

ISSN 2078–1318

**ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

№ 1 (75)



**IZVESTIYA
SAINT-PETERSBURG STATE
AGRARIAN UNIVERSITY**

2024

ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО
АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

№ 1 (75)



IZVESTIYA
SAINT-PETERSBURG STATE
AGRARIAN UNIVERSITY

2024

**ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА**

Рецензируемый научный журнал
4 номера в год
№ 1 (75)

Журнал зарегистрирован в Федеральной службе по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия
Свидетельство о регистрации средства массовой информации
ПИ № ФС77-26051 от 18 октября 2006 г.

Журнал входит в перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий,
рекомендованных ВАК РФ для публикации результатов кандидатских
и докторских исследований

Журнал содержит материалы по основным разделам аграрной науки.
В нем представлены результаты научных исследований и внедрения разработок
в сельскохозяйственное производство
Издаётся с 2004 г.

Учредитель – федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»

IZVESTIYA SAINT-PETERSBURG STATE AGRARIAN UNIVERSITY

Peer-reviewed scientific journal
4 issues per year
№ 1 (75)

Journal is registered
in the Federal service on supervision for legislation compliance in the sphere
of mass communications and cultural heritage protection
The registration certificate of mass media
ПИ № FS77-26051 on October 18, 2006

The journal is included into the list of leading reviewed scientific journals and publications recommended
by the Higher Certification Commission of RF for the results publication of candidate
and doctoral research papers

Journal contains materials on main sections of agricultural science.
It presents research results and development implementation results into agricultural production

Published since 2004

Founder – Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State
Agrarian University"

ИЗВЕСТИЯ САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Рецензируемый научный журнал
4 номера в год
№ 1 (75)

Главный редактор
Морозов Виталий Юрьевич
Доктор ветеринарных наук, профессор, ректор

Заместитель главного редактора
Колесников Роман Олегович
Кандидат ветеринарных наук, проректор
по научной, инновационной и международной работе

Выпускающий редактор
Мельникова Дарья Андреевна
Кандидат исторических наук

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Атрощенко Геннадий Парфёнович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Афанасенко Ольга Сильвестровна, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, профессор, заведующая лабораторией иммунитета растений к болезням ФГБНУ ВИЗР;

Беззубцева Марина Михайловна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой энергообеспечения предприятий и электротехнологий ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Болгов Анатолий Ефремович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры зоотехния, рыбоводство, агрономия и землеустройство ФГБОУ ВО ПетрГУ;

Брюханов Александр Юрьевич, доктор технических наук, доцент, член-корреспондент Российской академии наук, директор ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

Ганусевич Фёдор Фёдорович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Гаспарян Ирина Николаевна, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, профессор кафедры эксплуатации машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

Долженко Виктор Иванович, академик Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, руководитель Центра биологической регламентации использования пестицидов ФГБНУ ВИЗР;

Долженко Татьяна Васильевна, доктор биологических наук, доцент, доцент кафедры защиты и карантина растений ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Донских Нина Александровна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой земледелия и луговодства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Епимахова Елена Эдугартовна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор базовой кафедры частной зоотехнии, селекции и разведения животных ФГБОУ ВО Ставропольский ГАУ;

Иванов Алексей Иванович, член-корреспондент Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник, заведующий отделом физико-химической мелиорации и опытного дела ФГБНУ АФИ;

Карташевич Анатолий Николаевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой тракторов, автомобилей и машин для природоустройства УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»;

Киру Степан Димитрович, доктор биологических наук, профессор кафедры растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Лаврищев Антон Викторович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой почвоведения и агрохимия им. Л.Н. Александровой ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Лаптев Георгий Юрьевич, доктор биологических наук, директор ООО «Биотроф»;

Левшин Александр Григорьевич, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой эксплуатации машинно-тракторного парка и высоких технологий в растениеводстве ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

Митюков Алексей Савельевич, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник, ФГБУН СПб ФИЦ РАН;

Монахос Сократ Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой ботаники, селекции и семеноводства садовых растений ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

Новиков Михаил Алексеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Осипова Галина Степановна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Павлюшин Владимир Алексеевич, академик Российской академии наук, доктор биологических наук, главный научный сотрудник, заведующий лабораторией микробиологической защиты растений ФГБНУ ВИЗР;

Парлюк Екатерина Петровна, доктор технических наук, доцент, заместитель заведующего кафедрой тракторов и автомобилей ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА имени К.А. Тимирязева;

Персикова Тамара Филипповна, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой почвоведения УО «Белорусская государственная орденов Октябрьской Революции и Трудового Красного Знамени сельскохозяйственная академия»;

Попов Владимир Дмитриевич, академик Российской академии наук, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник отдела агроэкологии в растениеводстве ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

Ракутько Сергей Анатольевич, доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией энергоэффективных электротехнологий ИАЭП – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ;

Рогозина Елена Вячеславовна, доктор биологических наук, заведующий, научный сотрудник отдела генетических ресурсов картофеля ФГБНУ ВИР;

Ружьев Вячеслав Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, декан Инженерно-технологического факультета, ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Салеева Ирина Павловна, член-корреспондент Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий лабораторией технологии производства мяса птицы ФНЦ «ВНИТИП» РАН;

Сафронов Сергей Леонидович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ветеринарной гигиены, кормления и разведения животных ФГБОУ ВО СПбГУВМ;

Смелик Виктор Александрович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технических систем в агробизнесе ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Смыков Анатолий Владимирович, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, главный научный сотрудник лаборатории южных плодовых и орехоплодных культур, Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Ордена Трудового Красного Знамени Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН»;

Сорокопудов Владимир Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры декоративного садоводства и газоноведения ФГБОУ ВО РГАУ – МСХА им. К.А. Тимирязева;

Спиридонов Анатолий Михайлович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологий хранения и переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО СПбГАУ;

Станишевская Ольга Игоревна, доктор биологических наук, руководитель отдела генетики, разведения и сохранения генетических ресурсов сельскохозяйственных птиц ВНИИГРЖ ФГБНУ «ФИЦЖ – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»;

Терлецкий Валерий Павлович, доктор биологических наук, профессор, главный научный сотрудник лаборатории молекулярной генетики ВНИИГРЖ ФГБНУ «ФИЦЖ – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста»;

Чесноков Юрия Валентинович, доктор биологических наук, директор ФГБНУ АФИ;

Юдаев Игорь Викторович, доктор технических наук, профессор кафедры применение электроэнергии ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ;

Якушев Виктор Петрович, академик Российской академии наук, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий отделом моделирования адаптивных агротехнологий ФГБНУ АФИ.

IZVESTIYA OF SAINT-PETERSBURG STATE AGRARIAN UNIVERSITY

Peer-reviewed scientific journal

4 issues per year

№ 1 (75)

Editor-in-Chief

Morozov Vitaliy Yurievich

Doctor of Veterinary Sciences, Professor, Rector

Deputy Editor-in-Chief

Kolesnikov Roman Olegovich

Candidate of Veterinary Sciences, Vice-Rector for Scientific,
Innovative and International Work

Executive Journal Editor

Mel'nikova Darya Andreevna

Candidate of Historical Sciences

EDITORIAL BOARD

- Atroshchenko Gennady Parfyonovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Fruit and Vegetable Growing and Ornamental Gardening, FSBEI HE SPbSAU;
- Afanasenko Olga Sylvestrovna**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Plant Immunity to Diseases, FSBSI VIZR;
- Bezzubtseva Marina Mikhailovna**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Energy Supply of Enterprises and Electrical Technologies, FSBEI HE SPbSAU;
- Bolgov Anatoly Efremovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Acting Head of the Department of Animal Science, Fish Farming, Agronomy and Land Management, FSBEI PetrSU;
- Ganusevich Fedor Fedorovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Crop Research named after. I. A. Stebut, FSBEI HE SPbSAU;
- Gasparyan Irina Nikolaevna**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Professor of the Department of Machine and Tractor Fleet Operation and High Technologies in Crop Production, FSBEI HE RSAU – MTAA;
- Dolzhenko Victor Ivanovich**, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Center of Biological Regulation of Pesticides Use, FSBSI VIZR;
- Dolzhenko Tatiana Vasilevna**, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Protection and Quarantine, FSBEI HE SPbSAU;
- Donskikh Nina Alexandrovna**, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Farming and Grassland Research, FSBEI HE SPbSAU;
- Elena Edugartovna Epimakhova, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the basic department "Private Zootechnics, Breeding and Animal Breeding", FSBEI VO Stavropol State Agrarian University;
- Ivanov Aleksey Ivanovich**, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Department of Physical and Chemical Melioration and Experimental Studies, FSBSI ARI;
- Kartashevich Anatoly Nikolaevich**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Tractors, Cars and Machines for Nature Management, EI «Belarusian State Agricultural Academy»;
- Karynbaev Amanbai Kambarbekovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, LLP «South-West Scientific Research Institute of Livestock and Plant Production»;
- Kiru Stepan Dimitrovich**, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Plant Growing named after. I. A. Stebut, FSBEI HE SPbSAU;
- Lavrishchev Anton Viktorovich**, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L.N. Alexandrova, FSBEI HE SPbSAU;
- Laptev Georgy Yurievich**, Doctor of Biological Sciences, Director of LLC «Biotrof»;

Levshin Alexander Grigorievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department "Operation of Tractor Machines and High Technologies in Crop Production" RSGAU-MSKHA;

Mityukov Alexey Savelyevich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Senior Researcher, FGBUN SPb FIC RAS;

Monakhos Sokrat Grigorievich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Breeding and Seed Production of Garden Plants, FSBEI HE RSAU – MTAA;

Novikov Mikhail Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, FSBEI HE SPbSAU;

Osipova Galina Stepanovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Fruit and Vegetable Cultivation and Ornamental Gardening, FSBEI HE SPbSAU;

Pavlyushin Vladimir Alekseevich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Biological Sciences, Chief Researcher, Head of the Laboratory of Microbiological Plant Protection, FSBSI VIZR;

Parlyuk Ekaterina Petrovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Deputy Head of the Department of Tractors and Automobiles, FSBEI HE RSAU – MTAA;

Persikova Tamara Fillipovna, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Soil Science, EI «Belarusian State Agricultural Academy»;

Popov Vladimir Dmitrievich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, of IEEP – branch of FSBSI FSAC VIM;

Rakutko Sergey Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Energy Efficient Electrotechnologies, IEEP – branch of FSBSI FSAC VIM;

Rogozina Elena Vyacheslavovna, Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher of the Department of Potato Genetic Resources, FSBSI VIR;

Ruzhyev Vyacheslav Anatolievich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Technical Systems, Service and Energy, FSBEI HE SPbSAU;

Saleeva Irina Pavlovna, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Laboratory of Poultry Meat Production Technology, FSC ARRTPI RAS;

Safronov Sergey Leonidovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Veterinary Hygiene, Feeding and Breeding of Animals, SPbGUVM

Smelik Viktor Alexandrovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Technical Systems in Agribusiness, FSBEI HE SPbSAU;

Smykov Anatoly Vladimirovich, Doctor of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Chief Researcher of the Laboratory of Southern Fruit and Nut Crops, Federal State Budgetary Scientific Institution "Order of the Red Banner of Labor Nikitsky Botanical Garden – National Research Center RAS;

Sorokopudov Vladimir Nikolaevich, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Professor of the Department of Ornamental Horticulture and Lawn Science, FSBEI HE RSAU – MTAA named after K.A. Timiryazev;

Spiridonov Anatoly Mikhailovich, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Storage Technology and Processing of Agricultural Products, FSBEI HE SPbSAU;

Stanishevskaya Olga Igorevna, Doctor of Biological Sciences, Head of the Department of Genetics, Breeding and Conservation of Genetic Resources of Agricultural Poultry, All-Russian Research Institute of Plant Breeding, FSBSI «L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry»;

Terletsky Valery Pavlovich, Doctor of Biological Sciences, Professor, Chief Researcher, Laboratory of Molecular Genetics, All-Russian Research Institute of Plant Breeding, FSBSI «L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry»;

Yudaev Igor Viktorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Electricity Use, FSBEI HE Kuban GAU;

Yakushev Victor Petrovich, Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Modeling Adaptive Agricultural Technologies, FSBSI ARI.

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ, ЛЕСНОЕ И ВОДНОЕ ХОЗЯЙСТВО

Носевич М.А., Аль Мерри Ж. Биометрические показатели стебля раннеспелых сортов льна-долгунца (<i>Linum usitatissimum L.</i>) в условиях Ленинградской области	9
Осипов А.И., Воробьев Н.И. Влияние сыромолотого доломита на кислотность дерново-подзолистой почвы и урожай козлятника восточного.....	17
Царенко В.П., Уланов Н.А., Уланов А.Н. Агроэкологическая оценка дренажно-сбросных болотных вод на старопахотных низинных торфянных и выработанных почвах северо-востока Европейской части России	27
Аль-Малики А.А.С., Исави М.Б.А., Хилевский В.А. Защита пшеницы озимой от вредных организмов	36
Агапова П.В., Киселёв М.В., Фрейдкин И.А. Оценка биологической эффективности применения обесфторенного фосфогипса в качестве удобрения в последствии.....	48
Хауз С.Х., Лебедев В.Н., Родичева Т.В. Продуктивность и качество зерна яровой пшеницы сорта Злата при инокуляции биопрепаратами на разном фоне минерального питания.....	58
Ануфриева В.С., Долженко Т.В., Долженко О.В. Биологическая эффективность инсектицидов на основе тиаметоксама и хлорантронилипрола на яблоне.....	67
Пуць Н.М. Агротехнические приемы выращивания малораспространенных видов капусты в Ленинградской области.....	77

ЗООТЕХНИЯ И ВЕТЕРИНАРИЯ

Скакунова К.А., Грачев В.С., Брагинец С.А. Интенсивность онтогенеза и молочная продуктивность первотелок голштинской породы	87
Олонцев В.А., Уколов П.И., Шараськина О.Г. Динамика молочных показателей за период 2013-2021 в селекционной популяции голштинского скота племенного завода.....	95

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Черных А.Г. Определение зоны смачивания дождевателя в круговых самоходных дождевальными установках	105
Берденников Е.А. Исследование прочности клеевого соединения в шейках коленчатого вала сельскохозяйственного трактора, восстановленных приклеиванием стальных полукольцевых накладок.....	115
Серебряков А.С., Дулепов Д.Е., Осокин В.Л. Математическая модель электромагнитных процессов при включении силового трансформатора системы электроснабжения АПК на холостом ходу.....	127
Ракутько С.А., Гулин С.В. Применение метода конечных отношений к энергетическому анализу этапов технологического процесса облучения в оптических электротехнологиях.....	141
Хабиров Ф.Ф., Вохмин В.С. Моделирование работы термоэлектрического генератора в программном комплексе Ansys Workbench	151

CONTENTS

AGRONOMY, FORESTRY AND WATER MANAGEMENT

Nosevich M.A., Merri J. Al. Biometric indices of stem of early maturing varieties of long-stalked flax (<i>Linum Usitatissimum L.</i>) under conditions of Leningrad Region.....	9
Osipov A.I., Vorobyev N.I. Effect of raw ground dolomite on sod-podzolic soil acidity and yield of Eastern Galega.....	17
Tsarenko V.P., Ulanov N.A., Ulanov A.N. Agroecological assessment of drainage-waste swamp waters on old-arable lowland peat and depleted soils of the North-East of the European part of Russia.....	27
Al-Maliki Ali A.S., Isawi Mohanad B.A., Khilevsky V.A. Protection of Winter Wheat against pests.....	36
Agapova P.V., Kiselev M.V., Freidkin I.A. Assessment of biological efficiency of application of defluorinated phosphogypsum as residual fertilizer.....	48
Khuaz S.H., Lebedev V.N., Rodicheva T.V. Productivity and grain quality of Spring Wheat variety Zlata when inoculated with biopreparations on different background of mineral nutrition.....	58
Anufrieva V.S., Dolzhenko T.V., Dolzhenko O.V. Biological effectiveness of insecticides based on thiamethoxam and Chlorantraniliprole on apple tree.....	67
Putz N.M. Agrotechnical methods of growing small-scale cabbage species in Leningrad Region.....	77

ANIMAL AND VETERINARY SCIENCE

Skakunova K.A., Grachev V.S., Braginets S.A. Ontogenesis intensity and milk productivity of Holstein first-calving cows.....	87
Olontsev V.A., Ukolov P.I., Sharaskina O.G. Dynamics of dairy indicators for the period 2013-2021 in the breeding population of Holstein cattle breeding farm.....	95

AGROENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGY

Chernykh A.G. Determination of sprinkler wetting zone in circular self-propelled sprinkler systems.....	105
Berdennikov E.A. Study of adhesive joint strength in the crankshaft joints of an agricultural tractor restored by adhesion of steel semi-ring linings.....	115
Serebryakov A.S., Dulepov D.E., Osokin V.L. Mathematical model of electromagnetic processes at switching on the power transformer of the power supply system of the agro-industrial complex at idle run.....	127
Rakutko S.A., Gulin S.V. Application of the finite ratio method to energy analysis of irradiation process steps in optical electrotechnologies.....	141
Khabirov F.F., Vokhmin V.S. Simulation of thermoelectric generator operation in Ansys Workbench software complex.....	151

Научная статья

УДК 633.521

Код ВАК: 4.1.1

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-9-16

БИОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТЕБЛЯ РАННЕСПЕЛЫХ СОРТОВ ЛЬНА-ДОЛГУНЦА (*LINUM USITATISSIMUM L.*) В УСЛОВИЯХ ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

М.А. Носевич¹✉, Ж. Аль Мерри¹

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
Пушкин, Санкт-Петербург, Россия
✉ mnosevich@yandex.ru

Реферат. Исследования по изучаемой теме проводились на малом опытном поле кафедры растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ в 2021-2022 гг. Объектами полевого эксперимента являлись раннеспелые сорта отечественной селекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum L.*) Зарянка, Пересвет и органоминеральные удобрения. Схема двухфакторного опыта включала 18 вариантов. Цель исследований – установить влияние органоминеральных удобрений на биометрические показатели стебля раннеспелых сортов льна-долгунца. Основная задача исследований состояла в определении влияния органоминеральных удобрений на биометрические показатели стебля раннеспелых сортов льна-долгунца. Погодные условия в годы проведения опытов были неодинаковыми. Гидротермический коэффициент в 2021 г. по сортам составил: 0,6 (Зарянка) и 0,93 (Пересвет), что характеризует вегетационный период культуры как засушливый. За вегетационный период льна-долгунца в 2022 г. ГТК составил 1,26 и 1,25 соответственно сортам, что характеризует (по Селянинову) данный вегетационный период как нормального увлажнения. При выполнении экспериментальной работы опыты проводили согласно требованиям общепринятых методик опытного дела. Результаты исследований показали, что в среднем за 2 года самым высоким показателем общей длины 59 (сорт Зарянка) и 70 см (сорт Пересвет) отличались растения льна-долгунца на фоне, где применялись совместно минеральные в дозе N₁₀P₂₀K₄₀ и органические удобрения гуматы. При анализе диаметра стебля не было отмечено существенных различий по сортам и фонам удобрений, так как этот показатель варьировал в нешироком диапазоне и составил по вариантам опыта от 1,1 до 1,4 мм. В эксперименте не было выявлено зависимости между сбежистостью и изучаемыми агротехническими приемами, т. к. по вариантам опыта этот показатель находился на одном уровне – от 0,5 до 0,8. Применение гуматов у изучаемых сортов льна-долгунца способствовало увеличению мыклости. Таким образом, в условиях Ленинградской области лучшими техническими данными стебля льна-долгунца обладал сорт Пересвет на фоне применения N₁₀P₂₀K₄₀ и гуматов. Общая длина стебля в этом варианте составила 70 см, техническая длина стебля – 61 см, диаметр – 1,4 мм, сбежистость – 0,7 мм и мыклость – более 440 единиц.

Ключевые слова: лен-долгунец, органоминеральные удобрения, техническая длина, диаметр стебля, мыклость

Цитирование. Носевич М.А., Аль Мерри Ж. Биометрические показатели стебля раннеспелых сортов льна-долгунца (*Linum usitatissimum L.*) в условиях Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – №1 (75). – С. 9-16, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-9-16.

BIOMETRIC INDICES OF STEM OF EARLY MATURING VARIETIES
OF LONG-STALKED FLAX (*LINUM USITATISSIMUM L.*)
UNDER CONDITIONS OF LENINGRAD REGIONM.A. Nosevich¹ ✉, J. Al Merri¹¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, Saint Petersburg, Russia
✉ mnosevich@yandex.ru

Abstract. Research on the topic under study was carried out on a small experimental field of the Department of Plant Science named after I.A. Stebut of Saint-Petersburg State Agrarian University in 2021-2022. The objects of the field experiment were early maturing varieties of long-stalked flax (*Linum usitatissimum L.*) Zaryanka, Peresvet and organomineral fertilizers. The two-factor experimental design included 18 options. The purpose of the research is to establish the effect of organomineral fertilizers on the biometric indicators of the stem of early maturing long-stalked flax varieties. The main objective of the research was to determine the effect of organomineral fertilizers on the biometric indicators of the stem of early maturing long-stalked flax varieties. Weather conditions during the years of the experiments were not the same. The hydrothermal coefficient in 2021 for varieties was 0.6 (Zaryanka) and 0.93 (Peresvet), which characterizes the growing season of the crop as arid. During the growing season of long-stalked flax in 2022, the HTC amounted to 1.26 and 1.25, respectively, for the varieties, which characterizes (according to Selyaninov) the growing season as normal moisture. When performing experimental work, the experiments were carried out according to the requirements of generally accepted methods of experimental work. The results of the research showed that on average for 2 years the highest indicator of total length of 59 (variety Zaryanka) and 70 cm (variety Peresvet) was distinguished by long-stalked flax on the background where mineral fertilisers in the dose N10P20K40 and organic fertilisers humates were applied together. When analysing the stem diameter, no significant differences were observed between varieties and fertilizer backgrounds, as this indicator varied in a small range and was 1.1 to 1.4 mm in the experiment variants. In the experiment, there was no dependence between diminution and studied agrotechnical methods, as this indicator was at the same level – from 0.5 to 0.8. The application of humates in the studied varieties of long-stalked flax contributed to an increase in the ratio of the technical length of the stem to its diameter. Thus, in the conditions of the Leningrad Region the best technical data of the long-stalked flax had the variety Peresvet on the background of application of N10P20K40 and humates. The total stem length in this variant was 70 cm, technical stem length – 61 cm, diameter – 1.4 mm, diminution – 0.7 mm and the ratio of the technical length of the stem to its diameter – more than 440 units.

Keywords: fiber flax, organomineral fertilizers, technical length, stem diameter, the ratio of the technical length of the stem to its diameter

Citation. Nosevich, M.A., Al Merri J. (2024) "Biometric indices of stem of early maturing varieties of long-stalked flax (*Linum usitatissimum L.*) under conditions of Leningrad Region", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 9-16. (In Russ.), doi 10.24412/2078-1318-2024-1-9-16.

Введение. Лён (*Linum usitatissimum L.*) – сельскохозяйственная культура, используемая для производства волокна и масла [1]. Для снижения зависимости отечественных текстильных и других промышленных предприятий от импортного хлопка, рами, кенафа и остальных прядильных культур в России происходит интенсивное развитие льноводства и коноплеводства [2, 3]. При этом необходимо учитывать потребности производителей и переработчиков в урожае льна-долгунца, основное требование которых – однородное

высококачественное волокно. Для получения однородного волокна определяющее значение имеет равномерность распределения элементарных волокон по длине стебля. Косвенным критерием оценки качества волокна льна-долгунца является мыклость стебля. Доля влияния генотипа сорта на проявление данного показателя составляет 65% [4].

Несмотря на высокую продуктивность современных сортов льна-долгунца, реализация их биологических возможностей в производственных условиях составляет в лучшем случае 30–35%, что обусловлено недостаточным применением минеральных удобрений в оптимальном соотношении элементов питания [5, 6, 7, 8]. Причины неодинаковой отзывчивости сортов льна-долгунца заключаются, во-первых, в различной интенсивности поглощения растениями элементов питания из почвы и вносимых удобрений; во-вторых, в скорости усвоения ими поглощенных минеральных веществ [7, 9].

В настоящее время регуляция роста и развития растений с помощью физиологически активных веществ является одним из самых актуальных направлений в современной сельскохозяйственной науке.

Интерес к органоминеральным удобрениям обусловлен широким спектром их действия на растения, возможностью направленно регулировать отдельные этапы роста и развития культуры с целью мобилизации потенциальных возможностей растительного организма, что повышает урожайность и качество сельскохозяйственной продукции. Органоминеральные удобрения, которым в последние годы уделяют большое внимание во всем мире, способствуют повышению урожая длинного волокна, ускоряют созревание растений, повышают урожай семян, волокна и увеличивают количество элементарных волокон в стебле, что обуславливает повышение выхода и качества волокна льна-долгунца.

Цель исследования – установить влияние органоминеральных удобрений на биометрические показатели стебля льна-долгунца раннеспелых сортов. Основная задача исследований состояла в определении влияния органоминеральных удобрений на биометрические показатели стебля раннеспелых сортов льна-долгунца в условиях Ленинградской области.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования проводились на малом опытном поле кафедры растениеводства им. И.А. Стебута ФГБОУ ВО СПбГАУ в 2021–2022 гг. Схема двухфакторного опыта включала 18 вариантов. Фактор А – сорт льна-долгунца – имел две градации: Зарянка (контроль) и Пересвет. Фактор В – применение органоминеральных удобрений – включал 9 градаций: 1) без применения удобрений (контроль); 2) семена перед посевом обработаны водой; 3) внесение минеральных удобрений в дозе $N_{10}P_{20}K_{40}$; 4) $N_{20}P_{40}K_{60}$; 5) $N_{30}P_{60}K_{90}$; 6) применение Гуматов (ГК) (500 ppm); 7) $N_{10}P_{20}K_{40}+ГК$; 8) $N_{20}P_{40}K_{60}+ГК$; 9) $N_{30}P_{60}K_{90}+ГК$. Опыт размещен методом организованных повторений, варианты в повторениях – рендомизированно. Площадь опытной и учетной деланки составляла 1 м^2 , в 4-кратном повторении.

Агротехника общепринятая для яровых культур Ленинградской области. Под предпосевную культивацию внесены органоминеральные удобрения в соответствии со схемой опыта. В качестве азотных удобрений использовали мочевины (46% д. в.), фосфорных – простой суперфосфат (20% д. в.) и калийных – калий хлористый (60% д. в.).

Посев льна проводили вручную при наступлении физической спелости почвы 13 мая в 2021 г. и 2 мая в 2022 г. Ширина междурядий составляла 7 см. Перед началом полевых опытов проверяли лабораторную всхожесть семян изучаемых сортов, которая соответствовала

категории элитных семян. Весовую норму посева определяли из расчета 22 млн всхожих семян/га по показателям лабораторной всхожести и массы 1000 семян. Глубина заделки семян – 2 см. Уход за посевами состоял из борьбы с сорными растениями, которая осуществлялась механическим путём в фазу ёлочка. Против крестоцветной блошки в начальные фазы роста и развития двукратно (с интервалом в 10 дней) применяли инсектицид Фуфанон, КЭ (малатион ДВ) из расчета 0,4 л/га. Отсутствие в наших опытах болезней этой культуры позволило не применять фунгициды.

Теребление и очес коробочек производили вручную: в 2021 г. сорт Зарянка – 29 июля, сорт Пересвет – 6 августа; в 2022 г. – 5 и 14 августа.

Агрохимический анализ почвы показал, что содержание гумуса среднее (2,7–3,2%), подвижных форм фосфора – очень высокое (392–423 мг/кг), подвижных форм калия – высокое и очень высокое (188–266 мг/кг), реакция почвенного раствора слабокислая (5,5–5,8).

При выполнении экспериментальной работы опыты проводили согласно требованиям общепринятых методик опытного дела [9].

Погодные условия в годы проведения опытов были неодинаковыми. Так, 2021 г. характеризовался неравномерным поступлением осадков и превышением температуры воздуха в июне на 3,5 °С, а в июле на 3,9 °С по сравнению со среднемноголетним значением, что существенно повлияло на рост, развитие и формирование стебля льна. За вегетационный период льна-долгунца сумма активных температур составила от 1345,2 °С (сорт Зарянка) до 1481,7 °С (сорт Пересвет), осадков выпало от 80,3 до 137,6 мм. Гидротермический коэффициент (ГТК) по сортам составил: 0,6 (Зарянка) и 0,93 (Пересвет), что по Г.Т. Селянинову характеризует вегетационный период культуры как засушливый.

За вегетационный период льна-долгунца в 2022 г. сумма активных температур и осадков для сортов составила: Зарянка (с 16 мая по 5 августа) – 1422,7 °С и 179,6 мм; Пересвет (с 13 мая по 14 августа) – 1627,4 °С и 204,1 мм. Гидротермический коэффициент составил 1,26 и 1,25 соответственно, что характеризует (по Селянинову) данный вегетационный период как период нормального увлажнения.

Результаты исследования. В среднем за 2 года на показатель общей длины льна-долгунца большее влияние оказывал фон удобрений и в меньшей степени сорт культуры (табл. 1). У сорта Зарянка было отмечено увеличение этого показателя с внесением различных доз органоминеральных удобрений. У сорта Пересвет применение гуматов снижало этот показатель. Самым высоким показателем общей длины (59 и 70 см соответственно сортам) отличались растения льна-долгунца на фоне, где применялись совместно минеральные в дозе $N_{10}P_{20}K_{40}$ и органические удобрения гуматы.

Предполагаем, что это обусловлено стимулированием роста и развития растений, а также повышением сопротивляемости их к неблагоприятным условиям среды. Под влиянием гуматов активизировался обмен веществ, усиливались дыхание, синтетические процессы и поступление минеральных солей из внешней среды. Органоминеральные удобрения усиливали рост корневой системы и надземной массы растений, существенно влияли на образование хлорофилла в листьях и на фотосинтез. Кроме того, растворимые формы гуминовых кислот стимулировали жизнедеятельность почвенных микроорганизмов, что способствовало улучшению минерального питания растений. Все это в итоге привело к усилению роста и развития растений и улучшению биометрических показателей стебля льна-долгунца.

Таблица 1. Влияние органоминеральных удобрений на биометрические показатели стебля раннеспелых сортов льна-долгунца в условиях Ленинградской области
 Table 1. The influence of organomineral fertilizers on the biometric indicators of the stem of early maturing fiber flax varieties in the conditions of the Leningrad Region

Вариант опыта	Длина, см			Диаметр стебля, мм			Сбег стебля (D ₁ -D ₃)	Мыклость стебля
	всего стебля	технической части	соцветия	D ₁ (низ)	D ₂ (сер.)	D ₃ (верх)		
Зарянка								
Контроль	54,2	45,3	9,0	1,4	1,3	0,8	0,7	394
Контроль+H ₂ O	58,0	51,4	6,7	1,4	1,2	0,8	0,6	424
N ₁₀ P ₂₀ K ₄₀	55,1	46,0	9,1	1,5	1,3	0,9	0,7	378
N ₂₀ P ₄₀ K ₆₀	55,8	47,7	8,2	1,4	1,2	0,9	0,6	397
N ₃₀ P ₆₀ K ₉₀	55,8	45,8	10,0	1,6	1,4	0,8	0,8	354
Гуматы (ГК)	54,9	48,4	6,5	1,3	1,2	0,8	0,5	409
N ₁₀ P ₂₀ K ₄₀ +ГК	58,8	49,5	9,3	1,6	1,3	0,8	0,8	403
N ₂₀ P ₄₀ K ₆₀ +ГК	56,6	48,7	7,8	1,5	1,4	0,8	0,7	374
N ₃₀ P ₆₀ K ₉₀ +ГК	56,9	49,2	7,7	1,5	1,3	0,8	0,8	407
Пересвет								
Контроль	60,2	53,6	6,6	1,4	1,2	0,9	0,6	447
Контроль+H ₂ O	61,2	53,2	8,0	1,4	1,3	0,9	0,6	437
N ₁₀ P ₂₀ K ₄₀	61,5	53,9	7,6	1,5	1,3	0,9	0,6	440
N ₂₀ P ₄₀ K ₆₀	68,3	59,2	9,1	1,6	1,4	1,0	0,7	437
N ₃₀ P ₆₀ K ₉₀	59,3	50,8	8,6	1,5	1,3	0,9	0,6	438
Гуматы (ГК)	57,4	51,2	6,2	1,3	1,1	0,8	0,5	474
N ₁₀ P ₂₀ K ₄₀ +ГК	69,6	61,1	8,4	1,6	1,4	0,9	0,7	442
N ₂₀ P ₄₀ K ₆₀ +ГК	60,9	54,0	6,9	1,4	1,2	0,8	0,6	458
N ₃₀ P ₆₀ K ₉₀ +ГК	59,1	52,3	6,8	1,4	1,3	0,9	0,6	433
НСР ₀₅ для частных различий		6,2					0,2	77,4
НСР ₀₅ для фактора А		2,1					0,1	25,8
НСР ₀₅ для фактора В и взаимодействия АВ		4,4					0,1	54,7

В стебле льна оценивается не общая, а техническая длина, т. е. расстояние от семядольного колена до начала ветвления. В эксперименте лучший показатель технической длины 61,1 см отмечен у сорта Пересвет в варианте с внесением гуматов и N₁₀P₂₀K₄₀, что выше на 2–10 см по сравнению с другими фонами удобрений и на 10–16 см больше по сравнению с сортом Зарянка.

Увеличение диаметра стебля является нежелательным признаком, так как это влияет на качество получаемого волокна, т. е. чем толще стебель, тем выход волокна меньше [10]. При анализе диаметра стебля не было отмечено существенных различий по сортам и фонам

удобрений, так как этот показатель варьировал в нешироком диапазоне и составил по вариантам опыта от 1,1 до 1,4 мм.

Сбег стебля (сбежистость) – это разница между диаметром нижней и верхней частей стебля ($D_1 - D_3$). Чем меньше разность диаметров по длине, тем больше стебель приближается к цилиндру, тем больше выход длинного волокна [10]. В эксперименте не было выявлено зависимости между сбежистостью и изучаемыми агротехническими приемами, т. к. по вариантам опыта этот показатель находился на одном уровне – от 0,5 до 0,8.

Мыклость стебля – это отношение технической длины стебля к его диаметру. Чем больше этот показатель, тем выше выход длинного волокна [10].

Мыклость в эксперименте зависела от сортовых особенностей культуры и от применения удобрений. У сорта Пересвет мыклость была выше на 26–84 единиц в сравнении с контрольным сортом и находилась на уровне 440–470, а у сорта Зарянка – 350–410. Следует отметить, что применение гуматов у изучаемых сортов льна-долгунца способствовало увеличению этого показателя.

Выводы. Таким образом, лучшими техническими данными стебля льна в условиях Ленинградской области и отзывчивостью на органоминеральные удобрения обладает сорт Пересвет на фоне применения $N_{10}P_{20}K_{40}$ и гуматов. Общая длина растения в этом варианте составила 70 см, техническая длина стебля – 61 см, диаметр стебля – 1,4 мм, сбежистость – 0,7 мм и мыклость – более 440 единиц.

Список литературы

1. Dmitriev, A.A., Krasnov, G.S., Rozhmina, T.A. et al. (2019), Flax (*Linum usitatissimum* L.) response to non-optimal soil acidity and zinc deficiency, *BMC Plant Biology*, vol. 19, № S1, p. 54. DOI: 10.1186/s12870-019-1641-1.
2. Влияние длительного применения удобрений на урожайность льна-долгунца и качество волокна / И. И. Дмитриевская [и др.] // Достижения науки и техники АПК. – 2015 – Т. 29. № 10. – С. 50–52.
3. Savoskina, O.A., Chebanenko, S.I., Zavertkin, I.A., Shitikova, A.V. and Kudryavtsev, N.A. (2023), ‘The manifestation of diseases and phytophages of weeds associated with the cultivation of flax, the possibility of their use as biological plant protection agents’, *BIO Web of Conferences*, 78, 04001. MTSITVW2023. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237804001>.
4. Корепанова, Е.В., Гореева, В.Н., Чиркова, У.К. Урожайность и качество волокна сортов льна-долгунца в условиях Уральского региона Нечернозёмной зоны России // АгроЭкоИнфо: электронный научно-производственный журнал. – 2021. – № 6. – URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_631.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20216631> (дата обращения: 10.07.2023).
5. Павлова, Л.Н., Герасимова, Е.Г., Румянцева, В.Н. Значение сорта в повышении урожайности и качества продукции льна-долгунца // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы. – Тверь: ТвГУ, 2018. – С. 23–25.
6. Сорокина, О.Ю. Эффективность традиционных, новых комплексных и органоминеральных удобрений под лён-долгунец // Плодородие. – 2020. – № 1. – С. 8–11. – DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.03.
7. Сорокина, О.Ю. Оценка ассортимента удобрений и способов их внесения под новый сорт льна-долгунца Универсал // Аграрная наука. – 2021. – № 6. – С. 55–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59>.

8. Сорокина, О.Ю. Влияние бактериальных удобрений в сочетании с минеральными и органоминеральными на продуктивность льна-долгунца // Плодородие. – 2023. – № 4. – С. 75–77. – DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.18.
9. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – М.: Альянс, 2011. – 350 с.
10. Носевич, М.А., Новохацкая, Д.М. Техническая оценка льнопродукции в зависимости от применения биопрепаратов, сортовых особенностей и норм высева льна-долгунца // Научный вклад молодых исследователей в сохранение традиций и развитие АПК: сборник науч. трудов международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов. Ч. III. – СПб.: СПбГАУ, 2015. – С. 9–11.

References

1. Dmitriev, A.A., Krasnov, G.S., Rozhmina, T.A. et al. (2019), 'Flax (*Linum usitatissimum* L.) response to non-optimal soil acidity and zinc deficiency', *BMC Plant Biology*, vol. 19, № S1, p. 54. DOI: 10.1186/s12870-019-1641-1.
2. Dmitrevskaja, I.I., et al. (2015), 'The effect of long-term use of fertilizers on the yield of flax and fiber quality', *Achievements of science and technology of the agro-industrial complex*, vol. 29, no. 10, pp. 50–52. (In Russ.).
3. Savoskina, O.A., Chebanenko, S.I., Zavertkin, I.A., Shitikova, A.V. and Kudryavtsev, N.A. (2023), 'The manifestation of diseases and phytophages of weeds associated with the cultivation of flax, the possibility of their use as biological plant protection agents', *BIO Web of Conferences*, 78, 04001. MTSITVW2023 <https://doi.org/10.1051/bioconf/20237804001>.
4. Korepanova, E.V., Goreeva, V.N., Chirkova, U.K. (2021), 'Productivity and fiber quality of flax varieties in the conditions of the Ural Region of the Non-Chernozem zone of Russia', *AgroEcoInfo: An electronic scientific and production journal*, no.6. (Electronic journal). URL: http://agroecoinfo.ru/STATYI/2021/6/st_631.pdf. DOI: <https://doi.org/10.51419/20216631> (accessed: 10 July 2023). (In Russ.).
5. Pavlova, L.N., Gerasimova, E.G., Rumjanceva, V.N. (2018), 'The importance of the variety in increasing the yield and quality of flax products', *Scientific support for the production of SPINning crops: state, problems and prospects*. Tver: Tver State University, pp. 23–25. (In Russ.).
6. Sorokina, O.Ju. (2020), 'The effectiveness of traditional, new complex and organomineral fertilizers for flax', *Plodorodie*, no. 1, pp. 8–11. DOI: 10.25680/S19948603.2020.112.03 (In Russ.).
7. Sorokina, O.Ju. (2021), 'Evaluation of the range of fertilizers and methods of their application for a new variety of flax-dolgunts Universal', *Agrarnaja nauka*, no. 6, pp. 55–59. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2021-350-6-55-59> (In Russ.).
8. Sorokina, O.Ju. (2023), 'The effect of bacterial fertilizers in combination with mineral and organomineral fertilizers on the productivity of flax', *Plodorodie*, no. 4, pp. 75–77. DOI: 10.25680/S19948603.2023.133.18. (In Russ.).
9. Dospheov, B.A. (2011), *Metodika polevogo opyta (s osnovami statisticheskoy obrabotki rezul'tatov issledovanij)* [Methodology of field experience (with the basics of statistical processing of research results)], Al'jans, Moscow, Russia.
10. Nosevich, M.A., Novohackaja, D.M. (2015), 'Technical assessment of flax products depending on the use of biological products, varietal characteristics and seeding rates of flax', *The scientific contribution of young researchers to the preservation of traditions and the development of agriculture: A collection of scientific papers of the international scientific and practical conference of young scientists and students. Part III*. St. Petersburg: SPbGAU, pp. 9–11. (In Russ.).

Сведения об авторах

Носевич Мария Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры растениеводства им. И.А. Стебута, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0001-5639-094X>, SPIN-код: 9993-0426, Scopus author ID: 57209273775, Researcher ID: AAE-7697-2021; mnosevich@yandex.ru.

Аль Мерри Жасмин, аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; <https://orcid.org/0009-0002-6754-6238>; jasminealmerri6@gmail.com.

Information about the author

Mariya A. Nosevich, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Plant Industry named after I.A. Stebut, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0001-5639-094X>, SPIN-code: 9993-0426, Scopus author ID: 57209273775, Researcher ID: AAE-7697-2021; mnosevich@yandex.ru.

Jasmine Al Merri, Postgraduate Student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; <https://orcid.org/0009-0002-6754-6238>; jasminealmerri6@gmail.com.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.12.2023; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 15.12.2023; approved after reviewing 16.02.2024; accepted for publication 26.02.2024

Научная статья
УДК 631.821.1
Код ВАК 4.1.3
doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-17-26

ВЛИЯНИЕ СЫРОМОЛОТОГО ДОЛОМИТА НА КИСЛОТНОСТЬ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ И УРОЖАЙ КОЗЛЯТНИКА ВОСТОЧНОГО

А.И. Осипов¹ ✉, Н.И. Воробьев²

¹Агрофизический научно-исследовательский институт
г. Санкт-Петербург, Россия
✉ aosipov2006@mail.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт
сельскохозяйственной микробиологии,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. К настоящему времени убедительно доказано, что известкование кислых почв является ведущим традиционным мероприятием, которое, устраняя излишнюю кислотность, оказывает положительное действие на свойства почв и почвенную микрофлору. Патогенная грибная микрофлора сменяется на бактериальную. Растет число фосфатмобилизирующих бактерий, азотфиксаторов, целлюлозоразлагающих микроорганизмов. В конце XX в. для удешевления известкования кислых почв ученые предложили использовать сыромолотые мелиоранты грубого помола. Они значительно дешевле пылевидных аналогов, не сносятся ветром в процессе внесения, обладают пролонгированным действием и в меньшей степени вымываются. Для оценки эффективности нового мелиоранта доломита сыромолотого грубого помола в 2012 г. на Меньковском филиале АФИ был заложен многолетний полевой опыт с козлятником восточным. Исследования показали, что используемый в опыте агрохимикат обладает пролонгированным действием и может применяться для известкования кислых почв. Применение доломита сыромолотого грубого помола и компоста многоцелевого назначения повышало эффективность козлятника восточного в течение 2015-2018 гг. За все годы проведения опыта за счет фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями дополнительный прирост урожая козлятника при совместном использовании КМН с известью в дозе 6,4 т/га на его фоне колебался в пределах 2,2–5,4 т/га. При внесении доломита сыромолотого в дозе 3,2 т/га величина дополнительного прироста урожая возделываемой культуры была в пределах 0,8–4,3 т/га (только в первые годы выращивания козлятника). Это свидетельствует о том, что одинарная доза мелиоранта не обеспечила оптимальной реакции среды для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Ключевые слова: кислотность почвы, кислые почвы, химические мелиоранты, известкование, кислотность, гумус, баланс кальция, доломит-сырец молотый, частота известкования, дозы и сроки внесения извести

Цитирование. Осипов А.И., Воробьев Н.И. Влияние сыромолотого доломита на кислотность дерново-подзолистой почвы и урожай козлятника восточного // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1. – С. 17–26, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-17-26.

EFFECT OF RAW GROUND DOLOMITE ON SOD-PODZOLIC SOIL
ACIDITY AND YIELD OF EASTERN GALEGAA.I. Osipov¹✉, N.I. Vorobyev²¹Agrophysical Research Institute

St. Petersburg, Russia

✉ aosipov2006@mail.ru

²All-Russian Research Institute of Agricultural Microbiology,

Pushkin, St. Petersburg, Russia

Abstract. By now, it has been convincingly proven that liming acidic soils is a leading and traditional measure that, by eliminating excessive acidity, has a positive effect on soil properties and soil microflora. A bacterial one replaces pathogenic fungal microflora. The number of phosphate-mobilizing bacteria, nitrogen fixators, and cellulose-decomposing microorganisms is growing. At the end of the 20th century, scientists proposed to use coarse ground raw ameliorants to reduce the cost of liming acidic soils. They are much cheaper than dusty analogues, are not carried away by wind during application, have prolonged action and are less washed out. To evaluate the effectiveness of the new ameliorant dolomite raw ground coarse grinding, in 2012 at the Menkov branch of AFI was laid a long-term field experiment with eastern galega. Studies have shown that the agrochemical used in the experiment has a prolonged action and can be used for liming acidic soils. The application of raw ground coarse dolomite and multi-purpose compost increased the efficiency of eastern galega during 2015-2018. During all years of the experiment due to fixation of atmospheric nitrogen by nodule bacteria, the additional yield increase of eastern galega at the joint use of KMN with lime at a dose of 6.4 t/ha on its background ranged from 2.2-5.4 t/ha. At application of raw ground dolomite at a dose of 3.2 t/ha the value of additional yield increase of cultivated crop was within 0.8-4.3 t/ha (and only in the first years of eastern galega cultivation). This indicates that a single dose of meliorant did not provide an optimal reaction of the medium for the effective work of nitrogen-fixing nodule bacteria.

Keywords: soil acidity, acidic soils, chemical ameliorants, liming, acidity, humus, calcium balance, raw ground dolomite, frequency of liming, doses and timing of lime application

Citation. Osipov A.I., Vorobyov N.I. (2024), "Effect of raw ground dolomite on sod-podzolic soil acidity and yield of eastern galega", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 17–26. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-17-26.

Введение. Известкование кислых почв является неременным условием интенсификации сельскохозяйственного производства. Многолетний мировой опыт и практика земледелия свидетельствуют о постоянном подкислении почв в результате применения минеральных удобрений, корневых выделений, кислотных дождей. Из-за этого существенно снижается продуктивность возделываемых культур, падает качество сельскохозяйственной продукции, ухудшается экологическая обстановка окружающей среды. При высокой кислотности в почвах повышается содержание физиологически токсичных для растений алюминия, марганца и железа, ухудшается питание их фосфором, азотом, калием, микроэлементами (за исключением молибдена), развивается фитопатогенная микрофлора, снижаются все протекающие в почве биологические, физико-химические и биохимические процессы, замедляется рост корней растений. Резко снижается эффективность минеральных удобрений [1–6].

Хорошо известно, что скорость физико-химического взаимодействия известковых удобрений с почвой и продолжительность их действия в большей степени зависят от

химических свойств вносимой извести и ее гранулометрического состава. С увеличением диаметра известковых частиц взаимодействие их с почвой замедляется. Поэтому для того, чтобы уровень реакции почвы поддерживался относительно постоянным в течение продолжительного времени, известковые материалы должны содержать широкий спектр частиц различного размера [7–11].

Цель исследования – получить экспериментальные данные по пролонгированному действию нового мелиоранта доломита сыромолотого грубого помола в многолетнем полевом опыте с козлятником восточным на фоне применения компоста многоцелевого назначения и без его применения. В последующем на основании полученных результатов разработать эмпирические модели скорости снижения кислотности в дерново-подзолистой почве с целью создания технических средств прецизионного земледелия.

Методика проведения исследований. В 2012 г. на Меньковском филиале АФИ был заложен полевой опыт по приведенной ниже схеме. Повторность в опыте двукратная. Изучаемый химический мелиорант и компост многоцелевого назначения (КМН) вносились однократно в этом же году.

Делянки первого порядка (200×16):

- 1) без известкования – контроль;
- 2) доломит сыромолотый грубого помола – 3,2 т/га;
- 3) доломит сыромолотый грубого помола – 6,4 т/га.

Делянки второго порядка (100×16):

- 1) без внесения компоста многоцелевого назначения (КМН);
- 2) С «КМН» – 5 т/га.

Последующие 9 лет мы изучали последствие указанных удобрений на кислотные свойства почвы и урожайность козлятника восточного. Перед посевом семена козлятника обрабатывали ризоторфином, что способствовало приоритетному развитию азотфиксирующих клубеньковых бактерий в ризосфере растений. Высеивали козлятник восточный в первой декаде мая безпокровно в дозе 30 кг/га, что составляло 4,5–5,0 млн семян на гектар с глубиной заделки 2 см.

Математическую обработку данных об урожаях проводили с помощью процедуры двухфакторного дисперсионного анализа подпрограммы ANOVA Statistica v.12, была рассчитана НСР₀₅. Совместное влияние известкования и КМН на урожай козлятника оценивали по величине и знаку синергетической прибавки урожая козлятника, рассчитываемой по следующей формуле:

$$Y_4 = Y_3 - (Y_2 + Y_1),$$

где Y_4 – синергетическая прибавка урожайности козлятника, определяемая совместным применением известкования и КМН;

Y_3 – прибавка урожайности козлятника, полученная при совместном известковании и применении КМН на фоне КМН;

Y_2 – прибавка урожайности козлятника при применении известкования на фоне КМН;

Y_1 – прибавка урожайности козлятника при применении только КМН.

Результаты исследований. Исследования показали, что через год после внесения сыромолотого доломита обменная кислотность почвы уменьшилась в варианте с одинарной дозой с 4,8 до 5,3 рН, а в варианте с двойной дозой мелиоранта – с 4,8 до 5,4–5,6 рН (табл. 1). На протяжении 10 лет опыта в контрольном варианте без внесения КМН (компоста

многоцелевого назначения) кислотность почвы изменялась от среднекислой до сильнокислой, а рН в ней колебалась в пределах 4,8–4,3.

Таблица 1. Влияние доломита сыромолотого на обменную кислотность дерново-подзолистой почвы
 Table 1. Effect of raw ground dolomite on exchangeable acidity of sod-podzolic soil

Год опыта	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2022
Без КМН							
Фон	4,8	4,4	4,6	4,4	4,6	4,7	4,3
Фон +3,2	5,3	5,1	4,8	4,8	5,2	5,3	4,8
Фон+6,4	5,6	5,6	5,4	5,4	5,6	5,7	5,3
КМН							
Фон	4,8	5,1	5,0	4,4	4,8	4,6	4,6
Фон +3,2	5,3	5,5	5,1	5,1	5,3	5,4	5,0
Фон+6,4	5,4	5,8	5,6	5,6	5,4	5,6	5,8

При внесении КМН степень кислотности сохранилась на уровне среднекислой. При одинарной дозе извести на фоне внесения КМН и без него кислотность почвы уже на второй год опыта из среднекислой степени перешла в слабокислую. Пролонгированное действие данной дозы доломита прослеживалось до 2018 г. В 2022 г. кислотность почвы вернулась к исходному фоновому состоянию (рНксл – 4,8). При внесении двойной дозы извести процесс известкования был более эффективным, уже в 2014 г. почва из среднекислой степени кислотности перешла в близкую к нейтральной (рНкс 5,6–5,8). Уменьшение кислотности от этой дозы мелиоранта продолжалась до 2022 г. (табл. 1). Следует отметить, что на фоне КМН процесс подкисления был менее заметным. Это объясняется тем, что компост многоцелевого назначения имел слабокислую реакцию рНксл – 7,2, поэтому совместное действие двойной дозы извести и КМН сдерживало подкисление почвы в данном варианте.

Внесение доломита сыромолотого грубого помола оказало существенное влияние и на гидролитическую кислотность исследуемой почвы (табл. 2).

Таблица 2. Влияние доломита сыромолотого на гидролитическую кислотность дерново-подзолистой почвы
 Table 2. Effect of raw ground dolomite on hydrolytic acidity of sod-podzolic soil

Год опыта	2013	2015	2016	2017	2018	2022
Без КМН						
Фон	3,02	3,86	3,72	3,46	3,06	4,78
Фон +3,2	2,56	3,84	3,23	2,44	2,41	3,63
Фон+6,4	2,06	2,42	2,36	1,76	1,96	2,44
КМН						
Фон	3,18	2,74	3,94	3,56	3,88	4,02
Фон +3,2	2,11	2,54	3,24	2,36	2,38	3,28
Фон+6,4	2,19	3,07	2,16	2,34	2,21	1,96

В 2013 г. гидролитическая кислотность почвы уменьшилась с 3,02 ммоль/100 г в контроле до 2,56 и 2,06 в опытных вариантах с одинарной и двойной дозами доломита. На фоне КМН – с 3,18 до 2,11 и 2,19 ммоль/100 г соответственно.

За 10 лет проведения опыта гидролитическая кислотность в контрольных вариантах увеличивалась с 3,02 до 4,78 ммоль/100 г без внесения компоста и с 3,18 до 4,02 ммоль/100 г на фоне 5 тонн КМН. Внесение одинарной и двойной доз извести на протяжении всего опыта снижало гидролитическую кислотность в почве по сравнению с контролем, как без компоста многоцелевого назначения, так и на его фоне. Таким образом, полученные результаты подтверждают нашу гипотезу о том, что доломит сыромолотый грубого помола может являться эффективным мелиорантом пролонгированного действия.

Таблица 3. Урожайность сена (т/га) козлятника восточного (2015 г.)
 Table 3. Hay yield (t/ha) of eastern galega (2015)

Фон	Варианты опыта	Урожайность, т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	5,3	-	-
	Фон + 3,2	8,5	3,2	60
	Фон + 6,4	11,4	6,1	115
С КМН	Фон	6,7	-	-
	Фон + 3,2	10,7	4,0	60
	Фон + 6,4	11,2	4,5	67
	НСР ₀₅	1,74		

Первый учет урожая сена козлятника восточного был проведен на третий год проведения опыта (2015 г.). Исследования показали, что известкование доломитом сыромолотым грубого помола существенно увеличивает этот показатель. Так, в контрольном варианте урожайность данной культуры была равной 5,3 т/га. На вариантах с одинарной и двойной дозой мелиоранта она составила 8,5 и 11,4 т/га соответственно. Прибавка достигла 60–115%. На фоне 5 т КМН показатели урожайности сена козлятника восточного практически не изменились и были в пределах ошибки опыта, а именно: 6,7; 10,7 и 11,2 т/га, за исключением варианта с одинарной дозой удобрения, где прибавка составила 2,2 т/га (табл. 3).

Таблица 4. Урожайность сена (т/га) козлятника восточного (2016 г.)
 Table 4. Hay yield (t/ha) of the eastern galega (2016)

Фон	Варианты опыта	Урожайность, т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	5,0	-	-
	Фон + 3,2	7,3	2,3	46
	Фон + 6,4	11,3	6,3	126
С КМН	Фон	6,5	-	-
	Фон + 3,2	9,5	3,0	46
	Фон + 6,4	9,1	2,6	40
	НСР ₀₅	1,53		

Анализ урожайности сена козлятника восточного в 2016 г. показал аналогичные закономерности. В известкованном контрольном варианте она составила 5,0 т/га, а на фоне 5 тонн КМН – 6,5 т/га. Внесение одинарной и двойной дозы доломита сыромолотого грубого помола существенно увеличили урожайность сена козлятника восточного до 7,3 и 11,3 т/га, а прибавка составила 46–126% соответственно. На фоне 5 т КМН урожайность возделываемой культуры была равной 9,5 и 9,1 т/га, а прибавка 46–40% (табл. 4). В 2017 г. урожайность зеленой массы козлятника на контрольном варианте была получена в размере 19,8 т/га, а на фоне 5 т КМН – 21,7 т/га (табл. 5).

