



Инновации в АПК: ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ



№4 (44) 2024

**Инновации в АПК:
проблемы и перспективы**

Теоретический и научно-
практический журнал

**Выпуск 4 (44)
2024 г.**

Учредитель:

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

Издаётся с 2013 года

Выходит один раз в квартал

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

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

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

ISSN – 2311–9535

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

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

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

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

© Федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего
образования «Белгородский
государственный аграрный университет
имени В.Я. Горина», 2024

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

Члены редакционной коллегии:

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

НАУЧНО-РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

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

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

Члены научно-редакционного совета:

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

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

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки)
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки)
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки)
- 4.3.2. Электротехнологии, электрооборудование и энергоснабжение агропромышленного комплекса (технические науки)
- 5.2.3. Региональная и отраслевая экономика (экономические науки)
- 5.2.4. Финансы (экономические науки)

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

Отпечатано в ООО Издательско-полиграфический центр «ПОЛИТЕРРА»

Подписано в печать 20.12.2024 г., дата выхода в свет 16.01.2025 г.

Усл. п.л. 37. Тираж 1000 экз. Заказ № 2064. Свободная цена.

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

Тел. +7 910 360-14-99

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

Innovations in Agricultural Complex: problems and perspectives

Theoretical, research and practice
journal

Release 4 (44)
2024

Founder:

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

Published since 2013

Issued once per quarter

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

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

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

ISSN – 2311-9535

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

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

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

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

© Federal State Budgetary Educational
Institution of Higher Education
«Belgorod State Agricultural University named
after V. Gorin», 2024

EDITORIAL STAFF

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

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

Members of Editorial Staff:

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

EDITORIAL BOARD

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

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

Members of Editorial Board:

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

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

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

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

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

Signed for publication 20.12.2024, date of publication 16.01.2025.

Conventional printed sheet 37. Circulation 1000 copies.

Order № 2064. Free price.

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

e-mail: polyterra@mail.ru, official website: www/polyterra.ru

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

<i>А.К. Анапжеев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, В.Б. Дзуганов, Т.Х. Пазова, А.Г. Фиапиев</i> ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН.....	5
<i>М.Н. Ерохин, Е.П. Тимашов</i> МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ НОВЫХ УЗЛОВ ТРАНСМИССИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ РЕГРЕССИОННОГО И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА.....	12
<i>О.В. Китаёва, В.Ф. Ужик, Ю.С. Бабешко</i> МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПУЛЬСАТОРА ДООЙЛЬНОГО АППАРАТА.....	18
<i>И.Н. Кравченко, А.Ю. Башко, Ю.А. Кузнецов</i> ФОРМИРОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ.....	26
<i>А.Т. Лебедев, А.А. Серегин, П.А. Лебедев, Б.А. Анзрыков, О.А. Абушинов</i> ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ СЕМЯН КОХИИ ПРОСТЕРТОЙ.....	34
<i>А.В. Мачкарин, А.В. Рыжков</i> АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА ПРИ ВНУТРИПОЧВЕННОМ ВНЕСЕНИИ.....	41
<i>А.Г. Пастухов, С.П. Казанцев, Д.Н. Бахарев</i> КОМПЛЕКСНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ КАРДАННЫХ ШАРНИРОВ.....	52
<i>А.В. Рыжков, А.В. Мачкарин</i> АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА РАБОТЫ МУЛЬЧИРОВЩИКА С НОЖЕВЫМИ ДИСКАМИ.....	59
<i>О.А. Чехунов, В.В. Воронин, Г.С. Чехунова, К.В. Казаков</i> РОБОТИЗИРОВАННЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОРМОВЫХ СТОЛОВ И ПОДКОРМА СКОТА.....	67

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

<i>В.И. Желтухина, Е.Ю. Колесниченко, А.В. Акинчин</i> ВЛИЯНИЕ НИТРАТА СВИНЦА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ТЮЛЬПАНОВ.....	78
<i>О.С. Кузьмина, П.А. Свилогузова</i> ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВЫХ ПОДКОРМОК НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ.....	85
<i>Д.И. Панарин, С.И. Смуров, А.Г. Ступаков, М.А. Куликова</i> ФОРМИРОВАНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМА ТИПИЧНОГО НА ПОСЕВАХ ПОДСОЛНЕЧНИКА ПОД ВЛИЯНИЕМ УДОБРЕНИЙ В ЗВЕНЕ СЕВООБОРОТА.....	89
<i>Е.В. Сумина, О.Ю. Артемова, С.В. Белецкий</i> ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ И ЭФИРОМАСЛИЧНОСТИ СЫРЬЯ ШАЛФЕЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ УДОБРЕНИЕМ «БИОГОР».....	97

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АПК И СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛА

<i>В.Л. Аничин, Е.В. Мальцева</i> СОСТОЯНИЕ ТРИАДЫ «ОПЛАТА ТРУДА - ТЕКУЧЕСТЬ КАДРОВ - РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ» КАК УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ.....	101
<i>А.Ф. Дорофеев, Д.А. Масальтина</i> ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В АГРАРНОЙ СФЕРЕ НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ.....	107
<i>О.И. Золотарёва, С.Н. Золотарёв, А.Н. Простенко</i> ВЛИЯНИЕ ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ НА ФИНАНСОВУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ.....	113
<i>Ю.А. Китаёв, В.Н. Бочарникова</i> ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РЕГИОНЕ.....	118
<i>Д.П. Кравченко, О.С. Акупиан, Н.В. Бобрышёва</i> ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА.....	124
<i>А.Л. Маркова, Н.В. Леонова</i> РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛА АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ.....	138
Руководство для авторов.....	143

CONTENTS

AGRICULTURAL ENGINEERING AND ENERGY EFFICIENCY

<i>A.K. Apazhev, Yu.A. Shekikhachev, L.M. Khazhmetov, V.B. Dzuganov, T.Kh. Pazova, A.G. Fiapshev</i> STUDY OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF TRANSPORTING WORKING ORGANS ON SEED INJURY.....	5
<i>M.N. Erokhin, E.P. Timashov</i> METHOD OF OPTIMIZING THE DESIGN OF NEW TRANSMISSION UNITS BASED ON A COMBINATION OF REGRESSION AND FINITE ELEMENT ANALYSIS.....	12
<i>O.V. Kitaeva, V.F. Uzhik, Yu.S. Babeshko</i> MATHEMATICAL MODELING OF THE WORKING PROCESS OF ELECTROMECHANICAL PULSATOR OF MILKING MACHINE.....	18
<i>I.N. Kravchenko, A.Yu. Bashko, Yu.A. Kuznetsov</i> FORMATION OF THE REGULATORY-LEGISLATIVE AND ECONOMIC FRAMEWORK FOR THE DISPOSAL OF AGRICULTURAL MACHINERY.....	26
<i>A.T. Lebedev, A.A. Seregin, P.A. Lebedev, B.A. Angrykov, O.A. Abushinov</i> PATTERNS OF CHANGES IN THE BULK DENSITY OF THE SEEDS OF KOCHIA PROSTRATE.....	34
<i>A.V. Machkarin, A.V. Ryzhkov</i> ANALYTICAL STUDIES OF THE PROCESS OF MIXING LIQUID MANURE DURING INTRASOIL APPLICATION.....	41
<i>A.G. Pastukhov, S.P. Kazantsev, D.N. Bakharev</i> COMPREHENSIVE ANALYTICAL EVALUATION OF OPERABILITY OF BEARING UNITS OF CARDAN JOINTS.....	52
<i>A.V. Ryzhkov, A.V. Machkarin</i> ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE PROCESS OF OPERATION OF A MULCHER WITH KNIFE DISCS.....	59
<i>O.A. Chekhunov, V.V. Voronin, G.S. Chekhunova, K.V. Kazakov</i> ROBOTIC UNIT FOR MAINTENANCE OF FEEDING TABLES AND LIVESTOCK FEEDING.....	67

INNOVATIVE TECHNOLOGIES IN AGRONOMY

<i>V.I. Zheltukhina, E.Yu. Kolesnichenko, A.V. Akinchin</i> THE EFFECT OF LEAD NITRATE ON THE MORPHOMETRIC PARAMETERS OF TULIP SEEDLINGS.....	78
<i>O.S. Kuzmina, P.A. Sviloguzova</i> INFLUENCE OF FOLIAR FEEDING ON THE YIELD AND QUALITY OF SPRING WHEAT.....	85
<i>D.I. Panarin, S.I. Smurov, A.G. Stupakov, M.A. Kulikova</i> FORMATION OF AGROCHEMICAL AND PHYSICOCHEMICAL PROPERTIES OF TYPICAL CHERNOZEM ON SUNFLOWER CROPS UNDER THE INFLUENCE OF FERTILIZERS IN THE CROP ROTATION LINK.....	89
<i>E.V. Sumina, O.Yu. Artemova, S.V. Beletsky</i> ASSESSMENT OF THE PRODUCTIVITY AND ESSENTIAL OIL CONTENT OF SAGE RAW MATERIALS DEPENDING ON FOLIAR FEEDING WITH MICROBIOLOGICAL FERTILIZER «BIOGOR».....	97

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

<i>V.L. Anichin, E.V. Maltseva</i> THE STATE OF THE TRIAD «REMUNERATION - STAFF TURNOVER - PROFITABILITY OF THE ENTERPRISE» AS A CONDITION FOR THE EFFECTIVENESS OF BUSINESS PROCESSES.....	101
<i>A.F. Dorofeev, D.A. Masalytina</i> TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL IN THE AGRICULTURAL SECTOR ON THE EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION.....	107
<i>O.I. Zolotareva, S.N. Zolotarev, A.N. Prostenko</i> THE IMPACT OF CASH FLOWS ON FINANCIAL SUSTAINABILITY OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE.....	113
<i>Yu.A. Kitaev, V.N. Bocharnikova</i> TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF PEASANT (FARM) HOLDINGS IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION.....	118
<i>D.P. Kravchenko, O.S. Akupiyanyan, N.V. Bobrysheva</i> OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF ACREAGE AS ONE OF THE DIRECTIONS OF INTENSIFICATION OF PRODUCTION.....	124
<i>A.L. Markova, N.V. Leonova</i> REALIZING THE POTENTIAL OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS.....	138
Guidelines for authors	143

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

УДК 631.362

А.К. Апажеев, Ю.А. Шекихачев, Л.М. Хажметов, В.Б. Дзуганов, Т.Х. Пазова, А.Г. Фианицев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТРАНСПОРТИРУЮЩИХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ТРАВМИРОВАНИЕ СЕМЯН

Аннотация. В статье приведены результаты исследования актуальной проблемы – травмирование семян при послеуборочной обработке семян зерновых культур. Исследования проведены с учетом того, что одним из наиболее опасных узлов скребкового транспортера в смысле травмирования семян является нижняя головка, где семена подвергаются динамическому воздействию со стороны скребка, движущегося со значительной скоростью. Цель исследования – установление влияния параметров транспортирующих рабочих органов скребкового транспортера на травмирование семян. Исследования базируются на методах физического и математического моделирования, сравнения. В качестве объекта исследования использован скребковый транспортер со шнековым питателем. Получены теоретические зависимости, позволяющие установить скорость любой точки скребка по высоте в момент удара по семени, абсолютную скорость и направление полета семени после удара, что позволило обосновать скорость цепи транспортера, при которой исключается повреждение семян от удара. Установлено, что на усилие, действующее на единичное семя в момент забрасывания его в канал транспортера, основное влияние оказывает скорость скребка. Это усилие прямо пропорционально весу семени, обратно пропорционально числу скребков и степени заполнения межскребкового пространства. Проведены расчеты для установления оптимального скоростного режима скребкового транспортера к зерноочистительному комплексу ЗАВ-20, в результате которых установлено, что опасность травмирования семян свободным ударом скребка возникает при скоростях цепи транспортера выше 1,9 м/с. Удары семян о стенки канала в дальнейшем не представляют опасности, так как удар происходит под малым углом 6...7°.

Ключевые слова: зерновые культуры, семена, послеуборочная обработка, зерноочистительный комплекс, транспортер, скребок, травмирование.

