисков. Законом о сельском хозяйстве в 2014 году утверждено выделение до 2023 года \$ 956,4 млрд на финансирование инновационных программ, в частности в области торговли, сельскохозяйственных исследований, зеленой энергетики и продовольственной безопасности.

Нидерланды, достигнув ведущих позиций на международном рынке аграрной продукции, сформировали модель финансирования аграрного сектора, которая предусматривает не столько рост производительности, сколько в приоритете устойчивое развитие, инновации, улучшение условий содержания животных, развитие возобновляемых источников энергетики, сохранение окружающей природной среды и развитие сельских территорий. Финансовая политика и механизм ее реализации предусматривает внедрение программ гарантирования части займа государством.

Дополнительные средства займа предоставляют малым и средним сельхозпредприятиям и молодым фермерам в возрасте до 39 лет, которые они могут использовать исключительно на четко определенные цели, связаны с повышением инновационности хозяйства, оптимизацией производства.

В Канаде финансовая политика содействием инновационному развитию аграрного сектора направлена на реализацию региональных и федеральных программ финансовой поддержки сельхозпроизводителей, а именно пятилетние инвестиции федеральных, провинциальных и территориальных правительств в размере \$3 млрд для укрепления сектора сельского хозяйства.

Программой AgriInnovate (2018-2023 гг.) предусмотрено финансирование на возвратной основе проектов, реализующих такие приоритеты развития аграрного сектора: внедрение новых или ведущих чистых технологий (включая точное земледелие);

- повышение производительности благодаря современным технологиям, автоматизации и робототехнике;
- усиление аграрных секторов Канады с высокой добавленной стоимостью;

- обеспечение или расширение новых экспортных рынков.

Среди приоритетов финансовой поддержки аграрного сектора следует отметить значительные инвестиции в научные исследования в области сельского хозяйства Канады и трансфер технологий, в частности цифровая трансформация сельхозпроизводства.

Чилийская модель инновационного развития аграрного сектора характерна созданием «цепочек прироста стоимости», которые формируются на основе сотрудничества и инициативы агроперерабатывающих комбинатов. На основе этой модели создаются агропромышленные группы, нацеленные на выпуск продукции с высокой добавленной стоимостью, глубокой переработки и возможности увеличить срок реализации пищевой продукции. Аккумуляированные средства агропромышленной группы направляются на внедрение современных агротехнологий и инноваций, как в сельхозпроизводство, так и в перерабатывающую промышленность. Такой подход позволяет повысить конкурентоспособность конечной продукции и формировать достаточный инвестиционный ресурс для инновационного развития.

В свою очередь механизм финансирования инновационного развития аграрного сектора РФ должен быть:

- рациональным для использования;
- эффективным и результативным;
- оптимальным для внедрения;
- прозрачным и понятным для всех участников инновационного процесса;
- гибким, исходя из финансовых возможностей и приоритетов.

Исследование сущности финансового механизма инновационного развития аграрного сектора позволило конкретизировать данную дефиницию, когда финансовый механизм представляет собой совокупность методов, форм и инструментов реализации финансовой политики путем финансового воздействия на всех участников инновационной цепи с целью эффективного и ускоренного инновационного развития аграрного сектора.

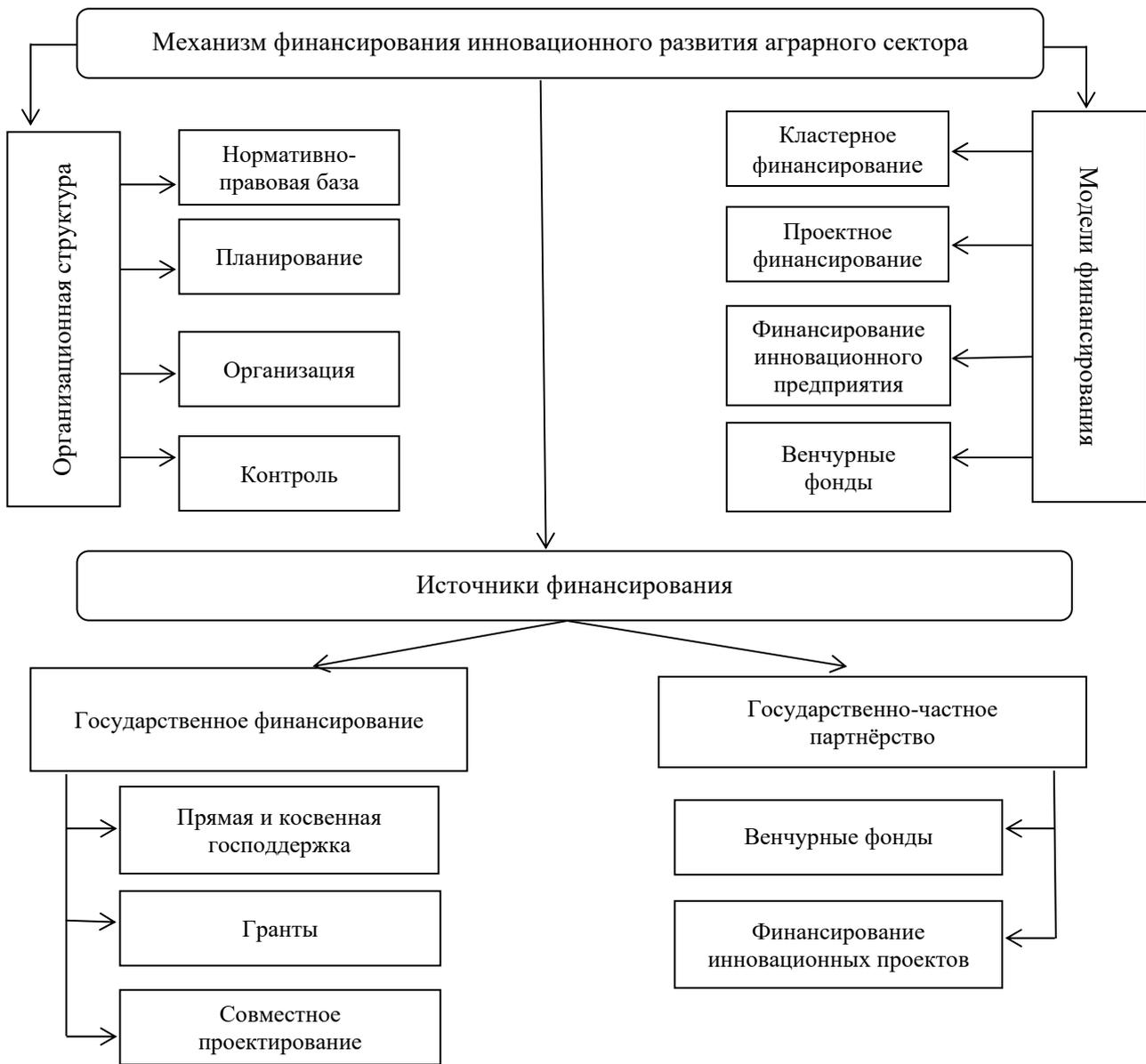
Важным, по нашему мнению, является использование Чилийской модели инновационного развития аграрного сектора с элементами моделей других стран.