Таблица 5. Урожайность зеленой массы (т/га) козлятника восточного (2017 г.)
Table 5. Yield of green mass (t/ha) of eastern galega (2017)

Фон	Варианты опыта	Урожайность, т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	19,8	-	-
	Фон + 3,2	26,0	6,2	31
	Фон + 6,4	27,1	7,3	37
С КМН	Фон	21,7	-	-
	Фон + 3,2	26,0	4,3	20
	Фон + 6,4	29,5	7,8	36
	НСР ₀₅	4,45		

При внесении одинарной дозы изучаемого мелиоранта урожайность зеленой массы данной культуры увеличилась до 26,0 т/га (на 31%). Аналогичные результаты получены и по фону 5 тонн КМН. Двойная доза мелиоранта не оказала существенного влияния на урожайность зеленой массы козлятника восточного, которая составила 27,1 т/га. Однако на фоне 5 тонн КМН она увеличилась с 26,0 до 29,5 т/га (16%).

Анализируя данные по урожайности зеленой массы козлятника восточного, полученные в 2018 г., можно отметить, что закономерности, изучаемые в опыте, практически сохраняются. Эффективность последствия компоста многоцелевого назначения проявляется как в контрольном варианте, так и в вариантах с одинарной и двойной дозой химического мелиоранта (табл. 6). Так, на контрольном варианте (без КМН) урожайность зеленой массы козлятника составила 30,3 т/га, при известковании одинарной дозой извести получена прибавка 7,4 т/га, а при двойной дозе – 34,1 т/га, на фоне 5 т КМН прибавка составила 10,8 и 25,1 т/га (17–40%) соответственно (табл. 6).

Таблица 6. Урожайность зеленой массы (т/га) козлятника восточного (2018 г.)
 Table 6. Yield of green mass (t/ha) of eastern galega (2018)

Фон	Варианты опыта	Урожайность т/га	прибавка	
			т/га	%
Без КМН	Фон	30,3	-	-
	Фон + 3,2	37,7	7,4	24
	Фон + 6,4	64,4	34,1	112
С КМН	Фон	62,2	-	-
	Фон + 3,2	73,0	10,8	17
	Фон + 6,4	87,3	25,1	40
	НСР ₀₅	5,34		

В табл. 7 приведены данные расчета синергетической прибавки урожайности культуры при использовании одинарной дозы мелиоранта. В качестве примера для их расчетов мы взяли результаты за 2015 г. (табл. 3). Прибавка урожайности козлятника восточного в 2015 г. только от применения КМН (Y1) составила 1,4 (6,7–5,3) т/га, а прирост только от использования извести 3,2 на фоне КМН (Y2) имеет значение 2,2 (10,7–8,5) т/га. Прибавка же от совместного применения КМН и извести 3,2 на фоне КМН (Y3) составила 5,4 (10,7–5,3) т/га. Таким образом, совместное использование КМН и извести 3,2 на его фоне (Y4) создает синергетическую прибавку урожая козлятника в размере 1,8 [5,4 – (1,4+2,2)] т/га. Аналогично были рассчитаны синергетические прибавки, полученные при выращивании козлятника восточного в остальные годы (табл. 7 и 8). Как видно из данных, представленных в табл. 7, синергетическая прибавка урожая козлятника в 2015-2017 гг. при внесении доломита сыромолотого в дозе 3,2 т/га колеблется в пределах 0,8–4,3 т/га. В 2018 г. синергетическая прибавка становится отрицательной. Это свидетельствует о том, что одинарная доза мелиоранта не обеспечила оптимальной реакции среды, необходимой для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Таблица 7. Синергетическая прибавка урожайности козлятника восточного при одинарной дозе мелиоранта
 Table 7. Synergistic increase in the yield of the eastern galega with a single dose of meliorant

Год опыта	Факторы прироста урожайности в т/га				Синергетическая прибавка урожая козлятника, Y4=Y3-(Y1+Y2)
	КМН, Y1	известь 3,2 на фоне КМН, Y2	КМН + известь 3,2 на фоне КМН, Y1+Y2	КМН и известь 3,2 на фоне КМН Y3	
	1	2	1 + 2	3	
2015	1,4	2,2	3,6	5,4	1,8
2016	1,5	2,2	3,7	4,5	0,8
2017	1,9	0,0	1,9	6,2	4,3
2018	31,9	35,3	67,2	42,7	-24,5

Таблица 8. Синергетическая прибавка урожайности козлятника восточного при двойной дозе мелиоранта
 Table 8. Synergistic increase in the yield of the eastern galega with a double dose of meliorant

Год опыта	Факторы прироста урожайности в т/га				Синергетическая прибавка урожая козлятника, $Y_4 = Y_3 - (Y_1 + Y_2)$
	КМН, Y_1	известь 6,4 на фоне КМН, Y_2	КМН + известь 6,4 на фоне КМН, $Y_1 + Y_2$	КМН и известь 6,4 на фоне КМН, Y_3	
	1	2	1 + 2	3	
2015	1,4	- 0,2	1,2	5,9	4,7
2016	1,5	- 2,2	- 0,7	4,1	4,8
2017	1,9	2,4	4,3	9,7	5,4
2018	31,9	22,9	54,8	57,0	2,2

Как видно из табл. 8, синергетическая прибавка урожая козлятника восточного при внесении двойной дозы доломита сыромолотого колеблется в пределах 2,2–5,4 т/га за все годы проведения опыта. Это свидетельствует о том, что данная доза мелиоранта обеспечивает оптимальную реакцию среды, необходимую для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Выводы:

1. Доломит сыромолотый грубого помола может быть использован для известкования кислых почв как мелиорант пролонгированного действия. Однако наиболее эффективной дозой для среднекислых почв является двойная доза мелиоранта 6,4 т/га.

2. Применение доломита сыромолотого грубого помола и компоста многоцелевого назначения повышало урожайность козлятника восточного в течение 2015-2018 гг. проведения опыта.

3. Совместное использование КМН и извести в дозе 6,4 т/га создавало синергетическую прибавку урожая козлятника 2,2–5,4 т/га за счет симбиотической фиксации атмосферного азота клубеньковыми бактериями за все годы проведения опыта.

4. Дополнительный прирост урожая козлятника за счет фиксации атмосферного азота при внесении доломита сыромолотого в дозе 3,2 т/га составил 0,8–4,3 т/га в первые годы выращивания козлятника. Это свидетельствует о том, что одинарная доза мелиоранта не обеспечила оптимальной реакции среды для эффективной работы азотфиксирующих клубеньковых бактерий.

Список литературы

1. Аканова, Н.И. Эффективность известкования как фактор плодородия почв и охраны окружающей среды // Плодородие. – 2023. – № 3. – С. 5–9.
2. Небольсин, А.Н., Небольсина, З.П. Известкование почв. – СПб.: СПУ им. Дона Боско, 2010. – 254 с.
3. Овчаренко, М.М. и др. Приемы повышения плодородия почв (известкование, фосфоритование, гипсование). – М.: Наука, 2021. – 116 с.

4. Осипов, А.И. История и практические аспекты известкования кислых почв в России // *Агрохимический вестник*. – 2019. – № 3. – С. 28–36.
5. Сорокин, И.Б., Валетова, Е.А., Воровченко, Т.А. Известкование кислых почв в Сибири // *Аграрная наука – сельскому хозяйству*. – Барнаул, 2021. – С. 419–421.
6. Якушев, В.П. Осипов, А.И., Якушев, В.В. Потенциал развития отрасли растениеводства в РФ с использованием информационных технологий точного земледелия // *Материалы VI Международного форума*. – СПб., 2016. – С. 66–73.
7. Литвинович, А.В., Салаев, И.В., Шевченко, Е.Е. Влияние крупных фракций отсева щебеночного производства на содержание гумуса в дерново-подзолистой суглинистой почве, урожай и химический состав растений гороха // *Агрофизика*. – 2016. – № 3. – С. 7–14.
8. Салаев, И.В., Царенко, В.П. Эффективность использования отсева сыромолотого доломита в качестве мелиоранта на дерново-подзолистых почвах Северо-Запада РФ // *Известия СПбГАУ*. – 2022. – № 4. – С. 84–91.
9. Осипов, А.И. История химической мелиорации почв: проблемы и перспективы развития // *Вестник мелиоративной науки*. – 2022. – № 1. – С. 47–55.
10. Витковская, С.Е., Шаврина, К.Ф. Влияние известкования дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы доломитовой мукой на урожайность сельскохозяйственных культур // *Агрохимия*. – 2022. – № 4. – С. 52–59.
11. Литвинович, А.В., Лаврищев, А.В., Буре, В.М., Салаев, И.В. Потери кальция из мелиорируемой дерново-подзолистой легкосуглинистой почвы при разном уровне влагообеспеченности // *Агрохимия*. – 2023. – № 10. – С. 75–86.

References

1. Akanova, N.I. (2023) 'Liming efficiency as a factor of soil fertility and environmental protection', *Fertility*, no. 3, pp. 5–9 (in Russ.).
2. Nebolsin, A.N., Nebolsina, Z.P. (2010) *Liming of soils*, St. Petersburg, 254 p. (in Russ.).
3. Ovcharenko, M.M., Nekrasov, R.V., Akanova, N.I. et al. (2021) *Techniques for increasing soil fertility (liming, phosphoritization, gypsum)*, Moscow. 116 p. (in Russ.).
4. Osipov, A.I. (2019) 'History and practical aspects of liming acidic soils in Russia', *Agrochemical Bulletin*, no. 3, pp. 28–36 (in Russ.).
5. Sorokin, I.B., Valetova, E.A., Vorovchenko, T.A. (2021) 'Liming of acidic soils in Siberia', *Agrarian science-agriculture*, pp. 419–421 (in Russ.).
6. Yakushev, V.P. Osipov, A.I., Yakushev, V.V. (2016) 'Potential of development of the crop industry in the Russian Federation using information technologies of precision agriculture', *Materials of the Sixth International Forum "Food Security"*. St. Petersburg, pp. 66–73 (in Russ.).
7. Litvinovich, A.V., Salaev, I.V., Shevchenko, E.E. (2016) 'The influence of large fractions of gravel production screening on the humus content in sod-podzolic loamy soil, yield and chemical composition of pea plants', *Agrophysics*, no. 3, pp. 7–14 (in Russ.).
8. Salaev, I.V., Tsarenko, V.P. (2022) 'Efficiency of using the screening of raw dolomite as a meliorant on sod-podzolic soils of the North-West of the Russian Federation', *Izvestiya SPbSAU*, no. 4, pp. 84–91. (in Russ.).
9. Osipov, A.I. (2022) 'History of chemical soil reclamation: problems and prospects of development', *Bulletin of Meliorative Science*, no. 1, pp. 47–55 (in Russ.).
10. Vitkovskaya, S.E., Shavrina, K.F. (2022) 'The effect of liming sod-podzolic light loamy soil with dolomite flour on crop yields', *Agrochemistry*, no. 4, pp. 52–59 (in Russ.).
11. Litvinovich, A.V., Lavrishchev, A.V., Bure, V.M., Salaev, I.V. (2023) 'Calcium losses from reclaimed sod-podzolic light loamy soil at different levels of moisture supply', *Agrochemistry*, no. 10, pp. 75–86 (in Russ.).

Сведения об авторах

Осипов Анатолий Иванович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник ФГБНУ «Агрофизический научно-исследовательский институт», <https://orcid.org/0009-0003-3181-3792>, SPIN-код: 8023-7429, aosipov2006@mail.ru.

Воробьев Николай Иванович, канд. техн. наук, ведущий научный сотрудник, ФГБНУ «Всероссийский НИИ сельскохозяйственной микробиологии», <https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>, SPIN-код: 7190-9997, nik.ivanvorobyov@yandex.ru.

Information about the authors

Anatoly I. Osipov, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Chief Researcher, Federal State Budgetary Institution "Agrophysical Research Institute", <https://orcid.org/0009-0003-3181-3792>, SPIN-code: 8023-7429; aosipov2006@mail.ru.

Nikolay I. Vorobyov, Cand. Sci. (Eng.), Leading Researcher, All-Russia Research Institute for Agricultural Microbiology, <https://orcid.org/0000-0001-8300-2287>, SPIN-code: 7190-9997; nik.ivanvorobyov@yandex.ru.

Авторский вклад:

Осипов А.И. – концепция исследований, закладка и выполнение полевых опытов, сбор данных, подготовка рукописи;

Воробьев Н.И. – концепция исследований, анализ полученных данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The author's contribution:

Osipov A.I. – the concept of research, the laying and execution of field experiments, data collection, preparation of the manuscript;

Vorobyov N.I. – the concept of research, analysis of the data obtained and their interpretation, preparation of the manuscript.

Conflict of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.01.2024; одобрена после рецензирования 04.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 12.01.2024; approved after reviewing 02.04.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 631.95; 631.615; 631.626.1; 631.6.03

Код ВАК: 4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-27-35

АГРОЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ДРЕНАЖНО-СБРОСНЫХ БОЛОТНЫХ ВОД НА СТАРОПАХОТНЫХ НИЗИННЫХ ТОРФЯНЫХ И ВЫРАБОТАННЫХ ПОЧВАХ СЕВЕРО-ВОСТОКА ЕВРОПЕЙСКОЙ ЧАСТИ РОССИИ

В.П. Царенко¹ ✉, Н.А. Уланов², А.Н. Уланов²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ tsarenko.prof@yandex.ru

²Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса»,
п. Юбилейный, Оричевский район, Кировская область, Россия

Реферат. Главной особенностью торфяных и выработанных почв, длительное время находящихся в культуре, является высокая степень физико-химической и биологической трансформации органического вещества торфяной залежи и подстилающей породы. По содержанию в сбросных водах многих зольных элементов можно с высокой степенью вероятности судить о величине потерь этих элементов из почвенного раствора и почвенно-поглощающего комплекса в целом. Информация о гидрохимическом режиме дренажных вод каждого персонального участка осушаемой торфяной залежи может служить достоверным и весьма оперативным инструментом общего контроля за режимом использования органогенной почвы в сельскохозяйственном и лесном производстве. В настоящей работе приводятся результаты экологической оценки дренажно-сбросных вод с осушаемого низинного торфомассива «Гадовское», используемого в сельскохозяйственной и лесной культурах более 100 лет. Установлено, что гидрохимическая обстановка наиболее тесно связана с гидротермическим режимом, характером и длительностью пребывания различных объектов торфомассива в производстве. С увеличением срока эксплуатации торфяных и выработанных почв повышается степень минерализации стока. Общее количество ионов в сбросных водах, определяемых на объекте, пребывающем в культуре более 90 лет, достигает 620 мг/л, минимальное содержание большинства зольных элементов в водах отмечено на участке, не используемом в кормопроизводстве (310 мг/л). В среднем по всем объектам торфомассива наиболее высокие их потери в дренажных водах приходится на позднесенний период, минимальные – на весенний. По совокупности доминирующих ионов дренажно-сбросные воды торфомассива относятся к гидрокарбонатно-кальциевому типу.

Ключевые слова: освоенная торфяная почва, выработанный торфяник, кормовой севооборот, вторичная лесная культура, поверхностные дренажные воды

Цитирование. Царенко В.П., Уланов Н.А., Уланов А.Н. Агроэкологическая оценка дренажно-сбросных болотных вод на старопахотных низинных торфяных и выработанных почвах северо-востока Европейской части России // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 27–35, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-27-35.

AGROECOLOGICAL ASSESSMENT OF DRAINAGE-WASTE SWAMP
WATERS ON OLD-ARABLE LOWLAND PEAT AND DEPLETED SOILS
OF THE NORTH-EAST OF THE EUROPEAN PART OF RUSSIAV.P. Tsarenko¹ ✉, N.A. Ulanov², A.N. Ulanov³¹Saint- Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, Saint Petersburg, Russia
✉ tsarenko.prof@yandex.ru²Vyatka State Agrotechnological University»,
Kirov, Russia³Kirov Meadow-Swamp Experimental Station – branch FSC «AIF named after V.R. Williams»,
p. Yubileyny, Orichi district, Kirov Region

Abstract. The main feature of peat and depleted soils that have been in culture for a long time is a high degree of physico-chemical and biological transformation of the organic matter of the peat deposit and the underlying strata. According to the content of many ash elements in wastewater, it is possible to judge with a high degree of probability the amount of losses of these elements from the soil solution and the soil adsorption complex as a whole. Information on the hydrochemical regime of drainage waters of each personal section of the drained peat deposit can serve as a reliable and operational tool for general control over the regime of use of organogenic soil in agricultural and forestry production. This paper presents the results of the ecological assessment of drainage-waste waters from the drained peat bog «Gadovskoe», used in agricultural and forest crops for more than 100 years, are presented. It has been established that the hydrochemical situation is most closely related to the hydrothermal regime, the nature and duration of stay of various peat mass objects in production. With an increase in the service life of peat and developed soils, the degree of mineralization of drains increases. The total amount than 90 years reaches 620 mg/l, the minimum content of most ash elements in the waters was noted at a site not used in production sphere (310 mg/l). On average, for all peat bog objects, their highest losses in drainage waters occur in the late autumn period, the minimum – in the spring. According to the combination of dominant ions, the drainage-waste waters of the peat bog belong to a calcium hydrocarbonate type of water.

Keywords: *developed peat soil, cutover bog, feed crop rotation, secondary forest culture, surface drainage waters*

Citation: Tsarenko V.P., Ulanov N.A., Ulanov A.N. (2024) ‘Agroecological assessment of drainage-waste swamp waters on old-arable lowland peat and depleted soils of the North-East of the European part of Russia’, *Izvestiya of Sankt-Petersburg State Agricultural University*, vol. 75, no. 1, pp. 27–35, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-27-35.

Введение. Осушение торфяных болот, освоение их под промышленную торфодобычу, дальнейшее использование этих техногенных объектов под кормовые травы и вторичную лесную культуру приводит в конечном итоге к необратимой биохимической перестройке всех компонентов торфяной залежи [1, 2]. При этом скорость биохимических процессов определяется интенсивностью антропогенного воздействия на торфяную залежь. Особенно стремительно процесс трансформации органического вещества (ОВ) торфа протекает в условиях интенсивного осушения и длительной пропашной монокультуры [3–8]. К наиболее оперативным способам контроля за разрушительными процессами торфяных почв относят наблюдения за динамикой химического состава поверхностных сбросных болотных вод [9–12]. По количеству вымываемых зольных элементов и водорастворимых фракций ОВ можно судить о степени потенциальной опасности для окружающей среды продуктов разрушения

торфа. Установлено, что применение агрохимикатов многократно увеличивает уровень экологической напряженности в водной среде [3, 5, 6]. Совершенно очевидно, что эксплуатация осушаемых торфяных и выработанных почв должна непременно сопровождаться оценкой гидрохимического состава сбросных дренажных вод. Она позволит оперативно контролировать агротехнологическую нагрузку на эти объекты, особенно при использовании минеральных удобрений и пестицидов.

Цель исследования – изучить особенность ионного состава и сезонной динамики поверхностных дренажных вод в зависимости от режима и длительности использования старопахотных торфяных и выработанных почв.

Материалы, методы и объекты исследования. Основным объектом исследований является низинный торфомассив «Гадовское» общей площадью 3000 га. Торфомассив расположен в центральном торфяном бассейне Кировской области на территории второй надпойменной террасы р. Быстрицы. Первые осушительные и культуртехнические работы были организованы в 1914-1918 гг. Сброс вековых запасов болотных вод осуществляется через систему из 8 магистральных каналов.

Участок первой очереди освоения более 90 лет используется для выращивания овощных, зерновых, технических и кормовых культур. Остальная часть торфомассива с 1934 г. вырабатывалась послойно-фрезерным способом. По мере выхода территории из-под торфодобычи выработанные торфяники постепенно передавались в сельское или лесное производство. На момент наблюдений возраст искусственных и естественных лесопосадок достиг 40–50 лет. Общая лесопокрытая площадь составляет около 500 га. Ведущая культура – сосна обыкновенная (*Pinus sylvestris*).

Особенность землепользования на торфомассиве «Гадовское» – резкая смена во времени агротехнической культуры. До 1980-х гг. обеспеченность кормовых культур удобрительными средствами на всех типах почв находилась на высочайшем уровне. Ежегодно вносилось по 8–12 ц/га физической массы минеральных удобрений. На ремонтных полях под силосные культуры применялся подстилочный навоз КРС в дозах 100–120 т/га, регулярно использовались медь-бор-молибденовые микроудобрения и химические средства защиты растений. За последние 20 лет количество агрохимикатов на однолетних культурах сократилось до физиологического минимума. На многолетних травах они практически не применялись. Лесные культуры изначально функционировали без минеральных удобрений. Для более достоверной оценки влияния продолжительности и режима использования каждого мелиорируемого объекта на ионный состав дренажных вод вся территория торфяного массива была условно поделена на 5 основных участков, отличавшихся сроком пребывания в культуре и видом хозяйственной деятельности:

1. Осушенная торфяная почва, длительность использования в кормопроизводстве более 90 лет, максимально возможная площадь водосбора – 300 га.
2. Выработанный торфяник, длительность использования более 60 лет, площадь водосбора – 250 га.
3. Выработанный торфяник, длительность использования в кормопроизводстве более 40 лет, площадь водосбора – 350 га.
4. Искусственные посадки сосны обыкновенной на выработанных торфяниках, возраст 40-50 лет, площадь водосбора 350 га.

5. Выработанный торфяник, выведенный из активного природопользования по причине мелиоративной неустроенности, время окончания торфодобычи 1960 г. Площадь водосбора – 30 га.

Отбор образцов воды производился из центральных магистральных каналов, осуществлявших максимальный общий водосбор с каждого из указанных участков. Время отбора: апрель, июль и ноябрь 2021-2023 гг. Анализ воды проводился в испытательном центре ФГБУ ГЦАС «Кировский».

Результаты исследования. Для качественно-количественной оценки дренажных вод определялись водородный показатель и основной состав ионов, характеризующий гидрохимическую обстановку. В условиях осушаемых торфяников наиболее информативным показателем антропогенного загрязнения природных вод считается органическое вещество, особенно его водорастворимые фракции [5, 10]. Наиболее практикуемым косвенным методом измерения ОВ является определение перманганатной окисляемости (ПО). В сводной таблице представлены результаты сезонного мониторинга химического состава вод на обозначенных объектах. Так, величина ПО в течение сезона варьировала от 9 до 31 мг/л, что многократно превышает нормативный показатель, составляющий 5 мг/л. С увеличением срока использования торфяных почв под кормовыми культурами содержание ОВ в водах существенно увеличивается. В большинстве случаев максимальный вынос ОВ приходится на позднесенний период (см. таблицу).

Таблица. Характеристика дренажно-сбросных вод на различных осушаемых объектах торфомассива «Гадовское», мг/л (среднее за 2021-2023 гг.)

Table. Characteristics of drainage-waste water at various drained objects of the Gadovskoye peat bog, mg/l (average for 2021-2023)

Объект	Время	ПО	рН	Анионы					Катионы					Сумма ионов
				Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	H ₂ PO ₄ ⁻	NO ₃ ⁻	HCO ₃ ⁻	Ca ²⁺	Mg ²⁺	NH ₄ ⁺	K ⁺	Fe _{общ}	
Кормовой севооборот, 40 лет	Весна	9,0	7,9	11,9	20,9	0,08	27,7	253,0	61,0	24,0	0,45	0,4	1,36	400,8
	Лето	11,0	8,6	30,7	9,0	0,06	9,7	287,0	59,0	24,0	0,39	0,3	0,62	420,9
	Осень	19,0	7,5	9,0	26,0	0,13	9,0	296,0	70,0	21,0	1,30	0,5	3,70	436,6
	Среднее	13,0	8,0	17,2	18,6	0,09	15,5	278,7	63,3	23,0	0,71	0,4	1,89	419,0
Кормовой севооборот, 60 лет	Весна	26,0	7,7	19,0	15,2	0,11	14,3	175,0	43,0	14,0	0,62	0,5	2,56	284,3
	Лето	20,0	8,6	22,9	8,0	0,07	0,8	281,0	61,0	18,0	0,46	0,4	0,91	393,6
	Осень	28,0	7,4	22,1	8,0	0,20	1,6	300,0	67,0	18,0	1,70	0,9	3,40	423,0
	Среднее	24,7	7,9	21,3	10,4	0,13	5,6	252,0	57,0	16,7	0,93	0,6	2,29	367,0
Кормовой севооборот, 90 лет	Весна	31,0	7,7	26,0	25,4	0,19	21,4	250,0	64,0	21,0	0,75	4,0	1,68	414,4
	Лето	27,0	8,4	29,4	7,0	0,08	0,3	456,0	88,0	35,0	0,41	10,2	0,74	627,0
	Осень	29,0	7,7	19,3	29,7	0,09	8,0	386,0	84,0	27,0	0,73	0,9	1,17	556,9
	Среднее	29,0	7,9	24,9	20,7	0,12	9,9	364,0	78,7	27,7	0,63	5,0	1,20	532,8
Выработанный торфяник, не используемый в производстве	Весна	19,0	7,6	8,0	7,0	0,09	1,4	159,0	37,0	9,0	0,79	0,3	3,85	226,4
	Лето	25,0	8,3	25,5	7,0	0,13	0,4	247,0	53,0	12,0	0,71	0,2	4,74	350,9
	Осень	27,0	7,2	20,7	7,0	0,31	1,2	243,0	58,0	11,0	0,22	0,6	9,92	352,0
	Среднее	23,7	7,7	18,1	7,0	0,18	1,0	216,0	49,3	10,7	0,57	0,4	6,17	309,8
Выработанный торфяник под лесопосадками сосны	Весна	20,0	7,8	20,4	20,0	0,03	14,6	144,0	41,0	10,0	0,48	0,3	1,07	251,9
	Лето	24,0	8,4	27,4	7,0	0,09	6,6	244,0	55,0	16,0	0,62	0,2	2,71	359,9
	Осень	24,0	7,4	20,0	16,6	0,14	7,3	265,0	65,0	13,0	2,75	0,5	5,64	396,0
	Среднее	22,7	7,9	22,6	14,5	0,09	9,5	217,7	53,7	13,0	1,28	0,3	3,14	335,9

Концентрация ионов водорода имеет большое значение для химических и биологических процессов, происходящих в природных водах. От величины рН зависят жизнедеятельность гидробионтов, устойчивость различных форм миграции элементов,

агрессивное действие воды на бетон и металлы водорегулирующих систем. От величины водородного показателя (ВП) зависят процессы превращения различных форм биогенных элементов и токсичность некоторых загрязняющих веществ. Значение рН в водах низинных болот обычно колеблется от 7,2 до 8,6 [5, 9, 10]. На изучаемых объектах величина рН укладывается в эти параметры и практически не зависит от длительности пребывания почв в культуре. Из данных таблицы следует, что максимальное значение ВП (до 8,6) на всех объектах отмечено в июле, минимальное (до 7,2) – осенью.

В дренажных водах всех без исключения объектов торфомассива «Гадовское» многократно доминирует гидрокарбонат-анион, придающий природной воде так называемую временную жесткость. Максимальное его содержание (300–460 мг/л) в водах на осушаемой территории, используемой под кормовые культуры, приходится на летний и осенний периоды. На бесхозных выработанных торфяниках, используемых под вторичные древостой, количество HCO_3^- в 1,5 раза меньше.

Содержание Cl^- -иона в болотно-сбросных водах варьирует в пределах 15–27 мг/л, что значительно меньше ПДК, составляющей 350 мг/л. Максимальное количество (до 30 мг/л) приходится на летний период. Отмечена тенденция его незначительного увеличения в водах по мере увеличения срока освоения торфяной почвы под кормовыми травами.

Сульфаты, как и хлориды, относятся к солям, создающим постоянную (трудноустраняемую) жесткость природной воды. В сбросных болотных водах их содержание зависит от характера использования объекта и времени отбора образцов. На площади под кормовыми культурами максимальное количество сульфатов (10–30 мг/л) приходится на весенний и осенний периоды. Минимальное (6–9 мг/л) – в июле с территории под лесопосадками и неиспользуемыми выработанными участками.

Как уже было отмечено, наибольшую опасность в плане эвтрофирования водной среды представляют соединения фосфора и азота [3, 4, 7, 10]. Первые признаки эвтрофирования могут наблюдаться уже при их содержании 15 мг/л. ПДК нитратов составляет 45 мг/л. В сбросных водах торфомассива содержание водорастворимых соединений фосфора не превышает в среднем за сезон 0,09–0,17 мг/л. Содержание нитратов варьирует от 0,4 до 1,4 мг/л на неиспользуемых выработанных участках. На полях кормовых севооборотов количество нитратов в водах доходит до 28 мг/л. В среднем по объектам минимальные потери фосфора и нитратного азота из-за активного их потребления растениями отмечены в летний период, максимальные – осенью.

Из группы катионов в сбросных водах торфомассива уверенно доминируют двухвалентные ионы. Так, содержание Ca^{2+} колеблется от 40 мг/л на неиспользуемых и залесенных выработанных участках до 90 мг/л под кормовыми севооборотами. Содержание Mg^{2+} под этими же объектами варьирует соответственно от 9–12 до 35 мг/л (таблица). Установлено, что по мере увеличения срока пребывания осушаемых земель под кормовыми культурами количество Ca^{2+} и Mg^{2+} в водах увеличивается. В сезонной динамике максимальные потери Ca^{2+} с дренажными водами приходятся на осенний период, особенно если он сопровождается обильными осадками. Динамика Mg^{2+} выражена слабее. Аналогичные данные по осушаемым низинным болотам приводят многие исследователи в разных регионах Нечерноземной зоны России [1, 2, 11, 12].

Содержание ионов калия (K^+) в дренажно-сбросных водах в целом по торфомассиву редко превышает 1 мг/л. Лишь на торфяной почве, находящейся в сельскохозяйственной

культуре более 90 лет (прифермский кормовой севооборот), в весенний и летний периоды его количество может достичь 4–7 мг/л. Это совпадает с разовым внесением большого количества подстилочного навоза (до 200 т/га) на эту территорию, так как она примыкает к животноводческим объектам. Сезонная динамика K^+ выражена слабо.

Соединения железа в зависимости от ОБП профиля осушаемой почвы и значений pH могут находиться в почвенном растворе в двухвалентной (легкоподвижной) и трехвалентной (труднорастворимой) формах одновременно [3, 4, 7, 9, 10]. В целом по торфяному массиву в соотношении 60:40 доминируют соединения Fe^{3+} . Для более полной качественной оценки железа как потенциального загрязнителя водоемов мы приводим суммарное (общее) его содержание в дренажно-сбросных водах. Наблюдается относительно высокая концентрация ионов железа на всех без исключения объектах. Так, при ПДК 0,3 мг/л разброс значений общего железа в водах составляет от 1,8 мг/л под кормовыми культурами до 6,2 мг/л под лесными культурами. Очевидно, что такая разница в содержании железа в границах одного торфомассива связана не столько с режимами использования объектов, сколько с пестротой природного геохимического фона самого бывшего болота. В сезонной динамике наибольшее количество железа в дренажных водах за счет его закисных форм отмечено в позднесенний период.

Катионы NH_4^+ , в отличие от нитратных форм азота, присутствуют в дренажных водах в незначительных количествах: от 0,4 мг/л под кормовыми культурами до 2,8 мг/л под лесопосадками, что почти укладывается в рамки ПДК (2,5 мг/л). На всех объектах торфяного массива прослеживается общая тенденция: минимальное содержание аммонийного азота приходится на лето, а максимальное – на позднюю осень (см. таблицу). Прежде всего, это обусловлено сезонной разницей в гидротермических условиях среды и сменой физиологических ритмов питания самих растений.

Выводы:

1. В среднем по объектам компоненты дренажного стока по величине выноса располагаются в следующей последовательности: катионы: $Ca^{2+} > Mg^{2+} > F_{общ} > NH_4^+ > K^+$; анионы: $HCO_3^- > Cl^- > SO_4^{2-} > NO_3^- > H_2PO_4^-$. Это соотношение позволяет отнести сбросные воды к гидрокарбонатно-кальциевому типу.

2. Увеличение срока пребывания торфяной почвы в сельскохозяйственной культуре приводит к значительному увеличению потерь большинства зольных элементов с мелиоративным стоком. Максимальные потери приходятся на позднесенний срок. Минимальный вынос соединений азота, фосфора и калия отмечен в летний период.

3. Отсутствие хозяйственной деятельности на выработанной торфяной почве выгодно отличает ее от остальных объектов. Так, общие потери основных биогенных элементов и нитратного азота на этом участке в 1,5–2,0 и 10–15 раз соответственно ниже средних значений по торфомассиву. Максимальное количество (3–10 мг/л) соединений железа скорее всего связано с геохимической пестротой торфяной залежи, а не с режимом использования выработанной почвы.

Список литературы

1. Черноусенко, Г.И. Влияние физических свойств торфяных почв на миграцию влаги и её потребление растениями: монография / Г. И. Черноусенко, И.И. Судницын; Почвенный институт им. В.В. Докучаева, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, факультет почвоведения МГУ. – М.: МАКС Пресс, 2019. – 151 с. – ISBN 978-5-317-06099-2.
2. Анженков, А.С. Сохранение и повышение плодородия торфяных почв / А. С. Анженков, В. Н. Филиппов // Мелиорация. – 2023. – № 1(103). – С. 47–52.
3. Максимов, С.А. Научные основы формирования биогеохимических барьеров при мелиорации и рекультивации земель / С. А. Максимов. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2021. – 295 с. – ISBN 978-5-907464-08-7.
4. Научные основы и технологические приемы комплексного регулирования параметров агроэкосистемы: [монография] / Л. В. Кирейчева, Н. П. Карпенко, В. М. Яшин [и др.]. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2022. – 234 с. – ISBN 978-5-907464-30-8.
5. Регулирование баланса потоков биогенных элементов в агроэкосистемах осваиваемых и старопахотных земель Нечерноземной зоны: [монография] / В. А. Шевченко, Н. С. Матюк, А. М. Соловьев [и др.]. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2022. – 160 с. – ISBN 978-5-907464-22-3.
6. Шевченко, В.А. Современное состояние выбывших из оборота мелиорированных земель и перспективы их освоения: монография / В.А. Шевченко – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2021. – 408 с. – ISBN 978-5-907464-00-1.
7. Экологические проблемы при вовлечении в оборот ранее мелиорированных земель Нечерноземной зоны и пути их решения: монография / В. А. Шевченко, А. М. Соловьев, Г. И. Бондарева, Н.П. Попова. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А.Н. Костякова», 2021. – 134 с. – ISBN 978-5-6042437-7-0.
8. Авраменко, Н.М. Изменение физических свойств осушенной торфяной залежи в процессе ее осадки / Н. М. Авраменко // Мелиорация. – 2019. – № 1(87). – С. 24–37.
9. Бакштанин А.М., Глазунова И.В., Маркин В.Н. [и др.]. Вопросы управления качеством дренажного стока: монография / Министерство сельского хозяйства Российской Федерации, Российский государственный университет – Московская сельскохозяйственная академия им. К. А. Тимирязева (РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева), Институт мелиорации, водного хозяйства и строительства имени А.Н. Костякова. – М.; Курск: Университетская книга, 2022. – 207 с. – ISBN 978-5-907679-00-9.
10. Экологический мониторинг мелиоративных земель и мелиоративных систем: монография / [Б. М. Кизяев, С. Д. Исаева, В. П. Максименко и др.]; под редакцией В. А. Шевченко; Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации им. А. Н. Костякова. – М.: ФГБНУ «ВНИИГиМ им. А. Н. Костякова», 2019. – 342 с. – ISBN 978-5-9906860-7-6.
11. Власов, М.В. Моделирование взаимосвязи поверхностных и дренажных вод / М. В. Власов, С. В. Куприянова // Экология и водное хозяйство. – 2022. – Т. 4, № 2. – С. 88–99.
12. Сафронова, Т.И. Формирование загрязненного поверхностного стока на сельскохозяйственных угодьях / Т. И. Сафронова, И. А. Приходько // International Agricultural Journal. – 2020. – Т. 63, № 3. – С. 1–7.

References

1. Chernousenko G. I. (2019), The influence of the physical properties of peat soils on the migration of moisture and its consumption by plants: monograph / G. I. Chernousenko, I. I. Sudnitsyn; V. V. Dokuchaev Soil Institute, Lomonosov Moscow State University, Faculty

- of Soil Science, Moscow State University. М.: МАКС Press. – 151 p. – ISBN 978-5-317-06099-2. (In Russ.).
2. Anzhenkov A. S. (2023), ‘Preservation and improvement of fertility of peat soils’, *Melioration*, vol. 103, no. 1, pp. 47–52. (In Russ.).
 3. Maksimov S. A. (2021), Scientific foundations of the formation of biogeochemical barriers during melioration and land reclamation. S. A. Maksimov. М.: Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», 295 p. – ISBN 978-5-907464-08-7. (In Russ.).
 4. Scientific foundations and technological techniques of comprehensive regulation of agroecosystem parameters: [monograph] L. V. Kireicheva, N. P. Karpenko, V. M. Yashin [et al.].(2022), М.: Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», 234 p. – ISBN 978-5-907464-30-8. (In Russ.).
 5. Regulation of the balance of flows of biogenic elements in agroecosystems of cultivated and old-arable lands of the Non-Chernozem zone: [monograph] V. A. Shevchenko, N. S. Matyuk, A.M. Solovyov [et al.].(2022), М.: Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», 160 p. – ISBN 978-5-907464-22-3. (In Russ.).
 6. Shevchenko V. A. (2021), The current state of reclaimed lands that have been retired from circulation and prospects for their development: monograph / Shevchenko V. A. – М.: Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», 408 p. – ISBN 978-5-907464-00-1. (In Russ.).
 7. Environmental problems in the process of involving previously reclaimed lands of the Non-Chernozem zone into circulation and ways to solve them: monograph / V. A. Shevchenko, A. M. Solovyov, G. I. Bondareva, N. P. Popova. (2021), М.: Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», 134 p. – ISBN 978-5-6042437-7-0. (In Russ.).
 8. Avramenko N.M. (2019), Change in the physical properties of a drained peat deposit during its contraction. N. M. Avramenko. *Melioration*. 2019. no. 1(87). pp. 24–37. (In Russ.).
 9. Bakshtanin, A.M., Glazunova, I.V., Markin V.N. [et al.] (2022), Issues of drainage runoff quality management: monograph, М.; Kursk: University Book, 207 p. – ISBN 978-5-907679-00-9. (In Russ.).
 10. Ecological monitoring of reclamation lands and reclamation systems: monograph / [B. M. Kizyaev, S. D. Isaeva, V. P. Maksimenko, etc.]; edited by V. A. Shevchenko.(2019), М.: Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Scientific Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation named after A. N. Kostyakov», 342 p. – ISBN 978-5-9906860-7-6. (In Russ.).
 11. Vlasov M. V. (2022), ‘Modeling the relationship of surface and drainage waters’, *Ecology and water management*, vol. 4, no. 2, pp. 88–99. (In Russ.).
 12. Safronova T. I. (2020), ‘Formation of polluted surface runoff on agricultural lands’, *International Agricultural Journal*, vol. 63, no. 3, pp. 1–7. (In Russ.).

Сведения об авторах

Царенко Василий Павлович, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, <https://orcid.org/0000-0003-2495-1997>, SPIN-код: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280; tsarenko.prof@yandex.ru.

Уланов Николай Анатольевич, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», <https://orcid.org/0009-0007-7954-0411>, SPIN-код: 5140-6792; bolotoagro50@mail.ru.

Уланов Анатолий Николаевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по научной работе, Кировская лугоболотная опытная станция – филиал ФНЦ «ВИК им. В.Р. Вильямса», <https://orcid.org/0009-0005-3265-3254>; bolotoagro50@mail.ru.

Information about the authors

Vasily P. Tsarenko, Doc. Sci. (Agric.), Professor of the Alexandrova Department of Soil Science and Agrochemistry, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “Saint-Petersburg State Agrarian University”, <https://orcid.org/0000-0003-2495-1997>, SPIN-code: 7808-4692, Scopus ID: 6603935280; tsarenko.prof@yandex.ru.

Nikolay A. Ulanov, Cand. Sci. (Agric.), Senior Researcher, Kirov Meadow-Swamp Experimental Station – branch FSC «AIF named after V.R. Williams», <https://orcid.org/0009-0007-7954-0411>; bolotoagro50@mail.ru.

Anatoly N. Ulanov, Doc. Sci. (Agric.), Professor, Deputy Director for Scientific Work, Kirov Meadow-Swamp Experimental Station – branch FSC «AIF named after V.R. Williams», <https://orcid.org/0009-0005-3265-3254>; bolotoagro50@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы этой статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors contribution. All authors of this study were directly involved in the planning, execution and analysis of this study. All authors of this article reviewed and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 12.01.2024; одобрена после рецензирования 14.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 12.01.2024; approved after reviewing 14.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 635.21:632.76

Код ВАК: 4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-36-47

ЗАЩИТА ПШЕНИЦЫ ОЗИМОЙ ОТ ВРЕДНЫХ ОРГАНИЗМОВАли А. С. Аль-Малики^{1,2}, М. Б. А. Исави², В.А. Хилевский^{3,4}¹Министерство сельского хозяйства, департамент защиты растений,
Абу-Грейб, Багдад, Ирак,
✉ ali77.2013@yahoo.com²Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия³Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия⁴Инновационный центр защиты растений,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. Химическое управление численностью вредных организмов имеет большое значение ввиду возможности его оперативного использования в случае возникновения опасных фитосанитарных ситуаций, а также высокой биологической и экономической эффективности. Особенностью изученных препаратов является низкая норма применения, что соответствует одному из важных критериев оценки уровня экологической безопасности пестицидов. Исследования были проведены в Сальском районе Ростовской области в 2021–2022 гг. Цель исследований – оценка эффективности и разработка регламентов применения современных комбинированных пестицидов: гербицида, содержащего 225 г/л трибенурон-метила и 76 г/л тифенсульфурон-метила, и инсектицида, содержащего 112 г/л бифентрина и 37 г/л сульфоксафлора. В опытах были использованы следующие сорта пшеницы озимой (*Triticum aestivum* L.): Сварог (2021 г.), Юка (2022 г.). Фаза развития растений пшеницы на момент обработки гербицидами – кущение или выход в трубку. Биологическая эффективность гербицида, содержащего 225 г/л трибенурон-метила и 76 г/л тифенсульфурон-метила, масляная дисперсия (МД), как в смеси с поверхностно-активным веществом (ПАВ) Бит 90 (жидкость, Ж), так и в чистом виде была на уровне эффективности эталона Калибр Голд, водно-диспергируемые гранулы (ВДГ) как в смеси с ПАВ Тренд 90, Ж, так и в чистом виде – в соответствующих регламентах применения. Использование препарата было безопасным для защищаемой культуры. Изучение биологической эффективности комбинированного инсектицида, содержащего 112 г/л бифентрина и 37 г/л сульфоксафлора (суспензионная эмульсия, СЭ), против опасного фитофага, пшеницы красногрудой (*Oulema melanopus* L.), вредящей пшенице озимой, проводили по схеме: изучаемый препарат в нормах применения 0,2 л/га, 0,3 л/га, 0,4 л/га, эталонный препарат Клонрин, концентрат эмульсии (КЭ) в норме 0,2 л/га и контроль без обработки. Фаза развития культуры на момент проведения обработки – выход в трубку. Оценка биологической эффективности изучаемого инсектицида показала, что препарат снижал численность личинок пшеницы красногрудой до 95,8%. Опытный препарат в трех нормах применения (0,2, 0,3 и 0,4 л/га) соответствовал эффективности эталона Клонрин, КЭ в норме применения 0,2 л/га и даже превышал ее.

Ключевые слова: гербицид, инсектицид, биологическая эффективность, сорные растения, пшеница красногрудая, пшеница озимая

Цитирование. Аль-Малики А.А., Моханад Б.А. Исави, Хилевский В.А. Защита пшеницы озимой от вредных организмов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 36–47, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-36-47.

PROTECTION OF WINTER WHEAT AGAINST PESTS

Ali A.S. Al-Maliki^{1,2} ✉, Mohanad B.A. Isawi², V.A. Khilevsky^{3,4}

¹Ministry of Agriculture, Department of Plant Protection,
Abu Ghraib, Baghdad, Iraq
✉ ali77.2013@yahoo.com

²Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, Saint Petersburg, Russia

³All Russia Research Institute for Plant Protection,
Pushkin, St. Petersburg, Russia

⁴Innovation Center for Plant Protection,
Pushkin, St. Petersburg, Russia

Abstract. Chemical control of pest populations is of great importance because of the possibility of its immediate use in the event of serious phytosanitary situations, as well as its high biological and economic efficiency. One advantage of the studied preparations is their low application rate, which is consistent with one of the important criteria for evaluating the level of environmental safety of pesticides. The research was conducted in the Salsky district of the Rostov Region in 2021-2022. The aim of the research is to evaluate the effectiveness and develop regulations for the use of modern combined pesticides: a herbicide containing 225 g/l tribenuron-methyl and 76 g/l thifensulfuron-methyl and an insecticide containing 112 g/l bifenthrin and 37 g/l sulfoxaflor. The following varieties of Winter Wheat (*Triticum aestivum* L.) were used in the experiments: Svarog (2021), Yuka (2022). The growth stage of wheat plants at the time of treatment with pesticides – tillering or exit into the tube. Biological efficacy of an herbicide containing 225 g/l tribenuron-methyl and 76 g/l thifensulfuron-methyl, oil dispersion (OD), as mixed with surfactant Bit 90, liquid (L), and in its pure form was at the level of effectiveness of the standard Caliber Gold, water-dispersible granules (WDG), both in a mixture with surfactant Trend 90, L, and in its pure form in the relevant regulations for use. Using the drug was safe for the protected crop. The study of the biological effectiveness of a combined insecticide containing 112 g/l of bifenthrin and 37 g/l of sulfoxaflor, suspension emulsion (SE) against a dangerous phytophage that harms Winter Wheat, Cereal Leaf Beetle (*Oulema melanopus* L.), was carried out according to the scheme: the studied drug at application rates of 0.2 l/ha, 0.3 l/ha, 0.4 l/ha, the standard drug Clonrin, emulsion concentrate (EC) at a rate of 0.2 l/ha and control without treatment. Phase of culture development at the time of treatment: exit into the tube. An assessment of the biological effectiveness of the insecticide under study showed that the drug reduced the number of hogweed larvae by up to 95.8%. The experimental drug at three application rates (0.2, 0.3 and 0.4 l/ha) corresponded to the effectiveness of the standard Clonrin, EC at the application rate of 0.2 l/ha and even exceeded it.

Keywords: herbicide, insecticide, biological effectiveness, weeds, cereal leaf beetle, Winter Wheat

Citation. Al-Maliki A.A., Mohanad B.A. Isawi, Khilevsky V.A. (2024), "Protection of Winter Wheat against pests", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no 1, pp. 36-47 . (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-36-47.

Введение. Стратегия современной защиты растений включает использование высококачественного семенного материала, прогноз развития фитосанитарной обстановки на полях в текущем году с учётом погодных условий, подбор соответствующей агротехники, мониторинг развития вредных организмов в течение вегетации и применение защитных мероприятий только в случае серьёзной угрозы урожаю (по экономическим порогам вредоносности) [1–3]. Меры химического управления численностью имеют наибольшее значение ввиду возможности их оперативного использования в случае возникновения опасных

фитосанитарных ситуаций, высокой биологической и экономической эффективности и быстрой окупаемости [4, 5]. Ухудшение фитосанитарного состояния на полях озимой пшеницы в последние годы из-за нарушений технологии возделывания и систем защитных мероприятий провоцирует вспышки массового размножения традиционных опасных вредных организмов [6–8].

Цель исследований – оценка эффективности и разработка регламентов применения современных комбинированных пестицидов: гербицида, содержащего 225 г/л трибенурон-метила и 76 г/л тифенсульфурон-метила, и инсектицида, содержащего 112 г/л бифентрина и 37 г/л сульфоксафлора.

Материалы, методы и объекты исследований. Полевые исследования проводились в Сальском районе Ростовской области. В опытах были использованы следующие сорта пшеницы озимой (*Triticum aestivum* L.): Сварог (2021 г.), Юка (2022 г.).

Фаза развития растений пшеницы на момент обработки гербицидами – кущение или выход в трубку.

Методика проведения учетов сорных растений и определения биологической эффективности гербицидов – в соответствии с Методическими указаниями по регистрационным испытаниям гербицидов в сельском хозяйстве (2013 г.) и Методическими рекомендациями по проведению регистрационных испытаний гербицидов (2020 г.) [9].

Учеты вредителей и расчет биологической эффективности инсектицидов осуществляли в соответствии с Методическими указаниями по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, моллюскоцидов и родентицидов в сельском хозяйстве (2009 г.) и Методическими указаниями по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве (2022 г.) [10, 11].

Результаты исследований. Исследования по оценке эффективности и разработке регламентов применения гербицида на основе трибенурон-метила и тифенсульфурон-метила проводили по схеме, представленной в табл. 1.

Таблица 1. Схема опыта
 Table 1. Experience scheme

№ п.п.	Варианты опыта	Нормы применения препарата	Кратность обработок
1	225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД	0,05 л/га	1
2	225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД	0,075 л/га	1
3	225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД	0,1 л/га	1
4	225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж	0,05 л/га + 0,2 л/га	1
5	225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж	0,075 л/га + 0,2 л/га	1
6	225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж	0,1 л/га + 0,2 л/га	1
7	Калибр Голд, ВДГ + ПАВ Тренд 90, Ж (эталон)	0,03 кг/га + 0,2 л/га	1
8	Калибр Голд, ВДГ (эталон)	0,05 кг/га	1
9	Контроль	-	-

Исходная засоренность опытного участка пшеницы озимой в фазу кущения (2021 г.) однолетними сорняками составляла 67 экз./м². В посеве преобладали однолетние двудольные сорняки: гречишка вьюнковая, дескурайния Софии и подмаренник цепкий. Количество многолетних двудольных сорных растений вьюнка полевого составляло 14 экз./м².

Внесение гербицидов способствовало существенному подавлению сорных растений. В вариантах с внесением опытного гербицида как в смеси с ПАВ Бит-90, Ж, так и в чистом виде снижение общего количества сорных растений составляло 72,5–94,0%, снижение массы однолетних двудольных сорняков – 87,2–100%, снижение массы многолетних видов 44,2–88,1%. Внесение изучаемого гербицида соответствовало уровню эффективности эталона Калибр Голд, ВДГ как в смеси с ПАВ Тренд 90, Ж, так и в чистом виде.

В результате наших исследований было выявлено, что наименьшее снижение общего количества сорных растений в посевах пшеницы озимой на 30-е сутки после обработки наблюдалось при использовании 0,05 л/га опытного препарата (72,5%). Общая засоренность посевов существенно снижалась при внесении его в комбинации с ПАВ Бит 90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га (94,0%) на 45-е сутки после обработки.

Урожайность пшеницы озимой в контроле составила 33,6 ц/га (табл. 2). Статистически достоверные величины сохранного урожая в вариантах с внесением гербицида составляли от 13,1 до 15,2%.

Таблица 2. Урожайность пшеницы озимой сорта Сварог в фазу кущения при использовании гербицида на основе трибенурон-метила и тифенсульфурон-метила (Ростовская область, 2021 г.)

Table 2. Yield of Winter Wheat variety Svarog in the tillering phase when using an herbicide based on tribenuron-methyl and thifensulfuron-methyl (Rostov Region, 2021)

Варианты опыта	Средняя урожайность	
	ц/га	% к контролю
1. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,05 л/га	38,0	113,1
2. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,075 л/га	38,4	114,3
3. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,1 л/га	38,5	114,6
4. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,05 л/га + 0,2 л/га	38,2	113,7
5. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,075 л/га + 0,2 л/га	38,4	114,3
6. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га	38,7	115,2
7. Калибр Голд, ВДГ + ПАВ Тренд 90, Ж – 0,03 кг/га + 0,2 л/га	38,1	113,4
8. Калибр Голд, ВДГ – 0,05 кг/га	38,6	114,9
9. Контроль	33,6	100
НСР ₀₅ =	0,81	

Исходная засоренность опытного участка пшеницы озимой в фазу выхода в трубку (2021 г.) однолетними сорняками составляла 80 экз./м². В посеве преобладали однолетние двудольные сорняки: гречишка вьюнковая, дескурайния Софии и подмаренник цепкий. Количество многолетних двудольных сорных растений вьюнка полевого составляло 10 экз./м².

В результате наших исследований было выявлено, что внесение гербицидов способствовало существенному подавлению сорных растений в вариантах с внесением изучаемого гербицида как в смеси с ПАВ Бит 90, Ж, так и в чистом виде. Наименьшее снижение общего количества сорных растений в посевах пшеницы озимой на 30-е сутки после обработки наблюдалось при использовании 0,05 л/га опытного препарата (64,2%).

Максимально снижалось общее количество сорных растений при использовании изучаемого гербицида + ПАВ Бит-90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га (88,5%).

Большинство видов сорных растений проявляло к гербициду высокую чувствительность (табл. 3).

Таблица 3. Влияние гербицида на основе трибенурон-метила и тифенсульфурон-метила на отдельные виды сорных растений в посевах пшеницы озимой (Ростовская область, 2021 г.)

Table 3. Effect of herbicides based on tripuron methyl and thiaphensulfuron methyl on certain types of weeds in Winter Wheat crops (Rostov Region 2021)

Варианты опыта	Даты учетов	Снижение количества сорных растений, % к контролю			
		<i>Fallopia convolvulus</i>	<i>Descurainia sophia</i>	<i>Galium aparine</i>	<i>Convolvulus arvensis</i>
1. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,05 л/га	30.05	71,9	78,6	63,2	37,5
	14.06	73,9	75,0	73,3	38,5
	07.07	85,7	100	71,4	45,5
2. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,075 л/га	30.05	78,1	85,7	68,4	43,8
	14.06	82,6	87,5	80,0	46,2
	07.07	100	100	100	54,5
3. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,1 л/га	30.05	84,4	92,9	78,9	50,0
	14.06	87,0	100	86,7	53,8
	07.07	100	100	100	63,6
4. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,05 л/га + 0,2 л/га	30.05	75,0	78,6	68,4	43,8
	14.06	78,3	87,5	73,3	46,2
	07.07	100	100	85,7	54,5
5. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,075 л/га + 0,2 л/га	30.05	81,3	85,7	73,7	50,0
	14.06	87,0	100	80,0	53,8
	07.07	100	100	100	63,6
6. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га	30.05	87,5	92,9	84,2	62,5
	14.06	91,3	100	93,3	61,5
	07.07	100	100	100	72,7

Продолжение таблицы 3

7. Калибр Голд, ВДГ + ПАВ Тренд 90, Ж – 0,03 кг/га + 0,2 л/га	30.05	81,3	71,4	57,9	50,0
	14.06	87,0	75,0	66,7	53,8
	07.07	100	100	71,4	54,5
8. Калибр Голд, ВДГ – 0,05 кг/га	30.05	90,6	85,7	84,2	62,5
	14.06	95,7	100	86,7	61,5
	07.07	100	100	85,7	72,7
9. Контроль*	30.05	32	14	19	16
	14.06	23	8	15	13
	07.07	7	1	7	11

*В строке «Контроль» представлены данные о количестве сорных растений, экз./м².

Урожайность пшеницы озимой в контроле составила 33,9 ц/га. Статистически достоверные величины сохранного урожая в вариантах с внесением гербицида составляли от 11,2 до 13,6%.

Исходная засоренность опытного участка пшеницы озимой в фазу кущения (2022 г.) однолетними сорняками составляла 58 экз./м². В посевах преобладали однолетние двудольные сорняки: дескурайния Софии, мак-самосейка и подмаренник цепкий. Количество многолетних двудольных сорных растений вьюнка полевого составляло 8 экз./м².

Наименьшее снижение общего количества сорных растений наблюдалось в посевах пшеницы озимой при использовании 0,05 л/га опытного препарата (75,0%) на 30-е сутки после обработки. Максимально общая засоренность посевов снижалась при внесении изучаемого гербицида + ПАВ Бит-90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га и составляла 96,6%.

Данные по собранному урожаю зерна в опытах с использованием гербицидов в фазе кущения приведены в табл. 4. За время проведения исследований наименьшее значение величины урожайности пшеницы озимой наблюдалось в контрольном варианте – 37,3 ц/га. Величина урожайности зерна пшеницы озимой во всех вариантах опыта колебалась на уровне 42,5–43,7 ц/га.