STUDY OF THE INFLUENCE OF PARAMETERS OF TRANSPORTING WORKING ORGANS ON SEED INJURY

Abstract. The article presents the results of a study of a current problem - seed injury during post-harvest processing of grain crops. The research was carried out taking into account the fact that one of the most dangerous components of the scraper conveyor in terms of injury to seeds is the lower head, where the seeds are subject to dynamic impact from the scraper moving at significant speed. The purpose of the study is to establish the influence of the parameters of the transporting working parts of the scraper conveyor on seed injury. Research is based on methods of physical and mathematical modeling and comparison. A scraper conveyor with a screw feeder was used as the object of study. Theoretical dependencies were obtained that make it possible to establish the speed of any point of the scraper in height at the moment of impact on the seed, the absolute speed and direction of flight of the seed after the impact, which made it possible to substantiate the speed of the conveyor chain, at which damage to the seeds from the impact is excluded. It has been established that the force acting on a single seed at the moment of throwing it into the conveyor channel is mainly influenced by the speed of the scraper. This force is directly proportional to the weight of the seed, inversely proportional to the number of scrapers and the degree of filling of the interscraper space. Calculations were carried out to establish the optimal speed regime of the scraper conveyor for the ZAV-20 grain cleaning complex, as a result of which it was established that the danger of injury to seeds from a free blow of the scraper occurs at conveyor chain speeds above 1.9 m/s. Impacts of seeds on the walls of the channel do not pose a danger in the future, since the impact occurs at a small angle 6...7°.

Keywords: grain crops, seeds, post-harvest processing, grain cleaning complex, conveyor, scraper, injury.

Введение. Основные ключевые направления государственной политики в сфере развития агропромышленного комплекса установлены Стратегией развития агропромышленного и рыбохозяйственного комплексов Российской Федерации на период до 2030 года, утвержденной распоряжением Правительства Российской Федерации от 8 сентября 2022 г. № 2567-р. (с изменениями на 23 ноября 2023 года). Решение продовольственного вопроса является основной задачей с учетом стабильного производства продукции растениеводства. При этом важное значение имеет повышение технического уровня механизации процессов послеуборочной обработки зерна, так как значительный вред зерновому хозяйству страны наносится повреждением семян зерновых культур.

Многочисленные группы сельскохозяйственных растений обладают разными агробиологическими и физико-механическими свойствами, которые оказывают существенное влияние на технологию уборки и обмолот (урожайность растительной массы и весовое отношение зерна к соломе, размещение растений и вегетативных органов в пространстве, связь плодов и семян с растением, влажность, размеры и прочность отдельных органов растений). Поэтому каждая группа растений классифицируется по агробиологическим и физико-механическим свойствам, что значительно облегчает разработку принципиально новых технологий и средств механизации. Наиболее полно классификация сельскохозяйственных растений по различным признакам, в том числе влияющим на травмирование зерна (семян, бобов) в процессе их уборки, транспортирования и послеуборочной обработки отражена в [1, 2].

Среди многих анатомо-морфологических показателей каждой определенной культуры важнейшее место занимает такой показатель, как связь семян с растением. Развитие полевых культур завершается созреванием плодов и семян, называемых в производственной деятельности просто зерном. На технологию уборки и послеуборочной обработки оказывают влияние в еще большей степени, чем строение плодов и семян, органы (соцветия), на которых они удерживаются на растениях. Эти органы у растений масличных культур и кукурузы значительно отличны от зерновых, что усложняет процесс отделения зерен и бобов во время уборки урожая.

У подсолнечника соцветие – корзинка в виде плоского, выпуклого или вогнутого диска диаметром от 10 до 20 см, в котором удерживается плод-семянка сжато-яйцевидной формы.

У клещевины соцветие – кисть, на которой закреплен плод – трехгнездная шаровидная или удлинённая коробочка, содержащая по одному семени в каждом гнезде.

Арахис – кустовое растение, на котором в нижней подземной части закреплены плоды в виде нерастрескивающихся бобов коконообразной формы с толстой сетчатой кожурой, содержащей чаще 3...5 семян удлинённо-овальной или округлой формы.

У кукурузы – початок, состоящий из стержня, на котором попарно размещаются ряды зерновок. В отличие от других зерновых культур зерна кукурузы очень плотно сидят в початке, никогда не осыпаются и требуют для своего отделения от початка значительных усилий. Среднее усилие, затрачиваемое на отрывание от стержня одиночного зерна с влажностью 22...23 % при приложении силы в радиальном направлении, составляет 2,1 кгс, по касательной к окружности початка – 0,6 кгс, вдоль образующей початка – 1,3 кгс. Особенностью уборки кукурузы является и то, что прежде, чем вымолотить зерно из початка, початок необходимо отделить от стебля, с которым он связан плодоножкой.

Усилие разрыва плодоножки зависит от степени спелости кукурузы и уменьшается с уменьшением влажности. Таким образом, даже предварительное отделение семян подсолнечника, клещевины, арахиса и початков от растений связано с разрушением связей, и поэтому требует внимательного отношения и учета необходимых усилий в каждом случае. Неравномерность созревания и влажность в период уборки подсолнечника и клещевины вызывает необходимость подсушивания этих растений на корню (десикация).

Задачей послеуборочной обработки семян является подготовка их к длительному хранению, реализации и использованию.

Технологический процесс послеуборочной обработки семян предусматривает следующие операции: прием урожая; предварительная очистка и сушка; окончательная очистка и сортировка; затаривание; складирование; протравливание; отпуск готовых семян. Вспомогательные работы: уборка токов, помещений; очистка машин; транспортировка отходов и т.п.

В наибольшей степени семена повреждаются в разной степени и дробятся при перемещении их шнеками и скребковыми транспортерами зерноуборочных комплексов. Особенно сильно повреждаются семена в зазоре между шнеком и кожухом, а также в приемной и выгрузочной частях при несоответствии параметров физико-механическим свойствам семян.

Фаза спелости при уборке и характер нагрузки на початок необходимо учитывать при выборе параметров рабочих органов уборочных, транспортирующих и обрабатывающих машин [3]. Это позволит избежать невозвратимых потерь от обруша початков во время уборки и очистки от обертков, а также значительно снизить травмирование зерна при транспортировании и обмолоте початков.

Важнейшим свойством, характеризующим стойкость початков и зерна к механическим воздействиям, является прочность зерна. По мере созревания зерна происходит упрочение тканей и показатели деформаций увеличиваются [4-7].

Изменение прочности зерна по фазам спелости обнаружено не только при испытании статическими нагрузками, но и динамическими. Допустимая скорость свободного удара зерна жесткой лопастью составляет 7 м/с для зерна пятой фазы; около 15 м/с – четвертой и до 20 м/с – третьей фазы спелости. Такая закономерность, при которой чем спелее зерно, тем меньшую ударную нагрузку оно способно выдержать, объясняется пластическими свойствами, которые постепенно утрачиваются с потерей влаги созревающим зерном.

Важным показателем транспортирующих рабочих органов является степень повреждения ими семян в процессе перемещения. Этот показатель приобретает особую роль при выборе транспортеров для таких легкоповреждаемых семян, как клещевина и арахис. С точки зрения повреждаемости семян, ленточный и вибрационный транспортеры имеют некоторые преимущества перед остальными, но такие недостатки их, как большие размеры и вес, малый допустимый угол подъема груза (8...16 °) и незначительная производительность при транспортировании семян вверх по наклону, исключают применение их в качестве рабочих органов уборочных, зерноочистительных, погрузочных и других машин.

На основании сравнительного анализа различных конструкций транспортирующих рабочих органов, учитывая конструкции существующих уборочных машин и данные литературы о повреждаемости семян различными транспортерами, можно заключить, что для транспортирования семян клещевины, арахиса, подсолнечника и кукурузы наиболее целесообразно использовать шнековые, скребковые и пневматические транспортеры [8-12].

Одним из наиболее опасных узлов скребкового транспортера в смысле травмирования семян является нижняя головка, где семена подвергаются динамическому воздействию со стороны скребка, движущегося со значительной скоростью, что подтверждает актуальность исследования.

Цель исследования – установление влияния параметров транспортирующих рабочих органов скребкового транспортера на травмирование семян.

Материалы и методы. Исследования базируются на методах физического и математического моделирования, сравнения. В качестве объекта исследования использован скребковый транспортер со шнековым питателем.

Результаты исследования. Для определения факторов, влияющих на величину ударной нагрузки, получаемой отдельным семенем, а также установления характера его перемещения в канале после удара скребка, рассмотрим процесс транспортирования семян скребковым транспортером со шнековым питателем.

Семена подаются шнеком со скоростью V_0 , а скребок, в свою очередь, сообщает семенам скорость V , направленную вдоль канала, перпендикулярно направлению подачи. В результате семена получают абсолютную скорость V_a :

$$V_a = \sqrt{V_0^2 + V^2}, \quad (1)$$

в направлении, определенном углом

$$\delta = \arctg \frac{V_0}{V}. \quad (2)$$

Значение скорости V можно установить по выражению:

$$V = \frac{nS}{60} \left[\frac{1}{2} + \frac{\sin 2\alpha_2 - \sin 2\alpha_1}{4(\alpha_2 - \alpha_1)} + f_b \frac{\cos 2\alpha_2 - \cos 2\alpha_1}{4(\alpha_2 - \alpha_1)} \right], \quad (3)$$

где n – число оборотов в минуту шнека, об/мин; S – шаг винтовой линии, м; α_1 и α_2 – угол подъема винтовой линии, соответственно, по наружному и внутреннему диаметру, град; f_b – коэффициент трения материала о винтовую поверхность шнека.

Нетрудно заметить, что выражение в квадратных скобках формулы (3) для конкретного материала и шнека имеет постоянную величину. Обозначим его через « A », тогда получим выражение:

$$V_0 = \frac{nSA}{60}. \quad (4)$$

Скорость скребка в момент удара по семени :

$$V = \frac{2\pi Rn}{60}, \quad R = \frac{D}{2} + h, \quad (5)$$

где D – диаметр начальной окружности звездочки, м; h – высота скребка, м; n – число оборотов вала транспортера в минуту.

Подставив значения V_0 и V в выражения (1) и (2) и выполнив простые преобразования, получим:

$$V_a = \frac{n}{60} \sqrt{(SA)^2 + (2\pi R)^2}; \quad (6)$$

$$\delta = \operatorname{arctg} \frac{SA_0}{2\pi R}. \quad (7)$$

На основании формул (6), (7) можно установить скорость любой точки скребка по высоте в момент удара по семени, абсолютную скорость и направление полета семени после удара, что позволяет обосновать скорость цепи транспортера, при которой исключается повреждение семян от удара.

Для определения усилия воздействия скребка на семена воспользуемся теоремой равенства импульса силы приращению количества движения, имея в виду, что скорость семенам сообщается за очень короткий промежуток времени:

$$P\Delta\tau = mV - mV_n, \quad (8)$$

где P – сила, возникающая в период изменения скорости семян от V_n до V , Н; $\Delta\tau$ – промежуток времени, в течение которого скорость перемещения груза изменилась от V_n до V , с; m – масса семян, перемещаемых одним скребком, кг.

Составляющую начальной скорости семени вдоль канала можно принять равной нулю, а конечной – скорости скребка. Тогда из уравнения (8):

$$P = \frac{mV}{\Delta\tau}. \quad (9)$$

Промежуток времени $\Delta\tau$ определим, предполагая, что груз расположен на некоторой части шага скребков, зависящей от величины заполнения межскребкового пространства:

$$\Delta\tau = \frac{tK_V\psi}{V}, \quad (10)$$

где t – шаг расположения скребков, м; ψ и K_V – коэффициенты, характеризующие степень заполнения межскребкового пространства.

Подставив значение $\Delta\tau$ в формулу (9) и заменив массу через вес семян, получим:

$$P = \frac{mV^2}{t\psi K_V} = \frac{GV^2}{gt\psi K_V}. \quad (11)$$

Число семян, на которые одновременно воздействует скребок, определим следующим образом. Будем считать, что скребок воздействует одновременно по всей ширине « b » на « c » семян, вес которых

$$q_0 = q_1 c, \quad (12)$$

где q_1 – вес одной семянки, кг.