В данном случае целесообразно акцентировать внимание на кластерной модели финансирования, нацеленной на выпуск экологически чистой продукции с высокой добавленной стоимостью, глубокой переработкой и высоким экспортным потенциалом, а также возможностью продажи не только продуктов питания, но и инноваций в форме патентов и ноу-хау. Перспективным является кластер детского питания, который предусматривает комплексное развитие экологического растениеводства, животноводства и переработки.

Механизм финансирования инновационного развития аграрного сектора в РФ должен включать как прямую финансовую поддержку, так и косвенные методы, государственно-частное партнерство и ряд других (рис. 3).

Особенностью прямой поддержки является необходимость формирования своего рода запаса для инновационного развития за счет отчислений от экспорта сельхозпродукции и создания Фонда, который будет инвестировать средства в венчурные фонды на конкурсной основе, которые в, свою очередь, направлены на финансирование стартапов, удваивая конечную сумму инвестиций и привлекая собственные средства.

Актуальной является финансовая и институциональная поддержка новой модели финансирования развития инноваций для аграрного сектора – венчурные студии. В данном случае речь идет об ИТ-сфере и возможности имплементировать эту модель для продуцирования стартапов и ускоренного инновационного развития. Такие студии могут создавать агрохолдинги, которые уже владеют определенными исследовательскими структурами, или могут быть сформированы на базе крупных технологических компаний, способных выделять ресурсы на исследование аграрного рынка, а также разработку и коммерциализацию новых идей.



**Рис. 3 – Структура механизма финансирования инновационного развития аграрного сектора**

\*Составлено авторами

Ключевую роль в финансировании инновационного развития аграрного сектора должны играть косвенные методы поддержки, в частности налоговое стимулирование, страхование рисков, развитие венчурных фирм и фондов, внедрение инновационных финансовых инструментов: аграрных расписок, инновационных ваучеров, краудфандинга, оффшорных зон для стартапов. Важным аспектом является финансирование создания информационно-образовательной платформы и функционирование бизнес-акселераторов, инкубаторов, учебных программ по созданию и продвижению инноваций.

Стимулирование и создание благоприятных условий для инновационной деятельности в сфере АПК является важной задачей в процессе развития эффективной отечественной инновационной системы, предусматривающей реализацию целого ряда мероприятий, среди которых:

- развитие инфраструктуры путем создания государственных предприятий, которые обеспечивают всестороннюю поддержку инноваций;

– организация научно-исследовательских институтов, лабораторий и центров, оснащенных оборудованием для проведения опытов, а также обеспечены профессионалами для проведения консультаций по подаче патентных заявок на инновационные продукты.

Не менее продуктивными являются регулярные выставки и ярмарки, как в России, так и за рубежом, демонстрирующие передовые инновационные разработки с целью осуществления деловых контактов с возможными инвесторами, производителями и потребителями разработанных новых продуктов и услуг. Как правило, данные мероприятия способствуют ускорению продвижения ряда инновационных проектов с учетом их дальнейшей коммерциализации.

Таким образом, при разработке механизма финансирования инновационного развития аграрного сектора целесообразно использовать актуальную и перспективную для России модель обеспечения ресурсами агропромышленных групп, кооперативов, деятельность которых будет способствовать росту выпуска продукции с высокой добавленной стоимостью, а полученные дополнительные доходы будут направляться на внедрение современных агротехнологий и инноваций, как в сельхозпроизводство, так и в перерабатывающую промышленность, и позволит выйти на рынок инновационных разработок. Финансовая поддержка инновационного развития аграрного сектора требует значительных инвестиций в научные исследования в области сельского хозяйства и трансфер технологий, в частности цифровую трансформацию сельхозпроизводства.