Таблица 4. Урожайность пшеницы озимой при использовании гербицида на основе трибенурон-метила и тифенсульфурон-метила (Ростовская область, 2022 г.)
Table 4. Winter Wheat yield when used herbicide based on tribenuron-methyl and thifensulfuron-methyl (Rostov Region, 2022)

Варианты опыта	Урожайность по повторностям, ц/га				Средняя урожайность	
	1	2	3	4	ц/га	% к контролю
1. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,05 л/га	41,8	42,8	42,0	43,3	42,5	113,9
2. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,075 л/га	42,9	43,7	42,8	42,3	42,9	115,0

Продолжение таблицы 4

3. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД – 0,1 л/га	43,6	43,0	41,8	44,8	43,3	116,1
4. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,05 л/га + 0,2 л/га	42,2	41,9	43,5	43,1	42,7	114,5
5. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,075 л/га + 0,2 л/га	42,6	43,7	44,0	42,1	43,1	115,5
6. 225 г/л трибенурон-метила + 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД + ПАВ Бит-90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га	44,8	43,3	44,0	42,8	43,7	117,2
7. Калибр Голд, ВДГ + ПАВ Тренд 90, Ж – 0,03 кг/га + 0,2 л/га	42,9	41,8	42,2	43,5	42,6	114,2
8. Калибр Голд, ВДГ – 0,05 кг/га	42,2	44,7	43,8	42,8	43,4	116,4
9. Контроль	36,5	37,7	36,7	38,1	37,3	100
НСР ₀₅ = 0,97 ц/га						

Исходная засоренность опытного участка пшеницы озимой в фазу выхода в трубку (2022 г.) однолетними сорняками составляла 60 экз./м². В посевах преобладали однолетние двудольные сорняки: дескурайния Софии, мак самосейка и подмаренник цепкий. Количество многолетних двудольных сорных растений вьюнка полевого составляло 9 экз./м².

В результате нашего исследования с использованием гербицидов в фазу выхода в трубку пшеницы озимой было установлено, что наименьшее снижение общей численности сорняков в посевах на 30-й день после обработки наблюдалось при использовании 0,05 л/га опытного препарата (68,1%). Сильнее снижалась общая засоренность посевов при внесении 0,1 л/га препарата (89,7%).

Наибольшее снижение общей засоренности посевов в фазу выхода в трубку озимой пшеницы наблюдалось при внесении изучаемого препарата + ПАВ Бит 90, Ж – 0,1 л/га + 0,2 л/га (93,1%).

Снижение массы однолетних двудольных сорняков составило 80,6–97,3%, снижение массы многолетних видов 49,9–91,3%. Внесение изучаемого гербицида соответствовало уровню эффективности эталона.

Вывод. Биологическая эффективность гербицида, содержащего 225 г/л трибенурон-метила и 76 г/л тифенсульфурон-метила, МД, как в смеси с ПАВ Бит-90, Ж, так и в чистом виде была на уровне эффективности эталона Калибр Голд, ВДГ как в смеси с ПАВ Тренд 90, Ж, так и в чистом виде – в соответствующих регламентах применения. Использование препарата было безопасным для защищаемой культуры.

Изучение биологической эффективности комбинированного инсектицида, содержащего 112 г/л бифентрина и 37 г/л сульфоксафлора, СЭ, против опасного фитофага, вредящего пшенице озимой, пьявицы красногрудой (*Oulema melanopus* L.), проводили по схеме: изучаемый препарат в нормах применения 0,2 л/га, 0,3 л/га, 0,4 л/га, эталонный препарат Клонрин, КЭ в норме 0,2 л/га и контроль без обработки. Фаза развития культуры на момент проведения обработки – выход в трубку.

На 3-и сутки после обработки в вариантах с инсектицидами численность пшавицы снизилась от 14,5 до 9,0 личинок/100 стеблей. Биологическая эффективность изучаемого препарата в трех нормах применения (0,2, 0,3 и 0,4 л/га) составила 85,4–91,0% и не уступала эффективности эталона Клонрин, КЭ (88,9 %) в норме применения 0,2 л/га (табл. 5).

Таблица 5. Биологическая эффективность инсектицида на основе бифентрина и сульфоксафлора в борьбе с личинками пшавицы красногрудой на пшенице озимой (Ростовская обл., 2021 г.)

Table 5. Biological effectiveness of an insecticide based on bifenthrin and sulfoxaflor in the fight against cereal leaf beetle larvae on Winter Wheat (Rostov region, 2021)

Вариант опыта	Норма применения препарата	Среднее число личинок на 100 стеблей			Снижение численности личинок относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %			Биологический урожай зерна, ц/га	
		до обработки	после обработки по суткам учетов			3	7		10
			3	7	10				
112 г/л бифентрина + 37 г/л сульфоксафлора, СЭ	0,2 л/га	97,8	14,5	13,0	11,8	85,4	88,0	89,6	39,4
	0,3 л/га	95,8	11,5	8,0	7,5	88,1	92,4	93,2	39,6
	0,4 л/га	98,5	9,0	6,3	5,0	91,0	94,3	95,6	39,8
Клонрин, КЭ (150 + 100 г/л) /эталон/	0,2 л/га	98,0	11,0	10,0	8,0	88,9	90,8	92,9	39,5
Контроль	–	97,0	97,8	107,0	111,3	–	–	–	35,7
НСР ₀₅		5,14	3,98	3,71	3,53	3,90	3,44	3,00	0,92

На 7-е и 10-е сутки после обработки в вариантах с изучаемым препаратом тенденция снижения численности личинок вредителя сохранилась. Биологическая эффективность инсектицида составила 88,0–95,6%; его действие было на уровне эталона (90,8% и 92,9%).

В контроле на протяжении учетного периода отмечено постепенное увеличение среднего числа личинок пшавицы красногрудой, соответственно: 97,0–97,8–107,0–111,3 личинок/100 стеблей.

Проведенный анализ урожая пшеницы озимой показал, что полученные данные в целом согласуются с результатами оценки биологической эффективности.

В сезоне 2022 г. на 3-и и 7-е сутки после обработки в вариантах с изучаемым инсектицидом средняя численность пьявицы снизилась до 14,5–4,5 личинок/100 стеблей и была ниже, чем в контроле. В эталонном варианте снижение составило 11,5–8,3 личинок/100 стеблей. Биологическая эффективность изучаемого препарата в трех нормах применения (0,2, 0,3 и 0,4 л/га) составила 85,9–95,8% и не уступала эффективности эталона Клонрин, КЭ (88,7–92,1%) в норме применения 0,2 л/га (табл. 6).

Таблица 6. Биологическая эффективность инсектицида на основе бифентрина и сульфоксафлора в борьбе с личинками пьявицы красногрудой на пшенице озимой (Ростовская обл., 2022 г.)

Table 6. Biological effectiveness of an insecticide based on bifenthrin and sulfoxaflor in the fight against cereal leaf beetle larvae on Winter Wheat (Rostov Region, 2022)

Вариант опыта	Норма применения препарата	Среднее число личинок на 100 стеблей			Снижение численности личинок относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %			Биологический урожай зерна, ц/га	
		до обработки	после обработки по суткам учетов			3	7		10
			3	7	10				
Майнстей, СЭ (112 + 37 г/л)	0,2 л/га	101,3	14,5	10,3	11,5	85,9	90,3	89,8	40,3
	0,3 л/га	100,8	11,5	6,8	8,0	88,8	93,5	92,9	40,6
	0,4 л/га	102,3	9,0	4,5	5,3	91,4	95,8	95,4	40,8
Клонрин, КЭ /эталон/	0,2 л/га	100,0	11,5	8,3	10,5	88,7	92,1	90,6	40,5
Контроль	–	102,0	103,8	105,5	113,5	–	–	–	37,4
НСР ₀₅		4,5	3,7	3,7	3,8	3,0	2,8	2,7	0,5

На 10-е сутки после обработки в вариантах с изучаемым препаратом число личинок вредителя изменилось до 5,3–11,5 личинок/100 стеблей, а в эталоне – до 10,5 личинок/100 стеблей. Биологическая эффективность инсектицида составила 89,8–95,4%; его действие было на уровне эталона (90,6%).

В контроле на протяжении учетного периода отмечено постепенное увеличение среднего числа личинок пьявицы красногрудой, соответственно: 102,0–103,8–105,5–113,5 личинок /100 стеблей.

Вывод. Таким образом, оценка биологической эффективности инсектицида на основе бифентрина и сульфоксафлора показала, что препарат снижал численность личинок пьявицы до 95,8%. Изучаемый препарат в трех нормах применения (0,2, 0,3 и 0,4 л/га) соответствовал эффективности эталона Клонрин, КЭ в норме применения 0,2 л/га и даже превышал ее.

Список литературы

1. Важнейшие положения концепции стратегического развития семеноводства и размножения растений в РФ / Ю. Ф. Лачуга, Ю. В. Плугатарь, Н. М. Макрушин [и др.] // Бюллетень Государственного Никитского ботанического сада. – 2019. – № 132. – С. 9–16. – DOI 10.25684/NBG.boolt.132.2019.01.
2. Зубко, Н.Г. Действие фунгицидов на содержание фотосинтетических пигментов в растениях пшеницы яровой / Н. Г. Зубко, Т. В. Долженко // Аграрная наука. – 2022. – № 12. – С. 110-118. – DOI 10.32634/0869-8155-2022-365-12-110-118.
3. Зубко, Н.Г. Эффективность триазолового фунгицида для защиты пшеницы яровой в период вегетации / Н. Г. Зубко, Т. В. Долженко // Плодородие. – 2023. – №5. – С. 95–98. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.24.
4. Экономические и агроэкологические аспекты химической защиты зерновых культур от вредных организмов / С. С. Санин, Л. В. Карлова, А. В. Кашеев [и др.] // Защита и карантин растений. – 2022. – № 5. – С. 3–13.
5. New horizons in wheat and barley research: crop protection and resource management / P. L. Kashyap, V. Gupta, O. P. Gupta [et al.] // Springer. – 2022. – P. 637. <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4134-3>.
6. Совершенствование ассортимента средств борьбы с вредителями растений в XXI веке / В. И. Долженко, Г. И. Сухорученко, Л. А. Буркова [и др.] // Агрехимия. – 2021. – № 1. – С. 31–40. – DOI 10.31857/S000218812101004X.
7. Долженко, В.И. Развитие химического метода защиты растений в России / В. И. Долженко, Г. И. Сухорученко, А.Б. Лаптиеv // Защита и карантин растений. – 2021. – № 4. – С. 3–13.
8. Review on Effect of Weeds in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Their Management Practices / A. Gyawali, R. Bhandari, P. Budhathoki [et al.] // Food and Agri Economics Review. – 2022. – Vol. 2 (2). – pp. 34–40.
9. Методические рекомендации по проведению регистрационных испытаний гербицидов. – СПб., 2020. – 80 с.
10. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве / В. И. Долженко, Г. И. Сухорученко, Л. А. Буркова [и др.]. – Москва: ФГБНУ «Росинформагротех», 2022. – 508 с.
11. Исави, М.Б.А. Комбинированный инсектицид для защиты пшеницы озимой от хлебных жуков / М. Б. А. Исави, В. А. Хилевский, Т. В. Долженко // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 2 (71). – С. 38–46. – DOI 10.24412/2078-1318-2023-2-38-46.

References

1. Lachuga, Yu. F., Plugatar, Yu.V., Makrushin, N.M. [et al.] (2019). The most important provisions of the concept of strategic development of seed production and plant reproduction in the Russian Federation. *Bulletin of the State Nikitsky Botanical Garden*. 132, pp. 9–16. – DOI 10.25684/NBG.boolt.132.2019.01.
2. Zubko, N. G. and Dolzhenko, T.V. (2022) ‘Effect of fungicides on the content of photosynthetic pigments in spring wheat plants’, *Agrarian Science*, vol. 12, pp. 110–118. DOI 10.32634/0869-8155-2022-365-12-110-118.
3. Zubko, N.G. and Dolzhenko, T.V. (2023) ‘Effectiveness of triazole fungicide for protection of spring wheat during the growing season’, *Fertility*, vol. 5, pp. 95–98. DOI: 10.25680/S19948603.2023.134.24.

4. Sanin, S. S, Karlova, L.V. and Kashcheev, A.V. (2022) ‘Economic and agroecological aspects of chemical protection of grain crops from harmful organisms’, *Protection and quarantine of plants*, vol. 5, pp. 3–13.
5. Kashyap, P.L, Gupta, V., Gupta, O, P. Sendhil, R. Gopalareddy, K. Jasrotia, P. and Singh, G.P. (2022) ‘New horizons in wheat and barley research: crop protection and resource management’, *Springer*, p. 637, <https://doi.org/10.1007/978-981-16-4134-3>.
6. Dolzhenko, V.I., Zakharchenko, G.I., Burkova, L.A., Ivanova, G.P., Vasilyeva, T.I. Dolzhenko, O.V. and Laptiev A.B. (2021) ‘Improving the assortment of plant pest control products in the XI century’, *Agrochemistry*, no. 1. pp. 31–40. DOI 10.31857/S000218812101004X.
7. Dolzhenko, V.I., Sukhoruchenko, G.I. and Laptiev, A.B. (2022) ‘Development of the chemical method of plant protection in Russia’, *Protection and quarantine of plants*, vol. 4, pp. 3–13.
8. Gyawali, A., Bhandari, R., Budhathoki, P. and Bhattarai, S. (2022) ‘Review on Effect of Weeds in Wheat (*Triticum aestivum* L.) and Their Management Practices’, *Food and Agri Economics Review*, vol. 2, no. 2, pp. 34–40.
9. Guidelines for conducting registration tests of herbicides, St. Petersburg, 2020. 80 p.
10. Dolzhenko V.I., Sukhoruchenko, G.I., Burkova, L.A. [etc.] (2022) Guidelines for registration testing of insecticides, acaricides, pheromones, molluscicides and rodenticides in plant growing. Moscow: FGBNU “Rosinformagrotekh”. 508 p.
11. Isavi, M.B.A., Khilevsky, V.A., Dolzhenko, T.V. (2023) ‘Combined insecticide for the protection of Winter Wheat from bread beetles’, *News of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 71, no. 2, pp. 38–46. DOI 10.24412/2078-1318-2023-2-38-46.

Сведения об авторах

Али Абдулла Султан Аль-Малики, руководитель Департамента пестицидов Национального комитета по регистрации и аккредитации пестицидов, Департамент защиты растений Министерства сельского хозяйства Ирака; аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <http://orcid.org/0000-0003-1789-4218>; ali77.2013@yahoo.com.

Моханад Бахр Авад Исави, аспирант, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0002-5433-4482>; mohanad_bahar@yahoo.com.

Хилевский Вячеслав Александрович, кандидат сельскохозяйственных наук, федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», Общество с ограниченной ответственностью «Инновационный центр защиты растений», <http://orcid.org/0000-0002-2834-3465>, SPIN-код: 6300-0077; 89281485089@mail.ru.

Information about the authors

Ali Abdullah Sultan Al-Maliki, Head of the Department of Pesticides, member and Speaker of the National Committee for Registration and Approval of Pesticides, Plant Protection Department, Ministry of Agriculture of Iraq, postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint–Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0003-1789-4218>; ali77.2013@yahoo.com.

Mohanad B. A. Isawi, postgraduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint–Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0002-5433-4482>; mohanad_bahar@yahoo.com.

Vyazheslav A. Khilevsky, Cand. Sci. (Agric.), Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Plant Protection", limited liability company "Innovation Center for Plant Protection", <http://orcid.org/0000-0002-2834-3465>, SPIN-code: 6300-0077; 89281485089@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 15.01.2024; approved after reviewing 16.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 631.859

Код ВАК: 4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-48-57

**ОЦЕНКА БИОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ
ОБЕСФТОРЕННОГО ФОСФОГИПСА В КАЧЕСТВЕ УДОБРЕНИЯ
В ПОСЛЕДЕЙСТВИИ****П.В. Агапова¹, М.В. Киселёв¹ ✉, И.А. Фрейдкин¹**¹ Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ kiselev@spbgau.ru

Реферат. Важная отрасль переработки природных фторapatитов – производство экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). Более 95% полученной ЭФК используется для производства минеральных фосфорных удобрений, в том числе фосфогипса. При проведении детоксикации фосфогипса получают обезфторенный фосфогипс (ОФ), который можно применять как фосфорное удобрение с длительным последствием. Целью данного исследования было оценить биологическую эффективность и токсичность обезфторенного фосфогипса в последствии на второй год после внесения при возделывании овса ярового (*Avena sativa*). Научные изыскания проводили путем закладки вегетационного опыта на базе ФГБОУ ВО СПбГАУ. По результатам исследований были сделаны следующие выводы: в последствии для вариантов с внесенным ОФ динамика линейного роста овса ярового сорта «Залп» была примерно одинакова. При этом варианты с ОФ уступали варианту с внесенной азотфоской как по показателям линейного роста, так и по показателям продуктивности. Тем не менее результаты вегетационного опыта показали для вариантов «Фон + ОФ (0,10 г д.в./кг почвы)» и «Фон + ОФ (0,15 г д.в./кг почвы)», где д. в. – P₂O₅, прибавки урожайности по сравнению с фоном (для зерна при стандартной влажности) в абсолютном выражении (+ от 0,34 до 1,34 г/м²) и по относительной прибавке (+ от 4,4 до 17,5%), подтвердив эффективность применения его в земледелии. В вариантах с ОФ наблюдалось увеличение содержания подвижного фосфора в почве в прямой зависимости от дозы внесенного удобрения в сравнении с фоном (+ от 29,5 до 49,0 мг/100 г почвы), что является очень высоким его содержанием. Это свидетельствует о выраженном эффекте последствия. Таким образом, ОФ может быть использован в качестве многокомпонентного минерального удобрения при обязательном дополнительном исследовании влияния содержащихся в нём фтора, стронция и тяжелых металлов в системе «почва-растение».

Ключевые слова: фосфорные удобрения, детоксикация отходов производства, рециклинг отходов производства, фосфогипс, эффективность применения удобрений, последствие фосфорных удобрений

Цитирование. Агапова П.В., Киселёв М.В., Фрейдкин И.А. Оценка биологической эффективности обезфторенного фосфогипса в качестве удобрения в последствии // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 48–57, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-48-57.

ASSESSMENT OF BIOLOGICAL EFFICIENCY OF APPLICATION OF DEFLUORINATED PHOSPHOGYPSUM AS RESIDUAL FERTILIZER

P.V. Agapova¹, M.V. Kiselev¹ ✉, I.A. Freidkin¹

¹ Sankt-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, St. Petersburg, Russian Federation

✉ kiselev@spbgau.ru

Abstract. An important branch of natural fluorapatite processing is the production of extraction phosphoric acid (EPA). More than 95% of the EPC produced is used for the production of mineral phosphate fertilisers, including phosphogypsum. During the detoxification of phosphogypsum, fluorinated phosphogypsum (OF) is obtained, which can be used as a phosphorus fertilizer with a long aftereffect. The aim of this study was to evaluate the biological efficacy and toxicity of defluorinated phosphogypsum in the second year after application in spring oat (*Avena sativa*) cultivation. Scientific research was carried out by laying a vegetation experiment on the basis of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University". According to the results of the studies, the following conclusions were made: in the aftereffect of the variants with applied OP, the dynamics of linear growth of spring oats of the variety "Zalp" was approximately the same. At the same time, variants with OF were inferior to the variant with applied Azofoska both in terms of linear growth and productivity. Nevertheless, the results of the vegetation experiment showed that for variants "Fon + OF (0.10 g d.w./kg soil)" and "Fon + OF (0.15 g d.w./kg soil)", where d. w. – P₂O₅, yield increases compared to background (for grain at standard moisture content) in absolute terms (+ from 0.34 to 1.34 g/m²) and in relative gain (+ 4.4 to 17.5%), confirming the effectiveness of its application in farming. In variants with OF, an increase in the content of mobile phosphorus in the soil was observed in direct dependence on the dose of fertiliser applied compared to the background (+ from 29.5 to 49.0 mg/100 g of soil), which is a very high content. This indicates a pronounced aftereffect. Thus, OF can be used as a multi-component mineral fertiliser with obligatory additional study of the influence of strontium and heavy metals contained in it in the system "soil-plant".

Keywords: phosphate fertilisers, industrial waste detoxification, industrial waste recycling, phosphogypsum, fertiliser application efficiency, phosphate fertiliser after-effects

Citation. Agapova P.V., Kiselev M.V., Freidkin I.A. (2024) 'Assessment of biological efficiency of application of defluorinated phosphogypsum as residual fertilizer', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 48-57 (In Russian), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-48-57.

Введение. Важная отрасль переработки природных фторапатитов – производство экстракционной фосфорной кислоты (ЭФК). Более 95% полученной кислоты затем используется в производстве минеральных фосфорных удобрений [1], в том числе фосфогипса [2], получаемого путем механического дробления фторапатитовой породы и обработки ее серной кислотой [3, 4, 5, 6]. Фосфогипс после нейтрализации и детоксикации может применяться в сельском хозяйстве как фосфорное и серное удобрение с длительным последствием [7, 8, 9, 10, 11].

Нейтрализация фосфогипса подразумевает повышение водородного показателя со значения рН = 1,5-3,0 до рН = 5,0-7,0 с одновременным удалением и/или переводом в нерастворимые соединения токсичных компонентов (тяжелые металлы, стронций, фтор) [12, 13]. Наиболее эффективным и экономически выгодным является метод детоксикации с помощью высокоэффективного химического агента (ВКА), разработанного ООО «Никель» [14].

Полученный продукт называется обесфторенным фосфогипсом (ОФ) и обладает гораздо более благоприятными характеристиками для применения в сельском хозяйстве.

Фосфорные удобрения обладают наибольшим последствием, поэтому разработка новых фосфорных удобрений, в ходе которой решается вопрос рециклинга отходов, – это одно из наиболее перспективных направлений в агрохимии. Необходимо всестороннее изучение агрономической эффективности и последствия таких типов удобрения.

Основой для разработки данного вида удобрения послужили двухлетние теоретические и практические опыты по разработке его рецептуры [15]. Проведенные исследования в рамках более крупной НИР относятся к приоритетным направлениям развития науки, техники и технологий [16] и приведены в «Прогнозе научно-технического развития РФ на период до 2030 г.» [17].

Цель исследования – оценка биологической эффективности и токсичности обесфторенного фосфогипса, а также определение его последствия на второй год после внесения в ходе вегетационного опыта, заложенного в 2021 г. и описанного ранее [18]. Исследования проводились с мая 2021 по сентябрь 2022 в лабораториях и вегетационном домике ФГБОУ ВО СПбГАУ на кафедре почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой. В качестве объекта исследования для изучения последствия ОФ взят овес яровой (*Avena sativa*) сорта «Залп».

Ставились следующие задачи:

1. Оценить последствие ОФ на яровом овсе сорта «Залп».
2. Определить количество подвижных форм фосфора в почве на второй год после внесения ОФ и их корреляцию с дозой удобрения.
3. Определить наиболее эффективную дозу последствия ОФ как удобрения при выращивании ярового овса сорта Залп в вегетационном опыте.

Материалы, методы и объекты исследования. Обесфторенный фосфогипс, применяемый в данном исследовании, был получен в ходе производства ЭФК из кольских фторапатитов.

Схема вегетационного опыта для оценки биологической эффективности использования фосфогипса после нейтрализации (ОФ) в качестве минерального удобрения:

1. Фон – N0,15 K0,15.
2. Вариант сравнения – Азофоска N0,15 P0,15 K0,15 (далее «Азофоска»).
3. Фон + ОФ (P0,10) (далее «фон + ОФ1»).
4. Фон + ОФ (P0,15) (далее «фон + ОФ2»).
5. Фон + ОФ (P0,20) (далее «фон + ОФ3»)

В качестве фонового удобрения использовали аммиачную селитру и сульфат калия.

Исходные данные для расчета доз нейтрализованного фосфогипса в схеме вегетационного опыта были получены из результатов исследований в ФБУ «Центр лабораторного анализа и технических измерений». В качестве основного показателя был выбран фосфор, так как этот макроэлемент находится в фосфогипсе в наибольшем количестве (0,826%). При этом учитывалась доля фосфора в водорастворимой (биогенной) форме. Брали и немного завышенные дозы в схеме опыта, ввиду того что лишь малая часть фосфора (0,0213%) находится в водорастворимой (доступной для растений форме). Более того, нейтрализованный фосфогипс вносился непосредственно перед опытом, поэтому механизм перевода фосфора из малорастворимых соединений в подвижную форму не мог начать

действовать. $P_{0,10}$ – 12,5 г ОФ на 1 кг почвы или 62,5 г на 5 кг сосуда; $P_{0,15}$ – 18,8 г ОФ на 1 кг почвы или 94 г на 5 кг сосуда; $P_{0,20}$ – 37,6 г ОФ на 1 кг почвы или 125 г на 5 кг сосуда.

Опыты проводились по общепринятым методикам Б.А. Доспехова [19], З.И. Журбицкого [20], Ф.А. Юдина [21]. Статистическая обработка данных производилась дисперсионным анализом по следующим показателям: высоте растений, массе зерна при фактической и стандартной влажности, продуктивности колоса, массе 1000 зерен, количеству зерен в метелке, количеству щуплых зерен, содержанию подвижных форм фосфора в почве.

Повторность в опытах трехкратная, количество параллельных вариантов $n = 3$. Размещение вариантов систематическое.

Для закладки вегетационного опыта бралась слабокультуренная дерново-подзолистая почва, типичная для Ленинградской области, которая характеризовалась следующими показателями плодородия: среднесуглинистым гранулометрическим составом, средним содержанием гумуса 3,3% – ГОСТ 26213-21, средним содержанием подвижного фосфора 98,5 млн⁻¹ – ГОСТ Р 54650-2011, низким содержанием подвижного калия 51,5 млн⁻¹ – ГОСТ Р 54650-2011 и близкой к нейтральной реакции среды $pH_{КСI-5,7}$ – ГОСТ 26483-85. В опыте использовали сосуды Кирсанова. Количество почвы в сосуде – 5500 г.

Объектом исследования последствий ОФ являлся овес яровой (*Avena sativa*) сорта «Залп». Норма высева семян – 30 шт/сосуд на глубину 3 см в соответствии с рекомендациями. После всходов уравнивали посевы до 15 растений на сосуд.

Содержание подвижного фосфора в почве на второй год после внесения определяли по ГОСТ Р 54650 [22].

Результаты исследования. При изучении последствий ОФ (2022 г.) выращивали овес яровой сорта «Залп». Высоту растений овса ярового отслеживали в течение всей его вегетации и измеряли на 15, 25, 35, 50, 65, 80 и 90-й день после посева (табл. 1).

Таблица 1. Средняя высота растений в течение вегетации, см
 Table 1. Average plant height during vegetation, cm

№	Вариант	Дней после посева						
		15	25	35	50	65	80	90
1	Фон	9,50	19,30	37,00	49,30	60,10	68,50	73,20
2	Азофоска	10,80	20,50	31,50	58,70	72,20	79,60	84,80
3	Фон + ОФ 1	8,90	18,90	27,20	49,10	59,90	67,10	72,00
4	Фон + ОФ 2	8,30	16,60	23,30	49,30	59,80	66,40	69,90
5	Фон + ОФ 3	8,10	16,00	22,30	47,50	59,30	65,90	69,40
	НСР ₀₅	0,55	0,98	1,69	3,04	3,73	4,85	5,17

По динамике роста овса ярового сорта «Залп» результаты по вариантам «Фон + ОФ1», «Фон + ОФ2», «Фон + ОФ3» не показывают устойчивого превышения над результатами по вариантам «Фон» и «Азофоска».

В ходе опыта в начале массовой восковой спелости овса ярового была определена структура урожая (табл. 2). Существенный прирост высоты растений по отношению к Фону и всем вариантам опыта дал только вариант с применением Азофоски.

Варианты с применением «Фон + ОФ3» характеризовались существенным снижением продуктивности колоса и массы 1000 зерен.

Наилучшую существенную прибавку с применением ОФ по продуктивности колоса и количества зерен в метелке показали варианты с применением Азофоски и ОФ в дозе 1.

Таблица 2. Структура урожайности ярового овса сорта «Залп»
 Table 2. Yield structure of spring oat variety "Zalp"

№№	Вариант	Высота растения, см (среднее значение по показателям)	Количество стеблей с озерным колосом (метелкой) на 1 м ² , шт.	Количество колосьев, пораженных болезнями и вредителями, %;	Продуктивность колоса (метелки), г	Масса 1000 зерен, г	Количество зерен в метелке, шт.	Количество пустых зерен, %
1	Фон	73,20	15	-	0,510	20,40	25	5
2	Азофоска	84,80	15	-	0,670	21,50	31	4
3	Фон + ОФ 1	72,00	15	-	0,600	21,40	28	4
4	Фон + ОФ 2	69,90	15	-	0,530	20,50	26	5
5	Фон + ОФ 3	69,40	15	-	0,380	18,10	21	4
	НСР ₀₅	4,41	-	-	0,031	1,23	2	1

Схожие тенденция и результаты получены при изучении данных по урожайности, представленных в табл. 3. Наибольшая прибавка по отношению ко всем вариантам опыта – у варианта с азофоской по зерну стандартной влажности. Она составила 2,3 г/м², или 29,9%. Наилучшими из вариантов сравнения стали варианты с ОФ в дозе 1 (прибавка 1,3 г/м², или + 16,9%) и дозе 2 (прибавка 0,3 г/м², или + 3,9%).

Таблица 3. Урожайность ярового овса сорта «Залп» в пересчете на 1 м²
 Table 3. Yield of spring oats of the variety "Zalp" in terms of 1 м²

№	Вариант	Масса зерна при фактической влажности 24,1%, г	Масса сухого зерна, г	Масса зерна при стандартной влажности (13,5%), г	Прибавка урожайности к фону по массе сухого зерна, %	Прибавка урожайности к фону по массе зерна при стандартной влажности
1	Фон	8,50	6,80	7,70	-	-
2	Азофоска	11,40	9,20	10,00	135,30	129,90
3	Фон + ОФ 1	10,10	8,10	9,00	119,10	116,90
4	Фон + ОФ 2	9,10	7,40	8,00	108,80	103,90
5	Фон + ОФ 3	6,60	5,30	5,70	77,90	74,00
	НСР ₀₅	0,55	0,44	0,48	5,97	5,79

Содержание подвижных форм элементов фосфора. Наличие доступного фосфора в почве влияет на процессы, которые протекают в растениях. С увеличением дозы внесения обесфторенного фосфогипса равномерно увеличивается содержание подвижного P_2O_5 от 29,5 до 49,0 мг/100 г почвы по сравнению с фоном (табл. 4).

Таблица 4. Содержание подвижных форм фосфора в почве, мг/100 г
 Table 4. Content of mobile forms of phosphorus in the soil, mg/100 g

№	Варианты опыта	P_2O_5 , мг/100 г почвы
1	Фон	52,50
2	Азофоска	64,00
3	Фон + ОФ 1	82,00
4	Фон + ОФ 2	89,50
5	Фон + ОФ 3	101,50
	НСР ₀₅	4,28

Наблюдается четкая обратная корреляция P_2O_5 с урожайностью (коэффициент корреляции -0,69). С повышением в вариантах доз ОФ понижается полученная урожайность, что связано, по-видимому, с чрезмерным содержанием подвижных форм фосфора в почве. В дальнейшем планируется закладка опытов с уменьшением количества дозы обесфторенного фосфогипса, позволяющих уточнить оптимальную дозу ОФ.

Выводы. При изучении последствий удобрения в вариантах с ОФ динамика линейного роста овса ярового была примерно одинакова. Кроме того, варианты с ОФ уступали варианту с внесенной Азофоской как по показателям линейного роста, так и по показателям продуктивности. Тем не менее в последствии при возделывании овса ярового и при использовании обесфторенного фосфогипса в качестве минерального удобрения для вариантов «Фон + ОФ1» и «Фон + ОФ2» прибавки урожайности по сравнению с фоном составили для зерна при стандартной влажности в абсолютном выражении от 0,3 до 1,3 г/м² и по относительной прибавке от 3,9% до 16,9%, подтвердив эффективность применения данного мелиоранта в земледелии.

С увеличением дозы внесения обесфторенного фосфогипса равномерно увеличивается и содержание подвижного P_2O_5 на 29,5–49,0 мг/100 г почвы по сравнению с фоном. Это свидетельствует о выраженном эффекте последствия.

В проведенном опыте выявлена четкая обратная корреляция P_2O_5 с урожайностью, коэффициент которой составляет -0,69. По нашему мнению, это связано с чрезмерным содержанием подвижных форм фосфора в почве.

Список литературы

1. Фосфогипс: хранение и направления использования как крупно-тоннажного вторичного сырья: материалы II Международной конференции, 18 мая 2010 г. / Сост. В. И. Суходолова. – М., 2010. – С. 115–119.
2. ИТС 2-2019 Производство аммиака, минеральных удобрений и неорганических кислот. – М.: Бюро НДТ, 2019. – С. 327–340.
3. Complex Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application / D. Lutskiy, T. Litvinova, A. Ignatovich, I. Fialkovskiy // Journal of Ecological Engineering. – 2018. – Vol. 19. – № 2. – Pp. 221–225.
4. Ивочкина, М.А. Изучение техногенных отложений в отвалах фосфогипса при переработке исходного формирования свойств сырья различных месторождений // Инженерный вестник Дона. – 2013. – № 2. – С. 152–159.
5. Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): from phosphate rock ore to the environment / R. Pérez-López, J. M. Nieto, I. López-Coto, J. L. Aguado, J. P. Bolívar, M. Santisteban // Applied Geochemistry. – 2015. – Vol. 25. – Pp. 705–715.
6. Коробанова, Т.Н. Российский и зарубежный опыт утилизации фосфогипса / Т. Н. Коробанова // Наука вчера, сегодня, завтра: сб. ст. по матер. XL Междунар. науч.-практ. конф. – Новосибирск: СибАК, 2016. – № 11 (33). – С. 63–71.
7. ГОСТ Р 58820–2020 Фосфогипс для сельского хозяйства. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2020. – С. 3–5.
8. Effect of Phosphogypsum As a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers / S. M. Al-Zaidyeen, N. S. Arabi Al-Qadi // Jordan Journal of Civil Engineering. – 2015. – Vol. 9. – № 1. – Pp. 1–7.
9. Study on the Properties of Waste Apatite Phosphogypsum as a Raw Material of Prospective Applications / K. Grabas, A. Pawelczyk, W. Strek, E. Szeleg // Waste and Biomass Valorization. – 2019. – Vol. 10. – Pp. 3143–3155.
10. Extraction of critical technology elements and radionuclides from phosphogypsum tailings / M. Haschke, B. Friedrich, S. Stopic, D. Panias, P. Schneider, C. Dittrich // Conference: Opportunities in Processing of Metal Resources. – Budapest, 2016. – Pp. 3114–3174.
11. Reduction of P₂O₅ and F from Phosphogypsum by CaO addition / S. Juliastuti, N. Hendrianie, Y. Pawitra, I. Putra // The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2017). – Vol. 156. – Pp. 3237–3275.
12. Conversion of phosphogypsum to sodium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution / Y. Ennaciri, M. Bettach, A. Cherrat, A. Zegzouti, J. Mater // Environmental Science. – 2016. – Vol. 7 – № 6. – Pp. 1925–1933.
13. Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application Complex / D. Lutskiy, T. Litvinova, A. Ignatovich, I. Fialkovskiy // Journal of Ecological Engineering. – 2018. – Vol. 19 – № 2. – Pp. 221–225.
14. Комплексная оценка эффективности применения химического агента «ВКА» для детоксикации отходов производства фосфорной кислоты. Отчет о научно-исследовательской работе / А. В. Бородин. – СПб., 2021. – С. 3–27.
15. ТУ 29.59.59-015-13881083-2019 Высококонцентрированный агент (ВКА) для очистки и обезвреживания твердых и жидких продуктов природного и техногенного происхождения. Технические условия. – С.-Петербург. Никель, 2019. – С. 2–10.
16. Указ Президента Российской Федерации от 07.07.2011 № 899 «Об утверждении приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации» / СЗ РФ. – 2011. – № 28. – С. 4168.
17. Прогноз научно-технологического развития Российской Федерации на период до 2030 года (утвержден Правительством РФ 03.01.2014) / Правительство Российской Федерации.

- Федерации. – URL: http://government.ru/media/files/41d4b737638b91_da2184.pdf.
18. Агапова, П.В. Оценка биологической эффективности применения обесфторенного фосфогипса в качестве удобрения в прямом действии / П. В. Агапова, М. В. Киселев, И. А. Фрейдкин // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – № 5(74). – С. 72–80. – DOI 10.24411/2078-1318-2023-5-72-80. – EDN TNNQEN.
 19. Доспехов, Б.А. Методика полевого опыта. – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: Колос, 1985. – С. 217–265.
 20. Журбицкий, З.И. Теория и практика вегетационного метода. – М.: Наука, 1968. – С. 174–226.
 21. Юдин, Ф.А. Методика агрохимических исследований. – М.: Колос, 1972. – С. 123–174.
 22. ГОСТ Р 54650-2011 Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО. – М.: Стандартинформ, 2019. – С. 2–8.

References

1. Fosfogips: khraneniye i napravleniya ispol'zovaniya kak krupno-tonnazhnogo vtorichnogo syr'ya: materialy Vtoroy Mezhdunarodnoy konferentsii, 18.05.2010 [Phosphogypsum: storage and uses as a large-tonnage secondary raw material: Proceedings of the Second International Conference, May 18, 2010], Compiled by V. I. Sukhodolova, Moscow, pp. 115–119. (In Russ.)
2. Proizvodstvo ammiaka, mineral'nykh udobreniy i neorganicheskikh kislot (2019) [Production of ammonia, mineral fertilizers and inorganic acids], ITS 2-2019, NDT Bureau, Moscow, pp 327–340. (In Russ.)
3. Lutskiy, D., Litvinova, T., Ignatovich, A., Fialkovskiy, I. (2018) 'Complex Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application', *Journal of Ecological Engineering*, 2018, vol. 19, № 2, pp. 221–225.
4. Ivochkina, M.A. Izucheniye tekhnogennykh otlozheniy v otvalakh fosfogipsa pri pererabotke iskhodnogo formirovaniya svoystv syr'ya razlichnykh mestorozhdeniy (2013) [The study of technogenic deposits in phosphogypsum dumps during the processing of the initial formation of the properties of raw materials from various deposits], *Inzhenernyy vestnik Dona [Don Engineering Gazette]*, 2013, № 2, pp. 152–159. (In Russ.)
5. Pérez-López, R., Nieto, J.M., López-Coto, I., Aguado, J.L., Bolívar, J.P., Santisteban, M. (2015) 'Dynamics of contaminants in phosphogypsum of the fertilizer industry of Huelva (SW Spain): from phosphate rock ore to the environment', *Applied Geochemistry*, Vol. 25., pp. 705–715.
6. Korobanova, T.N. (2016) Rossiyskiy i zarubezhnyy opyt utilizatsii fosfogipsa [Russian and foreign experience in the utilization of phosphogypsum], *Nauka vchera, segodnya, zavtra: sbornik statey po materialam XL mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii [Science yesterday, today, tomorrow: a collection of articles based on the materials of the XL international scientific and practical conference]*, SibAK, Novosibirsk, vol. 33, no. № 11, pp. 63–71. (In Russ.)
7. GOST R 58820-2020 "Phosphogypsum for agriculture. Specifications" (2020), Standartinform, Moscow, pp. 3–5. (In Russ.)
8. Al-Zaidyeen, S.M., Arabi Al-Qadi, N.S. (2015) 'Effect of Phosphogypsum As a Waste Material in Soil Stabilization of Pavement Layers', *Jordan Journal of Civil Engineering*, vol. 9, № 1, pp. 1–7.
9. Grabas, K., Pawelczyk, A., Strek, W., Szeleg, E. (2019), 'Study on the Properties of Waste Apatite Phosphogypsum as a Raw Material of Prospective Applications', *Waste and Biomass Valorization*, vol. 10, pp. 3143–3155.

10. Haschke, M., Friedrich, B., Stopic, S., Panias, D., Schneider, P., Dittrich, C. (2016) 'Extraction of critical technology elements and radionuclides from phosphogypsum tailings', Conference: Opportunities in Processing of Metal Resources, Budapest, pp. 3114–3174.
11. Juliastuti, S., Hendriane, N., Pawitra, Y., Putra, I. (2017) Reduction of P₂O₅ and F from Phosphogypsum by CaO addition, The 24th Regional Symposium on Chemical Engineering (RSCE 2017), Vol 156, pp. 3237–3275.
12. Ennaciri, Y., Bettach, M., Cherrat, A., Zegzouti, A., Mater, J. (2016) 'Conversion of phosphogypsum to sodium sulfate and calcium carbonate in aqueous solution', *Environmental Science*, vol. 7, № 6, pp. 1925–1933.
13. Lutskiy, D., Litvinova, T., Ignatovich, A., Fialkovskiy, I. (2018) 'Processing of Phosphogypsum – a Way of Recycling Dumps with Reception of Commodity Production of Wide Application Complex', *Journal of Ecological Engineering*, vol. 19, № 2, pp. 221–225.
14. Borodin, A.V. (2021) Kompleksnaya otsenka effektivnosti primeneniya khimicheskogo agenta «VKA» dlya detoksikatsii otkhodov proizvodstva fosfornoj kisloty: Otchet o nauchno-issledovatel'skoy rabote [Comprehensive evaluation of the effectiveness of the use of the chemical agent "VKA" for detoxification of waste products from the production of phosphoric acid. Research report], Saint Petersburg, pp. 3–27. (In Russ.)
15. TU 29.59.59-015-13881083-2019 'Highly concentrated agent (HCA) for purification and neutralization of solid and liquid products of natural and technogenic origin. Specifications' (2019), LLC Nickel, St. Petersburg, pp. 2–10. (In Russ.)
16. Decree of the President of the Russian Federation of 07.07.2011 No. 899 "On Approval of Priority Directions for the Development of Science, Technology and Engineering in the Russian Federation and the List of Critical Technologies of the Russian Federation (2011), NWRP, № 28. – article 4168.
17. Forecast of scientific and technological development of the Russian Federation for the period up to 2030 (approved by the Government of the Russian Federation on 03.01.2014), Government of the Russian Federation [Official site], URL: <http://government.ru/media/files/41d4b737638b91da2184.pdf>.
18. Agapova, P.V. (2023) 'Assessment of the biological effectiveness of using defluorinated phosphogypsum as a fertilizer in direct action' / P.V. Agapova, M.V. Kiselev, I.A. Freidkin // *Izvestiya of the Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 74, no. 5, pp. 72–80. – DOI 10.24411/2078-1318-2023-5-72-80. – EDN TNNQEN.
19. Dospikhov, B.A. (1985) Metodika polevogo opyta [Field experiment methodology], Ed. 4th, revised. and additional, Moscow, Kolos [ear], pp. 217–265. (In Russ.)
20. Zhurbitskiy, Z.I. (1968) Teoriya i praktika vegetatsionnogo metoda [Theory and practice of the vegetation method], Moscow, Nauka [The science], pp. 174–226. (In Russ.)
21. Yudin, F.A. (1972) Metodika agrokhimicheskikh issledovaniy [Methods of agrochemical research], Moscow, Kolos [ear], pp. 123–174. (In Russ.)
22. GOST R 54650-2011 Soils. Determination of mobile compounds of phosphorus and potassium by the method of Kirsanov in the modification of TsINAO (2019), Moscow, Standartinform, pp. 2–8. (In Russ.)

Сведения об авторах

Агапова Полина Владимировна, младший научный сотрудник испытательной лаборатории «ЭКООС», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; polinaagapova@mail.ru.

Киселёв Максим Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель испытательной лаборатории «ЭКООС», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; <http://orcid.org/0000-0002-9831-044X>, SPIN-код: 6088-7951; kiselev@spbgau.ru.

Фрейдкин Иван Алексеевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник испытательной лаборатории «ЭКООС», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», Санкт-Петербург, Россия; <http://orcid.org/0000-0001-7492-4001>, SPIN-код: 7887-9368, fat3000@mail.ru.

Information about the authors

Polina V. Agapova, Junior Researcher of RL «ECOOS», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University"; polinaagapova@mail.ru.

Maxim V. Kiselev, Cand. Sci. (Agric.), Head of RL «ECOOS», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education " Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0002-9831-044X>, SPIN-code: 6088-7951, kiselev@spbgau.ru.

Ivan A. Freidkin, Cand. Sci. (Agric.), Leading Researcher of RL «ECOOS», Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0001-7492-4001>, SPIN-code: 7887-9368, fat3000@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 20.11.2023; одобрена после рецензирования 09.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 22.11.2023; approved after reviewing 09.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 581.1:631.8

Код ВАК:4.1.3

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-58-66

**ПРОДУКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕРНА ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ
СОРТА ЗЛАТА ПРИ ИНОКУЛЯЦИИ БИОПРЕПАРАТАМИ
НА РАЗНОМ ФОНЕ МИНЕРАЛЬНОГО ПИТАНИЯ****С.Х. Хуаз¹ ✉, В.Н. Лебедев², Т.В. Родичева¹**¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,

г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ huazsveta@mail.ru

²Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена,

г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. В статье рассматривается инокуляция семян яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата бактериальными препаратами, стимулирующими развитие растений на минеральном фоне и в условиях его отсутствия. В работе использовался ранее апробированный микробиологический препарат Флавобактерин (*Flavobacterium* sp., штамм 30) и новый испытуемый – МФ-1 (*Bacillus amyloliquefaciens*). Опыты проводились в вегетационных сосудах на 5 кг на хорошо окультуренной дерново-подзолистой почве. В результате исследования установлено, что инокуляция семян без внесения минерального фона существенно увеличивает высоту растений, сухую массу и продуктивность зерна от 11-16% относительно контрольного варианта без инокуляции. На естественном уровне минерального фона (без внесения удобрений) ризобактериальный препарат Флавобактерин стимулировал повышение содержания азота в зерне на 41% и не оказывал влияния на процесс накопления фосфора и калия. В то же время испытуемый биопрепарат МФ-1 существенно уменьшал концентрацию фосфора в зерне и не стимулировал увеличение других показателей относительно контроля без проведения предпосевной инокуляции. Таким образом, применение микробиологических препаратов при использовании минерального фона существенно не повлияло на ростовые процессы и зерновую продуктивность пшеницы. При этом отмечается достоверное увеличение сухой массы растений пшеницы при инокуляции биопрепаратом Флавобактерин относительно фона (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}). Инокуляция семенного материала при внесении элементов минерального питания сравнительно с фоном без проведения инокуляции способствовала существенному увеличению содержания только азота в зерне на 15% (Флавобактерин + NPK) и на 20% (МФ-1 + NPK). Однако инокуляция в данных вариантах опыта существенно не изменяла содержание фосфора и калия в зерне.

Ключевые слова: биопрепараты, инокуляция, Флавобактерин, МФ-1, яровая пшеница, сухая масса, минеральный фон, продуктивность зерна, минеральные элементы

Цитирование. Хуаз С.Х., Лебедев В.Н., Родичева Т.В. Продуктивность и качество зерна яровой пшеницы сорта Злата при инокуляции биопрепаратами на разном фоне минерального питания // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 58–66. – doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-58-66.

PRODUCTIVITY AND GRAIN QUALITY OF SPRING WHEAT VARIETY ZLATA WHEN INOCULATED WITH BIOPREPARATIONS ON DIFFERENT BACKGROUND OF MINERAL NUTRITION

S. H. Khuaz¹ ✉, V. N. Lebedev², T. V. Rodicheva¹

¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, St. Petersburg, Russia,
✉ huazsveta@mail.ru

²Herzen State Pedagogical University of Russia,
St. Petersburg, Russia

Abstract. The article deals with inoculation of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) seeds of Zlata variety with bacterial preparations stimulating plant development on mineral background and in its absence. The previously tested microbiological preparation Flavobacterin (*Flavobacterium sp.*, strain 30) and a new test preparation MF-1 (*Bacillus amyloliquefaciens*) were used. The experiments were conducted in 5 kg growing vessels on well-cultivated sod-podzolic soil. As a result of the study it was found that seed inoculation without mineral background significantly increases plant height, dry weight and grain productivity from 11-16% relative to the control variant without inoculation. At the natural level of mineral background (in the absence of fertiliser application) rhizobacterial preparation Flavobacterin stimulated the increase of nitrogen content in grain by 41% and had no effect on the process of accumulation of phosphorus and potassium. At the same time, the tested biopreparation MF-1 significantly reduced the concentration of phosphorus in grain and did not stimulate the increase of other indicators relative to the control without pre-sowing inoculation. Thus, the use of microbiological preparations at the use of mineral background did not significantly affect the growth processes and grain productivity of wheat. At the same time, there is a significant increase in dry weight of wheat plants when inoculated with Flavobacterin biopreparation relative to background (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}). Inoculation of seed material with the introduction of mineral nutrition elements compared to the background in the absence of inoculation contributed to a significant increase in the content of only nitrogen in grain by 15% (Flavobacterin + NPK) and by 20% (MF-1 + NPK). However, inoculation in these experiment variants did not significantly change the content of phosphorus and potassium in grain.

Keywords: biopreparations, inoculation, Flavobacterin, MF-1, spring wheat, dry weight, mineral background, grain productivity, mineral elements

Citation. Khuaz, S. Kh., Lebedev, V. N., Rodicheva, T. V. (2024), "Productivity and grain quality of Spring Wheat variety Zlata when inoculated with biopreparations on different background of mineral nutrition", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1., pp. 58-66 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-58-66.

Введение. Установлено, что применение микробиологических препаратов при определенных условиях способствует повышению урожайности, улучшению качества растительной продукции, а также позволяет уменьшить дозы вносимого минерального азота, что экономически выгодно и экологически полезно [1–3]. Несмотря на многочисленные исследования, связанные с созданием искусственного растительно-микробного комплекса, до сих пор остается вопрос надежного прогнозирования реакций растений на процесс инокуляции. Стабильно эффективному функционированию растительно-бактериального консорциума способствуют сочетание различных благоприятных условий. Установлено [4],

что связь микробов и растений носит специфический характер, что при введении в производство новых биопрепаратов требует тщательного подбора определенного штамма микробов к виду или сорту растений. В опытах с применением биопрепаратов на различных сельскохозяйственных культурах отмечается их полифункциональное влияние непосредственно на процесс продуктивности [5, 6], накопление основных питательных элементов как в зерне, так и в соломе [7]. Также на эффективность взаимодействия биопрепаратов и растений влияют различные внешние условия среды, одним из которых является уровень питательных веществ в почве [8]. Отмечено [9], что действие микробов-стимуляторов на растения отчетливее всего проявляется при посеве их на хорошо окультуренных почвах, содержащих достаточное количество всех элементов питания, необходимых растениям.

Таким образом, для установления стабильно эффективного микробно-растительного взаимодействия необходим тщательный подбор сорта и штамма, а также наиболее оптимальный уровень минерального питания, что имеет важное практическое значение. Поэтому в данное время решение этого вопроса остается одной из ключевых задач современного устойчивого земледелия.

Цель исследования – выявление влияния исследуемых биопрепаратов на продуктивность и качество зерна яровой пшеницы сорта Злата на фоне внесения и отсутствия элементов минерального питания.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследование проводилось на опытном поле СПбГАУ согласно рекомендациям [10]. Вегетационные опыты были поставлены на растениях яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта Злата.

При посадке растений пшеницы использовались вегетационные сосуды Кирсанова. В сосуды набивалось по 5 кг почвы, в вариантах с минеральным питанием предварительно вносилось комплексное минеральное удобрение Азофоска согласно рекомендуемой дозе $N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}$ г д. в. на кг почвы в сосуде [11]. Количество растений в сосуде выравнивалось до 20 штук. Растения выращивались в вегетационном домике при естественном освещении и искусственном поливе. Влажность почвы поддерживалась на уровне 70–80% от ее полной полевой влагоёмкости.

В опыте использовались биопрепараты, предоставленные ВНИИ сельскохозяйственной микробиологии (Санкт-Петербург–Пушкин): Флавобактерин (*Flavobacterium sp.*, штамм 30) – апробированный ризобактериальный штамм для сравнения; МФ-1 (*Bacillus amyloliquefaciens*) – испытуемый биопрепарат. Инокуляция семян проводилась жидкими микробиопрепаратами непосредственно перед высевом согласно рекомендациям производителя [12]. В контрольных вариантах инокуляция препаратами не применялась. Вегетационные эксперименты проведены в четырехкратной повторности.

В исследованиях использовали дерново-слабоподзолистую, хорошо окультуренную почву с высоким содержанием подвижного фосфора и калия, реакция почвенной среды – нейтральная (табл. 1).

Таблица 1. Агрохимическая характеристика почвы
 Table 1. Agrochemical characteristics of the soil

Орг. вещ-во, %	pH _{KCl}	P ₂ O ₅ , мг/кг почвы	K ₂ O, мг/кг почвы
5,9	6,6	247	243

Для учета химического состава зерна пшеницы определяли валовое содержание азота, фосфора и калия. Анализ проводили в вытяжках после мокрого озоления растительного материала по методу К. Гинзбург и др. Количественное определение общего азота в растительных образцах проводилось фотоколориметрическим методом с использованием реактива Несслера. Калий определяли на пламенном фотометре, фосфор – на спектрофотоколориметре.

Результаты исследования. При исследовании влияния биопрепаратов на высоту растений в контрольном варианте было установлено существенное увеличение высоты растений при инокуляции биопрепаратом Флавобактерин на 16% и препаратом МФ-1 на 8% (табл. 2).

Таблица 2. Влияние биопрепаратов на высоту и продуктивность растений яровой пшеницы в отсутствии минерального фона
 Table 2. Effect of biological products on the height and productivity of spring wheat plants in the absence of a mineral background

Вариант	Высота, см	Прирост к контролю, %	Сухая масса с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %	Масса зерна с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %
Контроль (без инокуляции)	48,7	–	41,4	–	14,5	–
Флавобактерин	56,7	16	45,9	10	16,1	11
МФ-1	52,7	8	45,7	10	16,9	16
НСР₀₅	3,71	–	3,30	–	1,31	–

Результаты исследования показали, что применяемые биопрепараты существенно увеличивали сухую массу и продуктивность зерна. В опытных вариантах одинаково увеличивалась сухая масса, которая составляла около 10% относительно варианта без инокуляции. При анализе влияния на продуктивность зерна использование ризобактерий увеличивало массу зерна на 11–16% по отношению к контролю. Однако существенной разницы между опытными вариантами отмечено не было.

По полученным данным, инокуляция микробиологическими препаратами при внесении минерального питания не способствовала увеличению высоты растений пшеницы относительно фона основных элементов минерального питания (табл. 3).

Сухая масса при инокуляции Флавобактерином увеличивалась на 8%, в то же время использование препарата МФ-1 не оказало существенного влияния. Процесс инокуляции семян на полном минеральном фоне также выявил незначительную тенденцию к увеличению массы зерна по сравнению с фоном (N_{0,1}P_{0,1} K_{0,1}).

Таблица 3. Влияние биопрепаратов на высоту и продуктивность растений яровой пшеницы с применением минерального фона

Table 3. Effect of biological products on the height and productivity of spring wheat plants using a mineral background

Вариант	Высота, см	Прирост к контролю, %	Сухая масса с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %	Масса зерна с сосуда, (г)	Прирост к контролю, %
N _{0,1} P _{0,1} K _{0,1} (фон)	58,8	–	46,9	0	20,3	–
Флавобактерин+фон	60,3	2	50,8	8	21,6	6
Мф-1+фон	60,6	3	49,2	4	21,2	9
НСР₀₅	8,01	–	3,40		2,69	–

Нами проведено исследование содержания азота, фосфора и калия в зерне пшеницы при обработке семян различными ризобактериями на разном уровне минерального питания.

Химический состав зерна является объективной характеристикой условий, при которых происходило формирование генеративных органов. Одновременно он позволяет судить и об отзывчивости сорта на внесение минеральных удобрений, и о качественных характеристиках зерна растений, что важно для определения посевных, кормовых и пищевых качеств культуры.

При исследовании влияния инокуляции на накопление основных питательных элементов в отсутствие минерального фона (табл. 4) было установлено, что применение биопрепарата Флавобактерин существенно увеличивало накопление общего азота в зерне на 41%, относительно контрольного варианта без инокуляции. На накопление фосфора и калия данный биопрепарат не повлиял.