За одну секунду мимо заборной части пройдет скребков:

$$z_1 = \frac{V_{\text{Ц}}}{t}, \quad (13)$$

где $V_{\text{Ц}}$ – скорость цепи, м/сек; t – шаг скребков, м.

Вес семян, транспортируемых скребками за 1 секунду:

$$q_2 = qz_1 = q_1 c \frac{V_{\text{Ц}}}{t}. \quad (14)$$

С другой стороны секундная подача семян шнеком:

$$q = \frac{\pi(D^2 - d^2)\psi_{\text{Ш}}}{4} V_0 \gamma, \quad (15)$$

где $\psi_{\text{Ш}}$ – коэффициент заполнения кожуха шнека; D – наружный диаметр шнека, м; d – диаметр вала шнека, м; γ – объемный вес материала, кг/м³.

Из двух последних выражений можно найти « c »:

$$c = \frac{qt}{q_1 V_{\text{Ц}}}. \quad (16)$$

Сила воздействия на одну семянку: $P' = \frac{P}{c}$ или

$$P' = \frac{GV^3 q_1}{gKt^2 K_V q}, \quad (17)$$

где $K = R/R_0$ – коэффициент, показывающий отношение радиуса точки соприкосновения скребка с семенами к радиусу начальной окружности звездочки, при этом

$$R = \frac{D}{2} + h; \quad R_0 = \frac{D_0}{2}, \quad (18)$$

где D_0 – диаметр начальной окружности звездочки, м.

Вес семян, перемещаемых одним скребком, можно выразить через производительность транспортера:

$$G = \frac{Qt}{3,6V_{\text{Ц}}}, \quad (19)$$

где Q – производительность транспортера, т/ч; $V_{\text{Ц}} = V/K$ – скорость цепи транспортера, м/с.

В формуле (16) $Q/3,6 = q$ – производительность в кг/с, поэтому имеем:

$$G = q \frac{tK}{V}. \quad (20)$$

Подставив значение G в формулу (15), получим:

$$P' = \frac{V^2 q_1}{gt\psi K_V}. \quad (21)$$

Из полученного выражения можно заключить, что на усилие, действующее на единичное семя в момент забрасывания его в канал транспортера, основное влияние оказывает скорость скребка. Это усилие прямо пропорционально весу семени, обратно пропорционально числу скребков и степени заполнения межскребкового пространства.

По полученным выражениям (19) - (21) проведены расчеты для установления оптимального скоростного режима скребкового транспортера к зерноочистительному комплексу ЗАВ-20 и определения силы, действующей на семя в момент захвата скребком.

Конструктивные параметры транспортера:

а) питающий шнек: $D=0,16$ м; $S=0,16$ мм; $\alpha_1 = 17^{\circ}40'$; $\alpha_2 = 59^{\circ}30'$;

б) скребковый транспортер: $D_0=0,10$ м; $h=0,055$ м; $t=0,304$ м; $\psi = 0,4$; $K_V = 0,9$; $K = 2,1$.

Характеристика материала: динамический коэффициент трения по железу: для семян клешевины – 0,32; бобов арахиса – 0,19; семян подсолнечника – 0,20.

В результате расчетов получены следующие зависимости:

$$A = 0,619 - 0,393 f_b; \tag{22}$$

$$V_0 = 0,00226 An, \tag{23}$$

$$V = 0,11n, \tag{24}$$

$$\delta = \arctg A \tag{25}$$

По этим зависимостям найдены параметры скребкового транспортера, соответствующие свойствам различных семян масличных культур (табл.1).

Таблица 1 – Некоторые параметры скребкового транспортера, соответствующие свойствам различных семян масличных культур

	Клешевина	Арахис	Подсолнечник
A	0,486	0,537	0,533
δ	$7^{\circ}25'$	$7^{\circ}22'$	$7^{\circ}22'$
V_0	$0,00129n$	$0,00143n$	$0,00142n$
V	$0,011n$	-	-

Линейная скорость наружной кромки скребка в момент захвата семян при различных скоростях цепи и питательного шнека приведены в таблице 2.

Из таблицы 2 видно, что осевая скорость материала незначительна по сравнению с линейной скоростью скребка и не оказывает существенного влияния на величину абсолютной скорости полета семени.

Таблица 2 – Скорость скребка и осевая скорость подачи материала в зависимости от числа оборотов в минуту питательного шнека

Число оборотов питающего шнека N , об/мин	Скорость цепи транспортера $V_{Ц}$, м/с	Скорость скребка V , м/с	Осевая скорость перемещения материала шнеком V_0 , м/с
60	0,37	0,78	0,077
145	0,76	1,60	0,187
265	1,37	2,88	0,342
363	1,94	4,00	0,468
445	2,32	4,90	0,574
600	3,15	6,6	0,775

Подставив значения конструктивных и кинематических параметров транспортера лабораторной установки в формулу (21) и с учетом физико-механических свойств семян, получаем:

$$P' = 0,000283 V^2 \text{ кг при } q_1 = 0,03 \text{ г;}$$

$$P' = 0,00808 q_1 \text{ кг при } V = 2,94 \text{ (} V_{Ц} = 1,4 \text{) м/сек.}$$

Выводы. В результате проведенных исследований установлено, что:

- 1) опасность травмирования семян свободным ударом скребка возникает при скоростях цепи транспортера выше 1,9 м/с;
- 2) удары семян о стенки канала в дальнейшем не представляют опасности, так как удар происходит под углом $6...7^{\circ}$;
- 3) увеличение скорости скребка значительно повышает усилие, приходящееся на одно семя, особенно при скоростях выше 1 м/с.

Библиография

1. Пехальский И.А. Универсальная классификация травматических повреждений внутренних структур семян сельскохозяйственных культур // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 6. С. 9–13.

2. Скворцова Ю.Г., Ионова Е.В. Влияние травмирования семян озимой пшеницы на их посевные качества // Аграрный вестник Урала. 2015. № 11(141). С. 16–19.
3. Калошина З.М. Всхожесть семян ржи в зависимости от степени повреждения их покровов // Докл. ТСХА. Вып. 1968. С. 14–17.
4. Бутенко А.Ф., Асатуриян А.В., Чепцов С.М. Исследование прочностных свойств семян зерновых и стеблей сахарного сорго // Вопросы образования и науки: теоретический и методический аспекты : Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции, ч. 1. Тамбов, 2014. С. 18–22.
5. Кузнецов В.В., Манойлина С.З. Предельное силовое воздействие на зерновку при послеуборочной обработке // Тракторы и сельхозмашины. 2008. № 7. С. 45.
6. Кузнецов В.В., Манойлина С.З., Винников А.Н. Рекомендации по прогнозированию и снижению травмирования семян при послеуборочной обработке. Воронеж : ФГОУ ВПО ВГАУ, 2010. 11 с.
7. Бутенко А.Ф., Асатуриян А.В., Чепцов С.М. Исследование прочностных свойств семян зерновых и стеблей сахарного сорго // Материал Международной научно-практической конференции. Тамбов, 2014. С. 18–22.
8. Тарасенко А.П. Снижения травмирования семян при уборке и послеуборочной обработке. Воронеж, 2003. 331 с.
9. Кузнецов В.В. Степень повреждения семян при послеуборочной обработке на зерноочистительных машинах // Селекция и семеноводство. 1978. № 6. С. 70–71.
10. Московский М.Н. Интенсификация процесса сепарации семян зерновых в зерноочистительных агрегатах : дис канд. техн. наук : 05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства. Ростов н/Д : ДГТУ, 2005. 218 с.
11. Paulsen M.R., Nave W.R. Corn damage from conventional and rotary combines // Transactions of the ASABE. 1980. 23(5). 1100–1116. doi: 10.13031/2013.34729.
12. Wang Y.J., Chung D.S., Spillman C.K., Eckhoff S.R., Rhee C., Converse H.H. Evaluation of laboratory grain cleaning and separating equipment // Transactions of the ASABE. 1994. 37(2). 507–513. doi: 10.13031/2013.28105.

References

1. Pekhalskiy I.A. Universalnaya klassifikatsiya travmaticheskikh povrezhdeniy vnutrennikh struktur semyan sel'skokhozyaystvennykh kultur [Universal classification of traumatic damage to internal structures of seeds of agricultural crops] // Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii. 2015. № 6. S. 9–13.
2. Skvortsova Yu.G., Ionova Ye.V. Vliyaniye travmirovaniya semyan ozimoy pshenitsy na ikh posevnyye kachestva [Effect of injury to winter wheat seeds on their sowing qualities] // Agrarnyy vestnik Urala. 2015. № 11(141). S. 16–19.
3. Kaloshina Z.M. Vskhozhest semyan rzhi v zavisimosti ot stepeni povrezhdeniya ikh pokrovov [Germination of rye seeds depending on the degree of damage to their covers] // Dokl. TSKhA. Vyp. 1968. S. 14–17.
4. Butenko A.F., Asaturyan A.V., Cheptsov S.M. Issledovanie prochnostnykh svoystv semyan zernovykh i stebly sakharnogo sorgo [Study of the strength properties of grain seeds and sugar sorghum stems] // Voprosy obrazovaniya i nauki: teoreticheskiy i metodicheskiy aspekty : Sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, ch. 1. Tambov, 2014. S. 18–22.
5. Kuznetsov V.V., Manoylina S.Z. Predelnoe silovoe vozdeystvie na zernovku pri posleuborochnoy obrabotke [Limit force impact on the grain during post-harvest processing] // Traktory i sel'khoz mashiny. 2008. № 7. S. 45.
6. Kuznetsov V.V., Manoylina S.Z., Vinnikov A.N. Rekomendatsii po prognozirovaniyu i snizheniyu travmirovaniya semyan pri posleuborochnoy obrabotke [Recommendations for predicting and reducing seed injury during post-harvest processing]. Voronezh : FGOU VPO VGAU, 2010. 11 s.
7. Butenko A.F., Asaturyan A.V., Cheptsov S.M. Issledovanie prochnostnykh svoystv semyan zernovykh i stebly sakharnogo sorgo [Study of the strength properties of grain seeds and sugar sorghum stems] // Material Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii. Tambov, 2014. S. 18–22.
8. Tarasenko A.P. Snizheniya travmirovaniya semyan pri uborke i posleuborochnoy obrabotke [Reducing seed injury during harvesting and post-harvest processing]. Voronezh, 2003. 331 s.
9. Kuznetsov V.V. Stepen povrezhdeniya semyan pri posleuborochnoy obrabotke na zernoochistitelnykh mashinakh [The degree of seed damage during post-harvest processing on grain cleaning machines] // Seleksiya i semenovodstvo. 1978. № 6. S. 70–71.
10. Moskovskiy M.N. Intensifikatsiya protsesssa separatsii semyan zernovykh v zernoochistitelnykh agregatakh [Intensification of the process of separation of grain seeds in grain cleaning units]: dis kand. tekhn. nauk: 05.20.01 – Tekhnologii i sredstva mekhanizatsii sel'skogo khozyaystva. Rostov n/D : DGTU, 2005. 218 s.
11. Paulsen M.R., Nave W.R. Corn damage from conventional and rotary combines // Transactions of the ASABE. 1980. 23(5). 1100–1116. doi: 10.13031/2013.34729.
12. Wang Y.J., Chung D.S., Spillman C.K., Eckhoff S.R., Rhee C., Converse H.H. Evaluation of laboratory grain cleaning and separating equipment // Transactions of the ASABE. 1994. 37(2). 507–513. doi: 10.13031/2013.28105.