Недостаточное финансирование и поддержка инновационного развития аграрных предприятий в России грозит потерей конкурентоспособности сельхозпродукции, повышением антропогенной нагрузки на сельхозугодья и приоритетным развитием сырьевой составляющей агробизнеса. Только инновации и уход от сырьевой модели развития экономики обеспечат конкурентоспособность аграрного сектора и существенно увеличат его экспортный потенциал.

#### Библиография

1. Демешева И.А., Тетюркина Е.В. Совершенствование механизма реализации инвестиционной политики государства в аграрном секторе / И.А. Демешева, Е.В. Тетюркина // Российский экономический интернет-журнал. – 2018. – № 4. – С. 109.
2. Джавадова С.А., Молчанова Л.А. Инновационные технологии в основе устойчивого развития отечественного агропромышленного комплекса / С.А. Джавадова, Л.А. Молчанова // Журнал прикладных исследований. 2021. – № 2. – С. 46-54.
3. Ефименко И.С., Лытнева Н.А. Ретроспективный анализ и методы оценки развития механизма управления инновационно-инвестиционными процессами в аграрном секторе экономики / И.С. Ефименко, Н.А. Лытнева, П.В. Гончаров // Вестник Орёл ГИЭТ. – 2015. – № 4 (34). – С. 5-12.
4. Завгородняя В.В. Особенности финансового и организационного обеспечения научно-исследовательских работ в России / В.В. Завгородняя // Аудит и финансовый анализ. – 2018. – № 1. – С. 185-191.
5. Иванов В.А., Пономарева А.С. Методологические основы устойчивого развития аграрного сектора / В.А. Иванов, А.С. Пономарева // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. – 2011. – № 4 (16). – С. 109-121.
6. Инновационное развитие предприятий агропромышленного сектора: монография / Л.А. Молчанова, Д.П. Кравченко. – Белгород : БелГАУ, 2021. – 260 с.
7. Инновационное развитие Российской Федерации в 2020 году. Отчет ФГБНУ НИИ РИНКЦЭ. – Москва. – 2021. – 30 с.
8. Наука, технологии, инновации. Экспресс информация Института статистических исследований и экономики знаний НИУ ВШЭ. – Дата выпуска 09.09.2021 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://issek.hse.ru>
9. Ушачев И.Г., Колесников А.В., Чекалин В.С. Развитие инноваций – важнейшая составляющая аграрной политики России // И.Г. Ушачев, А.В. Колесников, В.С. Чекалин // АПК: экономика, управление. – 2019. – № 5. – С. 22-31.
10. Министерство сельского хозяйства РФ [Официальный интернет-портал]. URL: <http://www.mcx.ru>
11. Федеральная служба государственной статистики [Официальный интернет-портал]. URL: <https://rosstat.gov.ru/>

#### References

1. Demesheva I.A., Tetyurkina E.V. Sovershenstvovanie mekhanizma realizacii investicionnoj politiki gosudarstva v agrarnom sektore / I.A. Demesheva, E.V. Tetyurkina // Rossijskij ekonomicheskij internet-zhurnal. – 2018. – № 4. – S. 109.

2. Dzhavadova S.A., Molchanova L.A. Innovacionnye tekhnologii v osnove ustojchivogo razvitiya otechestvennogo agropromyshlennogo kompleksa / S.A. Dzhavadova, L.A. Molchanova // Zhurnal prikladnyh issledovanij. 2021. – № 2. – S. 46-54.
3. Efimenko I.S., Lytneva N.A. Retrospektivnyj analiz i metody ocenki razvitiya mekhanizma upravleniya innovacionno – investicionnymi processami v agrarnom sektore ekonomiki / I.S. Efimenko, N.A. Lytneva, P.V. Goncharov // Vestnik Oryol GIET. – 2015. – № 4 (34). – S.5-12.
4. Zavgorodnyaya V.V. Osobennosti finansovogo i organizacionnogo obespecheniya nauchno-issledovatel'skikh rabot v Rossii / V.V. Zavgorodnyaya // Audit i finansovyj analiz. – 2018. – № 1. – S. 185-191.
5. Ivanov V.A., Ponomareva A.S. Metodologicheskie osnovy ustojchivogo razvitiya agrarnogo sektora / V.A. Ivanov, A.S. Ponomareva // Ekonomicheskie i social'nye peremeny: fakty, tendencii, prognoz. – 2011. – № 4 (16). – S. 109-121.
6. Innovacionnoe razvitie predpriyatij agropromyshlennogo sektora: monografiya / L.A. Molchanova, D.P. Kravchenko. – Belgorod : BelGAU, 2021. – 260 s.
7. Innovacionnoe razvitie Rossijskoj Federacii v 2020 godu. Otchet FGBNU NII RINKCE. – Moskva. – 2021. – 30 s.
8. Nauka, tekhnologii, innovacii. Ekspress informaciya Instituta statisticheskikh issledovanij i ekonomiki znaniy NIU VSHE. – Data vypuska 09.09.2021 g. [Elektronnyj resurs]. URL: <https://issek.hse.ru>
9. Ushachev I.G., Kolesnikov A.V., Shekalin V.S. Razvitie innovacij – vazhnejshaya sostavlyayushchaya agrarnoj politiki Rossii // I.G. Ushachev, A.V. Kolesnikov, V.S. Shekalin // APK: ekonomika, upravlenie. – 2019. – № 5. – S. 22-31.
10. Ministerstvo sel'skogo hoz'yajstva RF [Oficial'nyj internet-portal]. URL: <http://www.mcx.ru>
11. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoj statistiki [Oficial'nyj internet-portal]. URL: <https://rosstat.gov.ru/>