Таблица 4. Влияние биопрепаратов на накопление основных элементов питания в зерне в отсутствие минерального фона

Table 4. Influence of biopreparation on accumulation of basic nutrition elements in grain in the absence of mineral background

Вариант	N	Прирост к контролю, %	P ₂ O ₅	Прирост к контролю, %	K ₂ O	Прирост к контролю, %
Контроль	1,26	–	1,49	–	0,71	–
Флавобактерин	1,78	41	1,52	1	0,71	0
Мф-1	1,38	9	1,27	–16	0,70	0
НСР₀₅	0,180	–	0,091	–	0,080	–

При испытуемом биопрепарате МФ-1 отмечается положительная тенденция увеличения содержания азота, но она незначительна. Установлено, что данный препарат

достоверно уменьшал содержание фосфора на 16% относительно контроля. Накопление калия в данном варианте нами отмечено не было.

Результаты исследований показали, что внесение минерального фона способствовало увеличению валового содержания основных питательных элементов в зерне пшеницы (табл. 4, 5) относительно опытных вариантов без его применения.

Таблица 5. Влияния биопрепаратов на накопление основных элементов питания в зерне при внесении минерального фона
 Table 5. Influence of biopreparation on accumulation of basic nutrition elements in grain under mineral background application

Вариант	N	Прирост к контролю, %	P ₂ O ₅	Прирост к контролю, %	K ₂ O	Прирост к контролю, %
N _{0,1} P _{0,1} K _{0,1} (фон)	2,23	–	1,57	–	0,80	–
Флавобактерин+фон	2,56	15	1,58	0,6	0,79	0,1
МФ-1+фон	2,70	21	1,54	–2	0,81	1
НСР₀₅	0,221	–	0,071	–	0,052	–

При исследовании влияния инокуляции биопрепаратами совместно с внесением минерального удобрения (табл. 5) сравнительно с минеральным фоновым удобрением (N_{0,1}P_{0,1}K_{0,1}) без инокуляции установлено, что существенно увеличивали накопление азота в зерне Флавобактерин – на 15%, МФ-1 – на 21%, и это не влияет на содержание фосфора и калия.

Выводы:

1. В контрольном варианте на дерново-слабоподзолистой хорошо окультуренной почве инокуляция изучаемыми биопрепаратами увеличила высоту растений, их сухую массу и продуктивность зерна на 11–16%.

2. В контрольном варианте применение ризобактериального препарата Флавобактерин повышало содержание азота в зерне яровой пшеницы на 41% и не оказывало влияния на накопление фосфора и калия. В то же время испытываемый биопрепарат МФ-1 существенно уменьшал концентрацию фосфора в зерне данной культуры.

3. Применение микробиологических препаратов на фоне минеральных удобрений не повлияло на высоту растений и зерновую продуктивность пшеницы. Однако отмечается достоверное увеличение сухой массы данной культуры при инокуляции Флавобактерином.

4. Инокуляция Флавобактерином и МФ-1 на фоне минеральных удобрений увеличила содержание азота в зерне на 15%–20% (+NPK) и не изменила содержание в нем фосфора и калия.

Список литературы

1. Воробейков, Г.А., Бредихин, В.Н. Микроорганизмы в агробиотехнологиях и защите природной среды. – СПб.: РГПУ им. А.И. Герцена, 2018. – 219 с.
2. Хуаз, С.Х., Лебедев, В.Н., Кошман, М.Е. Влияние различных биопрепаратов на продуктивность и качество растений яровой пшеницы и овса // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2023. – №3 (72). – С. 26–35, – doi: 10.24412/2078-1318-2023- 3-26-35.
3. Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S., Enshasy, H.E. (2021), ‘Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants: Recent developments, constraints, and prospects’ *Sustainability*, vol. 13. № 3, pp. 1–20.
4. Lebedev, V.N., Vorobeikov, G.A., Dmitrieva, O.M., Pavlova, T.K. ‘Influence of seed`s inoculation associative nitrogen-fixation rhizobacteriums on yield and quality of *Sinapis alba* L. // Physiological and molecular-genetic aspects of preservation of a biodiversity’, Proceedings International Conference (19-23 September, 2005, Vologda), Vologda, 2005. P. 101.
5. Тихонович, И.А., Завалин, А.А. Перспективы использования азотфиксирующих и фитостимулирующих микроорганизмов для повышения эффективности агропромышленного комплекса и улучшения агроэкологической ситуации РФ // Плодородие. – 2016. – № 5. – С. 28–32
6. Lebedev, V., Kondrat, S., Uraev, G., Khuaz, S. and Datkhuzheva, R. (2022) ‘The Impact of Plant-Associated Rhizobacteria on Germination Capacity, Growth and Productivity of Spring Field Mustard and Emmer Wheat’, *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of Food Security"*, p. 012028.
7. Khuaz, S.K., Kondrat, S.V. and Kozhemyakov, A.P. (2022), Effect of Different Levels of Mineral Nitrogen and Inoculation with Various Biological Preparations on Productivity and Quality of Spring Wheat. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 37 (2), pp. 67–75.
8. Laktionov, Yu.V., Kosulnikov, Yu.V. and Berdysheva, K.N. (2023) Osmoprotective properties of sucrose against nodule bacteria inoculants for legumes. *Bio web of conferences : International Scientific and Practical Conference "AGRARIAN SCIENCE – 2023" (AgriScience2023)*, p. 01007.
9. Naliukhin A.N., Surov V.V., Siluyanov O.V. [et al.] (2018) ‘Changes in the Metagenome of Prokaryotic Community as an Indicator of Fertility of Arable Soddy-Podzolic Soils upon Fertilizer Application’, *Eurasian Soil Science*, vol. 51(3), p. 321–326.
10. Воробейков, Г.А., Царенко, В.П., Лунина, Н.Ф. Полевые и вегетационные исследования по агрохимии и физиологии. – СПб.: Проспект науки, 2014. – С. 144.
11. Мишустин, Е.Н. Пути улучшения азотного баланса пахотных почв СССР и выполнение продовольственной программы // Известия АН СССР, сер. Биологическая. – 1983. – №3. – С. 325–334.
12. Завалин, А.А., Алметов, Н.С. Применение биопрепаратов и биологический азот в земледелии Нечерноземья. – Москва: ВНИИ институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова, 2009. – 152 с.

References

1. Vorobeykov, G.A. and Bredikhin, V.N. (2018) Microorganisms in agrobiotechnologies and environmental protection, SPb.: RGPU im. A.I. Herzen, 219 p. (in Russian).
2. Khuaz, S.Kh., Lebedev, V.N. and Koshman, M.E. (2023) ‘The influence of various biological products on the productivity and quality of spring wheat and oat plants’, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 3 (72), pp. 26–35, doi: 10.24412/2078-1318-2023-3-26-35. (in Russian).

3. Basu, A., Prasad, P., Das, S.N., Kalam, S., Sayyed, R.Z., Reddy, M.S. and Enshasy, H.E. (2021), 'Plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) as green bioinoculants', *Recent developments, constraints, and prospects' Sustainability*, vol. 13 (3), pp. 1–20.
4. Lebedev, V.N., Vorobeikov, G.A., Dmitrieva, O.M. and Pavlova, T.K. (2005) 'Influence of seed's inoculation associative nitrogen-fixation rhizobacteriums on yield and quality of *Sinapis alba* L. *Physiological and molecular-genetic aspects of preservation of a biodiversity*', *Proceedings International Conference* (19-23 September, 2005, Vologda). Vologda, p. 101. (in Russian).
5. Tikhonovich, I.A. and Zavalin, A.A. (2016) 'Prospects for the use of nitrogen-fixing and phytostimulating microorganisms to increase the efficiency of the agro-industrial complex and improve the agro-ecological situation of the Russian Federation', *Fertility*, vol. 5, pp. 28–32. (in Russian).
6. Lebedev, V., Kondrat, S., Uraev, G., Khuaz, S. and Datkhuzheva, R. (2022) 'The Impact of Plant-Associated Rhizobacteria on Germination Capacity, Growth and Productivity of Spring Field Mustard and Emmer Wheat', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science: International Scientific and Practical Conference "Environmental Problems of Food Security"*, p. 012028.
7. Khuaz, S.K., Kondrat, S.V. and Kozhemyakov, A.P. (2022) 'Effect of Different Levels of Mineral Nitrogen and Inoculation with Various Biological Preparations on Productivity and Quality of Spring Wheat', *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 37 (2), pp. 67–75.
8. Laktionov, Yu.V., Kosulnikov, Yu.V. and Berdysheva, K.N. (2023) 'Osmoprotective properties of sucrose against nodule bacteria inoculants for legumes', *Bio web of conferences: International Scientific and Practical Conference "AGRARIAN SCIENCE – 2023" (AgriScience2023)*, p. 01007.
9. Naliukhin, A.N., Surov, V.V., Siluyanova, O.V. [et al.] (2018) 'Changes in the Metagenome of Prokaryotic Community as an Indicator of Fertility of Arable Soddy-Podzolic Soils upon Fertilizer Application', *Eurasian Soil Science*, vol. 51 (3), pp. 321–326.
10. Vorobeykov, G.A., Tsarenko, V.P. and Lunina, N.F. (2014), Field and vegetation research in agrochemistry and phytophysiology. St. Petersburg: Prospekt Nauki, p. 144. (in Russian).
11. Mishustin, E.N. (1983), 'Ways to improve the nitrogen balance of arable soils in the USSR and implementation of the food program', *Izvestia of the USSR Academy of Sciences (Biological)*, vol. 3, pp. 325-334. (in Russian).
12. Zavalin, A.A. and Almetov, N.S. (2009) 'The use of biological products and biological nitrogen in agriculture in the Non-Black Earth Region. Moscow: All-Russia Research Institute of Agrochemistry named after. D.N. Pryanishnikova, 152 p. (in Russian).

Сведения об авторах

Хуаз Светлана Хазретовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л.Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <http://orcid.org/0000-0003-3112-9133>, SPIN-код: 1481-8207, Scopus author ID: 57614020400; huazsveta@mail.ru.

Лебедев Виталий Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры ботаники, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Российский государственный педагогический университет им. А.И. Герцена», <http://orcid.org/0000-0002-6552-4599>, SPIN-код: 8554-9515, Scopus author ID: 57808777400; antares-80@yandex.ru.

Родичева Тамара Васильевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры почвоведения и агрохимии им. Л. Н. Александровой, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <http://orcid.org/0000-0003-1619-1326>, SPIN-код: 6096-7600, Scopus author ID: 57301879900, Researcher ID: T-18365-2018; trodiceva@mail.ru.

Information about the authors

Svetlana H. Khuaz, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0003-3112-9133>, SPIN-code: 1481-8207, Scopus author ID: 57614020400; huazsveta@mail.ru.

Vitaliy N. Lebedev, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, associate professor of Department of Botany, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Herzen State Pedagogical University of Russia", <http://orcid.org/0000-0002-6552-4599>, SPIN-code: 8554-9515, Scopus author ID: 57808777400; antares-80@yandex.ru.

Tamara V. Rodicheva, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor of the Department of Soil Science and Agrochemistry named after L. N. Alexandrova, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", <http://orcid.org/0000-0003-1619-1326>, SPIN-code: 6096-7600, Scopus author ID: 57301879900, Researcher ID: T-18365-2018; trodiceva@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 13.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted to the editorial office 15.01.2024; approved after reviewing 13.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья
УДК 635.21:632.76
Код ВАК: 4.1.3.
doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-67-76

БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИНСЕКТИЦИДОВ НА ОСНОВЕ ТИАМЕТОКСАМА И ХЛОРАНТРОНИЛИПРОЛА НА ЯБЛОНЕ

В.С. Ануфриева^{1,3} ✉, Т.В. Долженко^{1,3}, О.В. Долженко²

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ anufrieva_valera@mail.ru

²Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

³Инновационный центр защиты растений,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. На сегодняшний день садоводство является одним из самых активно развивающихся и инвестиционно привлекательных направлений сельского хозяйства, оно ежегодно демонстрирует уверенный рост. Среди разнообразия плодовых яблоня является одной из самых распространенных культур на территории России и в мире. В связи с ростом площадей ее возделывания возрастает необходимость проводить инсектицидную защиту от основных вредителей, в противном случае они могут не только снизить качество плодов и урожайность, но и привести к полной потере урожая или гибели растений. Ассортимент инсектицидов, применяемых в настоящее время для борьбы с вредными объектами на яблоне, довольно широк, но их основная часть представлена препаратами, относящимися к химическим классам фосфорорганических соединений и пиретроидов, что приводит к возникновению резистентности фитофагов. Цель наших исследований – изучение биологической эффективности препаратов, относящихся к классам неоникотиноидов и антрацилиамидов. Обработки включали применение инсектицида Актара, ВДГ в период обособления бутонов для борьбы с яблонным цветоедом (*Anthonomus pomorum* L.) и инсектицида Волиам Флекси, СК для борьбы с зеленой яблонной тлей (*Aphis pomi* Deg.). Опрыскивание проводили в двух нормах применения. Применение инсектицидов привело к снижению поврежденности бутонов яблонным цветоедом и численности зеленой яблонной тли. Использование инсектицида Актара, ВДГ снизило число поврежденных яблонным цветоедом бутонов на 92,5% (2021 г.) и 86,8% (2022 г.). Инсектицид Волиам Флекси, СК в нормах применения 0,4 и 0,5 л/га обеспечил снижение численности фитофага на 100% (2021 г.) и 73,0% (2022 г.).

Ключевые слова: яблоня, биологическая эффективность, инсектициды, яблонный цветоед, зеленая яблонная тля

Цитирование. Ануфриева В.С., Долженко, Т.В., Долженко, О.В. Биологическая эффективность инсектицидов на основе тиаметоксама и хлорантронилипрола на яблоне // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 67-76, doi: 10.24412/2078-2024-1-67-76.

BIOLOGICAL EFFECTIVENESS OF INSECTICIDES BASED
ON THIAMETHOXAM AND CHLORANTRANILIPROLE
ON APPLE TREEV.S. Anufrieva^{1,3} ✉, T.V. Dolzhenko^{1,3}, O.V. Dolzhenko²¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, St. Petersburg, Russia
✉ anufrieva_valera@mail.ru²All-Russian Research Institute of Plant Protection,
Pushkin, St. Petersburg, Russia³Innovative Plant Protection Center,
Pushkin, St. Petersburg, Russia

Abstract. Today, horticulture is one of the most actively developing and investment-attractive areas of agriculture, which annually demonstrates steady growth. Among the variety of fruit trees, apple is one of the most widespread crops in Russia and in the world. Due to the growing area of its cultivation, there is a growing need to carry out insecticide protection from major pests, otherwise they can not only reduce the quality of fruit and yield, but also lead to a complete loss of yield or even death of plants. The range of insecticides currently used to control pests on apple trees is quite wide, but their main part is represented by preparations belonging to the chemical classes of organophosphorus compounds and pyrethroids, which leads to the emergence of resistance. Based on this, the aim of our research was to study the biological efficacy of pesticides belonging to the classes neonicotinoids and anthranilamides. Treatments included application of insecticide Aktara, VDG during budding period to control apple blossom weevil (*Anthonomus pomorum* L.) and insecticide Voliam Flexi, SC to control green apple aphid (*Aphis pomi* Deg.). Spraying was carried out in two application rates. As a result of the experiments, it was found that the use of insecticides led to a decrease in the damage of buds by apple blossom weevil and the number of green apple aphids. The use of insecticide Actara, VDG reduced the number of buds damaged by apple blossom weevil by 92.5% (2021) and 86.8% (2022). Insecticide Voliam Flexi, SC at application rates of 0.4 and 0.5 L/ha provided a reduction in the number of phytophagous plants by 100% (2021) and 73.0% (2022).

Keywords: apple tree, biological efficiency, insecticides, apple blossom weevil, green apple aphid

Citation. Anufrieva, V.S. Dolzhenko, T.V., Dolzhenko, O.V. (2024), "Biological effectiveness of insecticides based on thiamethoxam and chlorantraniliprole on apple tree", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 67-76 (In Russ.), doi 10.24412/2078-2024-1-67-76.

Введение. Яблоня – древнейшая плодовая культура, возделыванием которой человечество занимается свыше 5 тыс. лет. В связи с увеличением в нашей стране площади её выращивания следует уделять особое внимание защите культуры от основных фитофагов. Потери урожая от комплекса вредителей при отсутствии защитных мероприятий достигают 70% [1]. В России известно около 1 тыс. видов вредителей плодовых культур. Наиболее распространенными вредителями яблони являются яблонный цветоед (*Anthonomus pomorum* L.) и зеленая яблонная тля (*Aphis pomi* Deg.) [2, 3].

Яблонный цветоед считается опасным вредителем. Жуки, вышедшие из мест зимовки, питаются распускающимися почками, выгрызая в них глубокие отверстия, из которых выделяются и стекают капельки прозрачного сока – «плач почек». В самом начале обнажения зеленых бутонов самки откладывают в них яйца, по одному в бутон. Вышедшие из яиц личинки питаются внутри бутонов тычинками и пестиками, выгрызают цветоложе. В результате поврежденные бутоны яблони не распускаются, лепестки их буреют и засыхают. Повреждение происходит с начала распускания почек до начала цветения [4, 5].

Зеленая яблонная тля заселяет верхушки побегов, листовые розетки, соцветия и плоды. Она повреждает яблоню с начала распускания почек до середины лета. В результате замедляется рост побегов яблони, происходит деформация и преждевременный опад листьев, сокращается количество закладываемых почек, что снижает плодоношение и уменьшает массу плодов, от чего уменьшается урожайность. Также тля заселяет грушу, рябину, боярышник и сливу [2, 6].

В настоящее время ассортимент используемых против вредителей яблони пестицидов достаточно широк, но их основная часть представлена препаратами, относящимися к фосфорорганическим соединениям (ФОС) и синтетическим пиретроидам [7].

Преимущественное использование препаратов на основе действующих веществ, относящихся к классам ФОС и пиретроидов, в течение продолжительного периода может привести к формированию резистентности у вредных объектов [8]. Таким образом, для предотвращения резистентности следует обратить внимание на препараты других химических классов. В опытах были исследованы препараты на основе тиаметоксама и хлорантранилипрола, относящихся к классам неоникотиноидов и антраниламидов.

Инсектициды на основе действующего вещества тиаметоксам подавляют активность ацетилхолинэстеразы, также являются агонистами никотин-ацетилхолиновых рецепторов и пролонгируют открытие натриевых каналов. У насекомых блокируется передача нервного импульса, и они погибают от нервного перевозбуждения [9-11].

Хлорантранилипрол воздействует на рианидин-рецепторы (RyR), которые регулируют мышечную и нервную активность насекомых посредством изменения уровня кальция в клетках. В организме насекомого препарат активирует высвобождение внутренних запасов ионов кальция из мышц, вследствие этого вредитель теряет способность сокращать мышцы. В первые часы после опрыскивания вредитель перестает питаться и двигаться, через 2–4 дня наступает паралич и, как следствие, гибель [11–13].

Цель исследования – оценка биологической эффективности химических инсектицидов из разных классов – Актара, водно-диспергируемые гранулы (ВДГ) (250 г/кг тиаметоксама) и Волиам Флекси, суспензионный концентрат (СК) (200 г/л тиаметоксама+100 г/л хлорантранилипрола) против яблонного цветоеда и зеленой яблонной тли.

Материалы, методы и объекты исследований. Исследования проводили в филиале ФГУП «Опытная станция «Мичуринская» (2021 г.) и ФГБНУ «ФНЦ им. И.В. Мичурина» (2022 г.) (Тамбовская область, г. Мичуринск).

В качестве эталонов использовали препараты Кинмикс, концентрат эмульсии (КЭ) и Данадим Эксперт, КЭ. Контроль – без обработки. Схемы опытов представлены в табл. 1 и 2.

Таблица 1. Схема опытов против яблонного цветоеда (2021–2022 гг.)
 Table 1. Scheme of experiments against apple blossom weevil (2021–2022)

№ п.п	Вариант опыта	Норма применения препарата
1.	Актара, ВДГ (250 г/кг)	0,1 кг/га
		0,125 кг/га
2.	Кинмикс, КЭ (50 г/л) /эталон/	0,4 л/га
3.	Контроль	-

Таблица 2. Схема опытов против зеленой яблонной тли (2021–2022 гг.)
 Table 2. Scheme of experiments against green apple aphids (2021–2022)

№ п.п	Вариант опыта	Норма применения препарата
1.	Волиам Флекси, СК (200+100 г/л)	0,4 л/га
		0,5 л/га
2.	Данадим Эксперт, КЭ (400 г/л) /эталон/	2,0 л/га
3.	Контроль	-

Каждый вариант опыта проводился в 4-кратной повторности, делянки были расположены рендомизированно. Обработку проводили однократно с помощью опрыскивателя STIHL SR 450.

Учеты яблонного цветоеда проводили в фенофазы розового бутона и окончания цветения методом подсчета количества поврежденных бутонов на 100 просмотренных. Учеты зеленой яблонной тли проводили путем подсчета имаго и личинок на 10 см побега на 3, 7, 14 и 21-е сутки после обработки [14].

Биологическую эффективность препарата против яблонного цветоеда определяли по снижению поврежденности бутонов и рассчитывали по формуле Аббота, а против тли – по снижению численности фитофага и рассчитывали по формуле Хендерсона-Тилтона.

Результаты исследований. В 2021 г. обработку яблони проводили инсектицидом Актара, ВДГ (250 г/кг) в период обособления бутонов при средней численности вредителя 4–8 имаго на дерево.

Учеты показали, что снижение поврежденности бутонов яблонным цветоедом после обработки изучаемым препаратом в нормах 0,1 кг/га и 0,125 кг/га превышало 90%.

В фенофазу розового бутона наименьшая поврежденность отмечена в варианте с нормой применения изучаемого препарата 0,125 кг/га, она составила 2 бутона. К концу цветения поврежденность в вариантах с изучаемым препаратом сохранилась на уровне 2,0–2,3 бутонов, в контроле – 26,5 бутонов (табл. 3).

Таблица 3. Биологическая эффективность инсектицида Актара, ВДГ (250 г/кг) в борьбе с яблонным цветоедом на яблоне в Тамбовской области (2021 г.)
Table 3. Biological effectiveness of the insecticide Aktara, VDG (250 g/kg) in the control of apple blossom weevil on apple trees in Tambov region (2021)

Вариант опыта	Норма применения препарата	Число поврежденных бутонов по фазам		Снижение поврежденности относительно контроля, %	
		розовый бутон	окончание цветения	розовый бутон	окончание цветения
Актара, ВДГ (250 г/кг)	0,1 кг/га	2,3	2,3	91,3	91,5
	0,125 кг/га	2,0	2,0	92,3	92,5
Кинмикс, КЭ (50 г/л) /эталон/	0,4 л/га	1,8	2,0	93,3	92,5
Контроль	-	26,0	26,5	-	-

Погодные условия в апреле-мае 2022 г. характеризовались пониженной температурой воздуха, вследствие этого прохождение основных фаз развития яблони было более растянутым по срокам, начало обособления бутонов отмечалось с 1-2 мая.

6 мая 2022 г. была проведена обработка опытных деревьев изучаемыми препаратами при численности яблонного цветоеда 4–10 имаго на дерево.

В результате проведенных учётов установлено, что препарат Актара, ВДГ был эффективен в обеих нормах применения: снижение поврежденности относительно контроля в фенофазу розовый бутон составило 82,2% и 81,9%, а в фенофазу окончания цветения – 84,9% и 86,8% (соответственно нормам применения), что превысило эффективность эталона (табл. 4).

Таблица 4. Биологическая эффективность инсектицида Актара, ВДГ (250 г/кг) в борьбе с яблонным цветоедом на яблоне в Тамбовской области (2022 г.)
Table 4. Biological effectiveness of the insecticide Aktara, VDG (250 g/kg) in the control of apple blossom weevil on apple trees in Tambov region (2022)

Вариант опыта	Норма применения препарата	Число поврежденных бутонов по фазам		Снижение поврежденности относительно контроля, %	
		розовый бутон	окончание цветения	розовый бутон	окончание цветения
Актара, ВДГ (250 г/кг)	0,1 кг/га	8,0	10,5	82,2	84,9
	0,125 кг/га	7,7	9,2	81,9	86,8
Кинмикс, КЭ (50 г/л) /эталон/	0,4 л/га	10,0	13,7	75,8	79,3
Контроль	-	47,0	71,0	-	-

Также были проведены испытания инсектицида Волиам Флекси, СК. Опрыскивание сада инсектицидом было проведено в период массового образования молодых зеленых побегов на яблоне при численности зеленой яблонной тли 5,5–7,0 тлей на 10 см побега. Погодные условия 2021 г. не способствовали массовому развитию вредителя, высокие температуры воздуха на фоне низкой влажности и редкие обильные дожди снижали численность тли.

Учёты показали, что на 7-е и 14-е сутки после обработки эффективность препарата составила 100% (табл. 5).

Таблица 5. Биологическая эффективность инсектицида Волиам Флекси, СК (200+100 г/л) в борьбе с зеленой яблонной тлей на яблоне в Тамбовской области (2021 г.)
Table 5. Biological effectiveness of the insecticide Voliam Flexi, SK (200+100 g/l) in the control of green apple aphid on apple trees in the Tambov region (2021)

Вариант опыта	Норма применения препарата, л/га	Среднее число имаго и личинок на 10 см побега					Снижение численности относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %			
		до обработки	после обработки по суткам учетов				3	7	14	21
			3	7	14	21				
Волиам Флекси, СК (200+100 г/л)	0,4	5,5	0,4	0	0	0,8	94,7	100	100	96,6
	0,5	7,0	0,3	0	0	0,5	97,1	100	100	98,1
Данадим Экспрт, КЭ (400 г/л) /эталон/	2,0	6,5	0,3	0	0	0,5	97,3	100	100	98,1
Контроль	-	6,0	7,5	11,0	16,5	24,5	-	-	-	-

Погодные условия 2022 г. были благоприятны для массового развития тли на яблоне: высокая температура воздуха и отсутствие обильных осадков.

24 июня 2022 г. была проведена обработка опытных насаждений яблони. Учет до обработки показал высокую численность имаго и личинок: от 71,4 до 116,3 особей на 10 см побега.

В результате проведенных учётов установлено, что изучаемый препарат Волиам Флекси, СК показал более низкую эффективность по сравнению с эталоном: максимальное снижение численности тли составило 70,4–73,0% (на 21 сутки после проведения обработки). Эффективность применения эталона Данадим Эксперт, КЭ (400 г/л) в эти же сроки учетов составила 82,8% (табл. 6).

Таблица 6. Биологическая эффективность инсектицида Волиам Флекси, СК (200+100 г/л) в борьбе с зеленой яблонной тлей на яблоне в Тамбовской области (2022 г.)
 Table 6. Biological effectiveness of the insecticide Voliam Flexi, SK (200+100 g/l) in the control of green apple aphid on apple trees in the Tambov region (2022)

Вариант опыта	Норма применения препарата, л/га	Среднее число имаго и личинок на 10 см побега					Снижение численности относительно исходной с поправкой на контроль после обработки по суткам учетов, %			
		до обработки	после обработки по суткам учетов				3	7	14	21
			3	7	14	21				
Волиам Флекси, СК (200+100 г/л)	0,4	104,2	89,2	72,6	51,0	40,2	24,3	49,7	64,5	70,4
	0,5	116,3	104,3	92,3	74,4	41,7	20,4	40,4	49,1	73,0
Данадим Экспрт, КЭ (400 г/л) /эталон/	2,0	71,4	31,0	9,8	4,6	17,0	55,9	89,8	95,3	82,8
Контроль	-	110,5	123,9	147,8	140,5	142,6	-	-	-	-

Выводы. Результаты исследований показали, что изучаемые препараты могут обеспечить эффективную защиту от яблонного цветоеда и зеленой яблонной тли:

1. Снижение поврежденности яблони яблонным цветоедом при применении инсектицида Актара, ВДГ составило 91,3-91,5% (0,1 кг/га), 92,3-92,5% (0,125 кг/га) в 2021 г. и 82,2-84,9% (0,1 кг/га), 81,9-86,8% (0,125 кг/га) в 2022 г.

2. Снижение численности зеленой яблонной тли при применении инсектицида Волиам Флекси, ВДГ составило 96,6-100% (0,4 л/га), 98,1-100% (0,5 л/га) в 2021 г. и 24,3-70,4% (0,4 л/га), 20,4-73,0% (0,5 л/га) в 2022 г.

Список литературы

1. Эффективность химических и биологических методов борьбы с доминирующими представителями отряда Hemiptera на яблоне / А. А. Данильчук, Е. Б. Балькина, Л. П. Ягодинская, Л. В. Коваленко // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2021. – № 91. – С. 105–109. – DOI 10.21515/1999-1703-91-105-109.
2. Балахнина, И.В., Иванисова, М.В. Тли в яблоневых садах, их значение и регуляция численности // Защита растений от вредных организмов: Материалы XI международной научно-практической конференции, Краснодар, 19–23 июня 2023 года. Выпуск 11. – Краснодар: Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, 2023. – С. 33–35.
3. Чернов, В.В., Подгорная, М.Е. Закономерности трансформации диметоата в агроценозах яблони // Таврический вестник аграрной науки. – 2020. – № 2 (22). – С. 180–187.
4. Дмитриева, С.В., Попов, С.Я. Биологическая эффективность инсектицидов разных классов против яблонного цветоеда (*Anthonomus pomorum*) на яблоне // Земледелие. – 2019. – № 5. – С. 45.
5. Зейналов, А.С. Особенности мониторинга *Anthonomus pomorum* L. на яблоне и груше в условиях изменения климата // Вестник российской сельскохозяйственной науки. – 2022. – № 3. – С. 30–34. – DOI 10.30850/vrsn/2022/3/30-34.

6. Данильчук, А.А., Балыкина, Е.Б., Ягодинская, Л.П. Сезонная динамика численности тлей (Hemiptera, Aphidoidea) в яблоневых садах Крыма // Труды Кубанского государственного аграрного университета. – 2022. – № 97. – С. 73–77. – DOI 10.21515/1999-1703-97-73-77.
7. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. – М., 2023. – 875 с.
8. Совершенствование ассортимента средств борьбы с вредителями растений в XXI веке / В. И. Долженко, Г. И. Сухорученко, Л. А. Буркова [и др.] // Агрохимия. – 2021. – № 1. – С. 31–40. – DOI 10.31857/S000218812101004X.
9. Долженко, Т. В., Козлова, Е.Г., Долженко, О.В. Оценка действия инсектицидов на полезных членистоногих // Российская сельскохозяйственная наука. – 2016. – № 2-3. – С. 21–23.
10. Pooja R. C., Dhanker P, Sushil. Trends and techniques for thiamethoxam residue estimation in different vegetables and fruits // International Journal of Agricultural Sciences, 2021, 17(I2), pp.719–723.
11. Assessing the degradation pattern of ready premix formulation of chlorantraniliprole + thiamethoxam in canal water under laboratory conditions / Preeti Dhanker, Sushil, Reena Chauhan Pooja, Rahul Dhanker // The Pharma Innovation Journal, 2022, 11(3), pp. 1893–1897.
12. Долженко, В.И., Лаптиев, А.Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность // Плодородие. – 2021. – № 3 (120). – С. 71–75. – DOI 10.25680/S19948603.2021.120.13.
13. Hongbo, Li, Changgeng, Dai, Yang, Hu. The Efficacy of Chlorantraniliprole as a Seed Treatment for *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae) // Journal of Chemistry, Article ID 3781567, 2022, p. 6. <https://doi.org/10.1155/2022/3781567>.
14. Методические указания по регистрационным испытаниям инсектицидов, акарицидов, феромонов, моллюскоцидов и родентицидов в растениеводстве / В. И. Долженко, Г. И. Сухорученко, Л. А. Буркова [и др.]. – Москва: Росинформагротех, 2022. – 508 с. – ISBN 978-5-7367-1737-8.

References

1. Danilchuk, A. A., Balykina, E. B., Yagodinskaya, L. P. and Kovalenko, L. V. (2021) “Effectiveness of chemical and biological methods of control with dominant representatives of the Hemiptera on apple trees”, *Proceedings of Kuban State Agrarian University*, vol. 91., pp. 105–109.
2. Balakhnina, I.V. and Ivanisova, M.V. (2023) “Aphids in apple orchards, their importance and regulation of numbers”, *Plant Protection from pests: Proceedings of the XI International Scientific and Practical Conference*, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar, June 19-23, vol. 11, pp. 33–35.
3. Chernov, V.V. and Podgornaya, M.E. (2020) “Regularities of transformation of dimethoate in apple- tree agrocenoses”, *Taurida herald of the agrarian sciences*, vol. 2 (22), pp. 180–187.
4. Dmitrieva, S.V. and Popov, S.Ya. (2019) “Biological Efficacy of Insecticides of Different Classes against Apple Blossom Weevil (*Anthonomus pomorum*) on Apple Trees”, *Zemledelie*, vol. 5, p. 45.
5. Zeynalov, A.S. (2022) “Features of *Anthonomus pomorum* L. monitoring on apple and pear trees in climate change conditions”, *Vestnik of the Russian agricultural science*, vol. 3, pp. 30–34.

6. Danilchuk, A.A., Balykina, E.B. and Yagodinskaya, L.P. (2022) “Seasonal dynamics of aphid abundance (Hemiptera, Aphidoidea) in apple orchards of the Crimea” *Proceedings of the Kuban State Agrarian University*, vol.97, pp. 73–77.
7. State catalogue of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation, Moscow, Russia, p. 875.
8. Dolzhenko, V.I., Sukhoruchenko, G. I., Burkova L. A., et al. (2021) “Improving the Range of Plant Pest Control Products in Russia in the 21st Century”, *Agricultural Chemistry*, vol.1, pp. 31–40.
9. Dolzhenko, T.V., Kozlova, E.G. and Dolzhenko O.V. (2016) “Evaluation of insecticides action on beneficial arthropods”, *Russian Agricultural Sciences*, vol. 2–3, pp. 21–23.
10. Pooja R. C., Dhanker P, Sushil (2021) “Trends and techniques for thiamethoxam residue estimation in different vegetables and fruits” *International Journal of Agricultural Sciences*, vol. 17(12), pp.719–723.
11. Preeti Dhanker, Sushil, Reena Chauhan Pooja, Rahul Dhanker (2022) “Assessing the degradation pattern of ready premix formulation of chlorantraniliprole + thiamethoxam in canal water under laboratory conditions” *The Pharma Innovation Journal*, vol. 11(3), pp.1893–1897.
12. Dolzhenko, V.I., Laptiev, A.B. (2021) “Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety”, *Plodorodie*, vol.3(120), pp. 71–75.
13. Hongbo Li, Changgeng Dai, Yang Hu (2022) “The Efficacy of Chlorantraniliprole as a Seed Treatment for *Mythimna separata* (Walker) (Lepidoptera: Noctuidae)” *Journal of Chemistry*, Article ID 3781567, p. 6. <https://doi.org/10.1155/2022/3781567>.
14. Dolzhenko, V. I., Sukhoruchenko, G. I., Burkova, L. A. et al. (2022) Methodological guidelines for registration tests of insecticides, acaricides, pheromones, molluscicides and rodenticides in crop production, Moscow, FGBNU "Rosinformagroteh", 2022, p. 508.

Сведения об авторах

Ануфриева Валерия Степановна, аспирант кафедры защиты и карантина растений, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; младший научный сотрудник, Общество с ограниченной ответственностью «Инновационный центр защиты растений», г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0009-0000-8603-9560>; anufrieva_valera@mail.ru.

Долженко Татьяна Васильевна, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры защиты и карантина растений, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет»; ведущий научный сотрудник, Общество с ограниченной ответственностью «Инновационный центр защиты растений», г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4139-2664>, SPIN-код: 4042-7694; dolzhenkotv@mail.ru.

Долженко Олег Викторович, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Центра биологической регламентации использования пестицидов, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений», г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-4700-0377>, SPIN-код: 5460-6375; agrozara86@mail.ru.

Information about the authors

Valeria S. Anufrieva, Postgraduate Student of the Department of Protection and Quarantine of Plants, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Junior Researcher, LLC "Innovation Center for Plant Protection", <http://orcid.org/0009-0000-8603-9560>; anufrieva_valera@mail.ru.

Tatyana V. Dolzhenko, Doc. Sci. (Biol.), Professor, Professor of the Department of Protection and Quarantine of Plants, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Leading Researcher, LLC "Innovation Center for Plant Protection", <http://orcid.org/0000-0003-4139-2664>, SPIN-code: 4042-7694; dolzhenkotv@mail.ru.

Oleg V. Dolzhenko, Cand. Sci. (Biol.), Senior Researcher at the Federal State Budgetary Scientific Institution "All-Russian Research Institute of Plant Protection", <https://orcid.org/0000-0003-4700-0377>, SPIN-code: 5460-6375; agrozara86@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 19.01.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 19.01.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья
УДК 635.34:631.5(470.23)
Код ВАК 4.1.4
doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-77-86

АГРОТЕХНИЧЕСКИЕ ПРИЕМЫ ВЫРАЩИВАНИЯ МАЛОРАСПРОСТРАНЕННЫХ ВИДОВ КАПУСТЫ В ЛЕНИНГРАДСКОЙ ОБЛАСТИ

Н.М. Пуць¹✉

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ dekanatspb-78@mail.ru

Реферат. Статья посвящена изучению агротехнических приемов выращивания ценных, но малораспространенных видов капусты в Ленинградской области в процессе решения задач импортозамещения в области сельского хозяйства, в том числе овощеводства. Увеличение производства продукции овощеводства связано с расширением ассортимента овощных культур, заменой сортов на более продуктивные, совершенствованием агротехники выращивания. Исследовательскую работу в течение ряда лет проводили на опытном поле кафедры плодоовощеводства и декоративного садоводства в центре агротехнологий СПбГАУ с культурами цветной капусты, брокколи, брюссельской и пекинской капусты. В статье представлена характеристика продуктивности сортов цветной капусты при выращивании в позднелетней культуре, дана оценка приемов конвейерного выращивания брокколи при посадке в поле в разные сроки 30-дневной рассады. Для обеспечения конвейерного поступления головок брокколи можно использовать выращивание рассады скороспелого сорта Тонус с возрастом 38, 34 и 32 дня при посеве с 29.04 по 28.05 и посадкой в поле в 3 срока с 07.06 по 29.06. В статье представлены результаты исследований по применению агроприемов, способствующих увеличению продуктивности и конвейерному поступлению продукции брюссельской капусты. Выращивание сортов с разной скороспелостью при использовании рассады с возрастом 38, 34 и 32 дня при посадке в разные сроки с разными схемами размещения позволяет увеличивать урожай и продлить поступление овощной продукции брюссельской капусты. Представленные материалы являются актуальными, а эффективность изученных агроприемов выращивания цветной капусты, брокколи, брюссельской и пекинской капусты позволяет обеспечить конвейерное поступление овощной продукции и имеет важное практическое значение. Проведенные в течение ряда лет исследования по отработке агротехнических приемов выращивания ценных малораспространенных видов капусты показали, что в условиях Ленинградской области можно успешно выращивать и обеспечивать конвейерное поступление овощной продукции цветной капусты, брокколи, брюссельской и пекинской капусты.

Ключевые слова: капуста, конвейер, брокколи, рассада, головка, кочанчик, сорт, гибрид, теплица, поликарбонат

Цитирование. Пуць Н.М. Агротехнические приемы выращивания малораспространенных видов капусты в Ленинградской области // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 77-86, doi 10.24412/2078-1318-2024-1-77-86.

AGROTECHNICAL METHODS OF GROWING SMALL-SCALE CABBAGE
SPECIES IN LENINGRAD REGIONN.M. Putz¹ ✉¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, Saint Petersburg, Russia

✉ dekanatspb-78@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the study of agrotechnical methods of cultivation of valuable but little spread cabbage species in the Leningrad Region in the process of solving the problems of import substitution in agriculture, including vegetable growing. The increase in vegetable production is associated with the expansion of the range of vegetable crops, replacement of varieties with more productive ones, and improvement of cultivation techniques. Research work for a number of years was carried out in the experimental field of the Department of Horticulture and Ornamental Horticulture in the Centre of Agrotechnologies of SPbSAU with cauliflower, broccoli, Brussels and Peking cabbage. The article presents the characteristic of productivity of cauliflower varieties when grown in late summer culture, evaluates the methods of conveyor cultivation of broccoli when planted in the field in different terms of 30-day seedlings. To provide conveyor delivery of broccoli heads it is possible to use cultivation of seedlings of the early maturing variety Tonus with the age of 38, 34 and 32 days at sowing from 29.04 to 28.05 and planting in the field in 3 terms from 07.06 to 29.06. The article presents the results of research on the application of agronomic techniques that contribute to the increase in productivity and conveyor of Brussels sprouts. Cultivation of varieties with different precocity using seedlings with the age of 38, 34 and 32 days when planted at different dates with different schemes of placement allows to increase the yield and prolong the supply of vegetable products of Brussels sprouts. The presented materials are relevant, and the effectiveness of the studied agro-techniques of growing cauliflower, broccoli, Brussels and Peking cabbage, allows to provide conveyor delivery of vegetable products and has an important practical value. The researches on development of agrotechnical methods of cultivation of valuable low-distributed cabbage species conducted during a number of years have shown that in the conditions of the Leningrad Region it is possible to successfully grow and provide conveyor delivery of vegetable products of cauliflower, broccoli, Brussels and Peking cabbage.

Keywords: cabbage, conveyor, broccoli, sprouts, head, bob, variety, hybrid, greenhouse, polycarbonate

Citation. Putz N.M. (2024) 'Agrotechnical methods of growing small-scale cabbage species in Leningrad Region', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 77-86 (In Russ.). doi 10.24412/2078-1318-2024-1-77-86.

Введение. Важной задачей развития овощеводства в Северо-Западном регионе России, в том числе в Ленинградской области, является расширение ассортимента выращиваемых овощей. Для обеспечения рационального и здорового питания населения можно и нужно использовать выращивание ценных видов овощных растений, пока малораспространенных в Северо-Западном регионе РФ. В условиях решения задачи импортозамещения увеличение производства продукции овощеводства также связано с совершенствованием агротехнологий овощных культур и более точным их соблюдением.

Малораспространенными в Ленинградской области являются ценные виды капусты: цветная, брокколи, брюссельская, пекинская, которые можно успешно выращивать в почвенно-климатических условиях Северо-Запада РФ, в том числе в защищенном грунте [15].

За рубежом из овощной продукции капусты только 20% составляет продукция белокочанной капусты. Значительно больше там потребляют овощную продукцию цветной капусты, брокколи и брюссельской капусты. В странах Востока, в особенности в Китае, Корее, Японии, пекинская капуста является ведущей овощной культурой [2, 4, 5, 10, 11].

Среди населения Ленинградской области и Санкт-Петербурга цветная капуста пользуется повышенным спросом, и нынешние объемы продукции этой культуры отечественного производства не могут удовлетворить потребности, поэтому она импортируется из зарубежных стран.

Спрос на цветную капусту объясняется ее высокой питательной ценностью. По содержанию питательных веществ, диетическим свойствам и вкусовым качествам головки цветной капусты во многом превосходят другие овощи. Цветная капуста богаче белокочанной по содержанию белков в 1,5–2,0 раза, а аскорбиновой кислоты – в 2,0–3,0 раза. В головках цветной капусты более половины азотистых веществ представлены легкоусвояемыми белками, очень мало клетчатки, а также высоко содержание витаминов С, В, В₂, В₆, РР. Цветная капуста богата солями калия, железа, фосфора, включает микроэлементы кобальт, магний, йод и другие ценные вещества [5, 6, 7, 9, 12].

Капуста брокколи в настоящее время является одним из самых популярных и доступных овощей в Европе и Америке. В мире известно более 200 сортов брокколи, что почти в 2 раза больше, чем у цветной капусты, и свидетельствует о распространенности культуры и ее ценности. Брокколи по питательной ценности превосходит цветную капусту, а ее молодые листья по содержанию минеральных веществ не уступают шпинату и листовой капусте [1, 4, 5, 7, 8, 9].

По содержанию питательных веществ рекордсменом среди культур капусты является брюссельская капуста. В ней содержится больше витаминов, минеральных солей, белка, чем в кочанах белокочанной капусты, а по количеству рибофлавина она находится на уровне молочных продуктов. По составу аминокислот белок брюссельской капусты не уступает мясному и молочному [1, 5, 7, 9, 11].

Постепенно растет спрос на пекинскую капусту. Она становится одним из привычных продуктов питания для использования в свежем виде и для квашения. В последние годы пекинскую капусту в результате успешной селекционной работы и благодаря скороспелости и урожайности стали выращивать в открытом и защищенном грунте в Ленинградской области. Ее выращиванию способствует возрастающая популярность китайской, корейской и японской кухни, которая стимулирует заинтересованность овощеводов в производстве этой продукции [2, 3, 5, 7, 9, 10].

Цель исследования – изучение некоторых агротехнических приемов выращивания цветной капусты, брокколи, брюссельской и пекинской капусты в открытом и защищенном грунте в условиях Ленинградской области, почвенно-климатические условия которой позволяют успешно выращивать эти культуры. Для подбора сортимента необходимо изучение биологических особенностей роста и развития указанных растений, выявление хозяйственно-ценных сортов для овощеводства; необходима разработка и уточнение агротехнических приемов, обеспечивающих конвейерное выращивание растений. Требования к условиям

произрастания скороспелых и среднеспелых сортов цветной капусты и брокколи позволяют их выращивать в весенне-летней, летней и летне-осенней культурах [7, 12].

Материалы, методы и объекты исследования. Объектами исследований служили цветная капуста, брокколи, брюссельская и пекинская капуста. Опытную работу проводили на опытном поле кафедры плодоовощеводства и декоративного садоводства в центре агротехнологий СПбГАУ по общепринятой методике полевого опыта (Б.А. Доспехов, 1985).

Наши исследования по культуре цветной капусты были направлены на изучение агробιологических особенностей ростовых процессов некоторых гибридов цветной капусты и выявление на их основе возможности конвейерного выращивания летней культуры в поздние сроки. Для исследования использовали 4 гибрида иностранной селекции, предоставленные Всероссийским институтом генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР): Solistar F1 – Франция, Flamestar F1 – Южная Африка, Bering F1 – Чили, Octopus F1 – Франция. После посадки рассады период до созревания головок составляет у Solistar F1 55-60 дней, у Flamestar F1 – 75–80 дней, у Bering F1- 50–65 дней, у Octopus F1 – 85–90 дней.

Посев на рассаду для поздней летней культуры провели 09 июня 2020 г. в необогреваемую теплицу с поликарбонатным покрытием. Рассаду выращивали без горшков и без пикировки, выполняя точный посев вручную на грядку со схемой посева 5x3 см. На постоянное место в открытый грунт ее высаживали в возрасте 25 дней с момента всходов с 4-5 листьями на стандартные гребни, схема размещения 70x30 см.

Результаты исследования. В процессе проведения исследования выполняли фенологические и биометрические наблюдения, а также учет урожая.

Фенологические наблюдения выявили существенные различия в прохождении отдельных фаз у используемых в опыте гибридов. Растения гибридов *Solistar F1*, *Octopus F1* на 6-7 дней, а растения *Bering F1* на 4 дня раньше начали формировать головки по сравнению с растениями *Flamestar F1*, но начало уборки урожая головок и ее завершение отмечено у всех исследуемых гибридов в одни сроки.

В условиях позднелетней культуры гибриды имели отличия и по биометрическим показателям. По высоте растения и по количеству листьев изучаемые сорта отличались мало, но при этом большую площадь листовой поверхности в оба срока наблюдения сформировали растения гибридов *Bering F1* на 1128 и 921 см² и *Flamestar F1* на 536 и 214 см² по сравнению с растениями гибридов *Solistar F1* и *Octopus F1* соответственно.

Однако нужно отметить, что площадь ассимиляционной поверхности листьев у *Flamestar F1* не обеспечила большую урожайность. Растения этого гибрида сформировали меньший урожай (8,9 т/га) по сравнению с другими гибридами. Большую урожайность среди исследуемых гибридов сформировали растения гибрида *Octopus F1* – 13,7 т/га, что на 4,8 т/га больше, чем у растений *Flamestar F1*, на 2,1 т/га больше, чем у растений *Octopus F1* и на 1,2 т/га больше, чем у растений гибрида *Bering F1* (табл. 1).

Таблица 1. Урожайность изучаемых гибридов капусты цветной в позднелетней культуре, 2020 г.
 Table 1. Yield of studied hybrids of cauliflower cabbage in late summer crop, 2020

Показатели	Число растений по схеме размещения, на 1 га, шт.	Средний диаметр головок, см	Средняя масса головок, гр.	Урожай головок, т/га
Варианты опыта (сорта)				
<i>Solistar F1</i>	47619	9	248	11,6
<i>Flamestar F1</i>	47619	10	187	8,9
<i>Bering F1</i>	47619	10	263	12,5
<i>Octopus F1</i>	47619	10	287	13,7

НСР_{0,5} = 2,1 т/га

Проведенные в течение позднелетней культуры цветной капусты исследования показали, что выращиваемые в опыте сорта обеспечили поступление продукции в течение 22 дней.

Опытная работа с капустой брокколи была направлена на изучение некоторых приемов конвейерного выращивания культуры для обеспечения более продолжительного времени поступления ее продукции [4, 8]. Для исследовательской работы использовали раннеспелый отечественный сорт Тонус. Варианты опыта предусматривали посев на рассаду 29 апреля – контроль, 15 мая и 28 мая. Рассаду выращивали в необогреваемых весенних теплицах. Посадку рассады в возрасте 38, 34 и 32 дня соответственно выполняли на стандартных гребнях со схемой размещения 70x30 см 7 июня, 18 июня и 29 июня.

Более быстрая приживаемость растений, появление головок и массовое созревание урожая отмечены у растений брокколи поздневесеннего срока посева на рассаду (28.05) и второго срока летней посадки в поле (29.06). Это обусловлено более благоприятными для капустных растений условиями выращивания, которые формируются в это время в Ленинградской области за счет лучшего прогрева почвы, близкой к оптимальной температуре воздуха и хорошего водообеспечения растений. Близкие к этим показателям результаты и у растений ранневесеннего посева на рассаду, хотя массовое появление головок у них отмечено на 8 дней позже.

Биометрические наблюдения показали, что растения брокколи, выращенные из рассады посева 28 мая, обладали более высоким стеблем, большим числом листьев (на 3-6 штук), более крупной розеткой листьев (на 10-11 см больше) и в итоге имели большую площадь ассимиляционной поверхности по сравнению с контролем, что позволило им сформировать более крупную центральную головку по сравнению с растениями контрольного варианта и растениями посева 15 мая (261 г, 118,5 г, 146,2 г соответственно). Более высокий урожай брокколи за первый месяц поступления продукции (6,4 т/га) также отмечен у растений этого срока посева, меньшая урожайность за этот период – у растений при посеве 29 апреля. Однако в силу более растянутого периода поступления продукции общая урожайность брокколи в этом варианте несущественно отличалась от урожайности растений второго срока летней посадки.

Результаты проведенного опыта показали, что для обеспечения конвейерного поступления продукции брокколи в условиях Ленинградской области можно сочетать ранневесеннее и летнее выращивание брокколи.

Для уточнения агротехники выращивания брюссельской капусты в Ленинградской области нами были проведены опыты по изучению влияния на урожайность культуры прищипки верхушечной почки, сроков посадки рассады и размещения растений. Размещение растений на площади влияет на условия освещенности и на получение растениями потока лучистой энергии, что в результате влияет на продуктивность фотосинтеза. Однако разные культуры и сорта одной и той же культуры реагируют по-разному на величину площади питания.

В опытной работе использовали среднеранний сорт Розелла и среднепоздние сорта Геркулес 1342 и F₁ Боксер.

Для повышения плотности кочанчиков брюссельской капусты и более равномерного их развития на стеблях растений необходимо проводить прищипку (декапитацию) верхушечной почки. Прищипка особенно нужна для позднеспелых сортов. У более скороспелых сортов пинцировку верхушки желательно проводить в северных районах Нечерноземной зоны, а также повсеместно в годы с недостаточной теплообеспеченностью. Однако слишком ранняя прищипка верхушки может привести к растрескиванию и одревенению кочанчиков, а поздняя не оказывает на формирование кочанчиков никакого влияния [1, 9, 11].

Наши исследования показали, что в условиях Ленинградской области прищипка верхушки растений брюссельской капусты в третьей декаде сентября позволила получить более высокий урожай и товарность кочанчиков как у среднераннего сорта Розелла (на 0,7 т/га), так и у среднепозднего сорта Геркулес 1342 (на 0,9 т/га) по сравнению с выращиванием без прищипки.

Учитывая ценность овощной продукции брюссельской капусты, необходимо обеспечить более длительное поступление ее кочанчиков потребителям. В условиях Ленинградской области разные сроки посадки рассады в поле и использование сортов разной скороспелости позволяют в течение длительного времени убирать урожай кочанчиков и увеличить урожай брюссельской капусты. Варианты опыта предусматривали посадку рассады в открытый грунт в возрасте 30-32 дня в 3 срока: 15 мая; 23 мая и 02 июня. Рассаду выращивали в необогреваемых пленочных теплицах без горшков. В исследованиях использовали 2 сорта, отличающихся по скороспелости: среднеранний сорт Розелла и среднепоздний гибрид F₁ Боксер. В поле опытные растения высаживали на стандартных гребнях, сорт Розелла со схемой размещения 70x30 см и 70x40 см, а сорт Боксер со схемой размещения 70x40 см.

Более высокую урожайность сформировали растения обоих сортов при первом сроке посадки в поле (15 мая). Сорт Розелла при посадке рассады в этот срок по схеме размещения 70x40 см обеспечил урожайность 10,2 т/га, а при размещении растений 70x30 – 9,1 т/га. При посадке растений сорта Розелла во второй и третий срок (23 мая и 02 июня) более высокую урожайность получили при размещении растений 70x30 см (табл. 2).

Растения гибрида F₁Боксер обеспечили более высокую урожайность при размещении растений по схеме 70x40 см: в первый срок посадки (15.05) – 11,9 т/га и в третий срок (02.06) – 9,8 т/га, что на 2,8 т/га больше, чем при посадке во второй срок (23.05).

Таблица 2. Влияние сроков выращивания и посадки рассады в открытый грунт на урожайность брюссельской капусты
Table 2. Influence of growing and planting dates of seedlings in the open ground on Brussels sprouts yields

Варианты опыта (сроки), сорта	Выход кочанчиков							Урожайность, т/га	Средняя масса товарного кочанчика, г
	Товарные			Нетоварные		Всего			
	всего, шт. с 1 раст.	средний диаметр, мм	масса, г. с 1 раст.	всего, шт. с 1 раст.	масса, г. с 1 раст.	масса, г. с 1 раст.	в т. ч. нетоварные, %		
Розелла									
<i>I</i> (к)									
70x30 см	8,9	25,1	75	25,7	104,5	189,5	55,1	9,02	8,43
70x40 см	18,6	25,8	165,7	18,7	118,6	284,3	41,7	10,2	8,9
<i>II</i>									
70x30 см	9,6	26,5	101,5	15,4	64,3	165,8	38,8	7,9	10,5
70x40 см	-	-	-	10,5	25,5	25,5	100	0,9	-
<i>III</i>									
70x30 см	2,5	24,1	33,3	15,5	63,4	99,7	63,6	4,8	13,3
70x40 см	-	-	-	12,5	22,2	22,2	100	0,8	-
Боксер F ₁									
<i>I</i> (к)									
70x40 см	25,2	26,9	254,9	12,2	79,2	334,1	23,8	11,9	10,1
<i>II</i>									
70x40 см	7,9	25,2	72,5	26,1	124,5	197	64,2	7,0	9,1
<i>III</i>									
70x40 см	17,3	29,3	225	9,8	50	275	18,2	9,8	13

НСР_{0,5} = 0,76 т/га

Для успешного выращивания пекинской капусты в Ленинградской области необходимы сорта, приспособленные к почвенно-климатическим условиям Северо-Западного региона [3, 10]. Для наших исследований Всероссийский институт генетических ресурсов растений (ВИР) им. Н.И. Вавилова предоставил для выращивания сорта полукочанной пекинской капусты: гибрид F₁ Fun Jen и сорт Местный (Китай) по каталогу ВИРа (№ 64). Исследования проводили в 2022 г. в весенней необогреваемой теплице ангарного типа с покрытием поликарбонатом.