Сведения об авторах

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

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

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

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

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

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

Information about authors

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

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

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

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

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

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

УДК 621.825.6-192

М.Н. Ерохин, Е.П. Тимашиов

МЕТОДИКА ОПТИМИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИИ НОВЫХ УЗЛОВ ТРАНСМИССИИ НА ОСНОВЕ КОМБИНАЦИИ РЕГРЕССИОННОГО И КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОГО АНАЛИЗА

Аннотация. Предложена и обоснована методика оптимизации узлов механических трансмиссий транспортных и технологических машин. Цель исследования – разработка и обоснование методики проектирования новых узлов трансмиссии на основе одновременного применения регрессионного и конечно-элементного анализа. Разработана комбинированная методика проектирования новых узлов трансмиссии, включающая оценку прочностных характеристик конечно-элементной модели серийного изделия и нового изделия. В случае, если прочностные характеристики нового изделия уступают аналогичным характеристикам серийного, то по картам напряжений выявляют критические конструктивные элементы – факторы для последующей оптимизации методом регрессионного анализа. Далее выполняют операции конечно-элементного анализа в соответствии с разработанной матрицей и получают регрессионную модель, по которой и определяют оптимальные величины искомых факторов. Разработана конструкция модернизированного карданного шарнира на основе реализации принципа унификации изделий. Апробация методики на конструкции унифицированной вилки модернизированного карданного шарнира в положении VII типоразмера показала необходимость, а в положении VI типоразмера возможность реализации ремонтпригодной конструкции для извлечения крестовины без нарушения сопряжения ее подшипниковых узлов. Приведены результаты исследования напряженно-деформированного состояния средствами САПР. Обоснована конструкция модернизированного карданного шарнира. В результате применения методики получена регрессионная модель, поиск экстремума которой позволил установить рациональные значения оптимизируемых параметров $X_1=20$ мм и $X_2=50$ мм. При этом максимальные напряжения составят 189 МПа, что на 36 % меньше, чем у серийной детали.

Ключевые слова: надежность, ремонтпригодность, система автоматизированного проектирования, трансмиссия, унификация.

METHOD OF OPTIMIZING THE DESIGN OF NEW TRANSMISSION UNITS BASED ON A COMBINATION OF REGRESSION AND FINITE ELEMENT ANALYSIS

Abstract. Proposes and substantiates a methodology for optimizing mechanical transmission units of transport and technological machines. The purpose of the study is to develop and substantiate a methodology for designing new transmission units based on the simultaneous use of regression and finite element analysis. A combined methodology for designing new transmission units has been developed, including an assessment of the strength characteristics of the finite element model of a serial product and a new product. If the strength characteristics of the new product are inferior to similar characteristics of the serial product, then critical design elements are identified based on stress maps - factors for subsequent optimization by the regression analysis method. Then, finite element analysis operations are performed in accordance with the developed matrix and a regression model is obtained, according to which the optimal values of the sought factors are determined. The design of a modernized cardan joint has been developed based on the implementation of the principle of product unification. Testing of the method on the design of a unified fork of a modernized universal joint in position VII of standard size showed the necessity, and in position VI of standard size the possibility of implementing a repairable design for extracting the crosspiece without disrupting the mating of its bearing assemblies. The results of a study of the stress-strain state by CAD tools are presented. The design of the modernized cardan joint is substantiated. As a result of the application of the method, a regression model was obtained, the search for the extremum of which allowed us to establish rational values of the optimized parameters $X_1=20$ mm and $X_2=50$ mm. In this case, the maximum stresses will be 189 MPa, which is 36 % less than that of a serial part.

Keywords: reliability, maintainability, computer-aided design system, transmission, unification.

Введение. Одной из задач Федеральной научно-технической программы развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы является создание и внедрение отечественных технологий, обеспечивающих разработку, создание и производство современной высокопроизводительной сельскохозяйственной техники и оборудования. Основными показателями создаваемых технических систем являются высокая производительность, экономичность, прочность, надежность, малая масса и материалоемкость изделий. Критерием оценки высокого уровня конструирования таких машин является их эксплуатационная надежность, определяющая экономичность машины. Однако вопросы оценки эффективности машин должны решаться уже на этапе конструирования деталей, агрегатов и машин, их производства, эксплуатации, а также на этапе утилизации, с возможно большей долей повторного использования материалов при производстве новой техники. С этой точки зрения, большой экономический эффект дает разработка и применение унифицированных деталей, узлов и агрегатов машин. В таком понимании унификация способствует сокращению номенклатуры деталей и уменьшению стоимости изготовления, повышению ремонтпригодности машин [1, 2].

Современные конструкторские бюро обладают мощным инструментарием при разработке новых изделий. Системы автоматизированного проектирования (САПР) не только существенно повышают производительность труда, но и позволяют проводить сложные расчеты по обеспечению показателей надежности будущих изделий, используя инструменты конечно-элементного анализа. Перспективным видится применение классического научного метода оптимизации на основании регрессионного анализа в связке с новейшими инструментами автоматизированного проектирования.

Цель исследования – разработка и обоснование методики проектирования новых узлов трансмиссии на основе одновременного применения регрессионного и конечно-элементного анализа.

Материал и методы. Пробные расчеты оптимизации проводились на вилках карданного шарнира VI типоразмера при нагружении номинальным моментом в 2,84 кН (карданный шарнир установлен между коробкой передач и раздаточной коробкой автомобиля Урал-375Н); на модели составной вилки в положении VII типоразмера при нагружении номинальным моментом в 3,06 кН (карданный шарнир установлен между промежуточной опорой и задним мостом автомобиля КрАЗ-255Б1). Конечно-элементный анализ обеспечен использованием программного обеспечения – библиотеки APM FEM системы КОМПАС-3D V21 компании «АСКОН» (г. Санкт-Петербург, РФ), разработанной совместно с научно-техническим цен-

тром «Автоматизированное проектирование машин» (г. Королев, РФ). В исследовании применены методы регрессионного анализа и планирования двухфакторного эксперимента.

Результаты исследования и обсуждения. При решении задачи повышения экономической эффективности использования машин применяют мероприятия, обеспечивающие своевременное техническое обслуживание, постоянный контроль технического состояния и использование высоконадежных изделий [3-7], так как обеспечение надежности элементов трансмиссий транспортных и технологических (энергетических, сельскохозяйственных, коммунальных, строительных, дорожных и др.) машин при ремонте и эксплуатации является важнейшей задачей в современных условиях эксплуатации машинно-транспортного парка [8].

Процесс модернизации деталей и узлов трансмиссий транспортных и технологических машин требует рассмотрения вопросов их конструктивной и технологической реализации. Методика внедрения новых конструктивных решений должна основываться на оптимизации конструктивно-технологических параметров изделия на основе систем автоматизированного проектирования [9].

Анализ последних исследований в области совершенствования конструкций узлов механических трансмиссий показал следующие основные тенденции в их модернизации:

- повышение безотказности и увеличение ресурса;
- обеспечение рациональных режимов смазки;
- снижение трудоемкости технического обслуживания.

Для обеспечения приведенных показателей разработана комбинированная методика проектирования новых узлов трансмиссии, включающая следующие этапы:

- 1) оценка прочностных характеристик конечно-элементной модели серийного изделия при номинальных нагрузках;
- 2) оценка прочностных характеристик конечно-элементной модели нового изделия при номинальных нагрузках;
- 3) сравнительная оценка полученных результатов;
- 4) в случае, если прочностные характеристики нового изделия уступают аналогичным характеристикам серийного, то по картам напряжений выявляют критические конструктивные элементы;
- 5) разрабатывают матрицу планирования факторного эксперимента с варьированием геометрических характеристик критических элементов конструкции;
- 6) выполняют операции конечно-элементного анализа в соответствии с разработанной матрицей и получают регрессионную модель;
- 7) по регрессионной модели находят оптимальные величины варьируемых факторов.

Таким образом, при проектировании техники с использованием САПР, можно обойтись без многократного анализа с перебором величин конструктивных элементов, а оптимизировать эти величины приемами множественного регрессионного анализа.

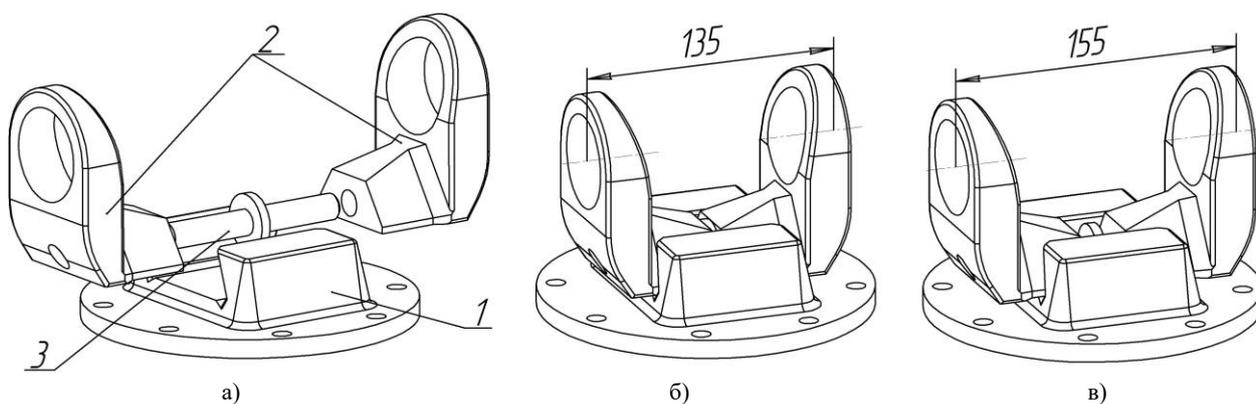
Разработанная методика опробована на примере проектирования нового изделия – составной вилки карданного шарнира. Известно, что узлом, ограничивающим надежность трансмиссии, является карданная передача, которая является сложнагруженной технической системой, на надежность которой влияет целый ряд факторов конструктивных (консольное расположение подшипников, отсутствие сепаратора и др.), технологических (разнородные материалы в контакте подшипниковых узлов, нерациональные режимы обработки деталей и др.) и эксплуатационных (качательный режим работы, динамический режим нагружения, коррозионно-механический износ и др.), поэтому, рассмотрим решение задачи повышения ремонтпригодности и унификации на примере деталей карданных передач.

На уровне патентных разработок существует техническое решение карданного шарнира, обеспечивающее повышение ремонтпригодности и унификации [10]. Ключевой особенностью конструкции шарнира является наличие составных вилок, проушины которых могут перемещаться вдоль оси противоположных шипов крестовины. Важным техническим результатом этого решения является, во-первых, возможность замены крестовины без разборки карданных подшипниковых узлов, во-вторых, возможность использования крестовин близких типоразмеров.

Использование крестовин различных типоразмеров позволит применять зарубежные детали, а также изменять уровень номинального крутящего момента, передаваемого карданным шарниром. Так, например, крестовины VI и VII типоразмера по РД 37.001.665-96 имеют одинаковые размеры наружных посадочных поверхностей стаканов игольчатых подшипников ($D=50$ мм), но разные значения торцевого размера крестовины в сборе ($H_{VI}=135$ мм и $H_{VII}=155$ мм, соответственно).

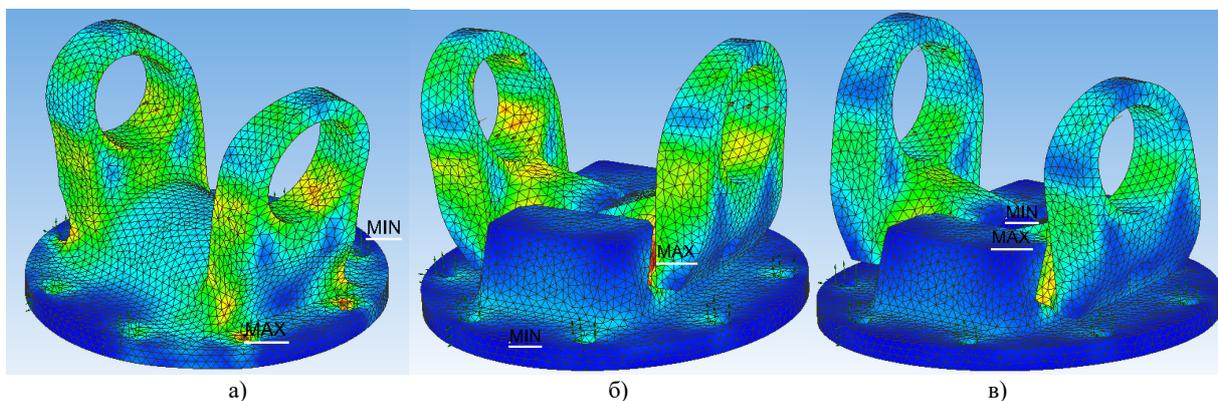
При проектировании за основу была взята серийная вилка карданного шарнира VI типоразмера 500-2201049-А производства ОАО «БЕЛКАРД» (Республика Беларусь). В результате проведенной конструкторской проработки был получен прототип унифицированной ремонтпригодной карданной вилки (рисунок 1). Крестовина содержит следующие элементы: фланец 1 обеспечивает соединение проушин 2 посредством нормализованного соединения направляющей типа «ласточкин хвост», при этом в каждой из проушин выполнено сквозное резьбовое отверстие, с помощью которого осуществляется перемещение и фиксация проушин в различных положениях, а приводной элемент 3 конструктивно выполнен в виде вала, две ступени которого имеют резьбы правого и левого направлений, а центральная ступень постоянно находится в сегментном пазу фланца.