#### Сведения об авторах

Кравченко Дмитрий Павлович, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 39-26-69, e-mail: [dimkra54@yandex.ru](mailto:dimkra54@yandex.ru)

Акупиан Ольга Станиславовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 39-26-69, e-mail: [ol-ga71@mail.ru](mailto:ol-ga71@mail.ru)

#### Information about authors

Kravchenko Dmitriy Pavlovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, FSBEI HE Belgorod SAU, ul. Vavilova, d. 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-26-69, e-mail: [dimkra54@yandex.ru](mailto:dimkra54@yandex.ru)

Akupiyan Olga Stanislavovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, FSBEI HE Belgorod SAU, ul. Vavilova, d.1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-26-69, e-mail: [ol-ga71@mail.ru](mailto:ol-ga71@mail.ru)

УДК 338.486.41:64.011.34

*И.Н. Меренкова, З.В. Гаврилова*

## ОСОБЕННОСТИ ПРОВЕДЕНИЯ МОНИТОРИНГА ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА НА СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЯХ

**Аннотация.** Одним из направлений Госпрограммы по комплексному развитию сельских территорий является их методическое обеспечение и мониторинг. Новым предметом для исследований в этой области становится сельский человеческий капитал, поэтому особенно актуальна точная и своевременная его диагностика. Существующие системы мониторинга не позволяют отслеживать состояние сельского человеческого капитала из-за недостаточно сформированной информационной базы, несогласованности действий субъектов мониторинга, проблем его организации и проведения. Сделан вывод, что нет не только единого понимания сущности, человеческого капитала, но и наличия множества способов, как его оценивать или измерять. В этой связи важно сформировать систему мониторинга человеческого капитала, учитывающую сельские особенности, что и определило необходимость и целевую направленность настоящего исследования. Целью мониторинга человеческого капитала сельских территорий, как инструмента анализа и диагностики, является отслеживание и регулирование его развития, а объектом мониторинга выступают основные элементы (капитал здоровья, капитал образования, интеллектуальный капитал, трудовой капитал и т.д.). Исследуя имеющиеся проблемы и особенности человеческого капитала, обоснованы принципы, функции, задачи, этапы, а также основные положения проведения мониторинга: оценка параметров и определение степени дифференциации сельских территорий по уровню его развития, осуществление дифференцированного подхода к управлению сельскими территориями. Доказана необходимость формирования системы показателей, включающая количественные (статистические данные) и качественные показатели (полученные в результате анкетирования), позволяющие детализировать информацию о состоянии каждого элемента человеческого капитала. Итоги исследования представляют интерес для органов управления при разработке стратегий и программ социально-экономического развития муниципальных районов и сельских поселений.

**Ключевые слова:** сельские территории, человеческий капитал, мониторинг, информационная база, система показателей

## FEATURES OF HUMAN CAPITAL MONITORING IN THE RURAL AREAS

**Abstract.** One of the State Program directions for the integrated development of rural areas is their methodological support and monitoring. Rural human capital is becoming a new subject for research in this sphere, therefore, its accurate and timely diagnosis is especially relevant. Existing monitoring systems do not allow monitoring the state of rural human capital due to an insufficiently formed information base, inconsistency of actions of monitoring subjects, problems of its organization and conduct. It is concluded that there is not only a single understanding of the essence of human capital, but also the presence of many ways to evaluate or measure it. In this regard, it is important to form a human capital monitoring system that takes into account rural characteristics, which determined the need and the target orientation of this study. The purpose of monitoring the human capital of rural areas, as an analysis and diagnostic tool, is to monitor and regulate its development, and the main elements (health capital, education capital, intellectual capital, labor capital, etc.) are the object of monitoring. Investigating the existing problems and features of human capital, the principles, functions, tasks, stages, as well as the main conditions of monitoring are substantiated: assessment of parameters and determination of the degree of differentiation of rural territories by the level of its development, implementation of a differentiated approach to rural territories management. The necessity of forming a system of indicators, including quantitative (statistical data) and qualitative indicators (obtained as a result of a questionnaire), allowing to detail information about the state of each element of human capital, is proved. The results of the study are of interest to the governing bodies when developing strategies and programs for the socio-economic development of municipal districts and rural settlements.

**Keywords:** rural territories, human capital, monitoring, information base, system of indicators

### **Введение.**

Возрастающая дифференциация сельских территорий по уровню их развития создает социально-экономическую напряженность и является фактором риска для сохранения их территориальной целостности. Проведение экономических преобразований и структурной перестройки повлекло за собой усиление не только межрегиональных, но и внутрирегиональных различий. Продолжается процесс расслоения сельских территорий из-за углубления различий между городом и селом, а также неравномерности реформирования сельской экономики.