По вариантам опыта растения обоих сортов размещали по схемам 25x20 см и 25x15 см в трехкратной повторности. Растения пекинской капусты выращивали прямым посевом в грунт по схеме размещения. Семена высевали 12 мая 2022 г. на стандартных грядах.

Фенологические наблюдения проводили с 12 мая по 26 июня по мере прохождения фаз роста. Существенных различий в прохождении фенофаз по вариантам опыта у обоих сортов не отмечено.

Биометрические наблюдения выявили отличия по вариантам опыта у растений обоих сортов: более высокими в оба срока наблюдений были растения сорта Местный (Китай), но по вариантам опыта существенных отличий не отмечено. У обоих сортов при размещении растений 25x15 см ширина розетки листьев была больше на 5 см по сравнению с размещением 25x20 см (табл. 3).

Уборку урожая и его учет провели сплошным методом 26 июня 2022 г., взвешивая каждую срезанную розетку.

Таблица 3. Урожайность полукочанной пекинской капусты в опыте, 2022 г.
Table 3. Yield of half-brown Peking cabbage in the experiment, 2022

Показатели	Средняя масса розетки листьев, кг	Количество растений на 1 га, шт.	Урожайность т/га
Варианты опыта			
Гибрид F1 Fun Jen			
25x20 см (контроль)	0,304	200000	60
25x15 см	0,295	266670	79
Сорт Местный (Китай)			
25x20 см (контроль)	0,293	200000	59
25x15 см	0,238	266670	63

$НСР_{0,5} = 0,517$ т/га

При схеме размещения растений 25x20 урожайность у растений сорта Местный (Китай) составила 59 т/га, а у гибрида F1 Fun Jen – 60 т/га, при размещении 25x15 см у растений обоих сортов была большая урожайность: у гибрида F1 Fun Jen – 79 т/га, а у сорта Местный (Китай) – 63 т/га. По результатам проведенного опыта можно отметить, что уменьшение площади питания пекинской капусты (с 25x20 см до 20x15 см) обеспечило повышение урожайности у сорта Местный (Китай) на 4 т/га или 15%, а у гибрида F1 Fun Jen на 19 т/га или 31%.

Выводы:

1. В условиях Ленинградской области можно успешно выращивать и обеспечивать конвейерное поступление овощной продукции цветной капусты, брокколи, брюссельской и пекинской капусты.

2. При выращивании гибридов цветной капусты в позднелетней культуре изучаемые гибриды показали достаточно высокий урожай, кроме гибрида F1 Flamestar, и обеспечили поступление урожая в течение 22 дней. Для выращивания в поздние сроки летней культуры можно рекомендовать гибриды Solistar F1, Bering F1 и Octopus F1.

3. Для обеспечения конвейерного поступления головок брокколи целесообразно использовать выращивание рассады скороспелого сорта Тонус с возрастом 38, 34 и 32 дня при посеве с 29.04 по 28.05 и посадкой в поле в 3 срока с 07.06 по 29.06.

4. Изучение агроприемов выращивания брюссельской капусты показало, что для обеспечения конвейерного поступления и удешевления ее продукции можно использовать для посадки 30-дневную рассаду с посадкой растений во второй и третьей декадах мая и в начале июня. Необходимо сочетать использование среднеранних (Розелла), среднеспелых (F1 Боксер)

и среднепоздних (Геркулес 1342) сортов, высаживать растения по разным схемам в разные сроки выращивания, согласно вышеприведенным результатам исследований.

5. Урожайность растений пекинской капусты сорта Местный (Китай) при схеме размещения 25x15 см возросла на 15%, а у гибрида F1 Fun Jen – на 31% по сравнению с размещением растений 25x20 см.

6. В целях формирования конвейерного поступления продукции пекинской капусты при выращивании в весенних теплицах нужно размещать растения полукочанных сортов F1 Fun Jen и Местный (Китай) со схемой посадки 25x15 см.

Список литературы

1. Джохадзе, Т.И. Капуста краснокочанная, савойская, брюссельская, брокколи / Т. И. Джохадзе, Л. А. Кравец. -- Ленинград: Колос: Ленингр. отд-ние, 1983. -- 72 с.
2. Киреевкова, А.М. Влияние сроков посева на урожайность пекинской капусты / А. М. Киреевкова, А. И. Бохан // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке : Материалы XXVI Международной научно-производственной конференции, Майский, 25 мая 2022 года. Том 1. – Белгород: Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2022. – С. 21–22.
3. Кононков, П.Ф. Новые овощные растения / П. Ф. Кононков, М. С. Бунин, С. Н. Кононкова. – 2-е изд., доп. – Москва : Россельхозиздат, 1985. – 61 с.
4. Казахмедов, Р.Э. Влияние физических и физиологических факторов на особенности роста и развития молодых растений брокколи / Р. Э. Казахмедов, Т. Г. Причко, Э. Э. Ханмагомедов // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. – 2023. – Т. 36. – С. 112–120. – DOI 10.30679/2587-9847-2023-36-112. – 120.
5. Котов, В.П., Адрицкая, Н.А., Пуць, Н.М., Улимбашев, А.М. Овощеводство. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 496 с.
6. Кротова, О.А., Андреева, Р.А. Цветная капуста. – М.: Колос, 1980. – 128 с.
7. Лизгунова, Т.В. Капуста. – Л.: Колос, 1965, 384 с.
8. Немов Н.Д., Пашков Н. О капусте брокколи // Картофель и овощи. – 1974. – № 1 – С. 34.
9. Овощеводство открытого грунта / В. П. Котов, Н.А. Адрицкая, Н. М. Пуць и др.; под ред. В. П. Котова. – СПб.: Проспект Науки, 2012. – 360 с.
10. Родионов, В.А. Урожайность и качество продукции гибридов пекинской капусты в зависимости от доз минеральных удобрений: дисс. ...канд. с.-х. наук: 06.01.04 / В. А. Родионов [Место защиты: Моск. С.-х. акад. им. К.А. Тимирязева]. – Москва, 2013. – 280 с.
11. Резниченко, Д. Выращивание брюссельской капусты // Овощеводство и тепличное хозяйство. – 2008. – № 8. – С. 15–18.
12. Старцев, В.И. Опыт выращивания семян капусты брюссельской в беспересадочной культуре в условиях Московской области / В. И. Старцев, Л. В. Старцева, А. П. Глинушкин // Картофель и овощи. – 2021. – № 9. – С. 37–39. – DOI 10.25630/PAV.2021.52.84.006.

References

1. Dzhokhadze T.I. (1983) Red cabbage, Savoy, Brussels, broccoli / T. I. Dzhokhadze, L. A. Kravets. Leningrad: *Kolos: Leningrad*, 72 p.
2. Kireenkova, A.M. (2022). Influence of sowing dates on yield of Beijing production conference, Mayskiy, May 25, 2022. Vol. 1. *Belgorod: Belgorod State Agrarian University named after V.Y. Gorin*, pp. 21–22.
3. Kononkov, P.F. (1985). New vegetable plants / P.F. Kononkov, M.S. Bunin, S.N. Kononkova. – 2nd ed., supplement. – Moscow : *Rosselkhozizdat*, 61 p.

4. Kazakhmedov, R.E. (2023). The influence of physical and physiological factors on the growth and development of young broccoli plants / R. E. Kazakhmedov, T. G. Prichko, E. E. Khanmagomedov // *Scientific Proceedings of the North Caucasus Federal Scientific Center of Horticulture, Viticulture, Winemaking.* Т. 36, pp. 112-120. – DOI 10.30679/2587-9847-2023-36-112-120.
5. Kotov, V. P., Adritskaya, N. A., Puts, N. M., Ulimbashev, A.M. (2022). Vegetable growing – St. Petersburg : *Lan*,. 496 p.
6. Krotova, O.A., Andreeva, R.A. (1980). Cauliflower cabbage. М. : *Kolos*. – 128 p. (B-chka vegetable grower).
7. Lizgunova, T.V. Cabbage, L. (1965). Branch of the publishing house "Kolos", 384 p.
8. Nемов, N.D., Pashkov, N. (1974) 'About broccoli cabbage', *Potatoes and Vegetables*, no 1, p. 34.
9. Kotov, V.P., N.A. Adritskaya, N.M. Puts and others; (2012). Vegetable growing in the open ground / ed. by V.P. Kotov – St. Petersburg: *Prospect Nauki*, 360 p.
10. Rodionov, V.A. (2013). Yield and product quality of Peking cabbage hybrids depending on the doses of mineral fertilizers: dissertation ... candidate of agricultural sciences: 06.01.04 / V.A. Rodionov [*Place of protection: K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy*]. – Moscow, 280 p.
11. Reznichenko, D. (2008) "Cultivation of Brussels sprouts", *Vegetable growing and greenhouse economy*, no. 8, pp. 15–18.
12. Startsev, V. I. et al. (2021) Experience of Brussels sprouts seeds cultivation in seedless culture in the conditions of the Moscow region / V. I. Startsev, L. V. Startseva, A. P. Glinushkin // *Potatoes and vegetables.* no 9, pp. 37–39. – DOI 10.25630/PAV.2021.52.84.006.

Сведения об авторах

Пуць Николай Михайлович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры плодовоовощеводства и декоративного садоводства, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия, <http://orcid.org/0000-0003-4555-1941>, SPIN-код: 9161-5740; dekanatspb-78@mail.ru.

Information about the author

Nikolai M. Putz, Cand. Sci. (Agric.), Associate Professor, Associate Professor at the Department of fruit and vegetable growing and ornamental gardening, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", Pushkin, Saint Petersburg, Russia, <http://orcid.org/0000-0003-4555-1941>, SPIN-code: 9161-5740; dekanatspb-78@mail.ru.

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the planning, execution and analysis of this study. The author of this article has read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 22.10.2023; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 22.10.2023; approved after reviewing 15.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК: 636.082

Код ВАК: 4.2.5

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-87-94

ИНТЕНСИВНОСТЬ ОНТОГЕНЕЗА И МОЛОЧНАЯ ПРОДУКТИВНОСТЬ ПЕРВОТЕЛОК ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

К.А. Скакунова¹ ✉, В.С. Грачев¹, С.А. Брагинец¹

¹Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,

г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

✉ skakunova-kristina@mail.ru

Реферат. В статье рассматриваются показатели онтогенеза молочных телок в различные возрастные периоды, выраженные в живой массе, анализируются промеры первотелок и показатели их молочной продуктивности. В исследования включены данные о 1571 животном голштинской породы в одном из выдающихся современных хозяйств – племенном заводе «Детскосельский». Установлено, что живая масса телок в разном возрасте достаточно выровненная (коэффициенты изменчивости находятся на уровне 3,68–7,54%). Анализ основных промеров первотелок говорит о том, что все животные достаточно крупные, изменчивость промеров невелика (2,87–3,85%). Наименее изменчивым оказался обхват груди. Анализ взаимосвязи живой массы в разном возрасте и надоя за первую лактацию показал, что в основном она практически отсутствует. Обнаружена лишь достаточно слабая положительная связь (0,19) между живой массой по первой лактации и надоем. Это говорит о том, что максимальные надои проявили более массивные первотелки, но эта связь, очевидно, была криволинейной. Более существенной оказалась взаимосвязь надоя с промерами. Так, коэффициент корреляции надоя с косой длиной туловища составил 0,25, а с обхватом туловища – 0,17. Соответственно, максимальные надои проявляют животные с более удлиненным туловищем и чуть более массивные. Наиболее существенными оказались коэффициенты корреляции между живой массой в разные возрастные периоды (кроме живой массы при рождении) и возрастом первого осеменения. Телки, осемененные ранее других, сохраняли высокую интенсивность онтогенеза во все возрастные периоды. Это дает возможность проводить среди них отбор по скороспелости уже в раннем возрасте, начиная с 6 месяцев.

Ключевые слова: молочная продуктивность, первотелка, надой, возраст первого осеменения, онтогенез, живая масса, промеры

Цитирование. Скакунова К.А., Грачев В.С., Брагинец С.А. Интенсивность онтогенеза и молочная продуктивность первотелок голштинской породы // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 87–94, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-87-94.

ONTOGENESIS INTENSITY AND MILK PRODUCTIVITY
OF HOLSTEIN FIRST-CALVING COWSK.A. Skakunova¹✉, V.S. Grachev¹, S.A. Braginet¹¹Saint-Petersburg State Agrarian University,
Pushkin, Saint Petersburg

✉ skakunova-kristina@mail.ru

Abstract. The article deals with the indicators of ontogenesis of dairy heifers at different age periods expressed in live weight, analyses the measurements of first-calf heifers and their milk productivity indicators. The research includes data on 1571 animals of Holstein breed in one of the outstanding modern farms – breeding plant "Detskoselsky". It is found that the live weight of heifers at different ages is quite equalized (coefficients of variability are at the level of 3,68–7,54%). The analysis of the main measurements of the first heifers shows that all animals are large enough, the variability of measurements is not high (2,87–3,85%). Breast girth was the least variable. Analyses of the relationship between live weight at different ages and milk yield in the first lactation showed that in general it is practically absent. Only a rather weak positive relationship (0,19) between live weight in the first lactation and milk yield was found. This indicates that more massive first heifers showed maximum milk yields, but this relationship was obviously curvilinear. The relationship between milk yield and measurements was more significant. Thus, the correlation coefficient of milk yield with oblique torso length was 0,25, and with torso girth 0,17. Accordingly, animals with a longer torso and slightly more massive animals showed maximum milk yields. Correlation coefficients between live weight at different ages (except live weight at birth) and age of first insemination were the most significant. Heifers inseminated earlier than others maintained high intensity of ontogenesis in all age periods. This makes it possible to select them for early maturity, starting from six months of age.

Keywords: milk productivity, first calving cow, milk yield, age of first insemination, ontogenesis, live weight, measurements

Citation. Skakunova, K.A., Grachev, V.S., Braginet, S.A. (2024) 'Ontogenesis intensity and milk productivity of Holstein first-calving cows', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 87–94. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-87-94.

Введение. Основной целью молочного скотоводства является достижение максимальной продуктивности при минимальных затратах. Высокопродуктивное стадо молочных коров имеет ряд особенностей, обусловленных генетическим потенциалом и применяемыми технологиями [1, 2].

Чрезвычайно большое значение для молочного скотоводства имеют вопросы роста и развития тёлочек. Этим вопросам уделяют внимание многие ведущие учёные, которые считают, что от интенсивности формирования живой массы ремонтных тёлочек зависит уровень молочной продуктивности будущих коров. Поэтому уровень интенсивности выращивания ремонтных тёлочек должен учитывать биологические особенности роста, обеспечивать хорошее развитие органов пищеварения, формирование прочного экстерьерно-конституционального типа, высокую продуктивность, развитие репродуктивной функции и длительный период хозяйственного использования животных [3–6].

В последнее время появились телки с высокой энергией роста, которые достигают необходимой для осеменения живой массы уже в возрасте 13–15 мес. Однако, как показывают исследования, раннее осеменение телок в последующем может негативно сказаться на состоянии их здоровья, уровне продуктивности и продолжительности хозяйственного использования [7–9].

На молочную продуктивность коров влияет множество факторов, среди которых наиболее значимыми являются генотип животного, условия кормления и содержания, интенсивность его использования и уровень племенной работы со стадом [10–12].

Цель исследования – анализ показателей живой массы, промеров, продуктивных качеств коров-первотелок голштинской породы, а также рассмотрение взаимосвязи между ними, изучение возможностей прогноза возраста первого осеменения и продуктивности по показателям онтогенеза.

Материалы, методы и объекты исследования. Объектом исследований послужило поголовье высокопродуктивного молочного скота одного из ведущих хозяйств Ленинградской области – племенного завода «Детскосельский». Материалом для анализа стали данные зоотехнического учёта за 2018–2023 гг. независимо от происхождения и генеалогической принадлежности коров. Все животные находились в одинаковых условиях кормления и содержания, полностью соответствующих зоогигиеническим требованиям. Всего было проанализировано 1571 животное, введенное в стадо за указанный период. В исследование включались только коровы, закончившие первую лактацию. Был сделан ретроспективный анализ их онтогенеза от рождения до первого осеменения, а также по первой лактации.

Для анализа данных и их биометрической обработки использовался Пакет анализа программы MS Excel [13].

Рассчитывались такие селекционно-генетические параметры, как средняя арифметическая, стандартное отклонение, коэффициент изменчивости, лимиты. Также были вычислены коэффициенты корреляции для определения взаимосвязи между хозяйственно-полезными признаками.

Результаты исследования. Одним из ключевых факторов для повышения продуктивности животных в молочных хозяйствах является комплектование основного стада первотелками, проверенными по продуктивности. В табл. 1 представлены результаты анализа молочной продуктивности первотелок.

Таблица 1. Характеристика молочной продуктивности первотелок (n = 1571)
Table 1. Characteristics of milk productivity first calving (n = 1571)

Признак	Селекционно-генетические параметры			
	$\bar{X} \pm m$	σ	$C_v, \%$	lim
Надой за 305 сут., кг	8612 ± 33,4	1325,4	15,4	4602...13417
МДЖ, %	3,91 ± 0,01	0,31	7,9	3,11...5,25
МДБ, %	3,08 ± 0,003	0,15	4,8	2,71...3,97

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод о достаточно высокой продуктивности первотелок в данном хозяйстве. Так, средний надой составил 8612 кг с колебаниями от 4602 до 13417 кг. Также они отличаются значительными показателями массовой доли жира и белка

в молоке (3,91% и 3,08% соответственно). Наиболее изменчивым из всех признаков оказался надой за 305 сут. ($C_v = 15,4\%$). Изменчивость массовой доли жира не превысила 7,96%. Минимальная изменчивость выявлена у массовой доли белка в молоке ($C_v = 4,8\%$).

В табл. 2 приведена характеристика показателей живой массы первотелок в различные возрастные периоды.

Таблица 2. Живая масса первотелок в разном возрасте

Table 2. Live weight of first calving at different ages

Живая масса в возрасте, кг	Селекционно-генетические параметры			
	$\bar{X} \pm m$	σ	$C_v, \%$	lim
При рождении	33 ± 0,06	2,5	7,5	20...52
6 мес.	182 ± 0,45	17,8	9,8	113...286
10 мес.	285 ± 0,52	20,8	7,3	208...364
12 мес.	332 ± 0,58	22,7	6,9	244...398
18 мес.	467 ± 0,76	30,1	6,4	342...554
При первом осеменении	412 ± 0,38	15,2	3,7	376...485
По первой лактации	631 ± 0,89	35,5	5,6	497...743
Возраст первого осеменения, мес.	15 ± 0,03	1,0	6,8	11...21

Живая масса телок при рождении в среднем составила 33 кг и возросла до 631 кг при первой лактации. Животные во все возрастные периоды достаточно массивные, а также хорошо выравнены по этому показателю. Наибольшим оказался коэффициент изменчивости живой массы в возрасте 6 мес. ($C_v = 9,78\%$), а наименьшим – при первом осеменении ($C_v = 3,68\%$). Это объясняется тем, что большинство первотелок осеменяются только после достижения необходимой живой массы, поэтому и различия по этому параметру невелики. Средний возраст первого осеменения телок в хозяйстве составил 15 мес., однако самые скороспелые животные были осеменены в возрасте 11 мес.

Таблица 3. Характеристика промеров у первотелок

Table 3. Characteristics of first calving' measurements

Промеры, см	Селекционно-генетические параметры			
	$\bar{X} \pm m$	σ	$C_v, \%$	lim
Косая длина туловища	166 ± 0,14	5,41	3,27	150...191
Обхват груди	205 ± 0,15	5,89	2,87	156...228
Обхват пясти	18 ± 0,02	0,73	3,85	16...22

Из данных табл. 3 можно сделать вывод, что животные достаточно крупные и растянутые. Изменчивость всех промеров невысока. Наиболее изменчивыми оказались косая длина туловища и обхват пясти, но даже по ним C_v не превышал 4%. Наиболее выравненными животными были по обхвату груди ($C_v = 2,87\%$).

Изучение взаимосвязи различных признаков в селекции скота представляет большой интерес. Знание этих закономерностей позволяет селекционерам эффективно проводить отбор по определенным признакам. Известно, что живая масса влияет на молочную продуктивность коров. Животные с низкой живой массой не проявляют высоких надоев. Рассмотрим связь между надоями у первотелок и их живой массой в различные возрастные периоды. Данные представлены в табл. 4.

Таблица 4. Взаимосвязь надоя с живой массой у первотелок в разном возрасте
Table 4. Correlation between milk yield and live weight in first calving at different ages

Коэффициент корреляции	Взаимосвязь живой массы в разном возрасте с надоем						
	При рождении	6	10	12	18	При первом осеменении	По первой лактации
	-0,01	0,09	0,03	0,02	0,04	0,01	0,19

Анализ табл. 4 позволяет сделать вывод о разной зависимости между живой массой и надоем за первую лактацию в различные возрастные периоды. Если рассматривать ранний возраст, то можно заметить достаточно слабую, но положительную связь в 6 месяцев. В остальные периоды эта связь практически отсутствует. Также выявлена слабая, но положительная связь между надоем и живой массой по первой лактации ($p \leq 0,05$). Это указывает на то, что наиболее продуктивными остаются животные с большой живой массой. При низкой живой массе первотелки не смогут достичь высоких надоев.

На молочную продуктивность животных также влияет экстерьер, в частности, промеры. Важно отметить, что при оценке экстерьера нельзя напрямую связывать величину промера с надоями, однако некоторые выводы об этом сделать можно.

Таблица 5. Взаимосвязь надоя за первую лактацию с промерами
Table 5. Relationship between milk yield in the first lactation and measurements

Коэффициент корреляции	Промеры		
	Косая длина туловища	Обхват груди	Обхват пясти
	0,25	0,17	-0,07

Проанализировав данные табл. 5, можно сделать вывод, что незначительная связь наблюдается между надоем по первой лактации и косой длиной туловища. Иными словами, первотелки с длинным телом более продуктивны ($p \leq 0,05$). Связь между надоем и обхватом пясти практически отсутствует.

Также был проведен анализ взаимосвязи живой массы телок в разном возрасте и возраста их первого осеменения.

Таблица 6. Взаимосвязь возраста первого осеменения с живой массой в разные периоды жизни

Table 6. Relationship between age at first insemination and live weight at different life stages

Коэффициент корреляции	Живая масса в разном возрасте, мес.						
	При рождении	6 мес.	10 мес.	12 мес.	18 мес.	При первом осеменении	По первой лактации
	-0,05	-0,51	-0,61	-0,67	-0,72	-0,11	-0,10

Установлено, что масса телки при рождении практически не связана с возрастом её осеменения. Это обусловлено длительным временным промежутком между рождением и возрастом первого осеменения. Взаимосвязь этого же показателя с массой в 6–18 мес. сильная отрицательная, причём с возрастом эта тенденция усиливается. Более интенсивно растущие телки осеменяются в более раннем возрасте, этим и объясняется отрицательная связь. С такими показателями, как масса при первом осеменении и к первой лактации, эта связь гораздо слабее (табл. 6).

В современном молочном скотоводстве наблюдается тенденция повышения скороспелости.

Выводы. Результаты исследований говорят о том, что анализ интенсивности онтогенеза первотелок в раннем возрасте нецелесообразно использовать для дальнейшего прогноза молочной продуктивности, но его успешно можно применять для оценки скороспелости животных (в зависимости от возраста первого осеменения).

Список литературы

1. Грачев, В.С., Брагинец, С.А., Алексеева, А.Ю. Анализ влияния различных факторов на продуктивность и долголетие молочного скота // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2020. – № 1. – С. 22–26, doi: 10.24411/2078-1318-2020-14073.
2. Чаргеишвили, С.В., Иванов, Н.В., Журавлева, М.Е. Анализ факторов, влияющих на молочную продуктивность коров в условиях племенного завода // Вестник АПК Верхневолжья. – 2018. – № 1 (41). – С. 22–26.
3. Павлова, Т.В. Влияние генотипа и интенсивности формирования коров на уровень их молочной продуктивности // Вестник АПК Верхневолжья. – 2021. – № 1. – С. 19–23. – doi: 10.35694/YARCX.2021.53.1.003.
4. Олейник, С.А. Ершов, А.М. Молочная продуктивность черно-пестрых телок с учетом интенсивности их выращивания и типа телосложения // Аграрный вестник Северного Кавказа. – 2023. – № 2 (50). – С. 17–22. doi: 10.31279/222-9345-2023-13-50-17-22.
5. Han, L., Heinrichs, A.J., De Vries A., Dechow, C.D. (2021). 'Relationship of body weight at first calving with milk yield and herd life', *Journal of Dairy Science*, vol. 104, no. 1, pp. 397–404. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19214>.
6. Haworth, G.M., Tranter, W.P., Chuck, J.N., Cheng, Z., Wathes, D.C. (2008). 'Relationships between age at first calving and first lactation milk yield, and lifetime productivity and longevity in dairy cows'. *Veterinary Record*, vol. 162, no. 20, pp. 643–647. Doi: <https://doi.org/10.1136/vr.162.20.643>.
7. Комков, Д.Г. Продолжительность и интенсивность использования коров с разным возрастом и живой массой при первом отеле // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 7. – С. 42–45.
8. Сермягин, А.А., Филипченко, А.А., Ермилов, А.Н., Янчуков, И.Н. Параметры роста и развития коров черно-пестрой и голштинской пород в связи с продуктивным долголетием // Дальневосточный аграрный вестник. – 2018. – № 4 (48). – С. 194–202. doi: 10.24411/1999-6837-2018-14102.
9. Снигирев С.О., Ламонов, С.А., Скоркина, И.А., Савенкова, Е.В. Рост и развитие ремонтных телок голштинской породы черно-пестрой масти и голштинизированных телок черно-пестрой породы // Вестник Мичуринского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (71). – С. 153–157.
10. Mohd Nor, N., Steeneveld, W., van Werven, T., Mourits, M.C., Hogeveen, H. (2012) 'First-calving age and first-lactation milk production on Dutch dairy farms'. *Journal of Dairy Science*, vol. 96, no. 2, pp. 981–992. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5741>.

11. Shin, S., Lee, J., Do, C. (2021). 'Genetic relationship of age at first calving with conformation traits and calving interval in Hanwoo cows'. *Journal of Animal Science and Technology*, vol. 63, no. 4, pp. 740–750, doi: <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e73>.
12. Boothby, F., Grove-White, D., Oikonomou, G., Oultram, J.W.H. (2020). 'Age at first calving in UK Jersey cattle and its associations with first lactation 305-day milk yield, lifetime daily milk yield, calving interval and survival to second lactation'. *Veterinary Record*, vol. 187, no. 12, pp. 491–491. Doi: <https://doi.org/10.1136/vr.105993>.
13. Грачев, В.С. Биометрическая обработка данных зоотехнического учета средствами EXCEL с использованием пакета анализа (методические указания). – СПб.: СПбГАУ, 2012. – 48 с.

References

1. Grachev, V.S., Braginet, S.A., Alekseeva, A.Y. (2020). 'Analysis of the influence of various factors on productivity and longevity of dairy cattle', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 61, no. 4, pp. 73–79 (In Russ.). doi: 10.24411/2078-1318-2020-14073.
2. Chargeishvili, S.V., Ivanov, N.V., Zhuravleva, M.E. (2018). 'Analysis of factors affecting milk productivity of cows in the conditions of a breeding farm'. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*, vol. 41, no.1, pp. 22–26 (In Russ.).
3. Pavlova, T.V. (2021). 'Influence of genotype and intensity of cow formation on the level of their milk productivity'. *Herald of Agroindustrial complex of Upper Volga region*, no. 1, pp. 19-23. (In Russ.). doi: 10.35694/YARCX.2021.53.1.003.
4. Oleinik, S.A., Yershov, A.M. (2023). 'Dairy productivity of black-breed heifers with regard to the intensity of their breeding and type of physique'. *Agrarian Bulletin of the North Caucasus*, vol. 50, no. 2, pp. 19–23. (In Russ.). doi: 10.31279/222-9345-2023-13-50-17-22.
5. Han, L., Heinrichs, A.J., De Vries A., Dechow, C.D. (2021). 'Relationship of body weight at first calving with milk yield and herd life', *Journal of Dairy Science*, vol. 104, no. 1, pp. 397–404. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2020-19214>.
6. Haworth, G.M., Tranter, W.P., Chuck, J.N., Cheng, Z., Wathes, D.C. (2008). 'Relationships between age at first calving and first lactation milk yield, and lifetime productivity and longevity in dairy cows'. *Veterinary Record*, vol. 162, no. 20, pp. 643–647. Doi: <https://doi.org/10.1136/vr.162.20.643>.
7. Komkov, D.G. (2019). 'Prodolzhitel'nost' i intensivnost' ispol'zovaniya korov s razny'm vozrastom i zhivoj massoj pri pervom otele', *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo*, no. 7, pp. 42–45 (In Russ.).
8. Sermyagin, A.A., Filipchenko, A.A., Ermilov, A.N., Yanchukov, I.N. (2018). 'Parameters of growth and development of cows of black and feather and Holstein breeds in connection with productive longevity', *Far Eastern Agrarian Bulletin*, vol. 48, no. 4, pp. 194–202 (In Russ.).
9. Snigirev, S.O., Lamonov, S.A., Skorkina, I.A., Savenkova E.V. (2022) 'Growth and development of repair heifers of Holstein breed of black-and-brown breed and Holsteinised heifers of black-and-brown breed', *Bulletin of Michurinsk state agrarian university*, vol. 71, no. 4, pp. 153–157 (In Russ.).
10. Mohd Nor, N., Steeneveld, W., van Werven, T., Mourits, M.C., Hogeveen, H. (2012) 'First-calving age and first-lactation milk production on Dutch dairy farms'. *Journal of Dairy Science*, vol. 96, no. 2, pp. 981–992. Doi: <https://doi.org/10.3168/jds.2012-5741>.
11. Shin, S., Lee, J., Do, C. (2021). 'Genetic relationship of age at first calving with conformation traits and calving interval in Hanwoo cows'. *Journal of Animal Science and Technology*, vol. 63, no. 4, pp. 740–750. Doi: <https://doi.org/10.5187/jast.2021.e73>.
12. Boothby, F., Grove-White, D., Oikonomou, G., Oultram, J.W.H. (2020). 'Age at first calving in UK Jersey cattle and its associations with first lactation 305-day milk yield, lifetime daily

- milk yield, calving interval and survival to second lactation'. *Veterinary Record*, vol. 187, no. 12, pp. 491–491. Doi: <https://doi.org/10.1136/vr.105993>.
13. Grachev, V.S. Biometricheskaya obrabotka danny`x zootexnicheskogo ucheta sredstvami EXCEL s ispol`zovaniem paketa analiza (metodicheskie ukazaniya). – SPb.: SPbGAU, 2012. – 48 p.

Сведения об авторах

Скакунова Кристина Алексеевна, аспирант кафедры генетики, разведения и биотехнологии животных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0009-0006-4105-6651>, SPIN-код: 2863-7001; skakunova-kristina@mail.ru.

Грачев Вадим Сергеевич, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры генетики, разведения и биотехнологии животных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0001-8377-4201>, SPIN-код: 2156-2192; grachev_vadim@mail.ru.

Брагинец Светлана Александровна, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой генетики, разведения и биотехнологии животных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <https://orcid.org/0000-0003-1544-0853>, SPIN-код: 2863-7001; braginetssvetlana@gmail.com.

Information about the authors

Kristina A. Skakunova, postgraduate student of the Department of Genetics, Breeding and Biotechnology of Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint–Petersburg State Agrarian University», <https://orcid.org/0009-0006-4105-6651>, SPIN-code: 2863-7001; skakunova-kristina@mail.ru.

Vadim S. Grachev, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Genetics, Breeding and Biotechnology of Animals, Federal state Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint–Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0001-8377-4201>, SPIN-code: 2156-2192; grachev_vadim@mail.ru.

Svetlana A. Braginet, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Head of the Department of Animal Genetics, Breeding and Biotechnology of Animals, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint–Petersburg State Agrarian University", <https://orcid.org/0000-0003-1544-0853>, SPIN-code: 2863-7001; braginetssvetlana@gmail.com.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author’s contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 15.01.2024; approved after reviewing 16.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья
УДК: 636.2.034.082.32
Код ВАК: 4.2.4., 4.2.5
doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-95-104

ДИНАМИКА МОЛОЧНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ЗА ПЕРИОД 2013–2021 В СЕЛЕКЦИОННОЙ ПОПУЛЯЦИИ ГОЛШТИНСКОГО СКОТА ПЛЕМЕННОГО ЗАВОДА

В.А. Олонцев¹, П.И. Уколов¹, О.Г. Шараськина²✉

¹ Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины,
г. Санкт-Петербург, Россия

² Академия менеджмента и агробизнеса,
Санкт-Петербургский государственный аграрный университет,
Шушары, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ xmause@mail.ru

Реферат. Проблема формирования высокорезистентного, высокопродуктивного поголовья на сегодняшний день широко обсуждается. Контроль динамики молочных показателей в рамках мониторинга в течение нескольких лет позволяет вести внутривладельческое совершенствование селекционных подходов и методик. С целью изучения уровня реализации генетического потенциала молочной продуктивности быков-производителей различного географического и линейного происхождения и определения лидеров с расчетом геномного прогноза в популяции черно-пестрого скота была обследована популяция первотелок голштинской породы с законченной лактацией 2013–2021 года рождения, численностью 5483 голов, трех заводских линий Р.Соверинг, В.Б. Айдиал и Монтвик Чифтейн, одного из племенных заводов Ленинградской области. Исследуемая группа животных представлена дочерьми 227 быков-производителей голштинской породы селекции США, Канады, Германии, Нидерландов и России. Определен уровень реализации генетического потенциала на основании геномного прогноза племенной ценности по удою, жиру, белку. Канадские быки имели размах изменчивости в геномном прогнозе свыше 430 кг, в то время как размах внутривладельственной продуктивности дочерей был близок к геномному прогнозу и составил 389 кг. Геномный прогноз быков-производителей, рожденных в США, показал изменчивость по удою в 80,3 кг. Геномный прогноз продуктивности Джеральда существенно не отличался от прогноза Альта Сустейна (+308,7; +389 кг) при фактической продуктивности 12 933 кг и 13 613 кг соответственно. Геномный прогноз по отдельным быкам не подтвердился фактическими показателями, и для поддержания тренда роста продуктивности необходима ротация или браковка производителей аутсайдеров.

Ключевые слова: крупный рогатый скот, голштинская порода, геномная селекция, селекционные подходы

Цитирование. Олонцев В.А., Уколов П.И., Шараськина О.Г. Динамика молочных показателей за период 2013–2021 в селекционной популяции голштинского скота племенного завода // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. –2024. – №1 (75). – С. 95-104, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-95-104.

DYNAMICS OF DAIRY INDICATORS FOR THE PERIOD
2013-2021 IN THE BREEDING POPULATION OF HOLSTEIN CATTLE
BREEDING FARMV.A. Olontsev¹, P.I. Ukolov¹, O.G. Sharaskina² ✉¹ Saint-Petersburg State University of Veterinary Medicine, St. Petersburg, Russia,² Academy of Management and Agribusiness, Saint-Petersburg State Agrarian University,
Shushary, Saint Petersburg,

✉ xmause@mail.ru

Abstract. The problem of formation of highly resistant, high-yielding stock is currently widely discussed. Control of the dynamics of dairy indicators within the framework of monitoring for several years allows on-farm improvement of breeding approaches and techniques. In order to study the level of realisation of the genetic potential of milk productivity of bulls-producers of different geographical and lineage origin and to identify leaders with the calculation of genomic forecast in the population of black-and-brown cattle, the population of first-calf heifers of Holstein breed with finished lactation, born in 2013–2021, numbering 5483 animals, three breeding lines R.Soering, V.B. Aidial and Montvik Chiftein, one of the breeding plants of the Leningrad Region was examined. The studied group of animals is represented by the daughters of 227 Holstein bulls. The level of genetic potential realisation was determined on the basis of genomic prediction of breeding value by milk yield, fat, protein. The Canadian bulls had a range of variability in the genomic forecast of over 430 kg, while the range of on-farm productivity of daughters was close to the genomic forecast and was 389 kg. The genomic prediction of US-born breeding bulls showed variability in milk yield of 80.3 kg. The genomic prediction of Gerald productivity was not significantly different from that of Alta Sustein (+308.7; +389 kg) with actual productivity of 12,933 kg and 13,613 kg, respectively. The genomic prediction for individual bulls was not confirmed by actual indicators and rotation or scrapping of outsider sires is necessary to maintain the trend of productivity growth.

Keywords: cattle, Holstein breed, genomic selection, breeding approaches

Citation. Olontsev V.A., Ukolov P.I., Sharaskina O.G. (2024) ‘Dynamics of dairy indicators for the period 2013-2021 in the breeding population of Holstein cattle breeding farm’, *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 95-104 (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-95-104.

Введение. Решение общегосударственных задач по увеличению объемов производства товарного молока и продуктов его переработки во многом зависит от тенденций и интенсивности использования передовых методов селекции в популяциях крупного рогатого скота (КРС) молочных пород. Показатели молочной продуктивности в отдельных племенных хозяйствах достигли объективно высоких значений, приблизившись к мировому базису: селекционный тренд роста молочной продуктивности в них сохраняется. Председатель Молочного союза России Людмила Маницкая, выступая на IV агропромышленном форуме «Молоко России», констатировала, что по данным аналитического центра за последний год поголовье КРС существенно не снизилось, но и прироста не наблюдается; производство же увеличилось за счет роста продуктивности [1].

На сегодняшний день сформированная региональная система селекции на повышение продуктивных показателей молочного скота без учета влияния общегеномной оценки производителя объективно отражает определенное отставание от мировых трендов системы

оценки США и Канады [2]. Однако надо понимать, что общебиологический запас реализации молочной продуктивности существующих молочных пород с каждым последующим десятилетием, вероятно, будет снижаться, что потребует корректировки внутривидовых программ селекции на основе новых биотехнологических методов [3, 4]. Использование информации о генотипировании для группировки животных позволяет повышать точность отбора [5]. Исходя из этого ускоренное внедрение передовых систем оценки позволяет отечественным программам селекции синхронизироваться с глобальными тенденциями (gEBV) [6]. Для корректировки и эффективного их использования с вышеизложенными селекционными трендами весьма актуален сравнительный мониторинг структур региональных популяций КРС по селекционным показателям за последние годы. Системный мониторинг отражает фактические результаты реализации генетического потенциала породных линий, позволяет оценить эффективность подбора производителей и селекционных методов [7, 8].

Черно-пестрый скот нашей страны, в том числе Северо-Западного региона, сформировался не только под влиянием голландской породы и ее отродий (остфризской, шведской черно-пестрой породы), но и приобрел свойства местного скота, что отвечает задачам современной селекции по созданию поголовья, сочетающего высокую продуктивность с хорошей приспособленностью к местным, иногда весьма суровым условиям северо-европейской части России [4, 9].

Цель исследования – изучение уровня реализации генетического потенциала молочной продуктивности быков-производителей различного географического и линейного происхождения; определение лидеров с расчетом геномного прогноза в популяции черно-пестрого скота племенного завода Ленинградской области.

Задачи исследования: определить прогнозируемый генетический потенциал изучаемых групп на основе геномной оценки быков-производителей различного географического и линейного происхождения; провести сравнительный анализ основных селекционных молочных показателей их потомства; определить быков-лидеров и аутсайдеров для эффективной реализации генетического потенциала в тренде последнего десятилетия.

Материалы, методы и объекты исследования. Исследования проводились в хозяйстве Ленинградской области на голштинском поголовье КРС, молочная продуктивность коров за 305 дней лактации (д. л.) которого по результатам бонитировки 2022 г. превысила 10 000 кг, с МДЖ – 3,6% и МДБ – 3,32%, при соответствующих областных показателях: удой – 9784 кг, МДЖ – 3,96% и МДБ – 3,33%. Показатели воспроизводства характеризовались выходом телят 83% и массой телок при первом осеменении – 417 кг.

Обследуемая популяция первотелок составила 5483 головы 2013–2021 гг. рождения. Данные визуализированы с помощью информационно-аналитической системы «Селэкс. Молочный скот», картотеки формы 2-мол. Обработку информационных потоков, включая базы данных, осуществляли с применением программного обеспечения Microsoft Office Excell. Проверку достоверности полученных результатов осуществляли с помощью t-критерия Стьюдента, при $p \leq 0,05$ значения считали достоверными.

Актуализированный геномный прогноз на август 2023 г. получен из открытых баз данных оценки быков-производителей www.dairybulls.com и www.cdn.ca; данные результатов проверки быков-производителей по качеству потомства в России – методом BLUP-оценки (EBV) по ресурсу оцененных племенных быков-производителей (ВНИИПЛЕМ), а по системе «дочери-сверстницы» – с сайта быки.рф.

Результаты исследования. По изучаемой популяции был сформирован перечень геномных прогнозов молочной продуктивности быков-производителей для сопоставимости и идентификации использования информационных потоков.

Исследуемая популяция (n = 5483 гол.) первотелок объединяет дочерей 227 быков-производителей голштинской породы с достоверной разницей интенсивности использования в селекционном процессе (от 1 гол. до 187 гол.).

С наибольшей интенсивностью использовались быки линии Рефлекшн Соверинг 198998 из США (n = 1398) и линии Вис Бэк Айдиал 1013415 (n = 1168), Нидерланды, а быки линий Монтвик Чифтейн 95679 (n = 28), Россия и Вис Бэк Айдиал (n = 19) из Германии достоверно с меньшей интенсивностью. Диаграмма распределения коров-первотелок по линейной принадлежности отцов и странам их происхождения представлена на рис. 1.

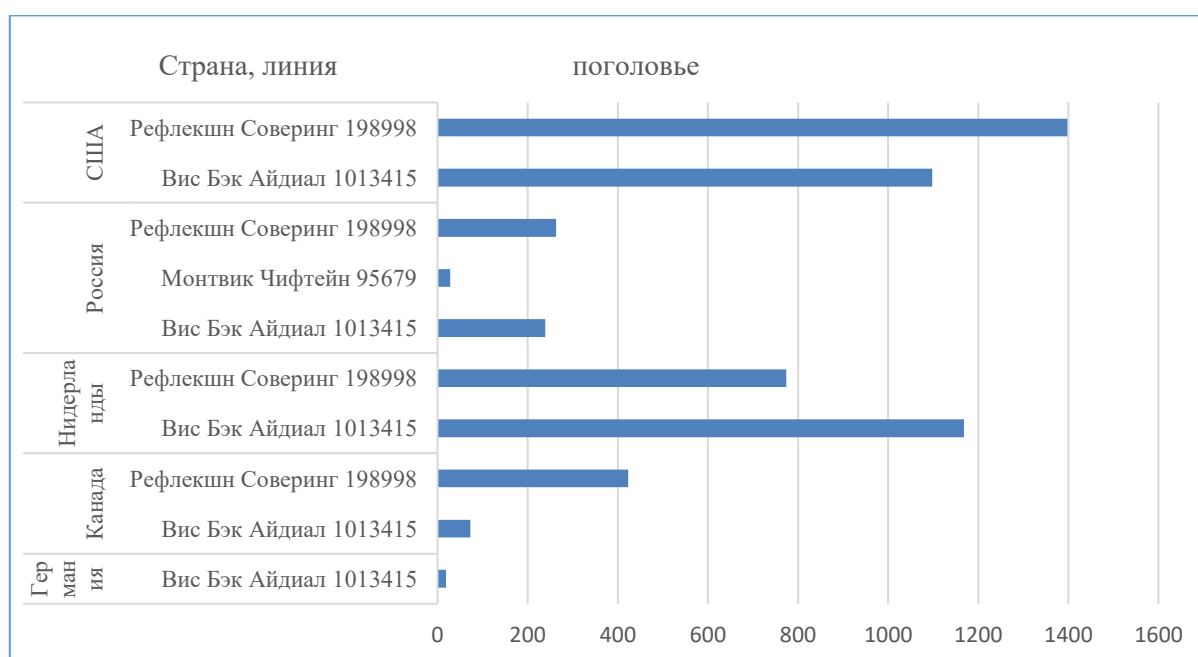


Рисунок 1. Распределение коров-первотелок по линейной принадлежности и странам происхождения отцов

Figure 1. Distribution of first-calf cows by lineage and fathers' country of origin

Средний надой по всей обследованной популяции составил за первые 305 д. л. 9508,1 кг. Селекционный дифференциал молочной продуктивности составил 7840,2–10329,8 кг, где наименьший удой проявили первотелки линии Монтвик Чифтейн № 95679, Россия, а наибольший – первотелки линии Вис Бэк Айдиал №1013415, Германия.

Так, тренд по удою первотелок за первые 305 дней законченной лактации за ряд последних лет регистрирует рост молочной продуктивности, что свидетельствует об эффективности совершенствования и направленности селекции в хозяйстве на данный признак (рис. 2).

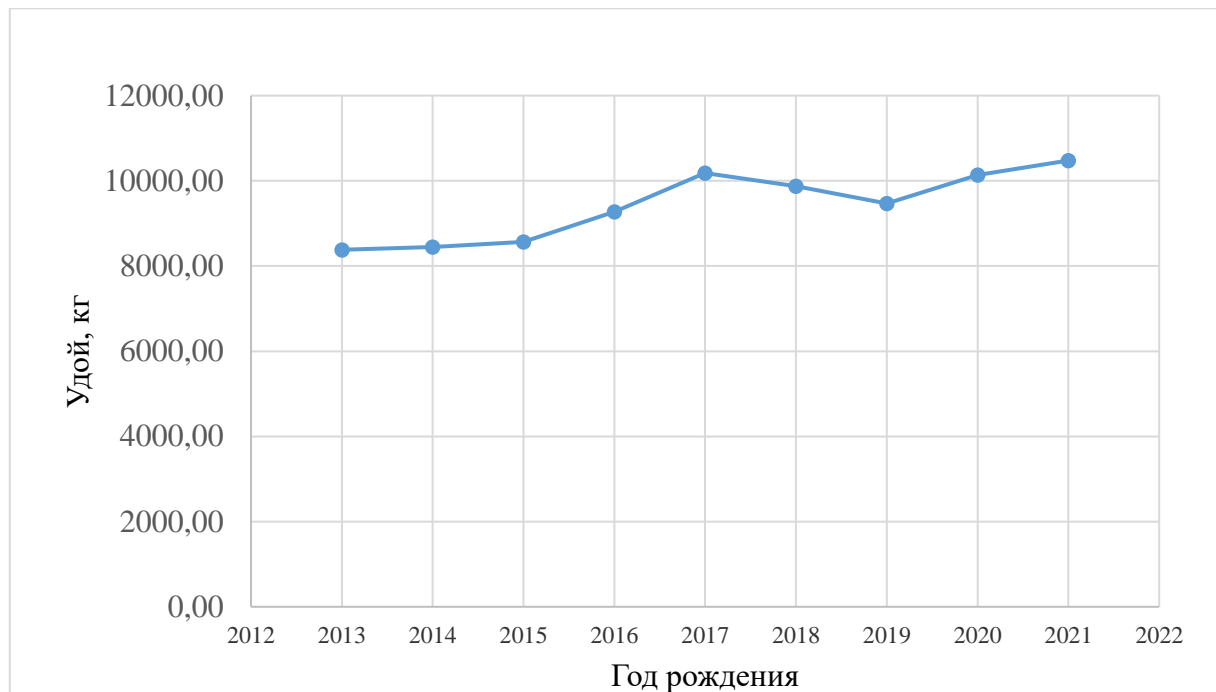


Рисунок 2. Тренд удоя за 305 дней лактации первотелок в хозяйстве по годам их рождения

Figure 2. Trend of milk yield per 305 days of lactation of first-calf heifers in the farm by year of birth

Анализ полученных данных (табл. 1) свидетельствует о том, что первотелки от немецких (Германия) быков с достоверным превосходством занимают лидирующую позицию в сравнении со средними популяционными показателями. Отечественные продолжатели линии (В.Б. Айдиал № 1013415) значительно отстают от общего тренда, что указывает на особенности генотипов их потомков и возможности реализоваться в конкретных условиях хозяйства, в то же время продолжатели линии Р. Соверинг № 198998 не уступают немецким быкам, что подтверждает эффективность селекционного подбора.

Таблица 1. Средняя молочность коров-первотелок с учетом линейной принадлежности и страны происхождения быков-производителей, кг за 305 д. л. (+/- к среднему по популяции)

Table 1. Average milk production of first-calf cows, taking into account the linear affiliation and country of origin of the sires, kg per 305 d. l. (+/- to the population average)

Государство экспортер (происхождение)	Вис Бэк Айдиал 1013415	Монтвик Чифтейн 95679	Рефлекшн Соверинг 198998	В среднем по популяции (происхождение)
Германия	10329,8 (+1058,5)	–	–	10329,8 (+821,7)
Канада	9950,2 (+578,9)	–	10068,8 (+420,0)	10051,4 (+543,3)
Нидерланды	9029,5 (–341,8)	–	9263,6 (–385,2)	9122,8 (–385,3)
Россия	8797,6 (–571,7)	7840,2	9495,2 (–153,6)	9093,2 (–414,9)
США	9804,6 (+433,3)	–	9763,9 (+115,1)	9781,8 (+273,7)
В среднем по популяции (линия)	9371,3	7840,2	9648,8	9508,1

Анализ табл. 2 показал изменчивость в прогнозах молочной продуктивности в зависимости от системы оценки. Например, канадские быки имели размах изменчивости в геномном прогнозе свыше 430 кг, в то время как размах внутрихозяйственной продуктивности дочерей был близок к геномному прогнозу и составил 389 кг. Параллельный анализ на быках-производителях США показал изменчивость по геномному прогнозу в 80,3 кг. Геномный прогноз продуктивности Джеральда существенно не отличался от прогноза Альта Сустейна (+308,7; +389 кг). Продуктивность мировых дочерей данных быков составила 12 933 кг и 13 613 кг, в то время как фактические показатели реализуемого потенциала у Альта Сустейна 11 281 кг, что на 3 384 кг превышает показатели дочерей Джеральда.

Таблица 2. Показатели продуктивности дочерей быков лидеров и аутсайдеров в разных системных оценках

Table 2. Productivity indicators of the daughters of leader and outsider bulls in different system evaluations

Страна происхождения	Кличка быка	Хозяйственная оценка		Системная оценка					
		Количество дочерей, гол	Средняя продуктивность дочерей за 305 дн. 1-ой лактации, кг	EBV, кг	GEBV, кг	Продуктивность мировых дочерей быка		Дочери / сверстницы	
						п	Удой, кг	п	+/- к удою дочерей, кг
Германия	АльтаГотем	19	10329,8	+706	+467,6	100	–	1636	–
Канада	Сатисфекшн	45	9939,4	+650	+246	795	12866,3	11	+460
Канада	Гейн	32	10328,0	+758	+685	17347	13135,0	2737	+1560
Нидерланды	Кардинал	40	11409,0	+1776	+1061	–	–	260	+364
Нидерланды	Сувенир	22	7478,4	+640	–	–	–	52	-224
Россия	Бисмарк	17	10475,0	+1105	–	–	–	76	+147
Россия	Жан	27	7801,2	+769	–	–	–	105	+657
США	Альта Сустейн	46	11281,0	+1042	+389	6170	13613,0	663	–
США	Джеральд	15	7897,0	+513	+308,7	1091	12933,0	120	463

Выводы. На основании полученных данных можно сделать вывод, что геномный прогноз в данном хозяйстве реализован не полностью. Для поддержания тренда роста продуктивности необходима ротация или браковка производителей-аутсайдеров, смена лидеров и аутсайдеров как общебиологический селекционный процесс, отражающий племенную работу в хозяйстве; их рейтинговая оценка зависит от общемировых трендов и мониторинга информационных потоков.

Проведенные исследования показывают, что для совершенствования внутрихозяйственной селекции наряду с общемировыми подходами в оценке быков-производителей (gBLUP, gEBV) необходимо использовать сравнительно-системный анализ

различных производственных и племенных групп, что подтверждается материалами научной работы А.А. Сермягина и соавторов [10], а также рядом работ зарубежных авторов [11, 12].

Список литературы

1. Рябых, В. Молочная отрасль: реальность и ожидания / В. Рябых // Perfect Agriculture. – 2023. – № 2(120). – С. 20–21.
2. Сакса, Е.И. Результаты разведения молочного скота путём использования производителей голштинской породы, оценённых по геному и качеству потомства в условиях Северо-запада / Е. И. Сакса, И. В. Конюшко, А. Т. Мысик // Зоотехния. – 2021. – № 2. – С. 9–14. – DOI 10.25708/ZT.2021.84.10.003. – EDN YFBXYD.
3. Батраков, А.Я. Современное состояние молочного животноводства России и пути повышения его эффективности / А. Я. Батраков, К. В. Племяшов, Г. Н. Сердюк // Ветеринария. – 2023. – № 6. – С. 10–14. – DOI 10.30896/0042-4846.2023.26.6.10-14. – EDN MGQIIJ.
4. Олонцев, В.А. Мониторинг реализации потенциала воспроизводства холмогорской породы крупного рогатого скота в хозяйствах Северо-Западного региона Российской Федерации / В. А. Олонцев, П. И. Уколов, О. Г. Шараськина // Нормативно-правовое регулирование в ветеринарии. – 2022. – № 2. – С. 104–107. – DOI 10.52419/issn2782-6252.2022.2.104. – EDN FGEHVZ.
5. Optimized grouping to increase accuracy of prediction of breeding values based on group records in genomic selection breeding programs / Т. Т. Chu, J. W. M. Bastiaansen, P. Berg, H. Komen // Genetics, Selection, Evolution, 2019, vol. 51, no. 1, pp. 1–12. – DOI 10.1186/s12711-019-0509-z. – EDN LNQSKJ.
6. Assessing homozygosity level in the Russian Black-and-White and Holstein cattle using whole-genome analysis / I.S. Nedashkovsky, A.A. Sermyagin, O.V. Kostyunina [et al.] // Journal of Animal Science, 2018, vol. 96, no. 3, p. 139. – DOI 10.1093/jas/sky404.304. – EDN VOBUYU.
7. Сакса, Е.И. Племенная ценность быков, оценённых по геному и по качеству потомства / Е. И. Сакса, К. В. Племяшов, Е. С. Масленникова // Молочное и мясное скотоводство. – 2019. – № 7. – С. 7–12. – EDN AKFXME.
8. Уколов, П.И. Оценка влияния голштинской породы в селекции крупного рогатого скота мелких фермерских хозяйств Северо-Западного региона России / П. И. Уколов, О. Г. Шараськина, Л.Н. Пристач // Вопросы нормативно-правового регулирования в ветеринарии. – 2017. – № 4. – С. 133–135. – EDN ZXWEZZ.
9. Эрнст, Л.К. Биологические проблемы животноводства в XXI веке / Л. К. Эрнст, Н. А. Зиновьева. – Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л.К. Эрнста, 2008. – 508 с. – EDN SFWRWP.
10. Региональная система геномной оценки как базовый элемент национальной программы генетического совершенствования крупного рогатого скота / А. А. Сермягин, А. Н. Ермилов, И. Н. Янчуков [и др.] // Молочное и мясное скотоводство. – 2017. – № 7. – С. 3–7. – EDN YNJGSN.
11. Estimation of variance components and prediction of breeding values based on group records from varying group sizes / G. Su, P. Madsen, B. Nielsen [et al.] // Genetics Selection Evolution. – 2018, vol. 50, no. 1, p. 42. DOI:10.1186/s12711-018-0413-y.
12. Estimation of variance components and prediction of breeding values using pooled data / F. Biscarini, H. Bovenhuis, J.A. van Arendonk // Journal of Animal Science, 2008, vol. 86, no. 11, pp. 2845–2852. DOI:10.2527/jas.2007-0757.