Работает конструкция следующим образом: вращение приводного элемента 3 осуществляется с помощью инструмента, при этом, за счет осевой фиксации приводной элемент неподвижен относительно фланца 1, а резьбовые сопряжения приводного элемента с проушинами 2 обеспечивают их синхронное перемещение в направляющей фланца. При разведении проушин на максимальное расстояние появляется возможность извлечения крестовины без нарушения сопряжения ее подшипниковых узлов.



а) общий вид унифицированной карданной вилки;
 б) положение проушин для крестовины VI типоразмера;
 в) положение проушин для крестовины VII типоразмера;
 1 – фланец вилки, 2 – проушины вилки, 3 – приводной элемент
Рис. 1 – Конструкция составной вилки карданного шарнира

Для оптимизации новых конструкций деталей машин широко применяются методы исследования напряженно-деформированного состояния [11-16]. В результате выполнения первого этапа методики получены величины максимальных напряжений, перемещений и коэффициента запаса (рисунок 2, а).



а) серийная вилка VI типоразмера; б) составная вилка в положении, соответствующем VI типоразмеру;
 в) составная вилка в положении, соответствующем VII типоразмеру

Рис. 2 – Карты напряжений

Затем провели прочностной анализ предлагаемой унифицированной вилки в положении проушин, соответствующем вилке VI типоразмера (рисунок 2, б). Сравнение результатов показало, что значения исследуемых параметров моделей серийной и составной вилок сопоставимы, что позволяет сделать предварительный вывод об обоснованности возможности использования предлагаемой конструкции для операции замены крестовины без разборки ее подшипниковых узлов.

Прочностная оценка модели составной вилки в положении проушин, соответствующем VII типоразмеру представлена на рисунке 2, в.

Анализ данных показывает, что максимальные эквивалентные напряжения модели составной вилки превышают аналогичный показатель модели серийной вилки на 3,6 %, максимальные линейные перемещения увеличились на 37,7 %, коэффициент запаса по усталостной прочности уменьшился на 3,6 %. Полученные результаты указывают на необходимость оптимизации конструктивных параметров составной вилки.

Анализ карт напряжений показал максимальное значение в месте перехода проушины вилки к ее основанию. В основу плана оптимизации конструкции унифицированной вилки положена оценка максимальных напряжений при различных параметрах соединения и постоянном значении нагружающего момента. Схема соединения проушин и фланца типа «ласточкин хвост» представлена на рисунке 3.

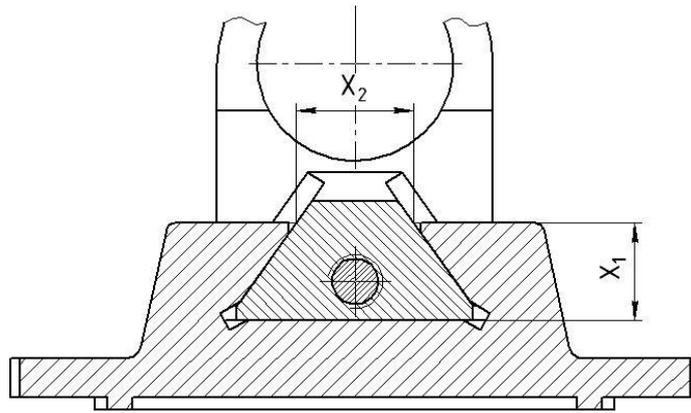


Рис. 3 – Схема соединения проушины и фланца составной крестовины типа «ласточкин хвост» с указанием факторов регрессионного анализа

Для матрицы планирования эксперимента созданы 9 моделей вилок с различными комбинациями параметров X_1 и X_2 . Для каждой модели было произведено исследование напряженно-деформированного состояния и получены значения максимального напряжения, являющегося функцией отклика Y (таблица 1).

Таблица 1 – Матрица и результаты эксперимента

Уровень варьирования	Факторы		Функция отклика Y
	X_1 , мм	X_2 , мм	
Верхний уровень (+)	25	50	Максимальные эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа
Основной уровень (0)	20	30	
Нижний уровень (-)	16	10	
Данные вычислительного эксперимента			
1	-	-	2872
2	+	-	914
3	-	+	392
4	+	+	255
5	-	0	827
6	+	0	431
7	0	-	1568
8	0	+	263
9	0	0	651

Регрессионный анализ позволил получить математическую модель:

$$Y = 10980 - 584,5X_1 - 199,5X_2 + 8,36X_1^2 + 4,98X_1X_2 + 1,02X_2^2 \quad (1)$$

На рисунке 4 представлены проекции изолиний поверхности отклика регрессионной модели. Аналитический поиск экстремума математической модели (1) показал оптимальное значение искомых факторов, обеспечивающих минимальный уровень напряжений конструкции $X_1=21,4$ мм, $X_2=45,4$ мм (рис. 6), что обуславливает разработку рабочих чертежей деталей унифицированной карданной вилки. По ГОСТ 6636-69 «Основные нормы взаимозаменяемости. Нормальные линейные размеры» подбираем следующие размеры: $X_1=20$ мм, $X_2=50$ мм. При этом максимальные напряжения составят 189 МПа, что на 36 % меньше, чем у серийной детали.

Выводы. Исходя из обобщения результатов получим следующие выводы.

1. Обоснована необходимость разработки методики оптимизации новых узлов трансмиссии. На основе обобщения теоретических и экспериментальных результатов предложена методика проектирования новых узлов трансмиссии на основе одновременного применения регрессионного и конечно-элементного анализа.

2. Апробация методики на конструкции унифицированной вилки модернизированного карданного шарнира в положении VII типоразмера показала необходимость, а в положении VI типоразмера возможность реализации ремонтпригодной конструкции для извлечения крестовины без нарушения сопряжения ее подшипниковых узлов.

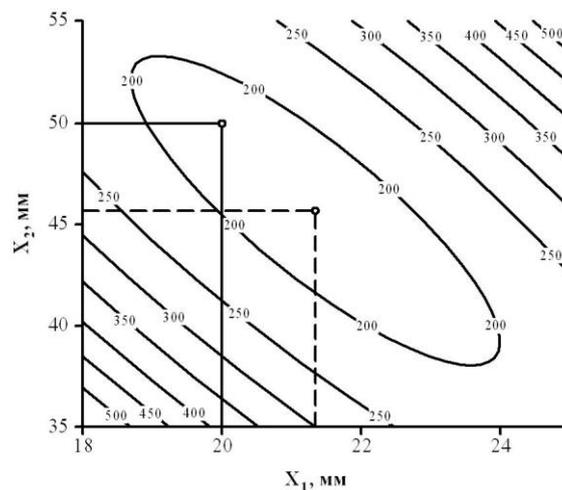


Рис. 4 – Проекция изолиний поверхности отклика $Y=f(X_1, X_2)$

3. Получена регрессионная модель, поиск экстремума которой позволил установить рациональные значения оптимизируемых параметров $X_1=20$ мм и $X_2=50$ мм. При этом максимальные напряжения составят 189 МПа, что на 36 % меньше, чем у серийной детали.

Библиография

1. Erokhin M., Kazantsev S., Pastukhov A. Operability assessment of drive shafts of john deere tractors in operational parameters // Engineering for Rural Development. Vol 17 / Latvia University of Life Sciences and Technologies/ Jelgava, 2019 / Proceedings / Pp. 28–33. DOI: 10.22616/ERDev2019.18. N032.
2. Gligorić R., Ašonja A., Пастухов А., Kuznetsov Y., Degtyarev M., Molnar T. Measuring of reliability of cardan shaft // Агротехника и энергообеспечение. 2014. № 1(1). С. 368–374.
3. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П. Проектирование контролепригодных узлов механических трансмиссий // Вестник машиностроения. 2021. № 7. С. 22–26. DOI 10.36652/0042-4633-2021-7-22-26.
4. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П., Бахарев Д.Н. Обобщенная оценка основных факторов при проектировании техники и технологий в агроинженерии // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1(29). С. 17–26.
5. Сахнов А.В. Разработка разъемного защитного гофрированного чехла // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 3(27). С. 84–90.
6. Сахнов А.В. Разъемный защитный чехол шруса // Научное обозрение. 2016. № 24. С. 103–105.
7. Сахнов А.В. Сошник для внесения минеральных удобрений // Сельский механизатор. 2008. № 2. С. 14–15.
8. Бахарев Д.Н., Вольвак С.Ф. Обоснование конструкции рабочих органов ориентирующе-дозировочного устройства для початков кукурузы // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2018. № 1(17). С. 3–16.
9. Кукушкин Е.В., Меновщиков В.А., Ереско Т.Т. Конструкция карданного шарнира со сменными шипами крестовины // Решетневские чтения. 2014. Т. 1. С. 298–300.
10. Патент № 2215207 Карданный шарнир. Авторы: Пастухов А. Г., Сигаев А. М., Тимашов Е. П., Швец А. В., Чехунов О. А., Опубл. 10.27.2003.
11. Пастухов А.Г., Тимашов Е.П., Кравченко И.Н. Исследование напряженно-деформированного состояния деталей модернизируемых узлов трансмиссий различных машин // Строительные и дорожные машины. 2015. № 8. С. 20–26.
12. Кукушкин Е.В. Исследование напряженно-деформированного состояния приварных вилок карданных передач // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. 2019. № 4. С. 43–50. DOI 10.15593/24111678/2019.04.05.
13. Кравченко И.Н., Бондарева Г.И., Гладков В.Ю., Панкратова Е.В., Глинский М.А. Исследование напряженно-деформированного состояния наплавленных покрытий деталей, восстановленных плазменными методами // Ремонт. Восстановление. Модернизация. 2011. № 6. С. 2–8.
14. Башкирцев В.И., Голубев О.П., Стребков С.В., Кручер И.Л., Ушаков С.В. Анализ напряженно-деформированного состояния адгезивной наклейки при восстановлении трубопроводов, работающих под давлением // Теоретические и прикладные проблемы сервиса. 2009. № 4(33). С. 11–17.
15. Пастухов А.Г., Минасян А.Г., Шарая О.А. Оценка напряженно-деформированного состояния сегмента прессвалкового измельчителя // Технология машиностроения. 2016. № 3. С. 43–46.
16. Ереско С.П., Ереско Т.Т., Кукушкин Е.В. Методика исследования напряженно-деформированного состояния элементов конструкции карданных передач // Системы. Методы. Технологии. – 2019. № 1(41). С. 35–40.

References

1. Erokhin M., Kazantsev S., Pastukhov A. Operability assessment of drive shafts of john deere tractors in operational parameters // Engineering for Rural Development. Vol 17 / Latvia University of Life Sciences and Technologies/ Jelgava, 2019 / Proceedings / Pp. 28–33. DOI: 10.22616/ERDev2019.18.N032.
2. Gligorić R., Ašonja A., Pastukhov A., Kuznetsov Y., Degtyarev M., Molnar T. Measuring of reliability of cardan shaft / Агротехника i energoobespechenie. 2014. № 1(1). S. 368–374.
3. Pastukhov A.G., Timashov E.P. Proyektirovaniye kontroleprigodnykh uzlov mekhanicheskikh transmissiy [Design of testable units of mechanical transmissions] // Vestnik mashinostroyeniya. 2021. № 7. S. 22–26. – DOI 10.36652/0042-4633-2021-7-22-26.

4. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Bakharev D.N. Obobshchennaya otsenka osnovnykh faktorov pri proyektirovaniy tekhniki i tekhnologii v agroinzhenerii [Generalized assessment of the main factors in the design of equipment and technologies in agricultural engineering] // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2021. № 1(29). S. 17–26.
5. Sakhnov A.V. Razrabotka raz'yomnogo zashchitnogo gofirovannogo chekhla [Development of a detachable protective corrugated cover] // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2020. № 3(27). S. 84–90.
6. Sakhnov A.V. Raz'yemnyy zashchitnyy chekhol shrusa [Detachable protective cover for CV joint] // *Nauchnoye obozreniye*. 2016. № 24. S. 103–105.
7. Sakhnov A.V. Soshnik dlya vnoseniya mineral'nykh udobreniy [Coulter for application of mineral fertilizers] // *Sel'skiy mekhanizator*. 2008. № 2. S. 14–15.
8. Bakharev D.N., Vol'vak S.F. Obosnovaniye konstruksii rabochikh organov oriyentiruyushche-doziruyushchego ustroystva dlya pochatkov kukuruzy [Justification of the design of the working bodies of the orienting and dosing device for corn cobs] // *Innovatsii v APK: problemy i perspektivy*. 2018. № 1(17). S. 3–16.
9. Kukushkin E.V., Menovshchikov V.A., Yeresko T.T. Konstruksiya kardannogo sharnira so smennymi shipami krestoviny [Design of a cardan joint with replaceable crosspiece pins] // *Reshetnevskiy chteniye*. 2014. T. 1. S. 298–300.
10. Patent No. 2215207 Cardan joint. Author: Pastukhov A.G., Sigaev A.M., Timashov E.P., Shvets A.V., Chehunov O.A., Publ. 10.27.2003.
11. Pastukhov A.G., Timashov E.P., Kravchenko I.N. Issledovaniye napryazhonno-deformirovannogo sostoyaniya detaley moderniziruyemykh uzlov transmissiy razlichnykh mashin [Study of stress-strain state of parts of modernized transmission units of various machines] // *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny*. 2015. № 8. S. 20–26.
12. Kukushkin E.V. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya privarnykh vilok kardannykh peredach [Study of the stress-strain state of welded forks of cardan transmissions] // *Transport. Transportnyye sooruzheniya. Ekologiya*. 2019. № 4. S. 43–50. DOI 10.15593/24111678/2019.04.05.
13. Kravchenko I.N., Bondareva G.I., Gladkov V.Yu., Pankratova E.V., Glinskiy M.A. Issledovaniye napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya naplavlennykh pokrytiy detaley, vosstanovlennykh plazmennymi metodami [Study of stress-strain state of deposited coatings of parts restored by plasma methods] // *Remont. Vosstanovleniye. Modernizatsiya*. 2011. № 6. S. 2–8.
14. Bashkirtsev V.I., Golubev O.P., Strebkov S.V., Krucher I.L., Ushakov S.V. Analiz napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya adgezivnoy nakladki pri vosstanovlenii truboprovodov, rabotayushchikh pod davleniyem [Analysis of the stress-strain state of an adhesive pad during restoration of pipelines operating under pressure] // *Teoreticheskiye i prikladnyye problemy servisa*. 2009. № 4(33). S. 11–17.
15. Pastukhov A.G., Minasyan A.G., Sharaya O.A. Otsenka napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya segmenta pressvalkovogo izmel'chatelya [Assessment of the stress-strain state of a segment of a roller crusher] // *Tekhnologiya mashinostroyeniya*. 2016. № 3. S. 43–46.
16. Yeresko S.P., Yeresko T.T., Kukushkin E.V. Metodika issledovaniya napryazhenno-deformirovannogo sostoyaniya elementov konstruksii kardannykh peredach [Methodology for studying the stress-strain state of cardan transmission design elements] // *Sistemy. Metody. Tekhnologii*. 2019. № 1(41). S. 35–40.

Сведения об авторах

Ерохин Михаил Никитьевич, доктор технических наук, профессор, академик РАН, профессор кафедры сопротивления материалов и детали машин, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Лиственничная аллея, д. 7с2, Москва, Россия, 127550, тел. +7 (499) 976-06-73, e-mail: smdm@rgau-msha.ru.

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

Information about authors

Erokhin Mikhail Nikitievich, Doctor of Technical Sciences, Professor, academician RAS, Professor of the Department of Resistance of Materials and Machine Parts, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University - Timiryazev Moscow Agricultural Academy», 7s2 Larch Alley, Moscow, Russia, 127550, tel. +7 (499) 976-06-73, e-mail: smdm@rgau-msha.ru.

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

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПУЛЬСАТОРА ДОИЛЬНОГО АППАРАТА

Аннотация. Независимо от породы коровы развитие передних и задних долей вымени происходит неравномерно. Общеизвестным фактом является то, что в задних четвертях вымени находится на 10-15 % больше молока по сравнению с передними четвертями. Одним из конструктивных решений, способных предотвратить пагубное влияние вакуумметрического давления в процессе доения, является разработка доильного аппарата с возможностью попарного управления режимом доения. Предложена конструкция пульсатора, позволяющая реагировать на изменение интенсивности выводимого из передних и задних долей вымени молока путем синхронного изменения соотношения тактов сосания и сжатия в соответствующих доильных стаканах. Представлено теоретическое обоснование силы трения скольжения червячного колеса по дну и крышке корпуса пульсатора. В результате математического моделирования рабочего процесса электромеханического пульсатора установлено, что при диаметре ступицы червячного колеса 20 мм, варьировании коммутируемого вакуумметрического давления в интервале 30,0...50,0 кПа, диаметра обечайки в интервале 60...110 мм, частоты пульсаций пульсатора в интервале 30...90 пульсов в минуту и коэффициенте трения скольжения червячного колеса по дну корпуса и крышке пульсатора равном 0,1, сила трения скольжения находится в пределах от 5,52 до 20,18 Н.

Ключевые слова: доильный аппарат, электромеханический пульсатор, вакуум, доля вымени, трение, адаптивное доение.

MATHEMATICAL MODELING OF THE WORKING PROCESS OF ELECTROMECHANICAL PULSATOR OF MILKING MACHINE

Abstract. Irrespective of the breed of cow, the development of the anterior and posterior udder lobes is uneven. It is a well-known fact that there is 10-15 % more milk in the rear quarters of the udder compared to the front quarters. One of the design solutions that can prevent the harmful effect of vacuum pressure in the process of milking is the development of a milking machine with the possibility of pair control of milking mode. Proposed a design of a pulsator, which allows to respond to changes in the intensity of milk discharged from the front and rear lobes of the udder by synchronous change in the ratio of suckling and compression tacts in the corresponding milking cups. Presents theoretical substantiation of design and mode parameters of the pulsator, such as the friction-sliding force of the worm wheel on the bottom and the lid of the pulsator body, the area of the upper vacuum chamber, as well as the determination of the required power of the worm wheel drive. As a result of mathematical modeling of the working process of the electromechanical pulsator it is established that at the diameter of the hub of the worm wheel 20 mm, variation of the switched vacuum pressure in the range of 30.0...50.0 kPa, a shell diameter in the range of 60...110 mm, a pulsation frequency of the pulsator in the range of 30...90 pulses per minute and a coefficient of sliding friction of the worm wheel along the bottom of the housing and the cover of the pulsator equal to 0.1, the sliding friction force is in the range from 5.52 to 20.18 N.

Keywords: milking machine, electromechanical pulsator, vacuum, udder share, friction, adaptive milking.

Введение. Основные направления в сфере развития агропромышленного комплекса определены Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента от 21.01.2020 года № 20. На решение продовольственного вопроса существенное влияние оказывает техническое обеспечение отрасли животноводства, основной задачей которого является разработка инновационных технических средств для механизации и автоматизации процессов при содержании крупного рогатого скота.

Физиология коровы, ее вымя предопределяют условия максимальной эффективности выведения молока из молочной железы в процессе доения с использованием технических средств – доильного аппарата. Одно из таких условий – адаптивный режим доения. Одним из элементов адаптивного доения является обеспечение различных режимов воздействия на передние и задние доли вымени коровы, что связано с неравномерностью их развития и различной продолжительностью доения. Предлагаемый нами электромеханический пульсатор позволяет изменять частоту пульсаций, а также по передним и задним долям вымени коровы в отдельности менять соотношение тактов [1, 2]. Применение данного электромеханического пульсатора позволит повысить производительность труда и снизить заболеваемость вымени коров маститом.

Цель исследования. Повышение эффективности машинного доения коров за счет снижения пагубного воздействия вакуумметрического давления на соски вымени путем регулировки параметров доения в зависимости от интенсивности выводимого потока молока.

Материал и методы исследования. Объект исследований – электромеханический пульсатор доильного аппарата.

Предмет исследований – закономерность изменения сопротивления вращению червячного колеса пульсатора от его конструктивно-режимных параметров.

Теоретические исследования выполняли путем математического моделирования конструкции и рабочего процесса пульсатора.

Результаты и их обсуждение. Рассмотрим математическое моделирование рабочего процесса разработанного электромеханического пульсатора [2]. Следует заметить, что при вращении червячного колеса 4 силой $F_{вр}$ возникает сила $F_{тр}$ трения скольжения, препятствующая движению в результате его взаимодействия с дном 3 корпуса 2 и крышкой 6 (рисунки 1) [3-7]:

$$F_{тр} = F_{тр1} + F_{тр2}, \quad (1)$$

где $F_{тр1}$ – сила трения скольжения червячного колеса по дну корпуса пульсатора, Н; $F_{тр2}$ – сила трения скольжения червячного колеса по крышке, Н.

Сила трения скольжения $F_{тр1}$ зависит от коэффициента k_1 трения червячного колеса 4 по дну 3 корпуса 2 и нормальной силы N_0 реакции опоры:

$$F_{тр1} = k_1 N_0. \quad (2)$$

Нормальная сила N_0 реакции опоры в свою очередь зависит от веса червячного колеса 4 G_k , веса крышки 6 $G_{кр}$ и силы F_{np1} , которая формируется коммутируемым вакуумметрическим давлением $P_{вак}$ в образованной кольцевыми выступами 7 и 1 с дном 3 корпуса 2 нижней вакуумной камере 8:

$$F_{np1} = P_{вак} S_1, \quad (3)$$

где S_1 – площадь поперечного сечения нижней вакуумной камеры, m^2 .

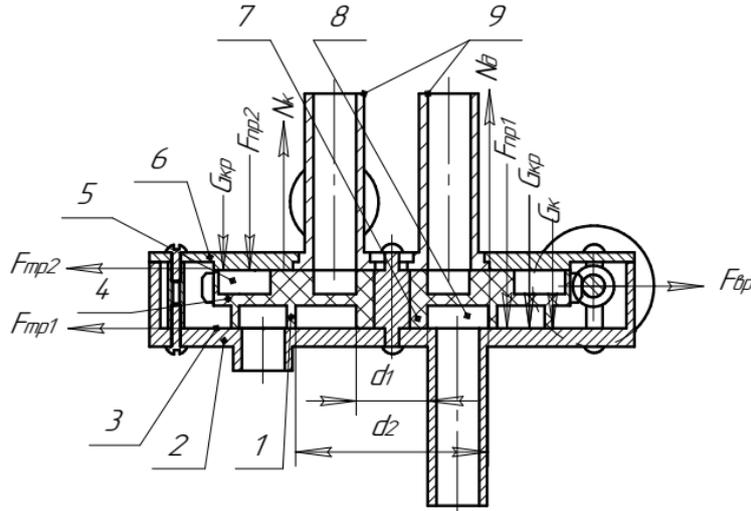
Из рисунка 1 следует, что:

$$S_1 = \pi \frac{(d_2^2 - d_1^2)}{4}, \quad (4)$$

где d_1 – внутренний диаметр нижней вакуумной камеры, m ; d_2 – наружный диаметр нижней вакуумной камеры, m .