Существенные изменения в социально-экономическом развитии сельских территорий связаны не только с концентрацией ресурсов в одних сельских муниципальных образованиях при существенном дефиците в других, но и с преобразованием систем расселения населения и особенностями организации производства. Уровень развития и конкурентные преимущества сельских муниципальных образований в немалой степени зависят от использования человеческого капитала местных жителей (здоровье, интеллект, образование, трудовые мотивации, мобильность, активность и т.д.). Именно население, обладающее определенным историческим опытом, традициями, культурным и образовательным уровнем и профессиональной подготовкой, способно активно преобразовывать и развивать сельские территории.

На фоне достаточно широко представленных работ по развитию сельских территорий, на муниципальном уровне практически отсутствует мониторинг сельского человеческого капитала, недостаточно согласованы действия субъектов мониторинга, отсутствует единая система показателей, существуют проблемы правового, организационного и методического обеспечения проведения мониторинга. Кроме этого, при изучении человеческого капитала продолжает оставаться открытым вопрос не только единого понимания его сущности, но и наличия множества способов, как его оценивать или измерять. Тем не менее, простая оценка или анализ не способны измерить и отобразить состояние и развитие человеческого капитала во времени и пространстве, поэтому требуется иной комплексный подход. Таким подходом может стать мониторинг, в рамках которого будут создаваться и регулироваться информационные потоки, устанавливаться необходимые уровни осведомленности специалистов и руководства, своевременно собираться и обрабатываться качественная информация о человеческом капитале.

**Изложение основного материала исследований и его обсуждение.** Основные теоретико-методологические наработки в сфере развития человеческого капитала находят отражение в различных трудах отечественных и зарубежных авторов, результаты научных работ которых создают необходимую базу для изучения человеческого капитала сельских территорий. Однако несмотря на то, что мониторинг признается важным элементом системы управления, в научной литературе все еще остается мало изученными вопросы формирования собственных специфических предметных областей, в т.ч. и сельских территорий.

Проведенное исследование показало, что, с одной стороны, мониторинг часто соотносят с такими категориями, как диагностика, анализ, оценка и т.д., с другой стороны, исследователи указывают, что мониторинг объединяет в себе такие важнейшие функции управления как наблюдение, анализ, оценку и прогнозирование [6].

Выделим особенности мониторинга, отличающие его от выше указанных категорий (табл. 1):

- мониторинг предполагает регулярное отслеживание изменений на протяжении 1-5 и более лет, а диагностика, анализ и оценка подразумевают разовое проведение;
- мониторинг – целенаправленная специальная система, которая может включать наблюдение, анализ, оценку, а также прогнозирование;
- при проведении мониторинга особое внимание уделяют особенностям протекания какого-либо исследуемого процесса или развитие объекта во времени и пространстве, тогда как в оценке, анализе и диагностике важен конечный результат.
- мониторинг может осуществляться везде, где необходимо сравнение фактического состояния какой-либо системы с намеченным (идеальным) состоянием, чего анализ, оценка и диагностика не предполагают.

Ключевое отличие заключается в том, что мониторинг может регулярно проводиться в течение длительного срока, в то время как диагностика, анализ и оценка представляют собой разовые явления, дающие одномоментную характеристику исследуемого объекта и, как правило, не подразумевают под собой вынесение обоснованных управленческих решений в какой-либо области жизнедеятельности общества.

**Таблица 1 – Принципиальные отличия мониторинга от близких по смыслу категорий**

Основные признаки	Мониторинг	Диагностика	Анализ	Оценка
Происхождение слова	лат. monitor – напоминание, контроль	др.-греч. διαγνωστικός – распознавание, определение	др.-греч. ἀνάλυσις – разложение, расчленение	др.-греч. φορτίων – ценность, стоимость
Цель	Отслеживание изменений для выявления соответствия заданным установкам	Обнаружение проблем, «узких мест» в функционировании объекта	Фиксирование особенностей, отличающих части друг от друга	Определение количественных или качественных параметров объекта
Формирование результата	За счет сбора, хранения и анализа информации о состоянии объекта	Посредством принятия обоснованного решения (постановки диагноза)	Путем объединения в единое целое разрозненных и рассмотренных элементов	На основе сравнения характеристик объекта
Отличительная особенность	Система управления, включающая в себя механизм реагирования на отклонения	Определение причинно-следственных связей в объекте, их структуры, целенаправленности и тесноты	Всестороннее, детальное рассмотрение объекта и его частей	Установление значимости параметров объекта в соответствии с определенными нормами
Результат	Принятие обоснованного управленческого решения		Общий вывод из частных заключений	Соотнесение с принятым критерием или нормой
Периодичность	Регулярное	Единовременное		

Источник: составлено авторами

Проведение любого мониторинга можно представить, как процесс (последовательность процедур управления или наблюдение за состоянием изучаемого процесса) [1, 2 и др.] и как систему (комплексное отслеживание развития и характера изменений объекта) [8, 7 и др.]. В любом случае он способствует принятию обоснованного управленческого решения. Направленность мониторинга зависит от сферы его применения и особенностей объекта изучения – сельского человеческого капитала:

1. Сельский человеческий капитал формируется в условиях сельского образа жизни со свойственным ему уровнем социальной и культурной институционализации, он реализуется в социально-экономической деятельности, свойственной данной территории, и обеспечивает получение дохода его носителями.