References

1. Ryabykh, V. (2023) 'Dairy industry: reality and expectations', *Perfect Agriculture*, vol 120, no. 2, pp. 20–21.
2. Saksa, E.I., Konyushko, I.V., Mysik, A.T. (2021) 'Results of breeding dairy cattle by using Holstein breed sires, assessed by the genome and quality of offspring in the conditions of the North-West', *Zootechnics*, no. 2, pp. 9–14, <https://doi.org/10.25708/ZT.2021.84.10.003>.
3. Batrakov, A., Plemyashov, K.V., Serdyuk G.N. (2023) 'Current state of dairy farming in Russia and ways to increase its efficiency', *Veterinary Medicine*, no. 6, pp. 10–14, <https://doi.org/10.30896/0042-4846.2023.26.6.10-14>.
4. Olontsev, V.A., Ukolov, P.I., Sharaskina O.G. (2022) 'Monitoring the implementation of the reproduction potential of the Kholmogory breed of cattle in the farms of the North-West region of the Russian Federation', *Legal regulation in veterinary medicine*, no. 2, pp. 104–107, <https://doi.org/10.52419/issn2782-6252.2022.2.104>.
5. Chu, T.T., Bastiaansen, J.W.M., Berg, P., Komen, H. (2019) 'Optimized grouping to increase accuracy of prediction of breeding values based on group records in genomic selection breeding programs', *Genetics, Selection, Evolution*, vol. 51, no. 1, pp. 1–12. <https://doi.org/10.1186/s12711-019-0509-z>.
6. Nedashkovsky, I., Sermyagin, A., Kostyunina, O., Brem, G., Zinovieva, N. (2018) 'Assessing homozygosity level in the Russian Black-and-White and Holstein cattle using whole-genome analysis', *Journal of Animal Science*, vol. 96, no. 3, p. 139. <https://doi.org/10.1093/jas/sky404.304>.
7. Saksa, E.I., Plemyashov, K.V., Maslennikova, E.S. (2019) 'Breeding value of bulls assessed by genome and quality of offspring', *Dairy and meat cattle breeding*, no. 7, pp. 7–12.
8. Ukolov, P.I., Sharaskina, O.G., Pristach, L.N. (2017) 'Assessment of the influence of the Holstein breed in the selection of cattle of small farms in the North-Western region of Russia', *Issues of legal regulation in veterinary medicine*, no. 4, pp. 133–135.
9. Ernst, L.K. and Zinovieva, N.A. (2008) Biological problems of animal husbandry in the XXI century, Moscow: All-Russian Research Institute of Animal Husbandry named after Academician L.K. Ernsta, 508 p.
10. Sermyagin, A.A., Ermilov, A.N., Yanchukov I.N., Kharitonov, S.N., Plemyashov, K.V., Tyurenkova, E.N., Strekozov, N.I., Zinovieva, N.A. (2017) 'Regional genomic assessment system as a basic element of the national program for genetic improvement of cattle', *Dairy and meat cattle breeding*, no. 7, pp. 3–7.
11. Su, G., Madsen, P., Nielsen, B., Ostersen, T., Shirali, M., Jensen, J., & Christensen, O.F. (2018) 'Estimation of variance components and prediction of breeding values based on group records from varying group sizes', *Genetics, selection, evolution: GSE*, vol. 50, no. 1, p. 42, <https://doi.org/10.1186/s12711-018-0413-y>.
12. Biscarini, F., Bovenhuis, H., van Arendonk, J.A. (2008) 'Estimation of variance components and prediction of breeding values using pooled data', *Journal of animal science*, vol. 86, no. 11, pp. 2845–2852, <https://doi.org/10.2527/jas.2007-0757>.

Сведения об авторах

Олонцев Вадим Акимович, аспирант кафедры кормления и разведения животных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет ветеринарной медицины», SPIN-код: 7137-5214, <https://orcid.org/0009-0000-2851-8192>; volontseff@yandex.ru.

Уколов Пётр Иванович, кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры кормления и разведения животных, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный университет

ветеринарной медицины», SPIN-код: 5919-0612, <https://orcid.org/0009-0004-1898-5386>; vetgenetika@mail.ru.

Шараськина Ольга Геннадьевна, кандидат биологических наук, доцент кафедры профессиональной аттестации и внедрения инноваций Академии менеджмента и агробизнеса, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», SPIN-код: 8533-1419, <https://orcid.org/0000-0002-4984-5114>; xmause@mail.ru.

Information about the authors

Vadim A. Olontsev, graduate student of the Department of Animal Feeding and Breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Veterinary Medicine", SPIN-code: 7137-5214, <https://orcid.org/0009-0000-2851-8192>; volontseff@yandex.ru.

Petr I. Ukolov, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Animal Feeding and Breeding, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "St. Petersburg State University of Veterinary Medicine", SPIN-code: 5919-0612, <https://orcid.org/0009-0004-1898-5386>; vetgenetika@mail.ru.

Olga G. Sharaskina, Cand. Sci. (Biol.), Associate Professor of the Department of Professional Certification and Innovation Implementation of the Academy of Management and Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Saint-Petersburg State Agrarian University", SPIN-code: 8533-1419, <https://orcid.org/0000-0002-4984-5114>; xmause@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 16.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 15.01.2024; approved after reviewing 16.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 621.313

Код ВАК: 4.3.1

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-105-114

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗОНЫ СМАЧИВАНИЯ ДОЖДЕВАТЕЛЯ В КРУГОВЫХ САМОХОДНЫХ ДОЖДЕВАЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

А.Г. Черных¹ ✉

¹Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,
п. Молодежный, Иркутский район, Иркутская область, Россия;
✉ kandida2006@yandex.ru

Реферат. Круговые самоходные дождевальные установки представляют собой высокоэффективное оборудование для полива сельскохозяйственных культур путем дождевания. Как правило, искусственный дождь в указанных установках создается путем мелкодисперсного дождевания с механическим распылением воды на вращающемся рассекателе дождевателя. В процессе работы установки дождеватель должен обеспечивать заданные характеристики, а именно: радиус разбрызгивания и высокую степень однородности, а также требуемые параметры, включая производительность. Учитывая, что диаметр орошения, однородность и производительность установки в значительной степени зависит от параметров и взаимного расположения дождевателей на основном трубопроводе дождевальной машины, их оценка с точки зрения соответствия заданным значениям приводит к необходимости проведения предварительных замеров для каждого единичного дождевателя. Диаметр сопла форсунки дождевателя, давление, рабочая высота, наклон к горизонтали рассекателя – все это влияет на параметры искусственного дождя. Синтез детерминированной модели параметров и характеристик аэрозольной струи единичного дождевателя требует предварительных полученных расчетным и опытным путем знаний поведения и взаимодействия всех элементов на основном трубопроводе дождевальной установки, что практически нереализуемо с учетом их числа и диапазона изменения внутренних размеров. Использование детерминированных моделей, базирующихся на баллистической теории движения отдельной автономной капли, требует предварительного задания количества и размера капель. В случае самоходного типа дождевальной установки модель должна обеспечивать возможность применения в зависимости от скорости движения разбрызгивателя и взаимодействие струи с набегающим ветряным потоком. Альтернативный подход к моделированию динамики распыления аэрозольной струи форсункой заключается в рассмотрении данного процесса в контексте явлений, происходящих в системе вода-капля-воздух.

Ключевые слова: дождевальная, самоходная, установка, секция, трубопровод, спринклер, форсунка, расход, капля, почва, увлажнение

Цитирование. Черных А.Г. Определение зоны смачивания дождевателя в круговых самоходных дождевальных установках // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 105–114, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-105-114.

DETERMINATION OF SPRINKLER WETTING ZONE IN CIRCULAR
SELF-PROPELLED SPRINKLER SYSTEMSA.G. Chernykh¹ ✉¹Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky,
Irkutsk, Russia

✉ kandida2006@yandex.ru

Abstract. Circular self-propelled sprinkler systems are highly efficient equipment for irrigating crops by sprinkling. As a rule, artificial rain in these installations is created by fine sprinkling with mechanical atomisation of water on a rotating sprinkler spreader. During the operation of the installation, the sprinkler must provide the specified characteristics, namely the radius of sprinkling and a high degree of uniformity, as well as the required parameters, including productivity. Considering that the irrigation diameter, uniformity and productivity of the installation largely depends on the parameters and mutual arrangement of sprinklers on the main pipeline of the sprinkler, their evaluation in terms of compliance with the specified values leads to the need for preliminary measurements for each single sprinkler. Nozzle diameter of the sprinkler nozzle, pressure, working height, inclination to the horizontal of the scatterer all affect the parameters of artificial rain. Synthesis of deterministic model of parameters and characteristics of aerosol jet of a single sprinkler requires preliminary knowledge of behaviour and interaction of all elements on the main pipeline of the sprinkler system, which is practically unrealizable taking into account their number and range of change of internal dimensions. The use of deterministic models based on the ballistic theory of motion of a single autonomous droplet requires preliminary specification of the number and size of droplets. In the case of a self-propelled type of sprinkler system, the model must allow for application dependent on the speed of the sprinkler and the interaction of the jet with the surging wind flow. An alternative approach to modelling the dynamics of aerosol jet atomisation by a nozzle is to consider this process in the context of the phenomena occurring in the water-drop-air system.

Keywords: sprinkler, self-propelled, installation, section, pipeline, sprinkler, nozzle, flow rate, drop, soil, moistening

Citation. Chernykh, A.G., (2024), "Determination of sprinkler wetting zone in circular self-propelled sprinkler systems", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 105–114. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-105-114.

Введение. Установки, в которых большое количество капель воды перемещается в воздушной среде, широко распространены в сельскохозяйственном орошении и опрыскивании. При наблюдении за поведением струи, создаваемой дождевателем, становится очевидным, что для произвольного момента времени ее можно рассматривать как рассредоточенную в пространстве между рассекателем и землей дискретную структуру, образованную сплошными разрывами соответствующих струй [1]. Последние включают в себя частицы концентрированной атмосферной влаги (капли). В общем случае каждая единичная капля с учетом формы рассекателя и атмосферного воздействия имеет свою пространственную форму, направление и скорость движения, а также время полета до момента контакта с землей [2]. В дождевателях, рассекатель которых вращается с небольшой угловой скоростью, сплошной круговой рисунок капель по мере удаления от дождевателя отсутствует, а их удельный объем, отнесенный к аналогичному объему струи, в целом не превышает 12% (рисунок, поз. 1 и поз. 2).



Рисунок. Фрагмент зон смачивания дождевателями широкозахватной круговой дождевальной машине фирмы T-L Irrigation company
 Figure. Fragment of sprinkler wetting zones of the T-L Irrigation company's wide-catchment circular sprinkler machine

Расстояние от форсунки, на котором разбивается струя, уменьшается с увеличением ее скорости, и это наблюдение согласуется с существующими теориями разрушения высокоскоростных струй [3]. Результатом процесса разрушения сплошной струи из форсунки дождевателя на внешней кромке рассекателя являются движущиеся в воздухе по криволинейным траекториям, близким к параболе, капли воды различного размера и формы. По мере удаления от кромки рассекателя скорость движения каждой единичной капли изменяется в виду обмена импульсами между каплями и каплями и окружающим воздухом. Следовательно, взаимодействия с потоком воздуха движущейся одиночной конвективной капли необходимо учитывать соответствующим выражением для скорости ее испарения в уравнении динамической модели дальности полета капли.

В силу специфики работы широкозахватной круговой дождевальной машины (ШКДМ) орошаемая ей площадь может быть разбита на ряд кольцевых фигур, границы которых определяются окружностями, соответствующими колеям смежных опорных тележек. Соответственно, заданную норму полива (например, среднюю глубину полива для выбранной кольцевой фигуры) обеспечивают дождеватели, расположенные на основном трубопроводе машины в пределах радиальных границ данной фигуры, которые определяются удалением соответствующих опорных тележек от центральной поворотной башни (ЦПВ) ШКДМ.

Существенное влияние на среднюю глубину полива в геометрическом центре сектора кольца, внешний и внутренний радиусы которого соответствуют удалению пары дождевателей на границах кольца от ЦПВ, при прочих равных условиях оказывает наличие общих зон смачивания. Очевидно, что при наличии указанных зон объемное количество воды в них будет избыточным. Предположим, что граница зоны смачивания i -го дождевателя определяется некоторой окружностью, центр которой расположен в проекции точки

крепления дождевателя на трубопроводе на орошаемую поверхность. В этом случае радиус указанной окружности определится дальностью полета капли, имеющей средний арифметический диаметр.

Необходимо отметить, что на среднюю глубину полива в указанном секторе оказывают также следующие параметры: высота подвеса дождевателей, величина их расхода, угол по отношению к плоскости орошения и скорость вылета капель с рассекателя.

С учетом вышесказанного разработана детерминированных (не требующих точной калибровки в зависимости от экспериментальных данных) методов прогнозирования зон смачивания на дискретных низконапорных участках систем искусственного дождевания с механическим распыливанием воды на дождевателях является актуальной научно-практической задачей.

Цель исследования – теоретический расчет и экспериментальное подтверждение полученных результатов, характеризующих радиус разбрызгивания двухфазного потока на выходе спринклера в системе мелкодисперсного дождевания применительно к основному трубопроводу самоходной дождевальной установки.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Представить математический аналог движения двухфазного потока на выходе дождевателя, который учитывает взаимодействие жидкой и газообразной составляющих, явлений переноса импульса, энергии и массы внутри потока.

2. Косвенным методом измерения объемного расхода воды через форсунку с помощью мерной емкости определить величины расходов дождевателей с учетом их расстановки на основном трубопроводе машины и измерить радиус смачивания единичного дождевателя.

3. Используя априорные данные о высоте подвеса дождевателя, угле и скорости вылета капли, имеющей средний арифметический диаметр, и экспериментальное значение величины расхода на выходе форсунки, с помощью апостериорной модели движения двухфазного потока вычислить теоретический радиус смачивания единичного дождевателя.

4. Установить степень соответствия апостериорной модели данным эксперимента и выявить наличие общих зон смачивания на орошаемой площади между смежными опорными тележками.

Материалы, методы и объекты исследований. В качестве объекта исследования была выбрана система мелкодисперсного дождевания с механическим распылением воды на вращающемся со спиральными проточками рассекателе дождевателя, реализованная в закрытой оросительной системе с ШКДМ и технологической схемой подачи воды к орошаемому участку путем создания искусственного напора в основном трубопроводе машины [4].

Принимая допущение о том, что капля сферической формы, имеющая средний арифметический диаметр, определим его $d_{\text{ср.капли}}$ по выражению [3]

$$d_{\text{ср.капли}} = 300 \cdot 1,515 \sqrt{d_{\text{струи}}} \cdot \sqrt[6]{\mu_{\text{воды}}} \cdot 2,94 \sqrt{\frac{\sigma_{\text{воды}}}{\rho_{\text{воды}}}} \cdot \frac{1}{13,64 \sqrt{\rho_{\text{воздух}}} \cdot \sqrt[1,88]{V_{\text{max}}}}; \quad (1)$$

где $\rho_{\text{воды}}$ – плотность воды, кг/м³;

$\rho_{\text{воздух}}$ – плотность воздуха, кг/м³;

V_{max} – максимальная скорость капли на кромке рассекателя дождевателя, равная квадратуре скоростей вертикальной и горизонтальной составляющих, м/сек;

$\mu_{\text{воды}}$ – динамическая вязкость воды, Па·сек;

$d_{\text{струи}}$ – диаметр струи, м;

$\sigma_{\text{воды}}$ – коэффициент поверхностного натяжения воды, Дж·м⁻².

При распыливании воды вращающимися дисками величина расхода дождевателя $Q_{\text{дожд.}}$ определится выражением [5]

$$Q_{\text{дожд.}} = 2,72 \cdot \frac{r_{\text{дефл.}}}{\left(1 + \frac{3\mu_{\text{воды}}}{\sqrt{d_{\text{струи}} \cdot \rho_{\text{воды}} \cdot \sigma_{\text{воды}}}}\right)} \cdot \sqrt{\frac{d_{\text{струи}} \cdot \sigma_{\text{воды}}}{8\rho_{\text{воды}}}}; \quad (2)$$

где $r_{\text{дефл.}}$ – радиус дефлектора, м.

Значение расхода $Q_{\text{дожд.}}$ является каталожной величиной для заданного типа форсунки либо может быть определена в полевых условиях [6].

Выражение (2) позволяет определить диаметр струи $d_{\text{струи}}$.

Определив величину $d_{\text{ср. капли}}$ по выражению (1), необходимо вычислить массу капли $m_{\text{капли}}$, имеющей средний арифметический диаметр, учитывая ее сферическую форму [7].

Далее по выражению (3) определяется время полета капли $t_{\text{капли}}$ до момента ее соударения с землей

$$t_{\text{капли}} = \frac{4 \cdot \arctan\left(\frac{k_1 + 2k_3 \cdot V_{\text{возд.}}}{\sqrt{4k_3 \cdot k_2 - k_1^2}}\right)}{\sqrt{4k_3 \cdot k_2 - k_1^2} + 4k_3 \cdot k_2 - k_1^2}. \quad (3)$$

В выражении (3) расчетные коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 равны

$$k_1 = k_{\text{лоб. капли}} \cdot (V_{\text{возд.}} - V_{\text{капли}}); \quad k_2 = \frac{V_{\text{мах}}^2 \cdot k_{\text{капли}} \cdot (\rho_{\text{воды}} - \rho_{\text{воздух}})}{m_{\text{капли}} \cdot \rho_{\text{воды}}}; \quad k_3 = \frac{3 \cdot \rho_{\text{воздуха}} \cdot d_{\text{ср. капли}}}{16 \cdot k_{\text{капли}}},$$

где $V_{\text{капли}}$ – скорость движения капли, м/сек;

$V_{\text{возд.}}$ – составляющая модуля вектора скорости несущего потока (воздуха) параллельная плоскости орошения, противоположная аналогичной составляющей компланарного вектора $V_{\text{капли}}$, м/сек;

$k_{\text{лоб. воздух}}$ – коэффициент лобового сопротивления капли, обусловленный ее вращением сек⁻¹;

$m_{\text{капли}}$ – масса капли, кг;

$k_{\text{капли}}$ – коэффициент лобового сопротивления капли при поступательном движении, кг·м⁻¹.

В окончательном виде выражение для определения теоретического радиуса смачивания $r_{\text{теор.}}$ единичного дождевателя примет вид

$$r_{\text{теор.}} = \frac{t_{\text{капли}} \cdot \frac{m_{\text{капли}}}{k_{\text{лоб.капли}}} \cdot V_{\text{max}} \cdot \cos \alpha \cdot \frac{g \cdot m_{\text{капли}}}{k_{\text{лоб.капли}}} - h_{\text{дождев}} \cdot \frac{m_{\text{капли}}}{k_{\text{лоб.капли}}} \cdot V_{\text{max}} \cdot \cos \alpha}{\frac{m_{\text{капли}}}{k_{\text{лоб.капли}}^2} \cdot (g \cdot m_{\text{капли}} + k_{\text{лоб.капли}} \cdot V_{\text{max}} \cdot \sin \alpha)}, \quad (4)$$

где $h_{\text{дождев}} = h_{\text{трубопр.}} - h_{\text{свеса}}$, – высота дождевателя над поверхностью земли, м;

$h_{\text{трубопр.}}$ – высота основного трубопровода ШКДМ над землей, м;

$h_{\text{свеса}}$ – высота свеса дождевателя в точке крепления к отводу трубопровода, м;

α – угол между направлением касательной к вектору скорости V_{max} и линией горизонта, град.

Предложенный алгоритм позволяет определить соответствующие значения зон смачивания для выбранного числа дождевателей с учетом геометрии их расстановки на основном трубопроводе ШКДМ, их конструкции и воздействия ветра. При этом введенные в рассмотрение коэффициенты k_1 , k_2 и k_3 позволяют учесть явления переноса импульса, энергии и массы при взаимодействии жидкой и газообразной составляющих двухфазного потока на выходе дождевателя.

Результаты исследований. Полевой эксперимент с косвенным методом измерения объемного расхода воды на форсунках дождевателей, расположенных на основном трубопроводе ШКДМ фирмы T-L Irrigation company, проводился на пахотных землях, предназначенных для выращивания овощных культур в КФХ «ИП Кичигина Л.П.», Иркутская область, Усолье-Сибирское, село Мальта [1].

Конструкция ШКДМ включает в себя 11 ферм на опорах (тележках), передвигающихся при помощи моторного гидравлического привода и колес по часовой стрелке вокруг центральной поворотной башни.

Геометрия взаимного расположения элементов дождевания и их высоты свеса при прочих равных условиях, связанных с конструкцией разбрызгивателя и типом форсунки на нем, а также геометрия расстановки на основном трубопроводе ШКДМ являются основными факторами, влияющими на конечную эффективность и равномерность подачи воды на орошаемую поверхность [8].

Для получения экспериментальных данных о величине расходе единичной форсунки в ходе полевого эксперимента исследовалась работа многофункциональных разбрызгивателей фирмы Nelson D3000 [9].

Типы и число дождевателей с форсунками 3TN Nozzle на основном трубопроводе машины (на участке трубопровода между опорными тележками № 8 и № 9) приведены в табл. 1.

Таблица 1. Расстановка дождевателей на отводах основного трубопровода машины
Table 1. Placement of sprinklers on the machine's main pipeline branches

Участок трубопровода на конструктивной схеме	Типы форсунок и их количество																			
	тележка № 8 – тележка № 9	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	41

Величина расхода единичного дождевателя производилась косвенным измерением с помощью мерной емкости объемом 5 литров и стрелочного секундомера. Результаты измерений с учетом размеров форсунок, основанных на 128-дюймовой шкале (по данным табл. 1), приведены в табл. 2.

Таблица 2. Величины расходов дождевателей серии 3000 для системы форсунок 3TN Nozzle (по возрастанию)

Table 2. 3000 Series sprinkler flow rates for 3TN Nozzle System (ascending)

Тип форсунки	38	39	40	41
Расход, л/сек	0,667	0,690	0,714	0,741

При проведении полевого эксперимента высота расположения отвода основного трубопровода ШКДМ соответствовала значению $h_{\text{трубопр.}} = 4,25$ м. Величина свеса дождевателя $h_{\text{свеса}}$ составляла 2,35 м. Давление в основном трубопроводе ШКДМ – 94,5 л/сек. Скорость ветра принималась равной 0,6 м/сек.

Сводные значения границ зон смачивания для 18 дождевателей с типами форсунок 38, 39, 40 и 41, полученные по предложенному алгоритму и с помощью полевого эксперимента, приведены в табл. 3. Необходимо отметить, что в процессе расчета в уравнение (2) подставляются величины расхода $Q_{\text{дожд.}}$, которые соответствуют данным табл. 2, а не каталожным данным [10].

Таблица 3. Границы зоны смачивания единичного дождевателя

Table 3. Boundaries of the wetting zone of a single sprinkler

Тип форсунки	38	38	38	38	38	38	39	39	39	39	39	39	39	40	40	40	40	41
Расстояние между форсунками, м	1,6	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	1,6
r , м (расчет)	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8	3,8
r , м (эксперимент)	4,1	4,1	4,1	3,9	3,9	3,9	4,3	4,3	4,3	4,3	4,1	4,1	4,1	4,4	4,4	4,4	4,4	4,5

Сравнение расчетных и экспериментальных значений границ зоны смачивания (табл. 3) позволяют сделать вывод о результатах (максимальное значение относительной погрешности не превышает 15,5%).

Выводы. Введение в предложенный алгоритм расчета зоны смачивания дождевателя расчетного параметра, определяющего средний арифметический диаметр капли, позволяет исключить в дальнейших выкладках необходимость проведения громоздких вычислений, связанных с определением общего числа капель и их размеров в двухфазном потоке на выходе с рассекателя с учетом удаления потока от его кромки.

Приведено выражение, позволяющее по величине расхода на выходе форсунки определить диаметр соответствующей струи на ее выходе, которое отличается от значения геометрического диаметра самой форсунки и позволяет существенно повысить точность производимых расчетов. Это первое полученное аналитическое выражение для времени полета капли со средним арифметическим диаметром, которое учитывает явления переноса импульса, энергии и массы в процессе взаимодействия жидкой и газообразной составляющих двухфазного потока.

Использование тождества для определения теоретического радиуса смачивания единичного дождевателя с учетом его расположения относительно основного трубопровода машины и орошаемой поверхности с привязкой к линии отвеса в точке отвода на трубопроводе позволяет интегрировано учесть отмеченные выше особенности предложенного алгоритма расчета и повысить точность конечного результата.

Предложенная апостериорная модель расчета зоны смачивания дождевателем хорошо соотносится с данными полевого эксперимента применительно к набору форсунок различного типа, расположенных на основном трубопроводе ШКДМ фирмы T-L Irrigation company. Наличие общих зон смачивания смежных форсунок (табл. 3) требует изменения их типа на основном трубопроводе машины, что позволит минимизировать ширину таких зон.

Список литературы

1. Журавлева, Л.А. Моделирование движения воды во вращающихся разбрызгивателях широкозахватных оросительных машин / Л. А. Журавлева, И. А. Попков, М. С. Магомедов // Инженерия окружающей среды. – 2022. – №3. – С. 48–53. – ISSN 1997-6011. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-48-53.
2. Droplet distribution characteristics of impact sprinklers with circular and noncircular nozzles / Yue, J., Jialing, L., Hong, L., Lin, H. and Yangchun. Y // Journal of Biosystems Engineering. Effect of nozzle aspect ratios and equivalent diameters, 2021, vol. 212, pp. 200–214.
3. Simulating water distribution patterns for fixed spray plate sprinkler using the ballistic theory/ Zapat N., Ouazaa S., Salvador R. // Spanish journal of agricultural research, 2014, vol. 12(3). pp. 850–863. – URL: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2014123-5507> (accessed 22 December 2013).
4. Modes of operation of network pumps with shielded asynchronous motors in systems of small irrigation with artificial pressure / A. Chernykh // IOP Conference Series: Earth and Environmental. International Conference on Advanced Agriculture for Sustainable Future: Water resources management, irrigation and amelioration, 2023, Science 1138, p. 012004. – doi: 10.1088/1755-1315/1138/1/012018 (accessed 13 February 2023).
5. Дитякин, Ю.Ф., Клячко, Л.А., Новиков, Б.В., Ягодкин В.И. Распыление жидкостей. – М.: Машиностроение, 1977. – 208 с.
6. Черных, А.Г. Структура и состав закрытой системы орошения механическим подъемом воды и поливом широкозахватными круговыми дождевальными машинами // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2022. – № 4 (69). – С. 171–183.

7. Experimental and simulation investigation on the kinetic energy dissipation rate of a fixed Spray-plate sprinkler / Zhang Y., Sun B., Fang H., Zhu D., Yang L. and Li Z. // *Journal of Water*, 2018, vol. 10, pp. 1–13 (1365). – URL: 10.3390/w10101365 (acc. 2 September 2018).
8. Журавлева, Л.А., Попков, И.А., Магомедов, М.С., Хеирбеик, Бассел. Дождеватели широкозахватных дождевальнх машин: монография / Л. А. Журавлева, И. А. Попков, М. С. Магомедов, Хеирбеик Бассел. Москва: ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева, 2022. – 140 с.
9. Nozzle arrangement effect on cooling performance of saline water spray cooling / Sadafi M, Jahn I and Hooman K. // *Journal of Applied Thermal Engineering*, 2016, vol. 105, pp. 1061–1066 (105). – URL: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.078 (accessed 21 November 2015).
10. Catalog – NELSON. Решения для механизированного орошения. URL: irrigreat.ru/images/catalog/nelson.pdf.

References

1. Zhuravleva, L.A., Popkov, I.A., Magomedov, M.S. (2022) ‘Simulation of water movement in rotating sprinklers of wide-reach irrigation machines’, *Environmental Engineering*, no. 3, pp. 48–53, ISSN 1997-6011. – DOI: 10.26897/1997-6011-2022-3-48-53.
2. Yue J, Jialing L, Hong L, Lin H and Yangchun Y (2021) Droplet distribution characteristics of impact sprinklers with circular and noncircular nozzles: Effect of nozzle aspect ratios and equivalent diameters, *Biosystems Engineering*, vol. 212, pp. 200–214.
3. Zapat, N., Ouazaa, S., Salvador, R. (2014), Simulating water distribution patterns for fixed spray plate sprinkler using the ballistic theory, *Spanish journal of agricultural research*, vol. 12(3), pp. 850–863, available: <http://dx.doi.org/10.5424/sjar/2014123-5507> (accessed 22 December 2013).
4. Chernykh, A. (2023) Modes of operation of network pumps with shielded asynchronous motors in systems of small irrigation with artificial pressure, IOP Conference Series: Earth and Environmental. International Conference on Advanced Agriculture for Sustainable Future: Water resources management, irrigation and amelioration, vol. 1138, p. 012004, doi: 10.1088/1755-1315/1138/1/012018 (accessed 13 February 2023).
5. Dityakin, Yu.F., Klyachko, L.A., Novikov, B.V., Yagodkin V.I. (1977), *Spraying of liquids*. Moscow. Mechanical Engineering, p. 208 et al.
6. Chernykh, A.G. (2022) ‘Structure and composition of a closed irrigation system with mechanical water lifting and irrigation by wide-reach circular sprinkler machines’, *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, no. 4 (69), pp. 171–183. (In Russian).
7. Zhang Y., Sun B., Fang H., Zhu D., Yang L. and Li Z. (2018), Experimental and simulation investigation on the kinetic energy dissipation rate of a fixed Spray-plate sprinkler, *Journal of Water*, vol. 10, pp. 1–13 (1365), available: 10.3390/w10101365 (accessed 2 September 2018).
8. Zhuravleva, L.A., Popkov, I.A., Magomedov, M.S., Heirbeik, Bassel. (2022) *Sprinklers of wide-span sprinklers: monograph*. Moscow: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education-State Agricultural Academy named after K.A. Timiryazev, 140 p.
9. Sadafi, M., Jahn, I. and Hooman, K. (2016), Nozzle arrangement effect on cooling performance of saline water spray cooling, *Journal of Applied Thermal Engineering*, vol. 105, pp. 1061–1066 (105), available: 10.1016/j.applthermaleng.2016.01.078 (accessed 21 November 2015).
10. Catalog – NELSON. Solutions for mechanized irrigation. [electronic resource]. – URL: [irrigreat.ru "images/catalog/nelson.pdf/](http://irrigreat.ru/images/catalog/nelson.pdf/).

Сведения об авторе

Черных Алексей Георгиевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроснабжения и электротехники, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского», <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>, SPIN-код: 6696-6126; kandida2006@yandex.ru

Information about the author

Alexey G. Chernykh, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Power Supply and Electrical Engineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Yezhevsky», <https://orcid.org/0000-0003-3498-6579>, SPIN-код: 6696-6126; kandida2006@yandex.ru

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. The author of this study was directly involved in the planning, execution and analysis of this study. The author of this article has read and approved the submitted final version.

Conflict of interest. The author declares that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 25.10.2023; одобрена после рецензирования 21.12.2023; принята к публикации 10.03.2024.

The article was submitted 25.10.2023; approved after reviewing 21.12.2023; accepted for publication 10.03.2024.

Научная статья

УДК 620.162.3: 621.792

Код ВАК: 4.3.1.

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-115-126

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ КЛЕЕВОГО СОЕДИНЕНИЯ В ШЕЙКАХ КОЛЕНЧАТОГО ВАЛА СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ТРАКТОРА, ВОССТАНОВЛЕННЫХ ПРИКЛЕИВАНИЕМ СТАЛЬНЫХ ПОЛУКОЛЬЦЕВЫХ НАКЛАДОК

Е.А. Берденников¹ ✉

¹Вологодская государственная молочнохозяйственная академия им. Н.В. Верещагина,
с. Молочное, г. Вологда, Россия
✉ dinaminator@yandex.ru

Реферат. К настоящему времени разработано множество способов восстановления коленчатых валов, многие из них связаны с нанесением слоя металла на изношенную поверхность путем наплавки или напыления. Заслуживает внимания метод восстановления шеек коленчатых валов сельскохозяйственных тракторов установкой сварных полуколец. Основным его преимуществом является минимальная температурная деформация вала. В данной работе апробирован клеевой способ установки полукольцевых накладок, актуальность которого обусловлена полным устранением температурного воздействия на восстанавливаемую деталь. Целью данной работы является исследование прочностных характеристик клеевого соединения «шейка коленчатого вала – стальные полукольцевые накладки» при действии касательных усилий. Критерием оценки прочности соединения является момент проворачивания приклеенных накладок относительно шейки вала. Если откинуть вариант аварийного задира, то логично предположить, что максимальный момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала возникает при холодном запуске двигателя, то есть при весьма низких значениях вязкости моторного масла. В данной работе теоретические предпосылки были подтверждены экспериментальными исследованиями, методика которых подразумевала не только определение момента проворачивания приклеенных накладок, но и установление влияния на прочность клеевого соединения таких факторов, как: шероховатость склеиваемых поверхностей; отклонение от цилиндричности внутренних поверхностей накладок; воздействие химически активной среды; воздействие низких температур. Чтобы обеспечить возможность измерения момента проворачивания приклеенных накладок с использованием испытательной машины, были изготовлены опытные образцы, имитирующие клеевое соединение «полукольцевые накладки – шейка вала». Как опытные, так и теоретические значения момента проворачивания приклеенных накладок несоизмеримо выше максимального момента сопротивления вращению коленчатого вала при нормальных безаварийных условиях эксплуатации. Выявлено, что отклонение от цилиндричности склеиваемых поверхностей оказывает существенное влияние на прочность клеевого соединения.

Ключевые слова: прочность, клеевое соединение, коленчатый вал, полукольцевые накладки, сельскохозяйственный трактор

Цитирование. Берденников Е.А. Исследование прочности клеевого соединения в шейках коленчатого вала сельскохозяйственного трактора, восстановленных приклеиванием стальных полукольцевых накладок // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75). – С. 115–126, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-115-126.

STUDY OF ADHESIVE JOINT STRENGTH IN THE CRANKSHAFT JOINTS OF AN AGRICULTURAL TRACTOR RESTORED BY ADHESION OF STEEL SEMI-RING LININGS**E.A. Berdennikov¹** ✉¹Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin,
Molochnoe, Vologda, Russia✉ dinaminator@yandex.ru

Abstract. To date, many methods have been developed to restore crankshafts, many of them involving the application of a layer of metal to the worn surface by weld deposition or spraying. The method of restoration of crankshaft necks of agricultural tractors by installation of welded half-rings deserves attention. Its main advantage is the minimum temperature deformation of the shaft. In this work the adhesive method of installation of semi-ring linings is tested, the relevance of which is due to the complete elimination of the temperature effect on the restored part. The purpose of this work is to study the strength characteristics of the adhesive joint "crankshaft neck – steel semi-ring linings" under the action of tangential forces. The criterion for assessing the strength of the joint is the moment of rotation of the glued linings relative to the shaft neck. If we exclude the option of emergency scuffing, it is logical to assume that the maximum torque of resistance to crankshaft rotation occurs at cold engine start-up, i.e. at very low values of engine oil viscosity. In this work theoretical assumptions were confirmed by experimental studies, the methodology of which implied not only the determination of the torque of rotation of glued linings, but also the establishment of the influence on the strength of the glue joint of such factors as: roughness of the glued surfaces; deviation from the cylindricality of the inner surfaces of the linings; the impact of a chemically active environment; the impact of low temperatures. In order to make it possible to measure the torque of glued linings using a testing machine, prototypes were made to simulate the adhesive joint "half-ring linings – shaft neck". Both experimental and theoretical values of the torque of the glued linings are incommensurably higher than the maximum torque of resistance to crankshaft rotation under normal accident-free operating conditions. It has been revealed that deviations from the cylindricality of the glued surfaces have a significant effect on the strength of the glue joint.

Keywords: strength, adhesive joint, crankshaft, half-ring linings, agricultural tractor

Citation. Berdennikov, E.A. (2024), "Study of adhesive joint strength in the crankshaft joints of an agricultural tractor restored by adhesion of steel semi-ring linings", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 115–126. (In Russ.). doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-115-126.

Введение. К настоящему времени разработано множество способов восстановления коленчатых валов. Многие из них связаны с наращиванием изношенной поверхности шеек – наплавкой или напылением [1–3]. Заслуживает внимания способ приварки разрезной втулки [4] или полукольцевых накладок [5] путем наложения стыкового шва. Данный способ отличается меньшим температурным воздействием на восстанавливаемую шейку по сравнению с наплавкой. Прогрессивные способы отделочной обработки восстановленных шеек связаны с применением модификаторов трения [6, 7]. Их эффективность доказана в сравнении с традиционными приемами финишной обработки.

В ходе исследовательской работы, проводимой на кафедре энергетических средств и технического сервиса Вологодской ГМХА по восстановлению коленчатых валов установкой полукольцевых накладок, разрабатывалась идея о полном исключении термического влияния на шейки коленчатого вала путем создания клеевого соединения.

В результате получены Патент РФ № 2766395 на изобретение «Способ восстановления шеек коленчатых валов путем приклеивания полукольцевых накладок»; Патент РФ № 2791718 на изобретение «Способ восстановления цилиндрических поверхностей деталей путем приклеивания полукольцевых накладок». Следует согласиться, что предложенный способ нуждается в научной проработке, включающей теоретические и экспериментальные исследования.

Цель исследования – определение прочности клеевого соединения при действии касательных усилий в шейках коленчатого вала, восстановленных приклеиванием стальных полукольцевых накладок.

Материалы, методы и объекты исследования. Клеевое соединение шейки вала с полукольцевой накладкой вполне можно рассматривать как нахлесточное, одним из видов деформации которого является сдвиг при кручении [8]. Разумеется, шейки коленчатого вала (помимо касательных усилий) также будут испытывать знакопеременные радиальные нагрузки, вызывающие усталостные напряжения [9, 10]. Здесь следует уточнить, что задачи исследований, поставленные в данной работе, не предусматривают испытание клеевого шва на циклические нагрузки и ограничиваются лишь определением касательного усилия, при котором приклеенную полукольцевую накладку сорвет (прокрутит) относительно шейки вала.

Зададимся базовыми размерами клеевого соединения. Размеры шейки принимаем: диаметр $d = 70$ мм, ширина $b = 40$ мм. При выборе данных размеров учитывались размеры шатунных и коренных шеек коленчатого вала двигателя Д-240, устанавливаемого на самом распространенном в России сельскохозяйственном тракторе Белорус. К шейке приклеены 2 полукольцевые накладки (рис. 1).

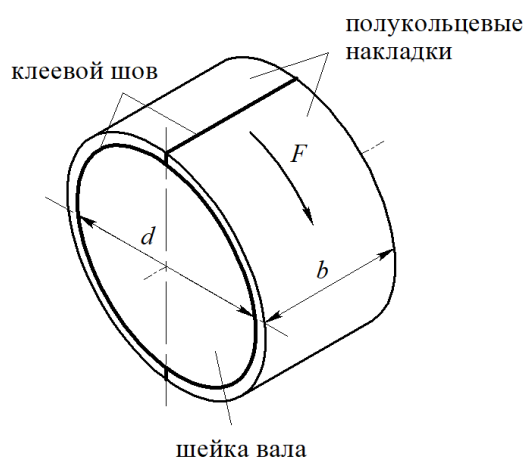


Рис. 1. Схема клеевого соединения
 Picture 1. Adhesive Bonding Scheme

Материал шейки и накладок одинаковый – Сталь 45. Толщиной накладок пренебрегаем. Основным фактор при выборе клея на данном этапе – его доступность и универсальность. Принят эпоксидный клей марки ЭПД, который доступен в розничной сети. В соответствии с источником [11] среднее напряжение сдвига для клея ЭПД при температуре $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ $\tau_{\text{ср}} = 8$ МПа.

Касательное окружное усилие, при котором произойдет разрушение клеевой прослойки, а, соответственно, и проворачивание полукольцевых накладок относительно шейки вала, определим по формуле:

$$F = \tau_{\text{ср}} lb, \quad (1)$$

где l – длина нахлестки, соответствующая длине окружности шейки вала, мм.

$$l = \pi d, \quad (2)$$

где d – диаметр шейки вала, мм.

Подставляя имеющиеся данные в формулы 1 и 2, получим: $l = 219,8$ мм; $F = 70336$ Н. Крутящий момент, при котором происходит проворачивание полукольцевых накладок:

$$T = Fd. \quad (3)$$

$$T = 4923 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

В условиях нормальной эксплуатации, исключая вариант аварийного задира, наибольший момент сопротивления вращению коленчатого вала возникает при запуске двигателя в условиях низких температур.

В интервале температур $-25\dots-30$ °С момент сопротивления проворачиванию коленчатого вала двигателя ЗИЛ-130 [12] может достигать до $T_c = 40$ кгм (400 Н·м).

Определим момент сопротивления T_{c1} проворачиванию одной шейки вала, условно приняв размеры шеек равными:

$$T_{c1} = \frac{T_c}{n}, \quad (4)$$

где n – общее количество шеек (коренных и шатунных) коленчатого вала ЗИЛ-130.

$$T_{c1} = 44,4 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Следует заключить, что расчетное значение максимального момента сопротивления проворачиванию коленчатого вала несоизмеримо ниже расчетного момента, при котором возможно разрушение клеевого соединения и, соответственно, проворачивание полукольцевых накладок относительно шейки восстановленного вала.

Опытный образец, изображенный на рис. 2, представляет собой стержень 1 с цилиндрическим хвостовиком 2, имитирующим шейку коленчатого вала. К хвостовику приклеены две накладки 3, изготовленные путем разрезания отрезка шестигранника, имеющего продольное отверстие диаметром, равным диаметру хвостовика, и длиной, равной длине хвостовика. Клеевая прослойка (шов) 4 находилась между цилиндрическими поверхностями хвостовика и накладок и в стыках между накладками.

Первая партия состояла из четырех образцов, отличающихся шероховатостью сопрягаемых пар поверхностей «хвостовик – накладки». Изменение шероховатости поверхностей обеспечивалось путем изменения подачи при обработке этих поверхностей на токарно-винторезном станке 1А62, постоянной глубине резания 0,5 мм (при последнем проходе) и частоте вращения 380 об/мин. Измерение параметра шероховатости R_z осуществлялось с помощью набора образцов шероховатостей.

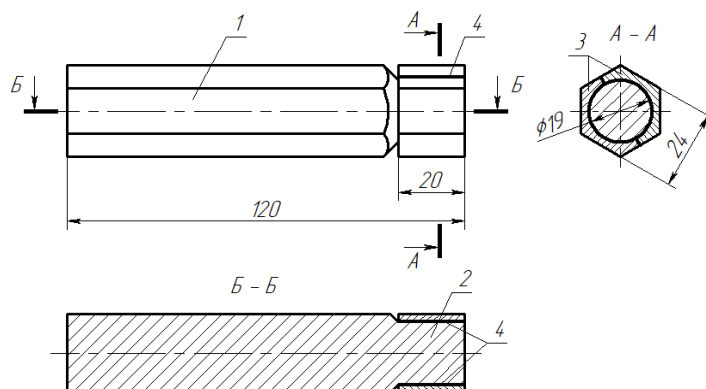


Рис. 2. Опытный образец
 Picture 2. Test Sample

Сверление и растачивание заготовок осуществлялось уже после отрезания от шестигранного прутка, что неизбежно вызывало их деформации при закреплении в трехкулачковом патроне станка. Это было сделано специально, чтобы обеспечить отклонение внутренней поверхности накладок от цилиндричности после растачивания и снятия напряжений от кулачков патрона. То есть первая партия образцов имеет заведомо непостоянную толщину клеевой прослойки по окружности клеевого соединения вследствие наличия отклонения от цилиндричности 0,06...0,08 мм на внутренних поверхностях накладок.

Вторая партия образцов отличалась от первой тем, что растачивание заготовок для накладок в нужный размер осуществлялось до отрезания от шестигранного прутка, то есть усилие закрепления от кулачков патрона не приводило к деформации внутренней поверхности до растачивания. После отрезания заготовки на внутренней поверхности условно отсутствовало отклонение от цилиндричности, вследствие чего обеспечивалось постоянство толщины клеевой прослойки по окружности клеевого соединения.

Третья партия состояла из двух образцов. Склеиваемые поверхности образцов третьей партии обрабатывались иначе.

Хвостовик первого образца подвергался шлифованию на станке 3А423, а заготовка для накладок – внутреннему шлифованию на оправке с использованием шлифовальной шкурки на станке 1А62. Измерение шероховатости проводилось с помощью профилометра TR200.

Шероховатость склеиваемых поверхностей второго образца была получена электроискровой обработкой с использованием прибора ENPO UR-121 (рис. 3).



Рис. 3. Электроискровая обработка поверхности хвостовика
 Picture 3. Electrosarking of the Shank Surface

Четвертая партия состояла из трех образцов, которые были изготовлены для проверки на стойкость к химически агрессивной среде [13] (нагретому моторному маслу) и на морозостойкость.

Первый образец погружался в разогретое до 90 °С моторное масло и после остывания до комнатной температуры находился в нем в течение 15 суток. Второй образец находился более четырех суток на открытом воздухе при температуре до –30 °С. Третий образец сначала вместе с первым подвергался нагреванию и выдерживанию в моторном масле, а затем – охлаждению вместе со вторым образцом.

При испытании опытных образцов, моделирующих клеевое соединение шейки коленчатого вала и полукольцевых накладок, заземленной пары накладок, приклеенных к хвостовику образца, через стержень сообщали крутящий момент с помощью специальной машины для испытания образцов на кручение модели КМ-50-1 (рис. 4). Машина для испытания образцов на кручение также снабжена диаграммным аппаратом.



Рис. 4. Опытный образец перед сообщением крутящего момента
 Picture 4. Test Sample before Turning Torque Transmission

Значения момента проворачивания, определенные на опытных образцах, необходимо привести к значениям момента $T_{пр}$, при котором происходило бы проворачивание накладок на образцах, размеры которых совпадали бы с размерами базовой шейки. А именно: диаметр шейки вала $d = 70$ мм, ширина шейки вала $b = 40$ мм. Из формул 1–3 следует, что момент $T_{пр}$ логично определить следующим образом:

$$T_{пр} = T_{ро} k_1^2 k_2 = 27,4 T_{ро}, \quad (5)$$

где $T_{ро}$ – момент проворачивания накладок опытных образцов, Н·м;

k_1 и k_2 – переводные коэффициенты.

$$k_1 = \frac{d}{d_{хв}}, \quad (6)$$

$$k_2 = \frac{b}{l_{хв}}, \quad (7)$$

где $d_{\text{хв}}$ – диаметр хвостовика опытного образца, мм (рис. 1);

$l_{\text{хв}}$ – длина хвостовика опытного образца, мм (рис. 1).

По формулам 6 и 7 $k_1 = 3,7$; $k_2 = 2$.

Результаты исследования. На рис. 5 приведены диаграммы зависимости крутящего момента T_0 от угла поворота приводного устройства φ для образцов первой партии.

На каждой диаграмме можно выделить 5 характерных участков, соответствующих определенному состоянию клеевого соединения «хвостовик – накладки» (рис. 6).

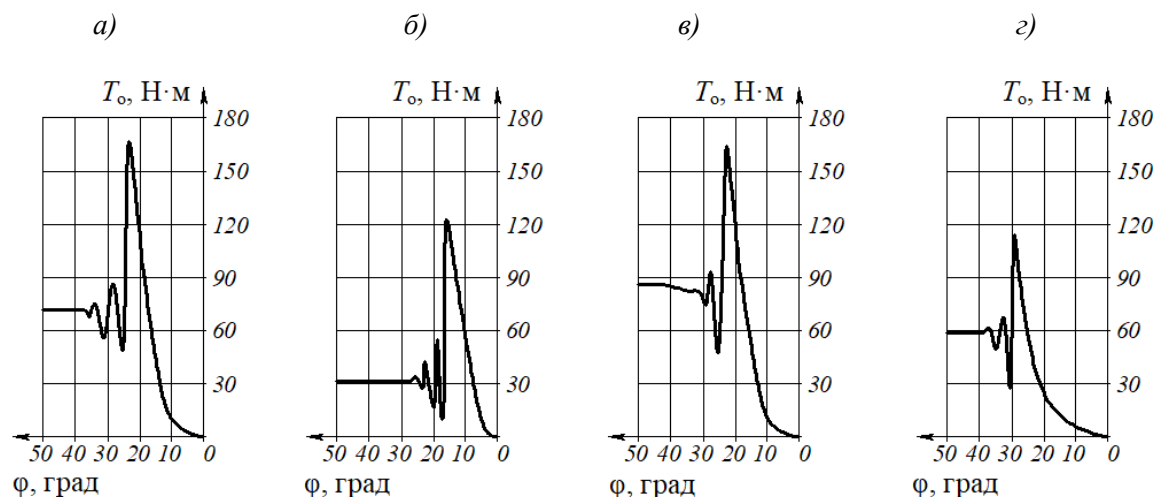


Рис. 5. Диаграммы зависимости крутящего момента от угла поворота приводного устройства при испытании опытных образцов первой партии: а – образец 1; б – образец 2; в – образец 3; г – образец 4

Picture 5. Diagrams of Torque – Drive Rotation Angle Dependence When Testing the First Batch Samples: а – sample 1; б – sample 2; в – sample 3; г – sample 4

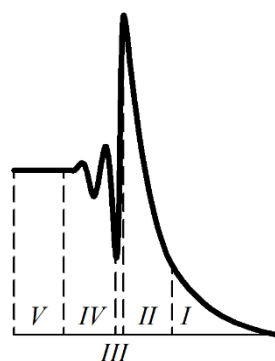


Рис. 6. Участки кривой диаграммы зависимости крутящего момента от угла поворота приводного устройства

Picture 6. Curve Diagram Sections Showing Torque – Drive Rotation Angle Dependence

Участок *I* соответствует возрастанию крутящего момента с относительно малой скоростью. Это обусловлено тем, что для достаточного обжатия опытного образца нижними и верхними захватами скручивающего механизма машины требуется некоторое время.

Участок *II* соответствует интенсивному увеличению крутящего момента до такого значения, при котором происходит разрушение клеевого соединения и проворачивание накладок относительно хвостовика. Пик на диаграммах соответствует этому моменту.

Участок III соответствует резкому уменьшению значения крутящего момента, вызванному резким уменьшением момента сопротивления накладок в связи с их проворачиванием.

Участок IV соответствует колебаниям мундштука с карандашом в связи и низкой жесткостью диаграммного механизма.

Участок V соответствует постоянству (выравниванию) остаточного крутящего момента, равному моменту сопротивления уже провернутых относительно хвостовика накладок, но до сих пор прижимаемых к нему захватами поворотного механизма машины.

Для первой и второй партий образцов построены графики зависимости момента проворачивания T_{po} от шероховатости поверхности (рис. 7).

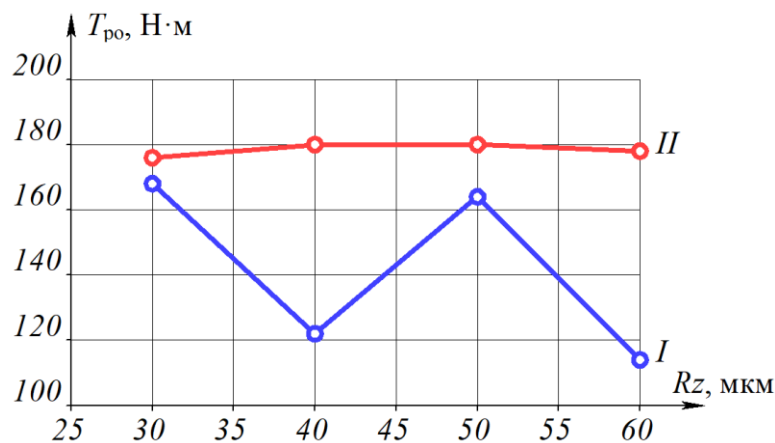


Рис. 7. Зависимость момента скручивания от шероховатости склеиваемых поверхностей:

I – первая партия образцов; *II* – вторая партия образцов

Picture 7. Rotational Moment – Adhered Surface Roughness Dependence

I – first batch of samples; *II* – second batch of samples

Анализируя полученные кривые, следует заключить, что, с одной стороны, явной зависимости момента проворачивания от шероховатости склеиваемых поверхностей в рамках одной, то есть каждой из двух партии образцов, не наблюдается. С другой стороны, значения моментов проворачивания образцов второй партии явно выше, чем у образцов первой партии.

Можно констатировать, что отклонение от цилиндричности (плотность прилегания) склеиваемых поверхностей оказывают существенное влияние на прочность клеевого соединения. Логично предположить, что при действии касательного усилия F из-за деформации среза разрушающие трещины в клеевой прослойке в первую очередь возникают именно на участках с большей толщиной клеевого слоя. Возможно, когезионные связи внутри клеевой прослойки ниже, чем адгезионные связи «клеевая прослойка – накладки» и «клеевая прослойка – шейка вала».

В таблице приведены значения моментов проворачивания накладок при соответствующих значениях шероховатостей склеиваемых поверхностей опытных образцов *третьей* партии.

Таблица. Шероховатость склеиваемых поверхностей и момент проворачивания накладок опытных образцов третьей партии
 Table. Adhered Surface Roughness and Starting Torque of the Test Sample Linings of the Third Batch

Образцы	1	2
Шероховатость поверхности хвостовика R_z , мкм	4,3	23,9
Шероховатость поверхностей накладок R_z , мкм	13,1	15,7
Момент проворачивания T_{po} , Н·м	172	173

Анализируя данные таблицы, следует убедиться, что при значимом расхождении шероховатостей поверхностей испытуемых образцов момент проворачивания накладок практически не изменился. В очередной раз это наводит на мысль об отсутствии значимого влияния шероховатости склеиваемых поверхностей на прочность клеевого соединения, которая, вероятно, обеспечивается в основном в соответствии с молекулярной, а не механической теорией адгезии, как и утверждают многие исследователи [14].

Результаты измерения момента проворачивания T_{po} трех опытных образцов четвертой партии не показали значимого расхождения (рис. 8). Полученные значения также сопоставимы и существенно не отличаются от результатов измерения момента проворачивания образцов второй и третьей партий. Негативного влияния нагретого моторного масла как химически агрессивной среды, а также температуры не ниже $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ на прочность клеевого соединения «хвостовик – накладки» не выявлено.

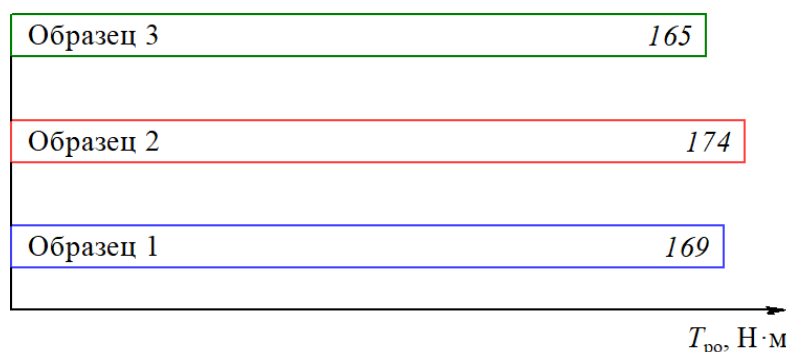


Рис. 8. Значения момента проворачивания накладок для образцов четвертой партии
 Picture 8. Values of Lining Torque for Samples of the Fourth Batch

Выводы. Сравнивая результаты теоретических и экспериментальных исследований, приходим к выводу, что значения моментов проворачивания приклеенных полукольцевых накладок относительно шейки вала, определенные опытным путем, сопоставимы с результатами теоретических расчетов.

Как опытные, так и теоретические значения момента проворачивания приклеенных накладок несоизмеримо (более чем в 100 раз) выше максимального момента сопротивления вращению коленчатого вала при нормальных безаварийных условиях эксплуатации.

В результате экспериментов не было выявлено значимого влияния шероховатости сопрягаемых поверхностей на прочность клеевого соединения «шейка вала – полукольцевые накладки». Но заключительный вывод по этому факту делать преждевременно. Важно не только значение, а также и характер микронеровностей, изучение влияния которого требует дополнительных исследований.

Логическим продолжением проделанной работы является исследование влияния на прочность клеевого соединения знакопеременных динамических нагрузок, действующих на шейку вала в радиальном направлении.