Отсюда сила трения скольжения $F_{тр1}$ червячного колеса 4 по дну 3 корпуса 2 пульсатора равна:

$$F_{тр1} = \kappa_1 \left[G_k + G_{кр} + P_{вак} \pi \left(\frac{d_2^2 - d_1^2}{4} \right) \right]. \quad (5)$$



1, 7 – кольцевые выступы; 2 – корпус; 3 – дно корпуса; 4 – червячное колесо;
5 – верхняя вакуумная камера; 6 – крышка; 8 – нижняя вакуумная камера; 9 – патрубок

Рис. 1 – К определению силы трения скольжения червячного колеса по дну корпуса

Сила трения скольжения $F_{тр2}$ зависит от коэффициента k_2 трения червячного колеса 4 по крышке 6 и нормальной силы N_k реакции опоры:

$$F_{тр2} = k_2 N_k. \quad (6)$$

Нормальная сила N_k реакции опоры в свою очередь зависит от веса крышки 6 $G_{кр}$ и силы F_{np2} , которая формируется коммутируемым вакуумметрическим давлением $P_{вак}$ в верхней вакуумной камере 5:

$$F_{np2} = P_{вак} S_2, \quad (7)$$

где S_2 – площадь поперечного сечения верхней вакуумной камеры, m^2 .

При определении площади S_2 поперечного сечения верхней вакуумной камеры 12 (рисунок 2) исходили из того, что она образована на верхней плоскости червячного колеса симметрично выполненными от ступицы 9 до обечайки 1 криволинейными перегородками 8 и крышкой пульсатора, которая отверстием 11 сообщается с нижней вакуумной камерой. Расположенная здесь же верхняя атмосферная камера 2, отверстием 15 сообщается с нижней атмосферной камерой. При этом образующие 6 и 7 криволинейных перегородок 8 выполнены в виде витков спирали Архимеда, позволяющие создать зоны работы пульсатора в стимулирующем и номинальном режиме с возможностью плавного перехода из одного режима в другой.

Примыкание образующих 6 и 7 к обечайке 1 осуществляется посредством внутренней и наружной криволинейных поверхностей 5 и 3 с совмещенным центром радиусом r и $3r$ соответственно. Их сопряжение выполнено в точке пересечения с радиальной линией, проходящей через совмещенный центр. Аналогичным образом наружной и внутренней криволинейными поверхностями 13 и 14 осуществляется примыкание образующих 6 и 7 криволинейных перегородок 8 к ступице 9.

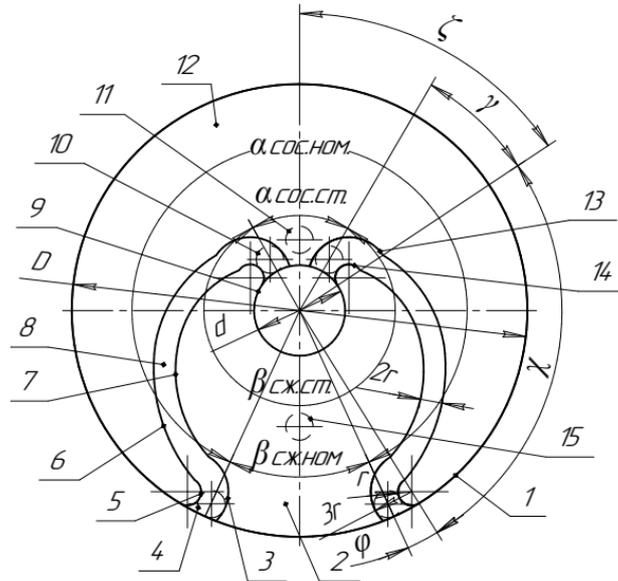
Этим самым обеспечивается ширина криволинейных перегородок 8, равная $2r$, что соответствует внутреннему диаметру патрубков 9 (рисунок 1), сообщающих верхнюю вакуумную камеру 12 (рисунок 2) и верхнюю атмосферную камеру 2 пульсатора с доильными стаканами. При этом, для обеспечения заданного соотношения тактов сосания и сжатия, регламентируемого углами $\alpha_{сос.ном.}$ и $\beta_{сж.ном.}$ при доении в номинальном режиме, центры вписанных отверстий 4, соприкасаемых с наружными и внутренними криволинейными поверхностями 3, 5 и обечайкой 1, расположены на сторонах указанных углов. А для обеспечения заданного соотношения тактов сосания и сжатия при доении в стимулирующем режиме - центры вписанных отверстий 10, соприкасаемых с наружными и внутренними криволинейными поверхностями 13, 14 и ступицей 9, расположены на сторонах углов $\alpha_{сос.ст.}$ и $\beta_{сж.ст.}$.

Для упрощения определения площади S_2 поперечного сечения верхней вакуумной камеры 12 (рисунок 2) будем рассматривать ее половину с одной симметрично расположенной криволинейной перегородкой 8. Очевидно, что верхнюю вакуумную камеру 12 можно разбить на три участка: один участок – зона примыкания к обечайке 1 образующей криволинейной перегородки 8 криволинейной поверхности 5, вторая зона – сектор с углом χ , в котором расположена криволинейная перегородка 8, образующие 6 и 7 которой выполнены в виде витков спирали Архимеда, и третья зона – сектор с углом ζ , в котором расположены ступица 9 и примыкающая к ней криволинейная поверхность 13.

В таком случае, запишем:

$$S_2 = 2(S_r + S_{\chi r} + S_{\zeta r}), \quad (8)$$

где S_r – площадь верхней вакуумной камеры на участке примыкания к обечайке образующей криволинейной перегородки криволинейной поверхности, m^2 ; $S_{\chi r}$ – площадь верхней вакуумной камеры в зоне сектора с углом χ , в котором расположена криволинейная перегородка с образующими в виде витков спирали Архимеда, m^2 ; $S_{\zeta r}$ – площадь верхней вакуумной камеры в зоне сектора с углом ζ , в котором расположены ступица 9 и примыкающая к ней криволинейная перегородка 8, m^2 .



1 – обечайка; 2 – верхняя атмосферная камера; 3, 5 – наружные и внутренние криволинейные поверхности; 4, 10, 11, 15 – отверстие; 6, 7 – образующие; 8 – криволинейная перегородка; 9 – ступица; 12 – верхняя вакуумная камера; 13, 14 – наружные и внутренние криволинейные поверхности

Рис. 2 – К определению площади поперечного сечения верхней вакуумной камеры

Очевидно, что площадь верхней вакуумной камеры на участке примыкания к обечайке 1 образующей криволинейной перегородки 8 внутренней криволинейной поверхности 5 радиусом r равна:

$$S_r = \frac{\pi r^2}{2}, \quad (9)$$

где r – радиус внутренней криволинейной поверхности образующей криволинейной перегородки в зоне примыкания к ступице, m .

Площадь $S_{\chi r}$ верхней вакуумной камеры равна разнице площади сектора с углом χ и площади фигуры, ограниченной первым витком спирали Архимеда, являющейся образующей 6 криволинейной перегородки 8:

$$S_{\chi r} = S_{\chi} - S_a, \quad (10)$$

где S_{χ} – площадь сектора с углом χ , в котором расположена криволинейная перегородка с образующими в виде витков спирали Архимеда, m^2 ; S_a – площадь фигуры, ограниченной первым витком спирали Архимеда, являющейся образующей криволинейной перегородки, m^2 .

Из [3-6] известно, что площадь сектора окружности с углом χ мы можем записать как:

$$S_{\chi} = \frac{D^2 \chi}{8}, \quad (11)$$

где D – диаметр обечайки червячного колеса, m ; χ – угол сектора окружности, рад.

С учетом заданного соотношения тактов пульсатора при доении в номинальном и стимулирующем режиме и, как следствие этого, положением примыкания криволинейных перегородок к обечайке и ступице червячного колеса, угол сектора χ мы можем представить как:

$$\chi = \frac{\alpha_{\text{coc.ном.}} - \alpha_{\text{coc.ст.}}}{2} - \varphi - \gamma, \quad (12)$$

где $\alpha_{\text{coc.ном.}}$ – угол такта сосания в номинальном режиме доения, рад; $\alpha_{\text{coc.ст.}}$ – угол такта сосания в стимулирующем режиме доения, рад; φ – угол смещения радиальной линии с точками сопряжения образующих криволинейной перегородки, являющимися витками спирали Архимеда, с криволинейными поверхностями относительно радиальной линии их примыкания к обечайке, рад; γ – угол смещения радиальной линии с точками сопряжения образующих криволинейной перегородки, являющимися витками спирали Архимеда, с криволинейными поверхностями относительно радиальной линии их примыкания к ступице, рад.

Из рисунка 1 следует, что угол φ мы можем определить, используя уравнение:

$$\varphi = 2 \arcsin \frac{2r}{D-2r}, \quad (13)$$

а угол γ – из уравнения:

$$\gamma = 2 \arcsin \frac{2r}{d+2r}. \quad (14)$$

Подставив уравнения (13) и (14) в уравнение (12), мы получим уравнение для расчета угла сектора окружности, содержащего часть криволинейной перегородки с образующими, являющимися витками спирали Архимеда, в развернутом виде:

$$\chi = \frac{\alpha_{\text{coc.ном.}} - \alpha_{\text{coc.ст.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d+2r}. \quad (15)$$

Отсюда, площадь сектора окружности с углом χ будет равна:

$$S_{\chi} = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right). \quad (16)$$

Теперь необходимо получить уравнение для расчета площади фигуры S_a , ограниченной первым витком спирали Архимеда, являющейся образующей б криволинейной перегородки 8.

Уравнение Архимедовой спирали в полярной системе координат в общем виде можно записать как:

$$\rho = \frac{a}{2\pi} \tau, \quad (17)$$

где ρ – удаление от начала координат точки на кривой Архимедовой спирали, пропорционально углу поворота τ луча спирали, m ; τ – угол поворота луча спирали, рад; a – шаг спирали, m .

В нашем случае радиальное перемещение по образующей б криволинейной перегородки 8 от ступицы 9 до обечайки 1 в пределах угла χ составляет:

$$b = \left(\frac{D}{2} - 2r \right) - \left(\frac{d}{2} + 4r \right) = \frac{D-d-12r}{2}, \quad (18)$$

где b – радиальное перемещение в пределах угла χ , m .

Применительно к нашим условиям шаг спирали Архимеда равен:

$$a = \frac{b}{\chi}. \quad (19)$$

Или с учетом уравнений (15) и (18):

$$a = \frac{D-d-12r}{2 \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}. \quad (20)$$

С учетом равенства (20), уравнение (17) приобретает вид:

$$\rho = \frac{D-d-12r}{4\pi \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)} \tau. \quad (21)$$

И теперь мы можем получить уравнение для расчета S_a – площади фигуры, ограниченной первым витком спирали Архимеда, являющейся образующей криволинейной перегородки. Из [3-10] известно, что уравнение в общем виде имеет вид:

$$S_a = \frac{1}{2} \int_n^m (a\tau)^2 d\tau = \frac{a^2}{2} \int_n^m \tau^2 d\tau = \frac{a^2}{2} \left(\frac{m^3 - n^3}{3} \right), \quad (22)$$

где m – верхний предел интегрирования, рад.; n – нижний предел интегрирования, рад.