2. Человеческий капитал сельских территорий является фундаментальной основой сельской экономики, выступая совокупностью индивидуальных и профессиональных характеристик сельского населения, оказывающих действенное влияние на устойчивое социально-экономическое развитие сельских территорий.

3. Сельский человеческий капитал может рассматриваться как основополагающий фактор развития сельских территорий, включающий совокупность знаний, опыта, профессиональных компетенций, культурных и духовных ценностей, которыми обладает сельское население.

4. Человеческий капитал сельских территорий отражает трудоспособность субъектов, проживающих на определенной территории, заданную их природными характеристиками, а также являющуюся объектом и результатом постоянного воздействия факторов внешней и внутренней среды.

Обозначенные выше особенности влияют на возникновение следующих проблем:

- моноспециализация сельской экономики повлекла за собой узкоспециализированную направленность развития сельского человеческого капитала как производственного фактора;

- отсутствие возможностей для реализации профессиональных качеств и личных амбиций на селе привело к частичной потере культурных ориентиров и активизации асоциальных процессов развития сельского человеческого капитала;

- отсутствие предварительных специализированных научных исследований перед внедрением инновационных технологий на селе и слабый отклик на них сельского населения привели к низкой организационно-предпринимательской активности и большему распространению низкоквалифицированного труда в сельской экономике.

Диагностирование данных проблем возможно осуществить путем проведения мониторинга человеческого капитала сельских территорий, который в настоящее время в полной мере не осуществляется, можно только отметить фрагментарные попытки отслеживания уровня жизни сельского населения. Поэтому, на наш взгляд, без проведения такого мониторинга невозможно эффективно реализовывать политику управления сельским человеческим капиталом. Прежде всего, это связано с тем, что достижение качественного уровня его развития невозможно без наличия полной, своевременной и объективной информации о социальных и экономических процессах, протекающих в сельской местности. Данная информация является необходимым условием для организации контроля за эффективностью проводимых государственной властью мероприятий в области воспроизводства сельского человеческого капитала [10].

Целью мониторинга сельского человеческого капитала является отслеживание и регулирование его формирования и развития. В качестве объекта мониторинга человеческого капитала сельских территорий выступают его подсистемы или элементы (капитал здоровья, капитал образования, интеллектуальный капитал, трудовой капитал и т.д.).

В связи с необходимостью регулярного (а не эпизодического) проведения мониторинга сельского человеческого капитала (т.е. с выявлением на постоянной основе отклонений или происходящих изменений) предметом мониторинга будет выступать состояние формирования и функционирования сельского человеческого капитала в определенные периоды времени, а также конкретные изменения в его элементах [9].

Задачи мониторинга сельского человеческого капитала включают:

- систематическую организацию наблюдения, получения полной, объективной информации о состоянии сельского человеческого капитала;
- проведение ранней диагностики негативных процессов в развитии сельского человеческого капитала;
- определение с помощью экспертов уровня развития человеческого капитала конкретной сельской территории;
- выработку сценариев развития и совершенствования человеческого капитала.

Среди специфических принципов, на которых должно базироваться проведение мониторинга сельского человеческого капитала, можно выделить: целенаправленность; системность; комплексность; непрерывность и плановость; ориентированность на развитие.

Функциями мониторинга сельского человеческого капитала являются:

- информационная – систематическая организация наблюдения, получения полной, объективной информации о сельском человеческом капитале;
- диагностическая – проведение ранней диагностики негативных процессов состояния сельского человеческого капитала;
- экспертная – определение с помощью мнений экспертов уровня развития человеческого капитала сельских территорий с использованием показателей, отражающих качественную сторону объекта исследования;
- регулирующая – выработка сценариев формирования и развития сельского человеческого капитала.

Из-за ограниченности открытого доступа и частичного отсутствия полной и достоверной статистической информации о состоянии сельского человеческого капитала важно сформировать базу данных мониторинга, которая будет включать систему статистических показателей, отражающим его специфику: количественные (статистические данные) и качественные показатели (полученные в результате анкетирования) с выделением элементов человеческого капитала.

Количественные показатели позволяют провести оценку: капитала здоровья (возможность получения квалифицированной медицинской помощи), капитала образования (доступ к качественному обучению), трудового капитала (реализация профессиональных навыков и карьерный рост), интеллектуального капитала (адаптация к процессам интеллектуализации и цифровизации общества), социального капитала (наличие культурно-досуговых возможностей для развития личности), организационно-предпринимательского капитала (осуществимость самореализации с целью получения дохода).

Качественные показатели характеризуют удовлетворенность сельских жителей: состоянием здоровья и оказываемой медицинской помощью (капитал здоровья), качеством дошкольного, среднего общего и высшего образования (капитал образования), реализацией профессионально-квалификационных навыков (трудоустройство), использованием имеющегося интеллектуального потенциала (интеллектуальный капитал), сложившимся уровнем жизни и достигнутым уровнем социальной справедливости (социальный капитал), условиями для осуществления предпринимательской деятельности (организационно-предпринимательский капитал).