Список литературы

1. Шиповалов, А.Н., Юдин, В.М. Восстановление коленчатых валов дизельных двигателей плазменной наплавкой // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2021. – № 1. – С. 9–11, doi: 10.31044/1684-2561-2021-0-1-9-11.
2. Иванов, В.П., Вигерина, Т.В., Голубев, И.Г. Исследование износа коленчатых валов автомобильных двигателей и инновационные технологии их восстановления // Техника и оборудование для села. – 2018. – № 2. – С. 34–37.
3. Voynash, S.A., Gaydukova, P.A., Markov, A.N. (2017) ‘Rational Route Choosing Methodology for Machine Parts Restoration and Repair’, *Procedia Engineering*, vol. 206, pp. 1747–1752, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.708>.
4. Зуев, А.А., Бурдо, Н.А. Повышение качества закалённой ремонтной втулки (РВ) из стали 30ХГСА, локально приваренной на восстанавливаемую шейку коленчатого вала // Известия Международной академии аграрного образования. – 2017. – № 35. – С. 39–43.
5. Berdennikov, E., Popova, T., Burlakov, G. (2023) ‘Research of Technological Parameters of Crankshaft with Journals Rebuilt by Steel Half-Ring Installation’, *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol. 509, pp. 1177–1186.
6. Сковородин, В.Я., Антипов, А.В. Влияние режима отделочно-антифрикционной обработки шеек коленчатого вала на параметры шероховатости поверхности // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2017. – № 49. – С. 245–251.
7. Сковородин, В.Я., Антипов, А.В. Обоснование параметров силового воздействия при отделочно-антифрикционной обработке шеек коленчатых валов // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2018. – № 51. – С. 258–265.
8. Жилкин, В.А. Численное исследование напряженно-деформированного состояния клеевых соединений металла с металлом, металла с древесиной // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2019. – № 1(721). – С. 5–19, doi: 10.32683/0536-1052-2019-721-1-5-19.
9. Салахов, Р.Р., Ермаков А.М., Хисматуллин, Р.М. Исследование динамических нагрузок на кривошипно-шатунный механизм грузового автомобиля // Грузовик. – 2022. – № 2. – С. 3–9, doi:10.36652/1684-1298-2022-2-3-9.
10. Nozdrzykowski, K., Chybowski, L., Dorobczyński, L. (2020) ‘Model-based estimation of the reaction forces in an elastic system supporting large-size crankshafts during measurements of their geometric quantities’, *Measurement*, vol. 155, 107543, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107543>.

11. Как правильно развести и использовать клей ЭДП. // Краска Гуру: интернет-портал. URL: <https://kraskaguru.ru/klej/vidy-i-marki/edp.html>.
12. Машенко А.Ф., Медведков В.И. Особенности обслуживания автомобилей при эксплуатации в условиях низких температур // Основы технического обслуживания автомобилей. – М., 1964. – С. 241. – то же: URL: <https://mash-xxl.info/info/587027/>.
13. Родионов, Ю.В., Нугаева, В.О. Результаты исследования показателя степени массопоглощения в агрессивных средах клеевой композиции для восстановления деталей автомобиля // Интеллект. Инновации. Инвестиции. – 2019. – № 8. – С. 127–134. – doi: 10.25198/2077-7175-2019-8-127.
14. Desai C.R., Patel, D.C., Desai, C.K. (2023) ‘Investigations of joint strength & fracture parameter of adhesive joint: A review’, *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214–7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.026>.

References

1. Shipovalov, A.N., Yudin, V.M. Restoration of diesel engine crankshafts by using plasma surfacing. *Remont. Vosstanovlenie. Modernizatsiya*. [Repair. Reconstruction. Modernization], 2021, no. 1, pp. 9–11. (In Russ).
2. Ivanov, V.P., Vigerina, T.V., Golubev, I.G. Study of automobile engine crankshaft wear and innovative technologies for their restoration. *Tekhnika i oborudovanie dlya sela*. [Machinery and equipment for rural areas], 2018, no. 2, pp. 34–37. (In Russ).
3. Voynash, S.A., Gaydukova, P.A., Markov, A.N. (2017) ‘Rational Route Choosing Methodology for Machine Parts Restoration and Repair’, *Procedia Engineering*, vol. 206, pp. 1747–1752, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.10.708>.
4. Zuev, A.A., Burdo, N.A. Improving the quality of a hardened repair sleeve made of 30KhGSA steel, locally welded onto the crankshaft journal being restored. *Izvestiya Mezhdunarodnoy akademii agrarnogo obrazovaniya* [Bulletin of the International Academy of Agricultural Education], 2017, no. 35, pp. 39–43. (In Russ).
5. Berdennikov, E., Popova, T., Burlakov, G. (2023) ‘Research of Technological Parameters of Crankshaft with Journals Rebuilt by Steel Half-Ring Installation’, *Lecture Notes in Networks and Systems*, Vol. 509, pp. 1177–1186.
6. Skovorodin, V. Ya., Antipov, A.V. Effect of finish and antifriction operation mode in crankshaft journal treatment on the surface roughness parameters. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Saint-Petersburg State Agrarian University], 2017, no. 49, pp. 245–251. (In Russ).
7. Skovorodin, V. Ya., Antipov, A.V. Justification of force parameters in finish and antifriction treatment of crankshaft journals. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University], 2018, no. 51, pp. 258–265. (In Russ).
8. Zhilkin, V.A. Numerical study of the stress-strain state of adhesive metal-to-metal joint and metal-to-wood joint. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitel'stvo* [News of higher educational institutions. Construction], 2019, no. 1(721), pp. 5–19. (In Russ).
9. Salakhov, R.R., Ermakov, A.M., Khismatullin, R.M., Khafizov, I.R., Razvalyaev, S.V. Study of dynamic loads on the crank mechanism of a truck. *Gruzovik* [Truck], 2022, no. 2, pp. 3–9. (In Russ).
10. Nozdrzykowski, K., Chybowski, L., Dorobczyński, L. (2020) ‘Model-based estimation of the reaction forces in an elastic system supporting large-size crankshafts during measurements of their geometric quantities’, *Measurement*, Vol. 155, 107543, ISSN 0263-2241, <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2020.107543>.
11. How to properly dilute and use EDP glue. // Paint Guru: an online portal. URL: <https://kraskaguru.ru/klej/vidy-i-marki/edp.html>.

12. Mashchenko A.F., Medvedkov V.I. (1964) 'Features of car maintenance during operation at low temperatures', *Fundamentals of car maintenance*, М., p. 241. – The same: <https://mash-xxl.info/article/163330>.
13. Rodionov, Yu.V., Nugaeva, V.O. 'Results of studying the mass absorption degree in aggressive adhesive composition environments for car part restoration', *Intellekt. Innovatsii. Investitsii [Intelligence. Innovation. Investments]*, 2019, no. 8, pp. 127–134. (In Russ)
14. Desai, C.R., Patel, D.C., Desai, C.K. (2023) 'Investigations of joint strength & fracture parameter of adhesive joint: A review', *Materials Today: Proceedings*, ISSN 2214–7853, <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.04.026>.

Сведения об авторах

Берденников Евгений Алексеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры энергетических средств и технического сервиса, Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Вологодская государственная молочнохозяйственная академия имени Н.В. Верещагина», <http://orcid.org/0000-0002-8764-7143>, SPIN-код: 7023-3626, Scopus author ID: 57212194112; dinaminator@yandex.ru

Information about the author

Evgeniy A. Berdennikov, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Energy Resources and Technical Service department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Vologda State Dairy Farming Academy named after N. V. Vereshchagin, <http://orcid.org/0000-0002-8764-7143>, SPIN-code: 7023-3626, Scopus author ID: 57212194112; dinaminator@yandex.ru

Авторский вклад. Автор настоящего исследования принимал непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Автор настоящей статьи ознакомился и одобрил представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. The author of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. The authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The author declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 07.11.2023; одобрена после рецензирования 13.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 07.11.2023; approved after reviewing 13.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 621. 314.2

Код ВАК 4.3.2

Doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-127-140

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВКЛЮЧЕНИИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АПК НА ХОЛОСТОМ ХОДУ

А.С. Серебряков¹, Д.Е. Дулепов¹ ✉, В.Л. Осокин¹

¹Нижегородский государственный инженерно-экономический университет,

г. Княгинино, Нижегородская область, Россия

✉ dulepov.86@mail.ru

Реферат. В настоящее время основная часть сельскохозяйственных потребителей электроэнергии получает питание от объединенных энергосистем по сетям, которые предназначены также для питания электроэнергией промышленных предприятий, городов и электрифицированного транспорта железных дорог. Важным элементом сельских электрических сетей являются силовые трансформаторы разных классов напряжения. Многие трансформаторные подстанции в сельских электрических сетях работают в сложных условиях и ненормальных режимах: перегрузки, работа в недогруженном или неполнофазном режиме и другие аварийные и около аварийные режимы. Для обеспечения надёжной работы трансформаторов при проектировании релейной защиты от токов перегрузки, внутренних и внешних коротких замыканий и других повреждений силовых трансформаторов и питающих линий необходимо учитывать броски тока при включении трансформатора на холостом ходу. Броски тока при включении вызваны нелинейностью кривой намагничивания ферромагнитного сердечника трансформатора, связывающего его первичную и вторичную цепи. Математическая модель электромагнитных процессов в трансформаторе при его включении на холостом ходу включает в себя дифференциальные уравнения равновесия первичной электрической цепи. Переходные процессы в электрической цепи с нелинейным ферромагнитным сердечником рассмотрены на примере подключения двухобмоточного трансформатора в режиме холостого хода к синусоидальному питающему напряжению. Рассмотрен переходный режим подключения трансформатора без учёта потерь в стали и с учётом этих потерь. Программа расчёта переходного процесса при включении трансформатора на холостом ходу без учёта потерь и с учётом потерь в стали составлена с использованием дифференциальных уравнений в матричной форме и в форме Коши. Приведённая в статье методика позволяет провести точный анализ переходного процесса при включении трансформатора на холостом ходу, учесть возникающие броски тока намагничивания, их продолжительность и на основании этих данных разработать технические мероприятия для снижения негативных последствий от указанных явлений.

Ключевые слова: релейная защита силовых трансформаторов, нелинейная кривая намагничивания, ферромагнитный сердечник, магнитная цепь, режим холостого хода трансформатора, переходные процессы, электромагнитная схема, потери в стали

Цитирование. Серебряков А.С., Дулепов Д.Е., Осокин В.Л. Математическая модель электромагнитных процессов при включении силового трансформатора системы электроснабжения АПК на холостом ходу // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 1 (75) – С. 127–140, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-127-140.

MATHEMATICAL MODEL OF ELECTROMAGNETIC PROCESSES
AT SWITCHING ON THE POWER TRANSFORMER OF THE POWER
SUPPLY SYSTEM OF THE AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX AT IDLE RUNA.S. Serebryakov¹, D.E. Dulepov¹ ✉, V.L. Osokin¹¹Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University,
Knyaginino, Nizhny Novgorod region, Russian Federation,
✉ dulepov.86@mail.ru

Abstract. At present, the majority of agricultural electricity consumers are supplied from united power systems through networks that are also designed to supply electricity to industrial enterprises, cities and electrified railway transport. Power transformers of different voltage classes are an important element of rural power networks. Many transformer substations in rural power networks operate under difficult conditions and abnormal modes: overloads, underloaded or under-phase operation and other emergency and near-emergency modes. To ensure reliable operation of transformers, the design of relay protection against overload currents, internal and external short-circuits, and other faults of power transformers and supply lines must take into account the current inrush when the transformer is idling. Current inrush at switch-on is caused by the nonlinearity of the magnetisation curve of the transformer's ferromagnetic core connecting its primary and secondary circuits. The mathematical model of electromagnetic processes in the transformer during its idle switching on includes differential equations of equilibrium of the primary electric circuit. Transients in an electric circuit with a nonlinear ferromagnetic core are considered on the example of connecting a two-winding transformer in the no-load mode to a sinusoidal supply voltage. Transient mode of transformer connection without taking into account losses in steel and with taking into account these losses. The programme for calculating the transient at no-load connection of the transformer without taking into account the losses and with taking into account the losses in steel is made using differential equations in matrix form and in Cauchy form. The methodology presented in the article allows carrying out an accurate analysis of the transient process during transformer idling, to take into account the arising magnetising current surges, their duration and on the basis of these data to develop technical measures to reduce the negative consequences of these phenomena.

Keywords: relay protection of power transformers, nonlinear magnetization curve, ferromagnetic core, magnetic circuit, transformer idle run mode, transition processes, electromagnetic circuit, steel losses

Citation. Serebryakov A.S., Dulepov D.E., Osokin V.L. (2024) "Mathematical model of electromagnetic processes at switching on the power transformer of the power supply system of the agro-industrial complex at idle run", *Izvestya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 127–140. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-127-140.

Введение. В настоящее время основная часть сельскохозяйственных потребителей получает питание от объединенных энергосистем по сетям, которые предназначены также для питания промышленных предприятий, городов и электрифицированного транспорта. Важным элементом сельских электрических сетей являются силовые трансформаторы разных классов напряжения. Многие трансформаторные подстанции в сельских электрических сетях работают в ненормальных режимах: перегрузки, работа в недогруженном и неполнофазном режиме и других аварийных и около аварийных режимах. При проектировании и наладке релейной защиты от токов перегрузки, коротких замыканий и других внутренних повреждений силовых трансформаторов необходимо учитывать броски тока намагничивания при включении трансформатора на холостом ходу. Эти броски тока, вызванные

нелинейностью кривой намагничивания ферромагнитного сердечника трансформатора, можно обнаружить только при рассмотрении переходного процесса. В установившемся режиме такие броски тока не наблюдаются. Вот почему важно исследовать переходные процессы при включении трансформатора в режиме холостого хода. Именно в переходном режиме можно обнаружить некоторые особенности работы трансформатора и более объективно оценить его техническое состояние. Это позволяет повысить надёжность работы силовых трансформаторов в энергетических системах. Вопросами анализа и моделирования переходных процессов занимались многие отечественные [1–3] и зарубежные ученые [4, 5].

Цель исследования – рассмотреть основные положения расчета переходного процесса в электрической цепи, содержащей нелинейный ферромагнитный сердечник, составив в интегрированном пакете МАТНСАD математическую модель электромагнитных процессов при включении силового трансформатора в режиме холостого хода.

Особенности расчёта переходных процессов в электрической цепи с нелинейным ферромагнитным сердечником рассмотрены на примере подключения двухобмоточного трансформатора в режиме холостого хода к синусоидальному питающему напряжению [6].

Материалы, методы и объекты исследования. Сначала рассмотрим переходный режим при включении трансформатора без учёта потерь в стали (рис. 1). В режиме холостого хода вторичная обмотка трансформатора разомкнута, а первичная с помощью ключа Р подключается к питающему синусоидальному напряжению u_1 . Чтобы проанализировать процесс намагничивания трансформатора в этом режиме без учета потерь в стали, запишем уравнение для первичной обмотки, составленное по второму закону Кирхгофа. При этом учтем, что, согласно принципу Ленца, ЭДС, индуцированная за счет изменения тока, имеет направление, препятствующее изменению тока, вызывающего эту ЭДС, т. е. положительное направление ЭДС самоиндукции e_1 и ЭДС рассеяния $e_{\sigma 1}$ направлены против положительного направления тока i_1 (рис. 1).

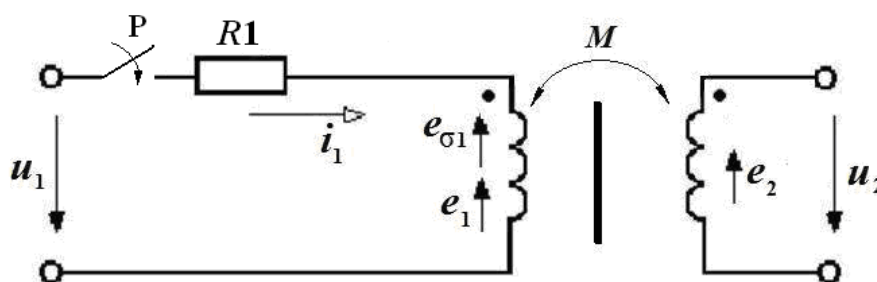


Рисунок 1. Расчетная электромагнитная схема однофазного двухобмоточного трансформатора в режиме холостого хода без учёта потерь в стали магнитопровода

Figure 1. Design electromagnetic circuit of single-phase two-winding transformer on idle run without taking into account losses in steel of magnetic circuit

Уравнение состояния для первичной цепи, составленное по второму закону Кирхгофа при холостом ходе, запишется:

$$R1 \cdot i_1 = u_1 - e_{\sigma 1} - e_1, \quad (1)$$

или, перенося выражения для ЭДС в левую часть, получим

$$R1 \cdot i_1 + e_{\sigma 1} + e_1 = u_1, \quad (2)$$

где $R1$ – активное сопротивление первичной обмотки трансформатора.

ЭДС e_1 первичной обмотки w_1 создается за счет изменения основного магнитного потока Φ , который замыкается по стальному магнитопроводу трансформатора:

$$e_1 = w_1 \frac{d\Phi}{dt} . \quad \dots(3)$$

ЭДС рассеяния $e_{\sigma 1}$ первичной обмотки w_1 создается за счет изменения магнитного потока рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$, который замыкается по немагнитной среде (воздух, масло, медь или алюминий), имеющей постоянную магнитную проницаемость [7]. Вследствие этого поток рассеяния $\Phi_{\sigma 1}$ пропорционален току i_1 . Учитывая сказанное, ЭДС $e_{\sigma 1}$ определяем по формуле:

$$e_{\sigma 1} = w_1 \frac{d\Phi_{\sigma 1}}{dt} = L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} , \quad (4)$$

где $L_{\sigma 1}$ – индуктивность рассеяния первичной обмотки.

Подставив значения ЭДС e_1 и $e_{\sigma 1}$ в уравнение (2), получим дифференциальное уравнение для электрической цепи, содержащей первичную обмотку трансформатора [7, 10, 11]:

$$Rl \cdot i_1 + L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi}{dt} = u_1 . \quad (5)$$

Уравнение для магнитной цепи в режиме холостого хода, когда ток во вторичной обмотке отсутствует, составим на основании закона полного тока (второго закона Кирхгофа для магнитной цепи):

$$Hl = w_1 i_1 , \quad (6)$$

где H – напряженность магнитного поля в сердечнике трансформатора;

l – длина средней линии магнитного поля в сердечнике.

Напряженность H магнитного поля в сердечнике из ферромагнитного материала является нелинейной функцией магнитной индукции B (рис. 2), которую можно аппроксимировать, например, с помощью гиперболического синуса:

$$H = \alpha \sinh(\beta B) , \quad (7)$$

где α и β – коэффициенты аппроксимации.

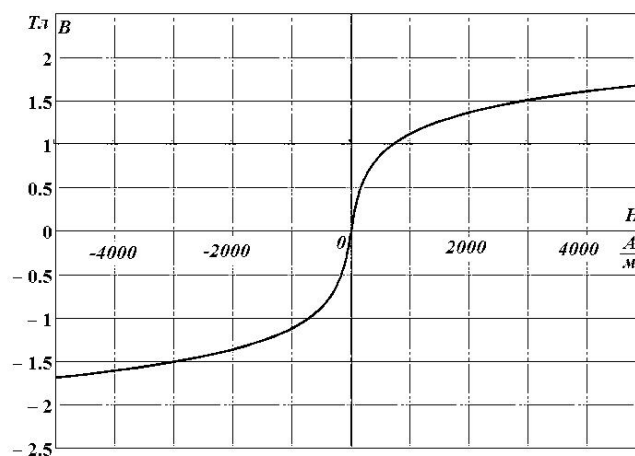


Рисунок 2. Кривая намагничивания ферромагнитного сердечника трансформатора без учета потерь в стали

Figure 2. Magnetization curve of ferromagnetic core of transformer excluding losses in steel

Выразим магнитную индукцию B в сердечнике через магнитный поток Φ :

$$B = \frac{\Phi}{Q}, \quad (8)$$

где Q – площадь поперечного сечения сердечника трансформатора.

С учетом уравнений (7) и (8), уравнение (6) запишется:

$$\alpha l \sinh\left(\beta \frac{\Phi}{Q}\right) = w_1 i_1. \quad (9)$$

Продифференцируем уравнение (9), считая поток Φ и ток i_1 функциями времени t :

$$\alpha l \frac{\beta}{Q} \cosh\left(\beta \frac{\Phi}{Q}\right) \frac{d\Phi}{dt} = w_1 \frac{di_1}{dt}. \quad (10)$$

Обозначим $A = \alpha l \frac{\beta}{Q}$ и $b = \frac{\beta}{Q}$. Тогда уравнение (10) примет вид

$$A \cosh(b\Phi) \frac{d\Phi}{dt} = w_1 \frac{di_1}{dt}. \quad (11)$$

Математическая модель трансформатора без учёта потерь в магнитопроводе.

Запишем систему дифференциальных уравнений (5) и (11), описывающих процессы в трансформаторе в режиме холостого хода без учёта потерь в магнитопроводе, в канонической форме:

$$\begin{aligned} L_{\sigma 1} \frac{di_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi}{dt} &= u_1 - R1 \cdot i_1 \\ -w_1 \frac{di_1}{dt} + A \cosh(b\Phi) \frac{d\Phi}{dt} &= 0. \end{aligned} \quad (12)$$

Представим систему дифференциальных уравнений (12) в матричной форме:

$$\begin{bmatrix} L_{\sigma 1} & w_1 \\ -w_1 & A \cosh(b\Phi) \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} \frac{di_1}{dt} \\ \frac{d\Phi}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u_1 - R1 \cdot i_1 \\ 0 \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Из системы уравнений (13), решая её методом Крамера, получим выражения для производных величин тока i_1 и потока Φ , т. е. получим запись дифференциальных уравнений трансформатора в форме Коши:

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{\Delta i_1}{\Delta} = \frac{(u_1 - R1 \cdot i_1) A \cosh(b\Phi)}{L_{\sigma 1} A \cosh(b\Phi) + w_1^2}, \quad (14)$$

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{\Delta \Phi}{\Delta} = \frac{(u_1 - R1 \cdot i_1) w_1}{L_{\sigma 1} A \cosh(b\Phi) + w_1^2}. \quad (15)$$

Программа для решения дифференциальных уравнений (14) и (15) в интегрированном пакете MATCAD методом Рунге-Кутты четвёртого порядка [8, 9] представлена на рис. 3. Сечение Q сердечника задано в m^2 , длина его l задана в метрах. Индуктивность $L_{\sigma 1}$ (в программе обозначена просто $L1$) задана в генри, сопротивление $R1$ задано в омах, а

амплитуда питающего синусоидального напряжения U_m – в вольтах. Время t задано в секундах. Начальная фаза питающего напряжения принята равной нулю. Переменная тока i_1 обозначена в программе на рис. 3 как компьютерная переменная x_0 , а переменная магнитного потока Φ – как компьютерная переменная x_1 .

$$\begin{aligned}
 w1 &:= 600 & Q &:= 25 \cdot 10^{-4} & R1 &:= 2 & L1 &:= 5 \cdot 10^{-3} \\
 \alpha &:= 83 & \beta &:= 2.8 & l &:= 0.4 & A &:= \frac{\alpha \cdot \beta \cdot l}{Q} & b &:= \frac{\beta}{Q} \\
 t &:= 0, 0.00001 .. 0.5 & U_m &:= 1200 & u1(t) &:= U_m \cdot \sin\left(314t + \frac{0\pi}{2}\right) \\
 x &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} & D(t, x) &:= \begin{bmatrix} \frac{(u1(t) - R1 \cdot x_0) \cdot (A \cdot \cosh(b \cdot x_1))}{L1 \cdot A \cdot \cosh(b \cdot x_1) + w1^2} \\ \frac{(u1(t) - R1 \cdot x_0) \cdot w1}{(L1 \cdot A \cdot \cosh(b \cdot x_1) + w1^2)} \end{bmatrix} \\
 Z &:= \text{rkfixed}(x, 0, 0.5, 5000, D) & n &:= 0 .. 5000 \\
 t_n &:= Z_{n,0} & i_{1n} &:= Z_{n,1} & \Phi_n &:= Z_{n,2}
 \end{aligned}$$

Рисунок 3. Программа решения системы нелинейных дифференциальных уравнений, описывающих процессы в трансформаторе при включении его на синусоидальное напряжение в режиме холостого хода

Figure 3. Program for solving the system of nonlinear differential equations describing the processes in transformer when switching it on sinusoidal voltage on idle run

Начальные условия (НУ), т. е. значения искомым переменных x_0 и x_1 в момент времени $t = 0$, заданные в виде вектора x , нулевые. Производные искомым функций задаются в виде вектора $D(t, x)$. В скобках стандартной функции **rkfixed** решения дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты перечисляются через запятую: вектор начальных условий x , начальная 0 и конечная 0,5 точки интервала интегрирования, число точек 5000 (не считая нулевой точки) и вектор первых производных искомым функций D .

Результаты решения уравнений (14) и (15) в интегрированном пакете MATHCAD по программе, представленной на рис. 3, получаются в виде матрицы Z , содержащей на 1 столбец больше количества уравнений. Первый столбец матрицы соответствует времени t , второй – первичному току i_1 , третий – магнитному потоку Φ в сердечнике трансформатора. На рис. 4 эти искомые функции приведены в виде графиков.

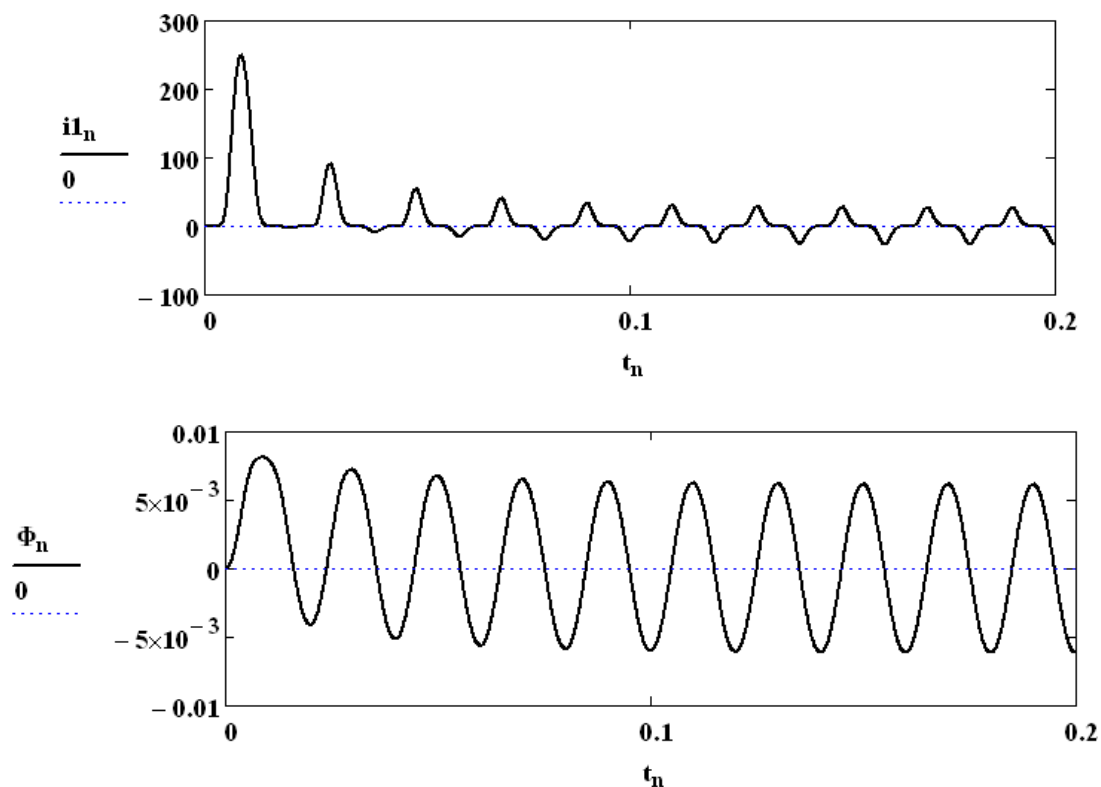


Рисунок 4. Зависимости тока i_1 и магнитного потока Φ от времени t в трансформаторе при включении его на холостом ходу
 Figure 4. Dependence of current i_1 and magnetic flux Φ on time t in transformer when switching it on idle run

Заметим, что система дифференциальных уравнений (13) в матричной форме может быть решена в интегрированном пакете MATHCAD непосредственно без предварительного решения уравнения (13) методом Крамера для преобразования дифференциальных уравнений (13) в форму Коши. Для этого в программе (рис. 5) система дифференциальных уравнений (13) записывается с помощью обратной или обращённой матрицы:

$$Dd(t, x) := D(x)^{-1} \cdot E(t, x) . \quad (16)$$

$$\begin{aligned}
 t &:= 0, 0.00001 .. 0.5 & U_m &:= 1200 & u_1(t) &:= U_m \cdot \sin\left(314t + 0 \cdot \frac{\pi}{2}\right) \\
 x &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} & D(x) &:= \begin{pmatrix} L1 & w1 \\ -w1 & A \cdot \cosh(b \cdot x_1) \end{pmatrix} & E(t, x) &:= \begin{pmatrix} u_1(t) - R1 \cdot x_0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 Dd(t, x) &:= D(x)^{-1} \cdot E(t, x) \\
 Z &:= \text{rkfixed}(x, 0, 0.5, 5000, Dd) & n &:= 0 .. 5000 \\
 t_n &:= Z_{n, 0} & i_{1n} &:= Z_{n, 1} & \Phi_n &:= Z_{n, 2}
 \end{aligned}$$

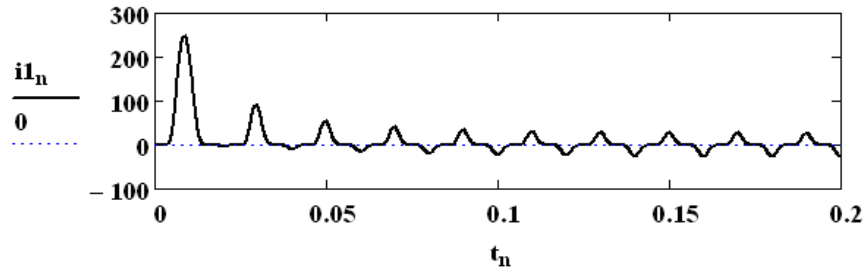


Рисунок 5. Программа решения системы нелинейных дифференциальных уравнений (13), описывающих процессы в трансформаторе при включении его на синусоидальное напряжение в режиме холостого хода с помощью обратной матрицы

Figure 5. The program for solving the system of nonlinear differential equations (13) describing the processes in transformer when switching it on sinusoidal voltage on idle run using the reverse matrix

Как видно из рис. 4 и рис. 5, результаты решения системы нелинейных дифференциальных уравнений (13) обоими методами совпадают.

Итак, при холостом ходе однофазного трансформатора, к первичной обмотке которого подведено синусоидальное напряжение, при допущении, что потери в сердечнике равны нулю, магнитный поток Φ в сердечнике практически синусоидальный (рис. 4). При этом кривая тока в первичной обмотке несинусоидальная (рис. 4 и рис. 5). В первый момент времени после подачи напряжения наблюдается бросок тока, причем значение его при начальной фазе напряжения, которая равна нулю, в несколько раз (до 7–8 раз) превосходит установившееся значение тока (рис. 4). Бросок тока отсутствует, если начальная фаза напряжения равна $\pi/2$. Это обстоятельство следует учитывать при проектировании релейной защиты трансформатора.

Уравнения состояния и математическая модель трансформатора с учётом потерь в магнитопроводе. Заметим, что потери в сердечнике трансформатора в режиме холостого хода и в нагруженном режиме можно учесть, если параллельно первичной обмотке включить резистор $R2$ (рис. 5), который и будет учитывать потери в стальном сердечнике трансформатора.

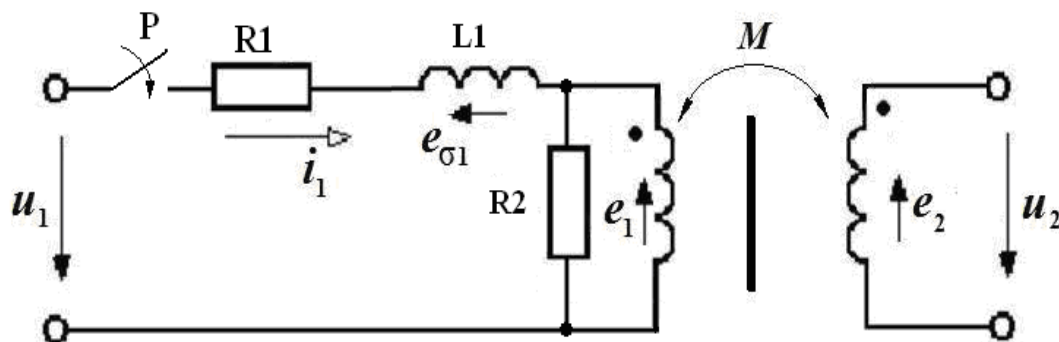


Рисунок 6. Расчетная электромагнитная схема однофазного двухобмоточного трансформатора в режиме холостого хода с учётом потерь в стали магнитопровода
Figure 6. Calculated electromagnetic circuit of single-phase two-winding transformer on idle mode, taking into account steel losses in magnetic circuit

Для схемы на рис. 6 уравнения, описывающие процессы в первичной обмотке трансформатора в режиме холостого хода, имеют вид:

$$R1 \cdot i_1 + L1 \frac{di_1}{dt} + w_1 \frac{d\Phi}{dt} = u_1, \quad (17)$$

$$Hl = \sum w_1 \cdot i = w_1 \left(i_1 - \frac{e_1}{R2} \right) = w_1 \left(i_1 - \frac{1}{R2} \cdot w_1 \frac{d\Phi}{dt} \right). \quad (18)$$

Уравнение (17) составлено на основании второго закона Кирхгофа, а уравнение (18) – на основании закона полного тока. Кривая намагничивания сердечника, как и ранее, аппроксимируется с помощью гиперболического синуса:

$$H = \alpha \sinh(\beta B).$$

Тогда уравнение (18) запишется:

$$Hl = \alpha \cdot \sinh\left(\beta \frac{\Phi}{Q}\right) \cdot l = w_1 \left(i_1 - \frac{e_1}{R2} \right) = w_1 \left(i_1 - \frac{1}{R2} \cdot w_1 \frac{d\Phi}{dt} \right). \quad (19)$$

Отсюда производная магнитного потока Φ выразится как:

$$\frac{d\Phi}{dt} = \frac{R2}{w_1^2} \left(w_1 i_1 - \alpha \cdot \sinh\left(\beta \frac{\Phi}{Q}\right) \cdot l \right). \quad (20)$$

Подставим значение производной потока из уравнения (20) в уравнение (17) и выразим из полученного уравнения производную тока i_1 :

$$\frac{di_1}{dt} = \frac{u_1 - R1 \cdot i_1 - \frac{R2}{w_1} \cdot \left(w_1 \cdot i_1 - \alpha \cdot \sinh\left(\beta \frac{\Phi}{Q}\right) \cdot l \right)}{L1}. \quad (21)$$

Программа расчёта переходного процесса при включении трансформатора на холостом ходу с учётом потерь в стали, составленная с использованием дифференциальных уравнений в форме Коши (20) и (21), приведена на рис. 7.

Результаты решения уравнений (20) и (21) приведены на рис. 8. Из рис. 7 видно, что в переходном режиме зависимость магнитной индукции B в сердечнике от тока намагничивания

i_1 представляет собой изменяющиеся во времени петли гистерезиса. Из-за потерь на перемагничивание сердечника изменение магнитной индукции (увеличение и уменьшение) происходит по несовпадающим кривым.

$$\begin{aligned}
 w_1 &:= 600 & Q &:= 25 \cdot 10^{-4} & \hat{R}_1 &:= 1 & L_1 &:= 50 \cdot 10^{-3} \\
 \alpha &:= 83.834 & \beta &:= 2.833 & l &:= 0.4 & R_2 &:= 120 \\
 U_m &:= 1200 & t &:= 0, 0.00001 .. 0.5 & u_1(t) &:= U_m \cdot \sin(314t) \\
 x &:= \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 D(t, x) &:= \begin{bmatrix} \frac{u_1(t) - R_1 \cdot x_0 - \frac{R_2}{w_1} \cdot \left(w_1 \cdot x_0 - \alpha \cdot l \cdot \sinh\left(\frac{\beta \cdot x_1}{Q}\right) \right)}{L_1} \\ \frac{R_2}{w_1^2} \cdot \left(w_1 \cdot x_0 - \alpha \cdot l \cdot \sinh\left(\frac{\beta \cdot x_1}{Q}\right) \right) \end{bmatrix} \\
 Z &:= \text{rkfixed}(x, 0, 0.5, 50000, D) & n &:= 0 .. 50000 & t_n &:= \frac{0.5}{50000} \cdot n \\
 t_n &:= Z_{n,0} & i_{1n} &:= Z_{n,1} & \Phi_n &:= Z_{n,2}
 \end{aligned}$$

Рисунок 7. Программа решения дифференциальных уравнений трансформатора с учётом потерь в стали

Figure 7. Program for solving differential equations of transformer on idle run taking into account losses in steel

Из рис. 8 и рис. 9 видно, что ток намагничивания в трансформаторе несинусоидальный. Причина несинусоидальности тока намагничивания трансформатора – нелинейность характеристики намагничивания стали, т. е. нелинейность зависимости $B = f(H)$.

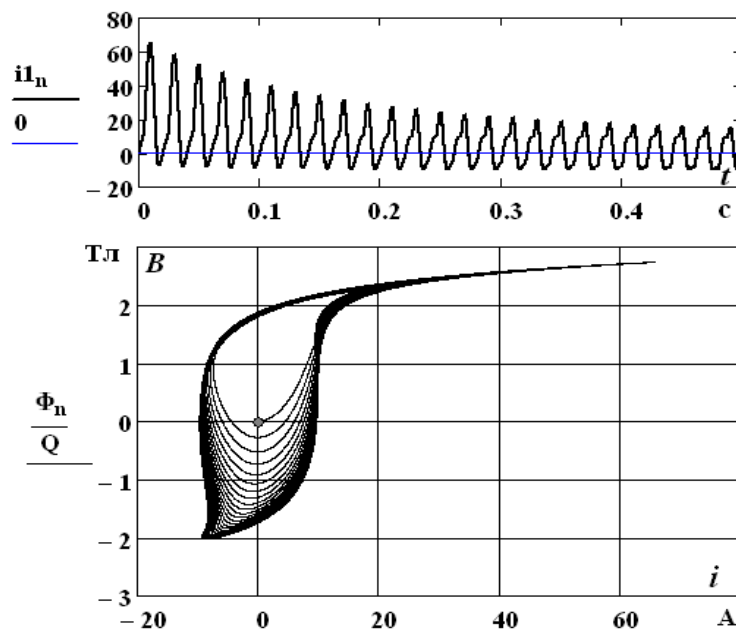


Рисунок 8. Переходный процесс при включении трансформатора на холостом ходу с учётом потерь в стали

Figure 8. Transition process when switching transformer on idle run taking into account losses in steel

На рис. 9 приведены гистерезисные петли намагничивания ферромагнитного сердечника трансформатора в переходном процессе при включении трансформатора на холостом ходу с

учётом потерь в стали при разном времени после включения: а) $t = 0,02$ с; б) $t = 0,04$ с; в) $t = 0,08$ с; г) $t = 0,2$ с.

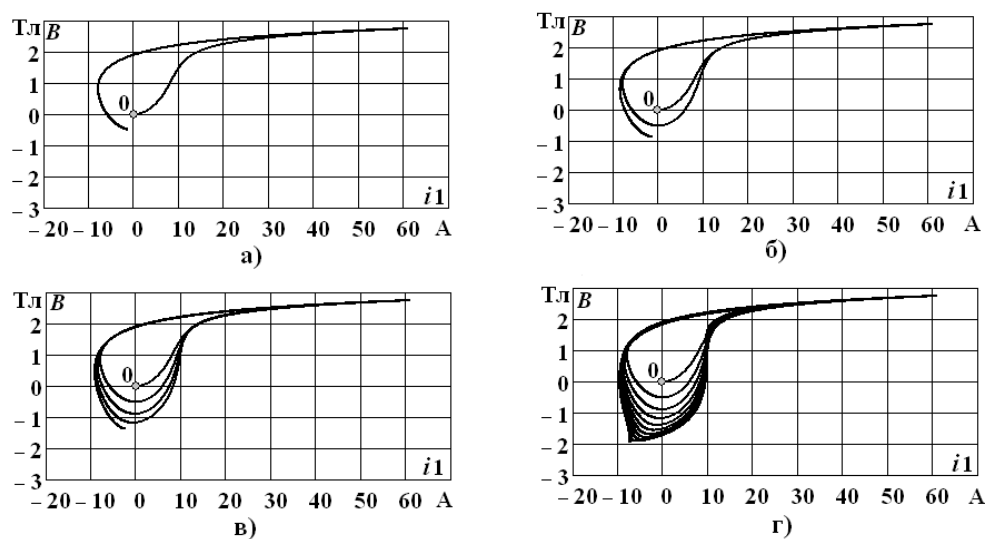


Рисунок 9. Кривые намагничивания сердечника трансформатора в переходном процессе при включении трансформатора на холостом ходу с учётом потерь в стали: а) $t = 0,02$ с; б) $t = 0,04$ с; в) $t = 0,08$ с; г) $t = 0,2$ с

Figure 9. Magnetization curves of transformer core in transition process when switching transformer on idle run taking into account losses in steel: а) $t = 0,02$ s; б) $t = 0,04$ s; в) $t = 0,08$ s; г) $t = 0,2$ s

Закключение. Кривые переходного процесса характеризуют техническое состояние магнитной системы трансформатора более полно и более объективно по сравнению с кривыми установившегося режима. Поэтому важно знать, как протекают реальные процессы в переходном режиме и как они должны протекать в исправном трансформаторе. В частности, важно знать, как протекают процессы при включении трансформатора в режиме холостого хода.

На основании уравнений состояния предложена математическая модель для расчёта электромагнитных переходных процессов в трансформаторе с учётом потерь в магнитопроводе и нелинейности кривой намагничивания ферромагнитного сердечника. Исследована динамика изменений семейства петель гистерезиса при включении трансформатора на холостом ходу. Приведённая в статье методика позволяет провести точный анализ переходного процесса при включении трансформатора на холостом ходу, учесть возникающие броски тока намагничивания, их продолжительность и на основании этих данных разработать технические мероприятия для снижения негативных последствий от указанных явлений.

Результаты исследований могут быть использованы при проектировании и эксплуатации интеллектуальных систем релейной защиты и автоматики силовых трансформаторов, питающих сложную переменную нагрузку, например, системы тягового электроснабжения железных дорог, электрифицированных на переменном токе.

Результаты исследования могут быть также использованы при разработке ферромагнитных преобразователей параметров электрической энергии в системах электроснабжения АПК.

Список литературы

1. Халина, Т.М. Анализ возникновения бросков магнитного потока и намагничивающего тока при включении трансформатора на холостом ходу / Т. М. Халина, В. А. Овсепян, Е. Р. Богоутдинов // Энергетические системы. – 2022. – № 4. – С. 46–53. – DOI 10.34031/ES.2022.4.005. – EDN PUJPZL.
2. Моделирование режима холостого хода трансформатора с учетом эффектов гистерезиса и вихревых токов / Д. С. Ярымбаш, С. Т. Ярымбаш, М. И. Коцур, Т. Е. Дивчук // Проблемы региональной энергетики. – 2019. – № 1(39). – С. 12–21. – DOI 10.5281/zenodo.2650413. – EDN FCAXLN.
3. Лурье, А.И. Процесс включения трансформаторов на холостой ход и короткое замыкание / А. И. Лурье // Электротехника. – 2008. – № 2. – С. 2–18. – EDN LAFKRL.
4. Islam, M.M., Musil, M., Shohan, M.A. (2023) A review of modelling techniques of power transformers for digital real-time simulation. *J. Eng.*, pp. 1–16. <https://doi.org/10.1049/tje2.12221>.
5. Łukaniszyn, M., Baron, B., Kolańska-Pluska, J., Majka, Ł. (2023) ‘Inrush Current Reduction Strategy for a Three-Phase Dy Transformer Based on Pre-Magnetization of the Columns and Controlled Switching’, *Energies*, vol. 16, p. 5238, <https://doi.org/10.3390/en16135238>.
6. Серебряков, А.С. Уравнения состояния и математическая модель электромагнитных процессов в трансформаторе / А. С. Серебряков, В. Л. Осокин // Интеллектуальная электротехника. – 2019. – № 1. – С. 55–68. – DOI 10.46960/2658-6754_2019_1_55. – EDN ZAYVZZ.
7. Вихарев, Д.Ю. Аналитический расчет индуктивностей рассеяния на основе применения векторного потенциала магнитного поля / Д. Ю. Вихарев, И. С. Снитыко, А. И. Тихонов // Моделирование систем и процессов. – 2021. – Т. 14, № 1. – С. 4–10. – DOI 10.12737/2219-0767-2021-14-1-4-10. – EDN POECVY.
8. Метод автоматического формирования систем линейных дифференциальных уравнений / А. Р. Баланцев, Н. Б. Баланцева, Н. А. Андреева, В. А. Киосова // Тенденции развития науки и образования. – 2022. – № 86 – С. 143–147. – DOI 10.18411/trnio-06-2022-388. – EDN COIPXD.
9. Чернявская, С.А. Численное решение дифференциальных уравнений методом Рунге-Кутты с использованием среды MathCad / С. А. Чернявская, К. Б. Матузаев // Перспективы науки. – 2022. – № 12(159). – С. 227–230. – EDN DGPKL.
10. Моделирование электромагнитных процессов при работе силовых трансформаторов под нагрузкой и в режиме холостого хода / Д. С. Ярымбаш, М. И. Коцур, С. Т. Ярымбаш, И. М. Килимник // Проблемы региональной энергетики. – 2020. – № 1(45). – С. 1–13. – DOI 10.5281/zenodo.3713396. – EDN GWYNHT.
11. Фокеев, А.Е. Анализ режимов работы масляных силовых трансформаторов напряжением 10(6)/0,4 кВ / А. Е. Фокеев, И. Н. Тумаков // Вестник ИжГТУ имени М.Т. Калашникова. – 2021. – Т. 24, № 4. – С. 80–91. – DOI 10.22213/2413-1172-2021-4-80-91. – EDN ESMIWZ.

References

1. Khalina, T.M., Ovsepyan, V.A., Bogoutdinov E.R. (2022), ‘Analysis of the occurrence of magnetic flux surges and Magnetizing current when the transformer is turned on at idle’, *Energeticheskie sistemy*, vol. 4, pp. 46–53. (In Russ.). doi 10.34031/ES.2022.4.005. – EDN PUJPZL.
2. Yarymbash, D.S., Yarymbash, S.T., Kotsur, M.I., Divchuk, T.E. (2019), ‘Modeling of idle mode of the transformer taking into account the effects of hysteresis and eddy currents’, *Problemy regional'noj energetiki*, vol. 1, pp. 12–21. (In Russ.). doi 10.5281/zenodo.2650413. – EDN FCAXLN.

3. Lurie, A.I. (2008) 'Process of switching transformers on idle and short circuit / A. I. Lurie', *Elektrotehnika*, vol. 2, pp. 2–18. (In Russ.). – EDN LAFKRL.
4. Islam, M.M., Musil, M., Shohan, M.A. (2023) 'A review of modelling techniques of power transformers for digital real-time simulation', *J. Eng.* pp. 1–16. <https://doi.org/10.1049/tje2.12221>.
5. Łukaniszyn, M.; Baron, B.; Kolańska-Płuska, J.; Majka, Ł. (2023) 'Inrush Current Reduction Strategy for a Three-Phase Dy Transformer Based on Pre-Magnetization of the Columns and Controlled Switching', *Energies*, vol. 16, p. 5238. <https://doi.org/10.3390/en16135238>.
6. Serebryakov, A. S., Osokin, V. L. (2019) 'State equations and mathematical model of electromagnetic processes in transformer' *Intelligent electrical engineering*, vol. 1, pp. 55–68. doi 10.46960/2658-6754_2019_1_55. – EDN ZAYVZZ.
7. Vikharev, D.Yu., Snit'ko, I.S., Tikhonov A.I. (2021) 'Analytical calculation of leakage inductances based on the application of the vector potential of the magnetic field' *Modeling of systems and processes*, vol. 14, no 1, pp. 4–10. doi 10.12737/2219-0767-2021-14-1-4-10. – EDN POECVY.
8. Balantsev, A.R., Balantseva, N.B., Andreeva, N.A., Kiosova, V.A. (2022) 'The method of automatic formation of systems of linear differential equations', *Trends in the development of science and education*, vol. 86–8, pp. 143–147. (In Russ.). doi 10.18411/trnio-06-2022-388. – EDN COIPXD.
9. Chernyavskaya, S.A., Matuzayev, K.B. (2022) 'Numerical solution of differential equations by the Runge-Kutta method using MathCad environment', *Prospects of science*, vol.12, no 159, pp. 227–230. (In Russ.). EDN DGPKDL.
10. Yarymbash, D.S., Kotsur, M.I., Yarymbash, S.T., Kilimnik, I.M. (2020) 'Modeling of electromagnetic processes during operation of power transformers underload and on idle mode' *Problems of regional energy*, vol. 1, no 45, pp. 1–13. (In Russ.). doi 10.5281/zenodo.3713396. – EDN GWYNHT.
11. Fokeev, A.E., Tumakov, I.N. (2021) 'Analysis of operating modes of oil power transformers with voltage of 10(6)/0.4 kV', *Vestnik IzhGTU imeni M.T. Kalashnikov*. vol. 24, no. 4, pp. 80–91. (In Russ.). doi 10.22213/2413-1172-2021-4-80-91. – EDN ECMIWZ.

Сведения об авторах

Серебряков Александр Сергеевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Электрификация и автоматизация», государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», SPIN-код: 3422-1792, <https://orcid.org/0000-0002-7455-2348>; a.sereb@mail.ru.

Дулепов Дмитрий Евгеньевич, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Электрификация и автоматизация», государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», SPIN-код: 8021-0016, <https://orcid.org/0000-0003-1044-1865>; dulepov.86@mail.ru.

Осокин Владимир Леонидович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрификация и автоматизация», государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Нижегородский государственный инженерно-экономический университет», SPIN-код: 4573-1339, <https://orcid.org/0000-0001-8772-4252>; osokinvl@mail.ru.

Information about authors

Aleksandr S. Serebryakov, Doc. Sci (Eng.), Professor, Professor Of The Department «Electrification And Automation», State Budgetary Educational Institution Of Higher Education

«Nizhny Novgorod State Engineering And Economic University», SPIN-code: 3422-1792, <https://orcid.org/0000-0002-7455-2348>; a.sereb@mail.ru.

Dmitrij E. Dulepov, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor, Head Of The Department «Electrification And Automation», State Budgetary Educational Institution Of Higher Education «Nizhny Novgorod State Engineering And Economic University», SPIN-code: 8021-0016, <https://orcid.org/0000-0003-1044-1865>; dulepov.86@mail.ru.

Vladimir L. Osokin, Cand. Sci (Eng.), Associate Professor, Associate Professor Of The Department «Electrification And Automation», State Budgetary Educational Institution Of Higher Education «Nizhny Novgorod State Engineering and Economic University», SPIN-code: 4573-1339, <https://orcid.org/0000-0001-8772-4252>; osokinvl@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 13.12.2023; одобрена после рецензирования 13.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 13.12.2023; approved after reviewing 13.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 631.371: 621.327

Код ВАК: 4.3.2

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-141-150

Памяти учителя, профессора В.Н. Карпова посвящается

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ОТНОШЕНИЙ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ ЭТАПОВ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ОБЛУЧЕНИЯ В ОПТИЧЕСКИХ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЯХ

С.А. Ракутько¹ ✉, С.В. Гулин²

¹ Институт агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия
✉ sergej1964@yandex.ru

² Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, г. Пушкин, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат. Важнейшей проблемой в АПК является проблема энергосбережения. Повышение энергетической эффективности оптических электротехнологий, использующих оптическое излучение как специфический энергетический фактор, представляется весьма наукоемкой задачей. Метод конечных отношений (МКО) разработан профессором В.Н. Карповым как комплекс операций, основанных на анализе энергозатрат в статических и динамических процессах. Метод является важным инструментом для анализа и оптимизации энерготехнологических процессов, а также для разработки энергосберегающих систем по единому показателю энергоэффективности – энергоемкости процесса. Цель исследований – адаптация МКО для его использования в облучательных установках с газоразрядными лампами. Методика применения МКО для выявления резервов энергосбережения предусматривает «разметку» схемы, которая заключается в выделении энергетических блоков, соответствующих этапам преобразования энергии. В работе для схемы с газоразрядной лампы выделено два блока: балласт (преобразование полной энергии в активную) и газоразрядная лампа (преобразование активной энергии в энергию светового потока). Представлены выражения для вычисления энергоемкости этих блоков. В первой серии экспериментов исследовали работу лампы типа ЛБ 40 с активным, индуктивным и емкостным балластами. Во второй серии экспериментов исследовали работу той же лампы с индуктивными балластами марок АБИ и УБИ. Мгновенные значения величин тока, напряжения и светового потока определяли с помощью осциллографа С1-82. Общая энергоемкость схемы с исследованными марками балласта составляет 0,022 и 0,017 ВА·Лм⁻¹ соответственно. Эффективность замены балласта АБИ на УБИ как энергосберегающего мероприятия, согласно МКО, составляет 26%. Таким образом, показана возможность использования МКО для анализа электрических схем с газоразрядными лампами, питаемыми от балластов различных марок.

Ключевые слова: энергосбережение, оптические электротехнологии, технологический процесс облучения, газоразрядные лампы, балласт, энергоемкость

Цитирование. Ракутько С.А. Гулин С.В. Применение метода конечных отношений к энергетическому анализу этапов технологического процесса облучения в оптических электротехнологиях // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – №1 (75). – С. 141–150, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-141-150.

APPLICATION OF THE FINITE RATIO METHOD TO ENERGY
ANALYSIS OF IRRADIATION PROCESS STEPS IN OPTICAL
ELECTROTECHNOLOGIESS.A. Rakutko¹ ✉, S.V. Gulin²¹ Institute for Engineering and Environmental
Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of FSAC VIM,
St. Petersburg, Russia
✉ sergej1964@yandex.ru² Saint-Petersburg State Agrarian University
St. Petersburg, Russia

Abstract. The most important problem in agro-industrial complex is the problem of energy saving. Increasing the energy efficiency of optical electro-technologies, which use optical radiation as a specific energy factor, seems to be a very science-intensive task. The Finite Ratio Method (FRM) was developed by Professor V.N. Karpov as a set of operations based on the analysis of energy consumption in static and dynamic processes. The method is an important tool for the analysis and optimisation of energy-technological processes, as well as for the development of energy-saving systems according to a single indicator of energy efficiency – the energy intensity of the process. The aim of the research is to adapt FRM for its use in irradiation plants with gas-discharge lamps. The methodology of FRM application for revealing the energy saving reserves provides "marking" of the scheme, which consists in allocation of energy blocks corresponding to the stages of energy conversion. In the paper, two blocks are allocated for the circuit with a discharge lamp: ballast (conversion of total energy into active energy) and discharge lamp (conversion of active energy into light flux energy). Expressions for calculating the energy intensity of these blocks are presented. In the first series of experiments, the operation of the LB 40 type lamp with active, inductive and capacitive ballasts was investigated. In the second series of experiments the operation of the same lamp with inductive ballasts of ABI and UBI brands was investigated. Instantaneous values of current, voltage and luminous flux were determined using oscilloscope C1-82. The total power consumption of the circuit with the investigated ballast brands is 0.022 and 0.017 VA.Lm⁻¹ respectively. The efficiency of replacing ABI ballast with UBI as an energy saving measure, according to FRM, is 26%. Thus, the possibility of using FRM to analyse electrical circuits with discharge lamps fed from ballasts of different brands is shown.

Keywords: energy saving, optical electrical technologies, technological process of lighting, gas-discharge light sources, ballast, energy consumption

Citation. Rakutko S.A., Gulin S.V. 'Application of the finite ratio method to energy analysis of irradiation process steps in optical electrotechnologies', *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 141–150. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-141-150.

Введение. Научное наследие профессора В.Н. Карпова (1939–2023) еще во многом до конца не осмыслено и требует тщательного изучения. Вершиной творчества ученого является разработанный им метод конечных отношений (МКО). Как его характеризовал сам автор, метод представляет собой комплекс операций, основанных на анализе энергозатрат в статических и динамических процессах [1, 2]. Метод является важным инструментом для анализа и оптимизации энерготехнологических процессов (ЭТП), а также для разработки энергосберегающих систем в ЭТП по показателю энергоэффективности – относительной энергоемкости процесса [3]. На основе МКО создана прикладная теория энергосбережения в энерготехнологических процессах ПТЭЭТП [4]. В ней теоретической моделью реального

энергетического объекта или процесса, описывающей преобразование набора входных параметров в выходные, является виртуальный энергетический блок (ВЭБ). Технологический процесс облучения (ТПО) как один из видов ЭТП также может быть представлен последовательностью из ВЭБ различной природы.

В данной работе проиллюстрировано применение МКО для энергетического анализа оптических электротехнологий (ОЭТ), основанных на использовании оптического излучения (ОИ) для облучения животных, птицы, растений. Это весьма энергоемкие процессы [5]. Повышение энергетической эффективности и экологичности ОЭТ, разработка энергосберегающих мероприятий (ЭСМ) представляется для сельскохозяйственного производства наиболее наукоемкой задачей [6].

Широко распространенным в ОЭТ источником ОИ являются газоразрядные лампы (ГЛ) [7, 8]. Принцип действия ГЛ заключается в использовании явления возникновения потока излучения при протекании электрического тока через разрядный промежуток [9]. На практике распространены люминесцентные ГЛ, переизлучающие свет в нужном спектральном диапазоне с помощью специального покрытия на колбе [10]. Будучи элементом электрической цепи, ГЛ имеют ряд особенностей, требующих учета при анализе и расчете схем на их основе. Данный тип ламп включается в сеть с помощью пускорегулирующего аппарата (ПРА), необходимого для зажигания разряда в лампе и его стабилизации. В простейшем случае ПРА представляет собой балластное сопротивление (или просто балласт). В силу того, что ПРА имеет некоторое электрическое сопротивление, а также в силу реактивного характера его элементов часть энергии, потребляемой схемой из сети, формирует потери, что приводит к снижению коэффициента мощности [11].

В связи с этим вопросы энерго- и ресурсосбережения в установках с ГЛ, изучение их характеристик и разработка методов оценки эффективности представляет собой важную научную и практическую задачу.

Цель исследования – адаптация МКО для его использования в облучательных установках с газоразрядными лампами для выявления резервов энергосбережения.

Материалы, методы и объекты исследования. Протекающие в ВЭБ как этапе преобразования энергии в ТПО процессы связаны с перемещением различного вида субстанции при возникновении градиента потенциала в направлении выравнивания последнего и подчиняются общему закону энергопроводности. Уравнения ВЭБ содержат продольные (потенциалы различной природы) и поперечные (векторы плотности потока носителей энергии) переменные для его входа и выхода, произведение которых образует соответственно подаваемую на вход Q_n и фиксируемую на выходе Q_k энергию [12].

На рис. 1 показана принципиальная электрическая схема включения балласта L и лампы E . На вход схемы подается синусоидальное сетевое напряжение $u_c(t)$. Мгновенные значения тока через цепь составляют $i(t)$, напряжения на лампе $u_n(t)$, светового потока $f(t)$.

Схема «размечена» для проведения энергетического анализа согласно правилам МКО. Разметка заключается в выделении ВЭБ, соответствующих этапам преобразования энергии в ТПО. В рассматриваемом случае в качестве $ВЭБ_I$ выделен балласт L , в качестве $ВЭБ_{II}$ – лампа E . Их совокупность представляет собой общий $ВЭБ_o$, состоящий из этих элементов электрической схемы, включенных последовательно.

Потребляемая из электрической сети энергия Q_o^H подается на вход $BЭБ_I$ ($Q_I^H = Q_o^H$). В содержательной трактовке эта энергия соответствует полной мощности S $BЭБ_I$.

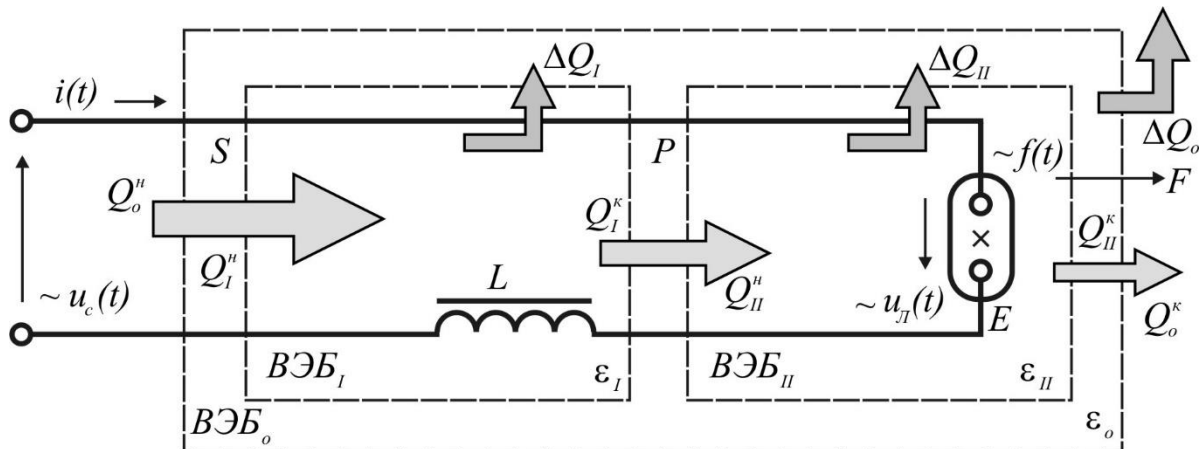


Рисунок 1. Схема к энергетическому анализу ТПО
 Figure 1. Scheme for energy analysis of TPI

На выходе первого блока фиксируется энергия Q_I^K , соответствующая активной мощности P лампы. Природа потерь на этом этапе ΔQ_I заключается в несинусоидальном характере мгновенных значений тока и напряжения на лампе. Величина этих потерь

$$\Delta Q_I = Q_I^H - Q_I^K. \quad (1)$$

Энергоемкость $BЭБ_I$ составляет

$$\varepsilon_I = \frac{Q_I^H}{Q_I^K} = \frac{S}{P} = \frac{UI}{P}. \quad (2)$$

Полагаемая полезной энергия Q_I^K с выхода $BЭБ_I$ поступает на вход $BЭБ_{II}$, т. е. $Q_{II}^H = Q_I^K$. На его выходе полезной является энергия светового потока (доза) $Q_{II}^K = F$. Потери на этом этапе ΔQ_{II} объясняются не полным использованием электрической энергии при генерировании светового потока в газовом разряде и потерями в люминофоре.

$$\Delta Q_{II} = Q_{II}^H - Q_{II}^K. \quad (3)$$

Энергоемкость $BЭБ_{II}$ составляет

$$\varepsilon_{II} = \frac{Q_{II}^H}{Q_{II}^K} = \frac{P}{F}. \quad (4)$$

Общая энергоемкость $BЭБ_o$

$$\varepsilon_o = Q_o^H / Q_o^K = \varepsilon_I \varepsilon_{II}. \quad (5)$$

Общие потери

$$\Delta Q_o = Q_o^H - Q_o^K = \Delta Q_I + \Delta Q_{II}. \quad (6)$$

Величины $u_c(t)$, $i(t)$ и $f(t)$ при работе схемы принимают различные мгновенные значения при изменении $u_c(t)$ в течение периода $T = 2\pi$. При вычислениях полупериод $T/2$ разбивали на $m=12$ интервалов.

Особенностью данной методики по сравнению с известным подходом является учет этапа генерации светового потока лампой как этапа преобразования энергии [13]. Световой поток определяли численным интегрированием кривой мгновенных значений f по методу Симпсона:

$$F = \int_0^T f dt \approx \frac{2}{3m} \left[f_0 + f_m + 2 \sum_{i=1}^{m-1} f_{2i} + 4 \sum_{i=1}^m f_{2i-1} \right]. \quad (7)$$

Действующее значение напряжения определяли по формуле

$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2 dt} \approx \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m u^2}. \quad (8)$$

Действующее значение тока определяли по формуле

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2 dt} \approx \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{k=1}^m i^2}. \quad (9)$$

Степень искажения формы кривой тока оценивали по значению коэффициента амплитуды

$$k_a = \frac{I_m}{I}, \quad (10)$$

где I_m – амплитудное (максимальное) значение тока.

Известно, что для синусоидального тока

$$I = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T I_m^2 \sin^2 \omega t} = \frac{I_m}{\sqrt{2}}, \quad k_a = \frac{I_m}{I} = \sqrt{2}.$$

Чем больше значение k_a отличается от $\sqrt{2}$, тем больше форма кривой тока далека от синусоидальной. Балластное устройство должно обеспечивать выполнение условия $k_a < 1,7$. При больших значениях k_a существенно сокращается продолжительность работы ГЛ.

ЭСМ для ВЭБ является выбор элементов схем с такими свойствами, что обеспечивается меньшая энергоёмкость $\varepsilon'_o < \varepsilon_o$. Общее значение коэффициента эффективности ЭСМ обоих мероприятий $k^{ЭСМ}$, отн. ед., определяли по формуле

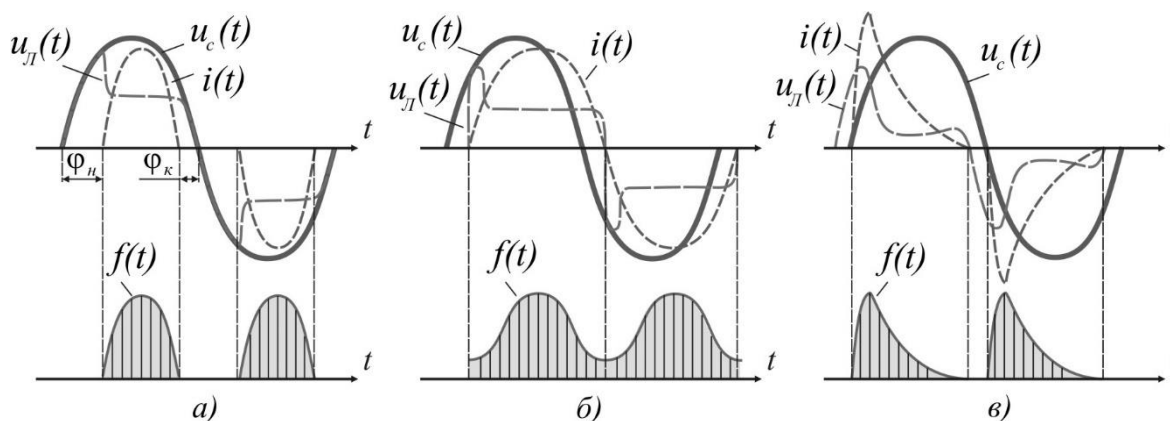
$$k^{ЭСМ} = \frac{\varepsilon_o}{\varepsilon'_o}. \quad (11)$$

В первой серии экспериментов исследовали работу лампы типа ЛБ 40 (мощностью $P = 40$ Вт) с балластами различных типов: а) активным, в качестве которого использовали сопротивление; б) индуктивным (брали балласты различных марок); в) емкостным. Во второй серии экспериментов исследовали работу той же лампы с индуктивными балластами марок АБИ и УБИ.

Мгновенные значения величин определяли с помощью осциллографа С1-82. Экспериментальные данные обрабатывали с использованием пакета EXCEL.

Результаты исследования. На рис. 2 показаны усредненные (с сохранением характерных соотношений) осциллограммы мгновенных значений величин, характеризующих работу ГЛ при работе с различными типами балластного сопротивления. Эксперименты с балластами различных типов показали существенные различия мгновенных значений тока и напряжения в цепи питания, а также светового потока, генерируемого лампой.

Активный балласт характеризуется наличием больших токовых пауз и, как следствие, пульсацией потока излучения, что приводит к стробоскопическому эффекту. Срок службы электродов при таком балласте уменьшается вследствие ускоренного распыления оксидного слоя и потери эмиссионных свойств. Большой расход электрической энергии в активном балластном сопротивлении резко снижает энергетические показатели работы схемы. Индуктивный балласт обеспечивает кривую тока, близкую к синусоидальной. Его недостатками являются большой расход металла, низкий коэффициент мощности, высокая стоимость. Емкостный балласт существенно искажает форму кривой тока, броски которого обуславливают большие пульсации светового потока. Полученные экспериментально данные хорошо согласуются с известными закономерностями [14, 15].



**Рисунок 2. Осциллограммы мгновенных значений величин
для различных видов балласта**

**Figure 2. Oscillograms of instantaneous values of quantities
for various types of ballast**

Для обеспечения нормального срока службы ГЛ форма кривой мгновенных значений тока должна быть близка к синусоидальной. Поэтому дальнейшие измерения проводили на индуктивных балластах двух различных марок. Форма кривой тока у них близка к синусоидальной.

На рис. 3 показаны снятые с экрана осциллографа мгновенные значения тока i (масштаб $\mu_i = 0,01$ А/дел) и напряжения (масштаб $\mu_u = 2$ В/дел.). Переводной коэффициент датчика освещенности в значения светового потока f составляет $\mu_f = 50$ Лм/дел.

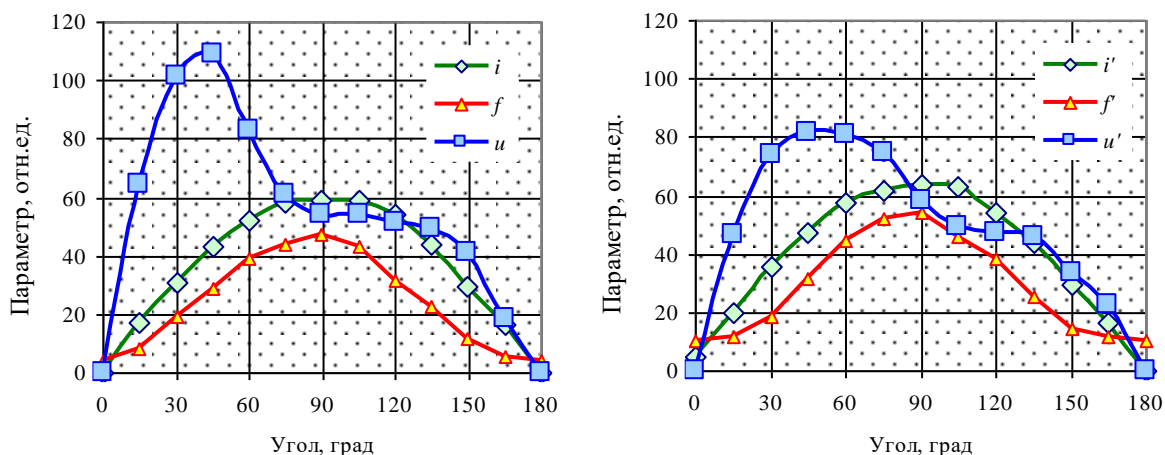


Рисунок 3. Осциллограммы тока, напряжений и светового потока
 Figure 3. Oscillograms of current, voltage and light flux

Кривые i , u и f (вариант I ТПО) соответствуют балласту марки АБИ 40/220 при работе с лампой ЛБ-40, кривые i' , u' и f' (вариант II ТПО) – балласту марки УБИ при работе с той же лампой.

В таблице указаны итоговые значения показателей, рассчитанные по полученным осциллограммам.

Таблица. Итоговые значения показателей
 Table. Total indicator values

Показатель	Вариант ТПО	
	I	II
Действующее значение тока i , А	0,43	0,46
Коэффициент амплитуды тока k_a	1,38	1,40
Действующее значение напряжения u , В	129,1	112,8
Полная мощность S , ВА	55,4	51,7
Световой поток F , Лм	2537	2988
Энергоемкость ε_I , ВА·Вт ⁻¹	1,385	1,292
Энергоемкость ε_{II} , Вт·Лм ⁻¹	0,016	0,013
Энергоемкость общая ε_o , ВА·Лм ⁻¹	0,022	0,017

ЭСМ в рассмотренном примере ТПО в облучательной установке с ГЛ является выбор марки балласта с такими электрическими характеристиками, при которых обеспечивается меньшая энергоемкость. Энергоемкость ТПО при использовании балласта марки АБИ $\varepsilon_o = 0,022$ ВА·Лм⁻¹. Энергоемкость ТПО при использовании балласта марки УБИ $\varepsilon'_o = 0,017$ ВА·Лм⁻¹. Применение балласта марки УБИ по сравнению с балластом марки АБИ обеспечивает значение коэффициента эффективности ЭСМ:

$$k^{ЭСМ} = \varepsilon_o / \varepsilon'_o = 1,26 \text{ отн. ед.}$$

Таким образом, замена балласта более старой марки АБИ на более современные марки УБИ обеспечивает повышение энергоэффективности на 26%.

Выводы. Показана приемлемость использования МКО для анализа электрических схем питания ГЛ в ТПО. Полученные осциллограммы токов и напряжений в цепи питания ГЛ через балласты различных типов показали большую несинусоидальность тока, протекающего через лампу при резистивном и емкостном балласте. При этом наблюдаются большие пульсации генерируемого светового потока, неприемлемые в случае облучения биологических объектов. Для индуктивных балластов двух типов (АБИ и УБИ) коэффициент амплитуды тока принимает допустимое значение 1,38...1,40 отн. ед. Энергоемкость ТПО с применением этих марок балласта составляет 0,022 и 0,017 ВА·Лм⁻¹ соответственно. Эффективность замены балласта АБИ на УБИ как энергосберегающего мероприятия составляет 26%.

Список литературы

1. Карпов, В.Н. Энергосбережение. Метод конечных отношений. – Санкт-Петербург. гос. аграр. ун-т. – Санкт-Петербург: СПбГАУ, 2010. – 146 с.
2. Карпов, В.Н. Практическое управление энергоэффективностью предприятия // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 55.– С. 118–125.
3. Карпов, В.Н. Методика исследования по определению энергоэффективности обработки воды УФ / В. Н. Карпов, З. Ш. Юлдашев, Р. З. Юлдашев // Peasant. – 2022. – № 4 (97). – С. 88–93.
4. Гулин, С.В. Эффективность спектростабилизирующего регулирования потока разрядных источников излучения с позиций прикладной теории энергосбережения / С. В. Гулин, С. А. Ракутько // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2012. – № 28. – С. 377–383.
5. Ovchukova, S.A. Energy saving in lighting technologies of agricultural production / S. A. Ovchukova., N. P. Kondratieva, O. Yu. Kovalenko // Light & Engineering, 2021, 29 (2), pp. 21–25.
6. Карпов, В.Н. Энергосбережение в оптических электротехнологиях АПК. Прикладная теория и частные методики / В. Н. Карпов, С. А. Ракутько. – Санкт-Петербург, 2010. – 100 с.
7. Левченко, В.А. Увеличение физического срока службы мощных газоразрядных ламп низкого давления // Прикладная физика. – 2015. – № 5. – С. 90–94.
8. Середенко, Р.А. Классификация электрических разрядов на основе различных параметров // Качество жизни населения и экология. – Пенза, 2023. – С. 116–119.
9. Козлов, Д.Г. К вопросу о процессах зажигания и стабилизации функционирования газоразрядных ламп / Д.Г. Козлов, Р.К. Савицкас // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2015. – № 2 (45).– С. 61–64.
10. Lister G. Low-Pressure Gas Discharge Lamps / G. Lister, Y. Liu // Handbook of Advanced Lighting Technology, 2017, pp. 1065–1079.
11. Сапрыка, А.В. Влияние вольт-амперных характеристик газоразрядных ламп на работу осветительных установок в городских электрических сетях / А. В. Сапрыка, С. В. Вендин, П.В. Рошубкин // Научные технологии и инновации. Белгород: Белгородский ГТУ, 2019.– С. 54–58.
12. Ракутько, С.А. Энергодинамические основы прикладной теории энергосбережения // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2014.– № 37. – С. 268–271.

13. Ракутько, Е.Н. Энергетическая оценка эффективности балластов для газоразрядных источников света / Е.Н Ракутько, С.А. Ракутько // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. – 2024.– № 1 (73). – С. 373-381.
14. Лаптев, В.А. Анализ характеристик газоразрядной лампы в электрической цепи синусоидального тока / В. А. Лаптев, Ю. М. Соловьев // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2002. – № 1 (1). – С. 76–81.
15. Малышев, А. Новое – хорошо забытое старое: особенности питания бактерицидных и люминесцентных ламп и выбор ЭПРА для них // Полупроводниковая светотехника.– 2021. – № 6 (74). – С. 26–30.

References

1. Karpov V.N. Energoberezhenie. Metod konechnyh odnoshenij [Energy saving. Finite ratio method]. St. Petersburg, 2005. – 146 p.
2. Karpov V.N. (2019) Prakticheskoe upravlenie energoeffektivnost'yu predpri-yatiya [Practical management of enterprise energy efficiency] // *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. № 2, pp. 118-125.
3. Karpov V.N., Yuldashev Z.Sh., Yuldashev R.Z. (2022) Metodika issledovaniya po opredeleniyu energoeffektivnosti obrabotki vody UF [Research methodology for determining the energy efficiency of UV water treatment], *Peasant*. 2022, vol. 97, no. 4, pp. 88-93.
4. Gulin S.V., Rakutko S.A. (2012) Effektivnost' spektrostabiliziruyushchego regulirovaniya potoka razryadnyh istochnikov izlucheniya s pozicij prikladnoj teorii energoberezheniya [Efficiency of spectrum-stabilizing regulation of the flow of discharge radiation sources from the perspective of applied theory of energy saving], *Izvestia of the Saint-Petersburg State Agrarian University*. No. 28. pp. 377-383.
5. Ovchukova S.A., Kondratieva N.P., Kovalenko O.Yu. (2021) Energy saving in lighting technologies of agricultural production. *Light & Engineering*. No 2, Vol. 29, pp. 21–25.
6. Karpov V.N., Rakutko S.A. Energoberezhenie v opticheskikh elektrotekhnologiyah APK. Prikladnaya teoriya i chastnye metodiki [Energy saving in optical electrical technologies of agro-industrial complex. Applied theory and private methods] St. Petersburg, SPbGAU, 2010. – 100 p.
7. Levchenko V.A. (2015) Uvelichenie fizicheskogo sroka sluzhby moshchnyh gazorazryadnyh lamp nizkogo davleniya [Increasing the physical service life of high-power low-pressure gas-discharge lamps]. *Applied Physics*. No. 5. pp. 90-94.
8. Seredenko R.A. Klassifikaciya elektricheskikh razryadov na osnove razlichnyh parametrov [Classification of electrical discharges based on various parameters] In the collection: Quality of life of the population and ecology. Penza, 2023. pp. 116-119.
9. Kozlov D.G., Savickas R.K. (2015) K voprosu o processah zazhiganiya i stabilizacii funkcionirovaniya gazorazryadnyh lamp [On the issue of ignition processes and stabilization of the functioning of gas-discharge lamps]. *Bulletin of Voronezh State Agrarian University*. No. 2, Vol. 45, pp. 61-64.
10. Lister G. Liu Y. Low-Pressure Gas Discharge Lamps. In book: Handbook of Advanced Lighting Technology. 2017. pp.1065-1079.
11. Sapryka A.V., Vendin S.V., Roshchubkin P.V. (2019) Vliyanie vol't-ampernyh [The influence of current-voltage characteristics of gas-discharge lamps on the operation of lighting installations in urban electrical networks] *In the collection: High technology and innovation*. 2019. pp. 54-58.
12. Rakutko S.A. (2014) Energodinamicheskie osnovy prikladnoj teorii energoberezheniya [Energy-dynamic foundations of the applied theory of energy saving] *Izvestia of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 37, pp. 268-271.

13. Rakutko E.N., Rakutko S.A. (2024) Energeticheskaya ocenka effektivnosti ballastov dlya gazorazryadnyh istochnikov sveta [Energy assessment of the efficiency of ballasts for gas-discharge light sources] // *Izvestia of the Nizhnevolzhsky Agro-University Complex: Science and Higher Professional Education*. No. 1, Vol. 73.
14. Laptev V.A., Solovyov Yu.M. (2002) Analiz harakteristik gazorazryadnoj lampy v elektricheskoy cepi sinusoidal'nogo toka [Analysis of the characteristics of a gas-discharge lamp in an electrical circuit of sinusoidal current] *Design, use and reliability of agricultural machines*. No. 1, Vol. 1, pp. 76-81.
15. Malyshev A. (2021) Novoe – horosho zabytoe staroe: osobennosti pitaniya baktericidnyh i lyuminescentnyh lamp i vybor EPRA dlya nih [New – well forgotten old: power supply features of bactericidal and fluorescent lamps and the choice of electronic ballasts for them] *Poluprovodnikovaya svetotekhnika*. No 6, vol. 74, pp. 26-30.

Сведения об авторах

Ракутько Сергей Анатольевич, доктор технических наук, главный научный сотрудник Института агроинженерных и экологических проблем сельскохозяйственного производства (ИАЭП) – филиал ФГБНУ ФНАЦ ВИМ, <http://orcid.org/0000-0002-2454-4534>, SPIN-код: 5103-4590; sergej1964@yandex.ru.

Гулин Сергей Васильевич, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры энергообеспечения производств и электротехнологии, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», <http://orcid.org/0000-0002-7355-0498>, SPIN-код: 7418-4418, Scopus author ID: 57221205780; serg.gulin2010@yandex.ru.

Information about the authors

Sergei A. Rakutko, Doc.Sci. (Eng), chief researcher of Institute for Engineering and Environmental Problems in Agricultural Production (IEEP) – branch of Federal State Budgetary Scientific Institution “Federal Scientific Agroengineering Center VIM”, <http://orcid.org/0000-0002-2454-4534>, SPIN-code: 5103-4590.

Sergei V. Gulin, Cand. Sci. (Eng), Associate Professor of the department of energy supply of enterprises and electrical technologies of Saint-Petersburg State Agrarian University, <http://orcid.org/0000-0002-7355-0498>, SPIN-code: 7418-4418, Scopus author ID: 57221205780; serg.gulin2010@yandex.ru.

Авторский вклад. Все авторы статьи принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и поиске литературы. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Authors' contribution. All authors of this paper have directly participated in the study planning and execution, and literature survey. All authors have read and approved the final version of the paper submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 01.12.2023; одобрена после рецензирования 15.02.2024; принята к публикации 26.02.2024.

The article was submitted 01.12.2023; approved after reviewing 15.02.2024; accepted for publication 26.02.2024.

Научная статья

УДК 621.362+ 004.942

Код ВАК: 4.3.2

doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-151-159

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ANSYS WORKBENCH

Ф.Ф. Хабиров¹, В.С. Вохмин¹ ✉

¹Башкирский государственный аграрный университет,
г. Уфа, Республика Башкортостан, Россия

✉ v_vohmin@mail.ru

Реферат. Применение автономных систем электроснабжения в технологических процессах является одним из приоритетных направлений в инновационных разработках. Поэтому исследования в области альтернативной энергетики посвящены перспективным способам получения, передачи и использования энергии. Одним из перспективных направлений в альтернативной энергетике среди автономных источников энергии является преобразование тепловой энергии в электрическую в специальных устройствах, таких как термоэлектрический генератор (ТЭГ). Принцип работы этого устройства основан на применении потерь теплоты от теплоэнергетического оборудования, в том числе утилизации сбросной тепловой энергии. Для анализа возможности применения термоэлектрических модулей (ТЭМ) различных конструкций можно применять программные комплексы имитационного математического моделирования. Поэтому разработка математической модели термоэлектрического генератора в программном комплексе ANSYS Workbench позволит имитировать работу термоэлектрического генератора в качестве автономного источника энергоснабжения слаботочных систем. На первом этапе в программном комплексе ANSYS Workbench была создана геометрическая модель ТЭМ, в которую были введены параметры технических характеристик термоэлектрического модуля завода-изготовителя, для равномерного распределения нагрузки при моделировании была нанесена сетка. Далее была исследована визуализационная модель термоэлектрического модуля TGM-127-1,4-2,0 при изменении температуры с нагреваемой стороны ТЭГ от 30 до 100 °С, температура ТЭГ с охлаждаемой стороны оставалась неизменной –27 °С. Были получены значения напряжения, силы тока и мощности, на основании значений которых можно обеспечивать электропитанием слаботочную систему электрооборудования. Моделирование работы термоэлектрического модуля TGM-127-1,4-2,0 в программном комплексе ANSYS Workbench позволило получить экспериментальные характеристики, которые в дальнейшем можно использовать для сравнения данных, полученных на физической модели ТЭГ.

Ключевые слова: термоэлектрический модуль, термоэлектрический генератор, термоэлектричество, слаботочные системы, математическое моделирование

Цитирование. Хабиров Ф.Ф., Вохмин В.С. Моделирование работы термоэлектрического генератора в программном комплексе Ansys Workbench // Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета. – 2024. – 1(75). – С. 151–159, doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-151-159.

SIMULATION OF THERMOELECTRIC GENERATOR OPERATION
IN ANSYS WORKBENCH SOFTWARE COMPLEXF.F. Khabirov¹, V.S. Vokhmin¹ ✉¹Bashkir State Agrarian University,
Ufa, The Republic of Bashkortostan, Russia
✉ v_vohmin@mail.ru

Abstract. Application of autonomous power supply systems in technological processes is one of the priority directions in innovative developments. Therefore, research in the field of alternative energy is devoted to promising ways of obtaining, transmitting and utilising energy. One of the promising directions in alternative energy among autonomous energy sources is the conversion of thermal energy into electrical energy in special devices such as thermoelectric generator (TEG). The principle of operation of this device is based on the use of heat losses from thermal power equipment, including the utilisation of waste heat energy. To analyse the feasibility of thermoelectric modules (TEMs) of different designs, simulation mathematical modelling software packages can be applied. Therefore, the development of a mathematical model of a thermoelectric generator in the ANSYS Workbench software package will allow simulating the operation of a thermoelectric generator as an autonomous power supply source for low-current systems. At the first stage in the software complex ANSYS Workbench was created geometric model of TEM, in which parameters of technical characteristics of thermoelectric module of the manufacturer were entered, for uniform distribution of load in modelling was applied grid. Next, the visualisation model of the TGM-127-1.4-2.0 thermoelectric module was investigated when the temperature on the heated side of the TEG changed from 30 to 100 °C, the temperature of the TEG on the cooled side remained constant at -27 °C. The values of voltage, current and power were obtained, based on the values of which it is possible to provide power supply for low-current electrical equipment system. The simulation of the thermoelectric module TGM-127-1,4-2,0 in the software complex ANSYS Workbench, allowed to obtain experimental characteristics, which can be used in the future to compare the obtained data from the physical model TEG.

Keywords: thermoelectric module, thermoelectric generator, thermoelectricity, low-voltage systems, mathematical modeling

Citation. Khabirov F.F., Vokhmin V.S. (2024) "Simulation of thermoelectric generator operation in Ansys Workbench software complex", *Izvestiya of Saint-Petersburg State Agrarian University*, vol. 75, no. 1, pp. 151-159. (In Russ.), doi: 10.24412/2078-1318-2024-1-151-159.

Введение. Одной из главных экологических задач во всем мире является снижение выбросов парниковых газов и уменьшение их воздействия на окружающую среду. Решению данной задачи помогают разработки по совершенствованию альтернативных источников энергии с возможностью трансформации тепловой энергии сжигаемого топлива в электрическую. Данное направление всегда актуально для исследователей как в промышленности, так и в сельском хозяйстве. К одним из перспективных устройств по преобразованию тепловой энергии в электрическую энергию можно отнести термоэлектрический генератор, работающий на эффекте Зеебека.

Термоэлектрический генератор (ТЭГ) создает напряжение, когда с каждой стороны имеется разная температура (эффект Зеебека). И наоборот, когда к нему прикладывается напряжение, тепло передается с одной стороны на другую, создавая разницу температур (эффект Пельтье).

Конструкция ТЭГ выполнена таким образом, что каждая из сторон модуля контактирует либо р-п, либо п-р переходами (в зависимости от полярности). Контакты р-п нагреваются, п-р – охлаждаются. Соответственно, возникает разность температур (ΔT) на сторонах элемента. Примечательно, что изменение полярности питания приводит к смене горячей и холодной поверхностей [1–3; 5]. Ток возбуждения замкнутой цепи представляет собой разность потенциалов между горячими и холодными спаями, вызывающую создание температурных градиентов, называемых «эффектом Зеебека».

Основным элементом в термоэлектрическом генераторе является термоэлектрический модуль (ТЭМ), который может характеризоваться различными габаритными размерами, выходными электрическими характеристиками, диапазонами рабочих температур.

Цель исследования – разработка математической модели в программном комплексе ANSYS Workbench для моделирования рабочих характеристик термоэлектрического генератора при использовании в слаботочных системах сельскохозяйственных предприятий.

В задачи исследования входит разработка геометрической модели термоэлектрического модуля в среде визуализированного моделирования ANSYS Workbench, а также анализ изменения термо-ЭДС от термоэлектрического генератора в зависимости от смены температуры его рабочей поверхности.

Материалы, методы и объекты исследования. Совершенствование программ математического моделирования технологических процессов для теоретических исследований приобретает все больший практический интерес.

В нашей работе использовался программный пакет ANSYS Workbench для компьютерного инженерного анализа проектов методом конечных элементов, который применяется во многих направлениях для расчетного обоснования инженерных проектов (в механике, гидродинамике, электротехнике, электронике и т. д.) и может выполнять многодисциплинарные расчеты. Workbench – это пользовательская оболочка ANSYS, призванная соединить различные физические модели в одном расчетном проекте и предоставить инженеру интуитивно понятный интерфейс управления расчетным проектом. Рабочая среда Workbench использует окна настроек. Каждое окно управляет функциями и настройками на всех этапах моделирования: создание геометрической модели, создание расчетной сетки, приложение нагрузки (определение граничных условий), просмотр расчетных результатов.

В формуле (1) представлена зависимость, которая описывает образование термо-ЭДС [4, 7]:

$$V_{OC} = \alpha \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где V_{OC} – напряжение холостого хода (В) ТЭГ;

α – коэффициент Зеебека (мкВ/К);

ΔT – разница температур (К) между горячей, T_h и холодной поверхностями, T_c , ($\Delta T = T_h - T_c$).

Для математического моделирования в программе ANSYS Workbench был использован термоэлектрический модуль TGM-127-1,4-2,0 российской компании «Криотерм», характеристики которого представлены в табл. 1.

Таблица 1. Технические характеристики термоэлектрического модуля TGM-127-1,4-2,0
 Table 1. Technical characteristics of the thermoelectric module TGM-127-1,4-2,0

Параметры	$T_c = 50\text{ }^\circ\text{C}$	$T_c = 30\text{ }^\circ\text{C}$
	$T_h = 150\text{ }^\circ\text{C}$	$T_h = 200\text{ }^\circ\text{C}$
Напряжение, В	2,10	3,50
Ток, А	0,94	1,50
Мощность, Вт	1,96	5,30
КПД, %	3,40	5,30
Электрическое сопротивление (при 22 °С), Ом	$1,5 \pm 0,050\%$	
Тепловое сопротивление, К/Вт	$2,20 \pm 10\%$	

Графическое изображение ТЭГ с двумя выводами в программе ANSYS Workbench представлено на рис. 1.

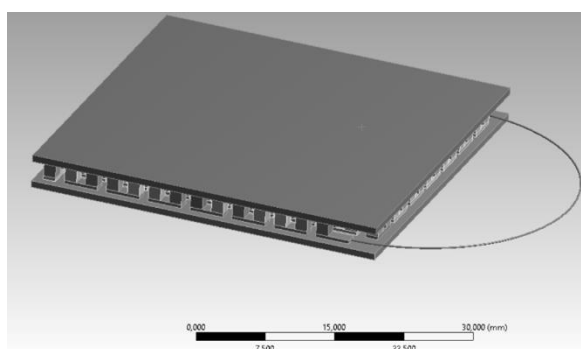


Рис. 1. Изображение ТЭГ в программе ANSYS Workbench
 Picture 1. TEG image in the ANSYS Workbench programme

С научной точки зрения эффективность преобразования тепловой энергии в электрическую зависит от следующих факторов: свойств материалов, коэффициента Зеебека, электрической проводимости и теплопроводности, которые в совокупности выражаются через безразмерную добротность [7, 8, 9].

На рис. 2 показана сетка, нанесенная на разработанный в ANSYS Workbench ТЭГ.

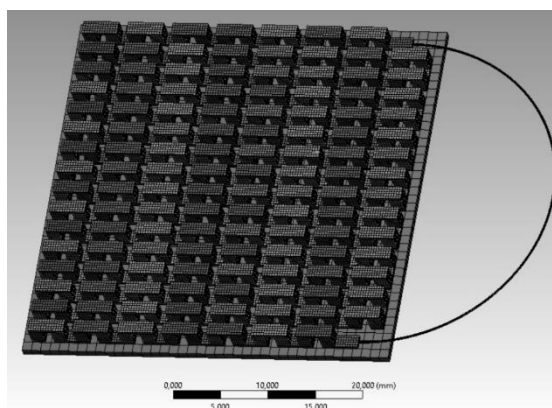


Рис. 2. Изображение ТЭГ в программе ANSYS Workbench с нанесением сетки
 Picture 2. TEG image in ANSYS Workbench programme with grid application

С помощью сетки тело ТЭГ разбивается на части для равномерного распределения нагрузки в случае, если нагрузка имеется. Нанесение сетки в программе ANSYS Workbench необходимо для эффективного проведения моделирования построенной системы [7–9].

Математическая модель термоэлектрического генератора позволяет изменять параметры горячей и холодной стороны модулей, моделировать изменение температуры, а также проводить исследования влияния параметров разности температур на выходные параметры термоэлектрического генератора.

Результаты исследования. При первоначальном исследовании термоэлектрического модуля TGM-127-1,4-2,0 в программе ANSYS Workbench была задана температура с нагреваемой стороны 100 °С, а с охлаждаемой стороны – 27 °С. Температурный профиль модуля ТЭГ после моделирования отражен на рис. 3. Области красного и синего цвета обозначают более высокие и более низкие температуры соответственно. Как видно из результатов, представленных на рис. 3, окрашенный в красный цвет горячий спай имеет более высокую температуру, а окрашенный в синий цвет холодный спай имеет более низкую температуру. Максимальная температура составила при моделировании 100,03 °С, а минимальная – 26,9 °С.

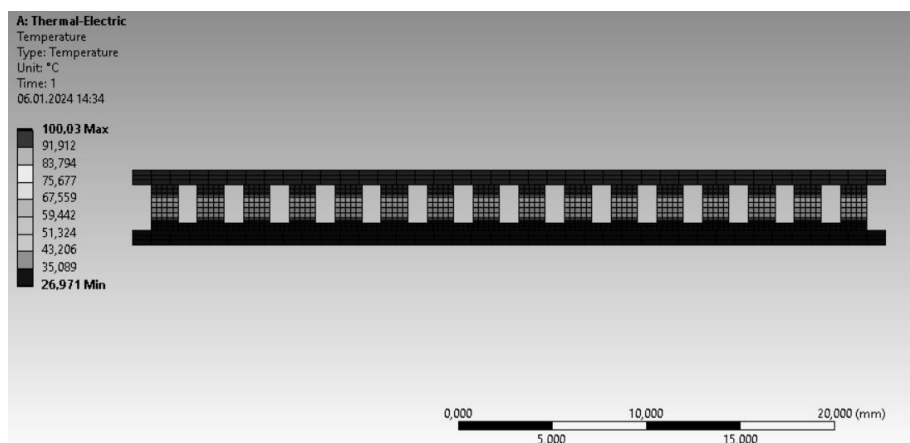


Рисунок 3. Температурный профиль ТЭГ в программе ANSYS Workbench
 Picture 3. TEG temperature profile in ANSYS Workbench programme

На рис. 4 представлено напряжение на ТЭГ, которое возникает в результате температурного градиента между горячей и холодной сторонами ТЭГ [7–9].

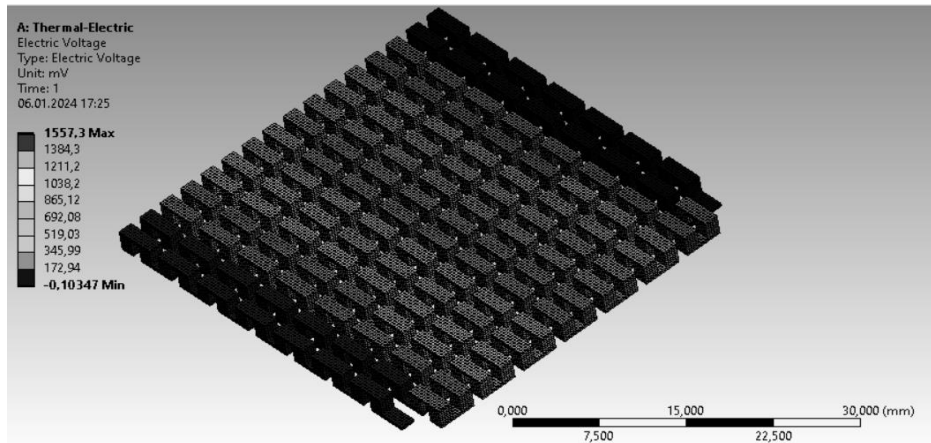


Рисунок 4. Графическое изображение напряжения, которое возникает в ТЭГ при моделировании в программе ANSYS Workbench
Picture 4. Graphical representation of the voltage that occurs in the TEG during simulation in ANSYS Workbench programme

Согласно расчетам программы ANSYS Workbench, максимальное напряжение, которое вырабатывает моделируемый термоэлектрический модуль при температурах 100 °С и 27 °С, $U = 1,55$ В.

В дальнейших исследованиях при моделировании работы термоэлектрического модуля TGM-127-1,4-2,0 в программе ANSYS Workbench задавалась температура с горячей стороны модуля 30...100 °С при постоянной температуре ТЭГ с охлаждаемой стороны 27 °С.

Выходные характеристики тока, напряжения и мощности, в зависимости от разности температур на стенках ТЭГ при моделировании в программе ANSYS Workbench изображены на графике, который представлен на рис. 5.

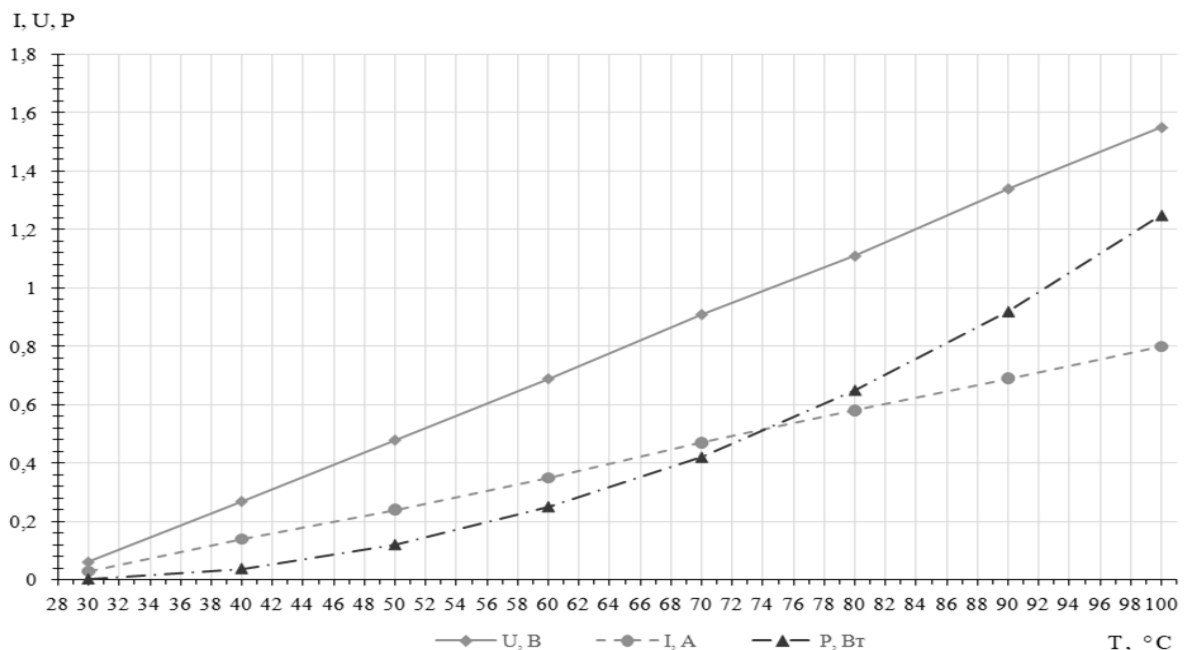


Рис. 5. Характеристики напряжения, тока и мощности на выходе ТЭГ при моделировании
Picture 5. Voltage, current and power characteristics at the TEG output during simulation

Согласно проведенному моделированию в программе ANSYS Workbench, источник питания на базе ТЭГ с термоэлектрическими модулями способен обеспечить электропитанием предлагаемую слаботочную систему передачи данных.

Полученные данные сведем в табл. 2.

Таблица 2. Выходные характеристики работы ТЭГ
 Table 2. Output characteristics of the TEG operation

№ п/п	Температура охлаждаемой стороны, °С	Температура нагреваемой стороны, °С	Напряжение, В	Ток, А	Выходная мощность, Вт	Тепловой поток нагреваемой стороны, Вт	КПД ТЭГ, %
1	27	30	0,062	0,03	0,002	1,57	0,12
2		40	0,27	0,14	0,038	6,86	0,55
3		50	0,48	0,24	0,12	12,20	0,98
4		60	0,69	0,35	0,25	17,59	1,42
5		70	0,91	0,47	0,42	23,04	1,85
6		80	1,11	0,58	0,65	28,53	2,29
7		90	1,34	0,69	0,92	34,07	2,72
8		100	1,55	0,80	1,25	39,66	3,11

Таким образом, исследуемый термоэлектрический модуль можно применять для разработанной конструкции ТЭГ и проведения дальнейших экспериментальных исследований [7–9].

Для стабилизации напряжения питания, получаемого от сборки термоэлементов, необходимо применять в электрической схеме питания преобразователя напряжения [6–9].

Выводы:

1. При моделировании работы термоэлектрического модуля TGM-127-1,4-2,0 при температуре с нагреваемой стороны ТЭГ 30...100 °С и с охлаждаемой стороны 27 °С, получено максимальное значение выходных вольт-амперных характеристик: $U = 1,55$ В; $I = 0,80$ А; $P = 1,25$ Вт.

2. Величина генерируемого термо-ЭДС напрямую зависит от значения коэффициента Зеебека и количества термоэлектрических модулей: чем вышеуказанные значения, тем выше выходные значения термо-ЭДС.

3. Применение термоэлектрического генератора в качестве автономного источника электроснабжения для слаботочных систем предприятий возможно и требует дальнейших исследований.

Список литературы

1. Гайнетдинов, Н.Н., Вохмин, В.С., Хабилов, Ф.Ф. Термоэлектрический генератор как автономный источник энергии для питания приборов учета контрольных точек тепловых сетей // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. – 2022. – С. 137–141.
2. Вохмин, В.С., Хабилов, Ф.Ф. Термоэлектрический генератор с принудительной системой охлаждения: пат. 2755 980 Рос. Федерация. № 2020132666; заявл. 01.10.2020; опубл. 23.09.2021, Бюл. № 27. – 8 с.
3. Хабилов, Ф.Ф., Вохмин, В.С. Обоснование применения термоэлектрического генератора в системе дымоотведения котельной // Инновации в сельском хозяйстве. – 2019. – № 3(32). – С. 285–292.

4. Хабиров, Ф.Ф., Вохмин, В.С. Исследование и разработка термоэлектрического генератора для слаботочных систем сельскохозяйственных предприятий // Современное состояние, традиции и инновационные технологии в развитии АПК. – 2023. – С. 111–115.
5. Хабиров, Ф.Ф., Вохмин, В.С. Разработка термоэлектрического генератора для слаботочных систем сельскохозяйственных предприятий // АПК РОССИИ. – 2022. – № 4. – С. 490–499.
6. Karri, M.A., Thacher, E.F., Helenbrook, B.T. Exhaust energy conversion by thermoelectric generator: Two case studies // *Energy Conversion and Management*. – 2011, vol. 52, no. 3. – pp.1596–1611.
7. Miao, Z., Meng, X., Zhou, S., & Zhu, M. Thermo-mechanical analysis on thermoelectric legs arrangement of thermoelectric modules // *Renewable Energy*. 2020, vol. 147, pp. 2272–2278.
8. Patel, V. R., & Patel, M. C. Automobile Waste Heat Recovery System Using Thermoelectric Generator // *Journal of Science and Technology*. 2020, vol. 5(3), pp. 58–61.
9. Rana, S., Orr, B., Iqbal, A., Ding, L.C., Akbarzadeh, A., & Date, A. Modelling and Optimization of Low-temperature Waste Heat Thermoelectric Generator System // *Energy Procedia*. 2017, vol. 110, pp. 196–201.

References

1. Gainetdinov N.N., Vokhmin V.S., Khabirov F.F. (2022), ‘Thermoelectric generator as a standalone power source for power supply of thermal grid reference point meters’, *Current state, traditions and innovative technologies in the development of the agro-industrial complex*, pp. 137–141. (In Russ.).
2. Vokhmin V.S., Khabirov F.F. Thermoelectric generator with forced cooling system: Pat. 2755 980 RF. 2020132666; declared. 01.10.2020; op. 23.09.2021, Bul. 27. 8 p. (In Russ.).
3. Khabirov F.F., Vokhmin V.S. (2019), ‘Justification for the application of thermoelectric generator in the smoke-discharge system of the boiler’, *Innovations in agriculture*, no. 3(32), pp. 285–292. (In Russ.).
4. Khabirov F.F., Vokhmin V.S. (2023), ‘Research and development of thermoelectric generator for weak-current systems of agricultural enterprises’, *Modern state, traditions and innovative technologies in the development of agro-industrial complex*, pp. 111–115. (In Russ.).
5. Khabirov F., Vokhmin V.S. (2022), ‘Development of thermoelectric generator for low-current systems of agricultural enterprises, APK of Russia, no. 4, pp. 490–499. (In Russ.).
6. Karri M.A., Thacher E.F., Helenbrook B.T. (2011), ‘Exhaust energy conversion by thermoelectric generator: Two case studies’, *Energy Conversion and Management*, vol. 52, no. 3, pp. 1596–1611.
7. Miao, Z., Meng, X., Zhou, S., & Zhu, M. (2020), ‘Thermo-mechanical analysis on thermoelectric legs arrangement of thermoelectric modules’, *Renewable Energy*, vol. 147, pp. 2272–2278.
8. Patel, V.R., & Patel, M C. (2020), ‘Automobile Waste Heat Recovery System Using Thermoelectric Generator’, *Journal of Science and Technology*, vol. 5(3), pp. 58–61.
9. Rana, S., Orr, B., Iqbal, A., Ding, L. C., Akbarzadeh, A., & Date, A. (2017), ‘Modelling and Optimization of Low-temperature Waste Heat Thermoelectric Generator System’, *Energy Procedia*, vol. 110, pp. 196–201.

Сведения об авторах

Хабиров Фидан Фазитович, аспирант кафедры «Электрические машины и электрооборудование», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия, <http://orcid.org/0009-0009-4209-8302>, SPIN-код: 3549-0736, Researcher ID: JWO-4606-2024; fidan.20@mail.ru.

Вохмин Вячеслав Сергеевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Электрические машины и электрооборудование», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Башкирский государственный аграрный университет», Уфа, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-6352-494X>, SPIN-код: 5712-3751, Scopus author ID: 57211242362, Researcher ID: F-6373-2018; v_vohmin@mail.ru.

Information about the authors

Fidan F. Khabirov, postgraduate student of the Department of Electrical Machines and Electrical Equipment, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia <http://orcid.org/0009-0009-4209-8302>, SPIN-code: 3549-0736, Researcher ID: JWO-4606-2024; fidan.20@mail.ru.

Vyacheslav S. Vokhmin, Cand. Sci. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electrical Machines and Electrical Equipment, Bashkir State Agrarian University, Ufa, Russia, <http://orcid.org/0000-0002-6352-494X>, SPIN-code: 5712-3751, Scopus author ID: 57211242362, Researcher ID: F-6373-2018; v_vohmin@mail.ru.

Авторский вклад. Все авторы настоящего исследования принимали непосредственное участие в планировании, выполнении и анализе данного исследования. Все авторы настоящей статьи ознакомились и одобрили представленный окончательный вариант.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Author's contribution. All authors of this research paper have directly participated in the planning, execution, or analysis of this study. All authors of this paper have read and approved the final version submitted.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 15.01.2024; одобрена после рецензирования 10.03.2024; принята к публикации 15.03.2024.

The article was submitted 15.01.2024; approved after reviewing 10.03.2024; accepted for publication 15.03.2024.

Требования к научным статьям, публикуемым в журнале «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета»

Уважаемые коллеги!

Санкт-Петербургским государственным аграрным университетом издается журнал «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета». С 2007 года журнал включен в утвержденный ВАК Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, выпускаемых в РФ, где публикуются основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени доктора или кандидата наук, а также в базу данных международной информационной системы AGRIS, в библиографическую базу данных – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ) и размещается на официальном сайте ФГБОУ ВО СПбГАУ. Подписной индекс – ВН 017771. Статьям присваивается DOI (цифровой идентификатор объекта). В журнале публикуются статьи по следующим группам специальностей:

- 4.1. Агрономия, лесное и водное хозяйство: 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство; 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология; 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений; 4.1.4. Садоводство, овощеводство, виноградарство и лекарственные культуры;
- 4.2. Зоотехния и ветеринария: 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства; 4.2.5. Разведение, селекция, генетика и биотехнология животных;
- 4.3. Агроинженерия и пищевые технологии: 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса; 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса.

Основные требования к статьям, предоставляемым для публикации в журнале:

1. Статья должна соответствовать основным научным направлениям журнала, а также содержать результаты научных исследований, теоретические, практические (инновационные) разработки, готовые для использования и являющиеся актуальными на современном этапе научного развития.
2. Размер текста статьи должен составлять 7-10 страниц на листах А4, шрифт Times New Roman, шрифт 14, межстрочный интервал – 1,5.

3. В редакцию необходимо предоставить следующие материалы:

- **текст статьи** на русском языке в бумажной версии (для сторонних авторов — в электронной; формат файла: doc, docx; на эл.почту izvestiya@spbgau.ru) согласно требованиям к структуре и содержанию статьи с обязательным указанием контактных телефонов авторов;
- **реферат (200–250 слов)** на русском и английском языках; **ключевые слова (не более 7 слов)** на русском и английском языках; **информацию об авторе** (авторах) статьи на русском и английском языках (электронная почта, место работы, адрес места работы).

Правила оформления статьи:

- номер УДК (12 шрифт светлый);
- ученая степень, (шрифт 12 строчный), **и.о. фамилия** (шрифт 12 жирный строчный);
- место работы (шрифт 12 строчный), e-mail (шрифт 12 строчный);
- **название статьи** (шрифт 14 жирный прописной);
- основной текст (шрифт 14 строчный);
- список источников литературы, **References** (шрифт 12 строчный жирный, разрезанный).

Текст статьи необходимо структурировать, используя подзаголовки соответствующих разделов: **введение; цель исследования; материалы, методы и объекты исследования; результаты исследования; выводы** (отмечать подзаголовки жирным шрифтом), список источников литературы.

Список литературы: не менее 10 источников, включая иностранные. Приводится на русском и английском языках – **References, стандарт «Harvard»**. Литература должна быть оформлена в соответствии с ГОСТ Р 7.0.100-2018. Список составляется в соответствии с последовательностью ссылок в тексте (в порядке цитирования). Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например [1].

4. Поступившие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование и проверяются на заимствования в программе «Антиплагиат».

Редакция оставляет за собой право на воспроизведение поданных авторами материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража экземпляров.

Подробная информация о журнале «Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета» на сайте <http://spbgau.ru/izvestiya>.

Научное издание

ИЗВЕСТИЯ
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКОГО
ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО
УНИВЕРСИТЕТА

Рецензируемый научный журнал
4 номера в год
№ 1 (75)

Литературное редактирование: М.А. Еремина, М.Ю. Раззак
Верстка: М.А. Еремина

Подписано к печати 30.03.2024
Формат 60×84 1/8. П.л. 15. Тираж 1000. Заказ
Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных оригиналов
в Издательско-полиграфическом комплексе
Санкт-Петербургского государственного аграрного университета
г. Пушкин, Петербургское шоссе, д. 2