Мониторинг человеческого капитала сельских территорий целесообразно построить, исходя из следующих положений:

1. Оценить параметры состояния сельского человеческого капитала.
2. Выявить проблемы сельских территорий, влияющие на формирование и использование человеческого капитала.
3. Идентифицировать тип сельских территорий в зависимости от уровня их развития
4. Определить степень дифференциации сельских территорий по уровню развития человеческого капитала для выравнивания существующих дисбалансов.
5. Осуществить дифференцированный подход к управлению сельскими муниципальными образованиями на основе их типизации по уровню человеческого капитала.

На основе проведения мониторинга человеческого капитала сельских территорий на муниципальном уровне будут получены следующие результаты:

- сформирована достоверная информационная база о состоянии сельского человеческого капитала в разрезе муниципальных образований;
- оценены уровень сельского человеческого капитала и степень пространственной локализации сельских территорий;
- выявлено влияние уровня пространственной локализации сельских территорий на формирование человеческого капитала;
- обоснованы эффективные мероприятия по развитию сельского человеческого капитала;
- разработаны стратегические направления социальной политики на сельских территориях.

Таким образом, вопросы мониторинга человеческого капитала, связанные со спецификой сельских территорий, являются смежными по своей проблематике и должны стать неделимыми элементами методического инструментария его проведения, ориентированного на своевременную идентификацию сложившейся дифференциации территорий с целью снижения диспропорций в их пространственной организации, что позволит повысить обоснованность принимаемых управленческих решений по развитию человеческого капитала как отдельных сельских муниципальных образований, так и региона в целом.

### **Заключение.**

Исследование генезиса и понимания сущности мониторинга позволили сделать вывод о принципиальных отличиях мониторинга от близких по смыслу категорий: диагностика, анализ и оценка. В связи с этим, изучив понятийно-категориальный аппарат, нами обобщены и систематизированы представления научного сообщества о сущности мониторинга по трем направлениям: классическое – непрерывное наблюдение за состоянием изучаемого процесса; процессное – последовательность управленческих процедур; системное – организованное отслеживание количественных и качественных изменений объекта.

Обоснованы особенности, принципы, функции, задачи и этапы проведения мониторинга сельского человеческого, реализация которых направлена на измерение уровня человеческого капитала по основным элементам. Проведение мониторинга человеческого капитала сельских территорий строится на таких принципах, как организованность (выделяется объект, предмет, цель мониторинга и субъекты сетевого взаимодействия), процедурность (формируются этапы проведения мониторинга), инструментарность (определяется информационная база по элементам сельского человеческого капитала и система обеспечения, связанная с его особенностями).

Предложена комплексная система показателей оценки человеческого капитала сельских территорий, которая включает количественные (статистические данные) и качественные показатели (полученные в результате анкетирования), позволяющие детализировать информацию о состоянии каждого элемента человеческого капитала (трудового, интеллектуального, социального, организационно-предпринимательского, капитала здоровья и образования).

Мониторинг как инструмент анализа и диагностики сельского человеческого капитала позволит принимать более эффективные управленческие решения в случае необходимости точечного и оперативного регулирования вопросов воспроизводства человеческого капитала, что, в конечном итоге, должно способствовать совершенствованию системы управления сельским развитием.

#### Библиография

1. Елисеева И.И. Популярный экономико-статистический словарь справочник. – М. : 1993. – 281 с.
2. Загрядских С., Антосенков Е., Петров О. Мониторинг как инструмент управления социально-экономическим развитием региона // Управление развитием региона и города: Материалы межрегиональной научно-практической конференции, октябрь 1999 г. – М. : Изд-во РАГС, 2000. – 222 с.
3. Закшевский В.Г., Гаврилова З.В. Методические подходы к измерению человеческого капитала сельских территорий // Продовольственная политика и безопасность. – 2019. – Том 6. – № 4. – С. 203-218.
4. Закшевский В.Г., Меренкова И.Н., Новикова И.И., Кусмагамбетова Е.С. Методический инструментарий диагностики диверсификации сельской экономики // Экономика региона. – 2019. – Т. 15. – № 2. – С. 520-533.
5. Закшевский В.Г., Новикова И.И. Измерение и мониторинг человеческого капитала сельских территорий // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. – 2020. – № 4 (61). – С. 3-11.
6. Кузьмин М.Н. Мониторинг как составная часть информационного обеспечения процесса управления [Электронный ресурс]. – URL: [http://sisupr.mrsu.ru/2009-1/pdf/17\\_Kuzmin.pdf](http://sisupr.mrsu.ru/2009-1/pdf/17_Kuzmin.pdf) (дата обращения: 03.06.2022)
7. Масленникова Н.Ю., Слинкова О.К. Понятие и сущность мониторинга с позиции системного подхода // ScienceTime. – 2014. – № 6 (6). – С. 110-121.
8. Мониторинг и оценка в условиях программно-целевого управления региональным развитием / под общ. ред. И.Е. Никулиной, И.В. Хоменко. – Томск : Дельтаплан, 2004. – 193 с.
9. Ускова Т.В., Прокофьева Э.О. Основные направления мониторинга социально-экономического развития г. Вологды // Экономические и социальные перемены в регионе: факты, тенденции, прогноз. – 2001. – Вып. 14. – С. 59-68.
10. Anichin V.L., Merenkova I.N., Dopbrunova A.I., Petrosov D.A., Epifantsev N.P. Monitoring of integrated rural development in Russia // Journal of critical reviews. – 2020. – Vol. 7 (4). – Pp. 2116-2020.

#### References

1. Eliseeva I.I. Populyarnyj ekonomiko-statisticheskij slovar' spravochnik [Popular Economic and statistical dictionary' handbook]. – М. : 1993. – 281 s.
2. Zagryadskih S., Antosenkov E., Petrov O. Monitoring kak instrument upravleniya social'no-ekonomicheskim razvitiem regiona [Monitoring as a tool for managing the socio-economic development of the region] // Upravlenie razvitiem regiona i goroda: Materialy mezhhregional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, oktyabr' 1999 g. – М. : Izd-vo RAGS, 2000. – 222 s.
3. Zakshevskij V.G., Gavrilova Z.V. Metodicheskie podhody k izmereniyu chelovecheskogo kapitala sel'skih territorij [Methodological approaches to the measurement of human capital in rural territories] // Prodovol'stvennaya politika i bezopasnost'. – 2019. – Tom 6. – № 4. – S. 203-218.
4. Zakshevskij V.G., Merenkova I.N., Novikova I.I., Kusmagambetova E.S. Metodicheskij instrumentarij diagnostiki diversifikacii sel'skoj ekonomiki [Methodological tools for diagnostics of rural economy diversification] // Ekonomika regiona. – 2019. – T. 15. – № 2. – S. 520-533.
5. Zakshevskij V.G., Novikova I.I. Izmerenie i monitoring chelovecheskogo kapitala sel'skih territorij [Measurement and monitoring of human capital in rural territories] // Ekonomika, trud, upravlenie v sel'skom hozyajstve. – 2020. – № 4 (61). – S. 3-11.

6. Kuz'min M.N. Monitoring kak sostavnaya chast' informacionnogo obespecheniya processa upravleniya [Monitoring as an integral part of the information support of the management process] [Elektronnyj resurs]. – URL: [http://sisupr.mrsu.ru/2009-1/pdf/17\\_Kyzmin.pdf](http://sisupr.mrsu.ru/2009-1/pdf/17_Kyzmin.pdf) (data obrashcheniya: 03.06.2022)

7. Maslennikova N.Yu., Slinkova O.K. Ponyatie i sushchnost' monitoringa s pozicii sistemnogo podhoda [The concept and essence of monitoring from the perspective of a systematic approach] // ScienceTime. – 2014. – № 6 (6). – S. 110-121.

8. Monitoring i ocenka v usloviyah programmno-celevogo upravleniya regional'nym razvitiem [Monitoring and evaluation in the context of program-targeted management of regional development] / pod obshch. red. I.E. Nikulinoj, I.V. Homenko. – Tomsk : Del'taplan, 2004. – 193 s.

9. Uskova T.V., Prokof'eva E.O. Osnovnye napravleniya monitoringa social'no-ekonomicheskogo razvitiya g. Vologdy [The main directions of monitoring the socio-economic development of Vologda] // Ekonomicheskie i social'nye peremeny v regione: fakty, tendencii, prognoz. – 2001. – Вып. 14. – S. 59-68.

10. Anichin V.L., Merenkova I.N., Dopbrunova A.I., Petrosov D.A., Epifantsev N.P. Monitoring of integrated rural development in Russia // Journal of critical reviews. – 2020. – Vol. 7 (4). – Pp. 2116-2020.

#### **Сведения об авторах**

Меренкова Ирина Николаевна, доктор экономических наук, профессор, профессор кафедры экономического анализа, статистики и прикладной математики, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ им. Императора Петра I, ул. Мичурина, д.1, г. Воронеж, Россия, 394087; профессор кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, т. +79515544841, e-mail: upr-nii@yandex.ru

Гаврилова Зоя Вадимовна, кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник отдела управления АПК и сельскими территориями НИИЭОАПК ЦЧР - филиал ФГБНУ «Воронежский ФАНЦ им. В.В. Докучаева», ул. Серафимовича, д. 26 а, г. Воронеж, Россия, 394042, т. +79518735653, e-mail: zoya0203@yandex.ru

#### **Information about authors**

Merenkova Irina Nikolaevna, doctor of economical sciences, professor, professor of the Department of Economic Analysis, Statistics and Applied Mathematics, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter I, Michurina str., 1, Voronezh, Russia, 394087; professor of the Department of Economics, Belgorod State Agrarian University, Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, t. +79515544841, e-mail: upr-nii@yandex.ru

Gavrilova Zoya Vadimovna, candidate of economical sciences, leading researcher of the Dept. of Management of Agro-Industrial Complex and Rural Territories RIEOAIC of CBER – branch of FGSI «Voronezh FASC named after V.V. Dokuchaev», Serafimovicha str., 26A, Voronezh, Russia, 394042, t. +79518735653, e-mail: zoya0203@yandex.ru

## 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 также 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 (не задавать пробелами), формат – книжный. Если статья была или будет отправлена 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 (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.

**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 12 pt; for registration of tables titles, drawings, charts, block diagrams and other illustrations - Times New Roman, usual, size is 10 pt; for notes and footnotes - Times New Roman, usual, size 10 pt. For registration of the bibliography, data on authors, summaries and keywords the size is 10 pt, a line spacing is 1,0. Edges above and below, right and left are 2 cm, the paragraph is 1,00 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 zernovyh kul'tur v CCHZ / N.A. Sidel'nikova, L.G. Gavrilenko // Sbornik nauchnyh 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: svc.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.