Верхний предел интегрирования мы можем представить как:

$$m = \frac{D-4r}{2a}. \quad (23)$$

Или с учетом уравнения (20):

$$m = \frac{(D-4r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r}. \quad (24)$$

Нижний предел интегрирования определим из уравнения:

$$n = m - \chi. \quad (25)$$

Или с учетом уравнений (15) и (24):

$$n = \frac{(D-4r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r} - \frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} + 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} + 2\arcsin \frac{2r}{d+2r}. \quad (26)$$

Данный параметр с учетом уравнения (20) можно представить как:

$$n = \frac{(d+8r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r}. \quad (27)$$

Подставив в уравнение (22) значения составляющих, мы получим уравнение для расчета площади S_a – площадь фигуры, ограниченной первым витком спирали Архимеда:

$$S_a = \frac{1}{6} \left(\frac{D-d-12r}{2 \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)} \right)^2 \left[\left(\frac{(D-4r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r} \right)^3 - \left(\frac{(D-4r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r} - \frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} + 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} + 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)^3 \right]. \quad (28)$$

И теперь, подставив в уравнение (10) уравнения (16) и (28), получим площадь $S_{\chi r}$ верхней вакуумной камеры в секторе с углом χ :

$$S_{\chi r} = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right) - \frac{1}{6} \left(\frac{D-d-12r}{2 \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)} \right)^2 \left[\left(\frac{(D-4r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r} \right)^3 - \left(\frac{(D-4r) \left(\frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} - 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} - 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)}{D-d-12r} - \frac{\alpha_{\cos.ном.} - \alpha_{\cos.ст.}}{2} + 2\arcsin \frac{2r}{D-2r} + 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right)^3 \right] \quad (29)$$

Площадь $S_{\zeta r}$ верхней вакуумной камеры в зоне угла ζ равна разнице площади сектора с углом ζ , и частей площади ступицы 9 и примыкающей к ней криволинейной перегородки 8:

$$S_{\zeta r} = S_{\zeta} - S_{sp}, \quad (30)$$

где S_{ζ} – площадь сектора с углом ζ , в котором расположены части площади ступиц и примыкающей к ней криволинейной перегородки, m^2 ; S_{sp} – площадь частей ступицы и примыкающей к ней криволинейной перегородки, m^2 .

Как уже отмечалось выше, площадь сектора окружности с углом ζ мы можем записать как:

$$S_{\zeta} = \frac{D^2 \zeta}{8}, \quad (31)$$

где D – диаметр обечайки червячного колеса, m ; ζ – угол сектора окружности, рад.

С учетом заданного соотношения тактов пульсатора при доении в стимулирующем режиме и, как следствие этого, положением примыкания криволинейных перегородок к ступице червячного колеса, угол сектора ζ можем представить как:

$$\zeta = \frac{\alpha_{\text{сос.ст.}}}{2} + \gamma, \quad (32)$$

где $\alpha_{\text{сос.ст.}}$ – угол такта сосания в стимулирующем режиме доения, рад; γ – угол смещения радиальной линии с точками сопряжения образующих криволинейной перегородки, являющимися витками спирали Архимеда, с криволинейными поверхностями относительно радиальной линии их примыкания к ступице, рад.

С учетом уравнения (14) мы можем записать:

$$\zeta = \frac{\alpha_{\text{сос.ст.}}}{2} + 2\arcsin \frac{2r}{d+2r}. \quad (33)$$

Теперь площадь сектора окружности с углом ζ мы можем записать как:

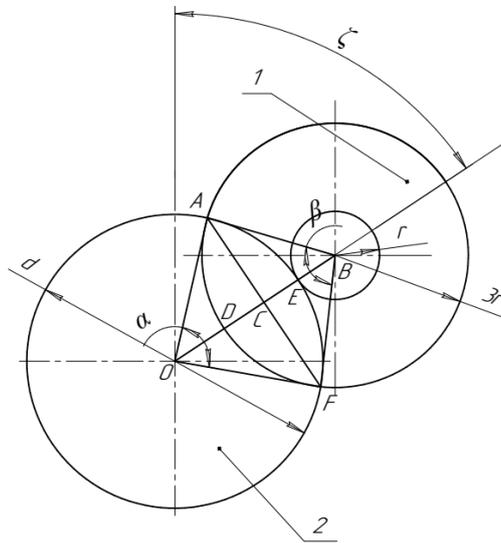
$$S_{\zeta} = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{сос.ст.}}}{2} + 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right). \quad (34)$$

При определении площади частей ступицы и примыкающей к ней криволинейной перегородки S_{sp} , обратимся к рисунку 3.

Из рисунка 3 следует, что данная площадь состоит из площади сектора ступицы 2 с углом ζ , и половины площади окружности 1, части криволинейной перегородки в зоне примыкания к ступице 2, за исключением сегмента CAE сектора ступицы 2 и сегмента CAD криволинейной перегородки 1:

$$S_{sp} = S_s + S_p - S_{s1} - S_{p1}, \quad (35)$$

где S_s – площадь сектора ступицы с углом ζ , m^2 ; S_p – половина площади окружности, части криволинейной поверхности криволинейной перегородки в зоне примыкания к ступице, m^2 ; S_{s1} – площадь сегмента CAE сектора ступицы с углом ζ , m^2 ; S_{p1} – площадь сегмента CAD криволинейной перегородки, m^2 .



1 – криволинейная перегородка в зоне примыкания к ступице; 2 – ступица

Рис. 3 – К определению площади поперечного сечения верхней вакуумной камеры

Из вышеизложенного следует, что площадь S_s сектора ступицы с углом ζ мы можем записать как:

$$S_s = \frac{d^2 \zeta}{8} = \frac{d^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{сос.ст.}}}{2} + 2\arcsin \frac{2r}{d+2r} \right), \quad (36)$$

где d – диаметр ступицы червячного колеса, m ; ζ – угол сектора окружности, рад.

Половина площади окружности S_p , части криволинейной поверхности криволинейной перегородки радиусом $3r$ в зоне примыкания к ступице, может быть определена по уравнению:

$$S_p = \frac{9\pi r^2}{2}, \quad (37)$$

где $3r$ – радиус наружной криволинейной поверхности образующей криволинейной перегородки в зоне примыкания к ступице, m .

Прежде чем приступить к определению площади сегментов CAE и CAD , нам необходимо установить значение центральных углов α и β (рисунок 3). Вначале определяем расстояние между центрами окружностей OB :

$$OB = \frac{d}{2} + r, \quad (38)$$

где d – диаметр ступицы, m^2 ; r – радиус внутренней криволинейной поверхности образующей криволинейной перегородки в зоне примыкания к ступице, m .

Затем, рассматривая два треугольника $\triangle CAE$ и $\triangle CAD$, запишем:

$$OA^2 = OC^2 + AC^2, BA^2 = BC^2 + AC^2. \quad (39)$$

Общей стороной в этих треугольниках является сторона AC . В таком случае мы можем записать:

$$OA^2 - OC^2 = BA^2 - BC^2. \quad (40)$$

А так как:

$$OC + BC = OB = \frac{d}{2} + r, \quad (41)$$

то

$$BC = \left(\frac{d}{2} + r - OC\right). \quad (42)$$

Отсюда

$$OA^2 - OC^2 = BA^2 - \left(\frac{d}{2} + r - OC\right)^2. \quad (43)$$

Решая данное уравнение относительно OC, получим:

$$OC = \frac{OA^2 - BA^2 + \left(\frac{d}{2} + r\right)^2}{2\left(\frac{d}{2} + r\right)}, \quad (44)$$

или

$$OC = \frac{\frac{d^2}{4} - 9r^2 + \left(\frac{d}{2} + r\right)^2}{2\left(\frac{d}{2} + r\right)} = \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{2d + 4r}. \quad (45)$$

Получив уравнение для расчета катета OC, мы можем записать уравнение, характеризующее угол α :

$$\alpha = 2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr}, \quad (46)$$

а также угол β :

$$\beta = 2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2}. \quad (47)$$

Теперь, зная значения углов α и β , мы можем записать уравнения для расчета площади сегмента САЕ:

$$S_{s1} = \frac{d^2}{16} \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} - \sin \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} \right) \right), \quad (48)$$

а также площади сегмента САD:

$$S_{p1} = \frac{9r^2}{4} \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} - \sin \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} \right) \right). \quad (49)$$

С учетом уравнений (34), (36), (37), (48) и (49) площадь $S_{\zeta r}$ верхней вакуумной камеры равна:

$$S_{\zeta r} = \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{d^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{9\pi r^2}{2} + \frac{d^2}{16} \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} - \sin \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} \right) \right) + \frac{9r^2}{4} \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} - \sin \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} \right) \right). \quad (50)$$

В окончательном виде площадь верхней вакуумной камеры с учетом уравнений (8), (9), (50) и (50) выглядит так:

$$S_2 = 2 \left(\frac{\pi r^2}{2} + \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{1}{6} \left(\frac{D - d - 12r}{2 \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)} \right)^2 \left[\left(\frac{(D - 4r) \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)}{D - d - 12r} \right)^3 - \left(\frac{(D - 4r) \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)}{D - d - 12r} - \frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) \right] + \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{d^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{9\pi r^2}{2} + \frac{d^2}{16} \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} - \sin \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} \right) \right) + \frac{9r^2}{4} \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} - \sin \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} \right) \right). \quad (51)$$

Отсюда сила трения скольжения F_{mp2} червячного колеса 4 (рисунок 1) по крышке 6 корпуса 2 пульсатора равна:

$$F_{mp2} = \kappa_2 \left[G_{\text{кр}} + 2P_{\text{бак}} \left[\frac{\pi r^2}{2} + \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{1}{6} \left(\frac{D - d - 12r}{2 \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)} \right)^2 \times \left[\left(\frac{(D - 4r) \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)}{D - d - 12r} \right)^3 - \left(\frac{(D - 4r) \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)}{D - d - 12r} - \frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) \right] + \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{d^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{9\pi r^2}{2} + \frac{d^2}{16} \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} - \sin \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} \right) \right) + \frac{9r^2}{4} \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} - \sin \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} \right) \right) \right] \right]. \quad (52)$$

Тогда полная сила трения скольжения F_{mp} червячного колеса по дну и крышке корпуса пульсатора будет равна:

$$F_{\text{тр.}} = \kappa_1 \left[G_{\text{к}} + G_{\text{кр}} + P_{\text{бак}} \pi \left(\frac{d_2^2 - d_1^2}{4} \right) \right] + \kappa_2 \left[G_{\text{кр}} + 2P_{\text{бак}} \left[\frac{\pi r^2}{2} + \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{1}{6} \left(\frac{D - d - 12r}{2 \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)} \right)^2 \times \left[\left(\frac{(D - 4r) \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)}{D - d - 12r} \right)^3 - \left(\frac{(D - 4r) \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} - 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} - 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right)}{D - d - 12r} - \frac{\alpha_{\text{cos.ном.}} - \alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{D - 2r} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) \right] + \frac{D^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{d^2}{8} \left(\frac{\alpha_{\text{cos.ct.}}}{2} + 2 \arcsin \frac{2r}{d + 2r} \right) - \frac{9\pi r^2}{2} + \frac{d^2}{16} \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} - \sin \left(2 \arccos \frac{d^2 + 2dr - 16r^2}{d^2 + 2dr} \right) \right) + \frac{9r^2}{4} \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} - \sin \left(2 \arccos \frac{10r^2 + dr}{3rd + 6r^2} \right) \right) \right] \right].$$

10. . Kokarev P.I Vyzhimaishchii doilnyi apparat dlia korov [Squeezing milking machine for cows] // Vestnik Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva. 2013. № 3(11). P. 67–70.

Сведения об авторах

Китаёва Оксана Владимировна, доктор технических наук, доцент, профессор кафедры технических систем в агробизнесе, ФГБОУ ВО Санкт-Петербургский ГАУ, ш. Петербургское, д. 2, г. Пушкин, Санкт-Петербург, Россия, 196601 тел. 89107378439, e-mail: oksanauzhik@mail.ru.

Ужик Владимир Федорович, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 (4722) 38-19-48, e-mail: uzhik16@rambler.ru.

Бабешко Юрий Сергеевич, аспирант, инженерный факультет, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский р-н, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 89290010455, e-mail: babeshko.ura@mail.ru.

Information about authors

Kitaeva Oksana Vladimirovna, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State Agrarian University», 2 Peterburgskoe shosse, Pushkin, Saint Petersburg, Russia, 196601, tel. 89107378439, e-mail: oksanauzhik@mail.ru.

Uzhik Vladimir Fedorovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, tel. +7 (4722) 38-19-48, e-mail: uzhik16@rambler.ru.

Babeshko Yuri Sergeevich, graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, tel. 89290010455, e-mail: babeshko.ura@mail.ru.

ФОРМИРОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ЗАКОНОДАТЕЛЬНОЙ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ БАЗЫ ПРИ УТИЛИЗАЦИИ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ

Аннотация. Сельскохозяйственная техника, требующая утилизации, содержит большое количество материалов, подлежащих переработке и повторному использованию, а также ряд компонентов, представляющих опасность для флоры и фауны. Предложена единая плановая система утилизации сельскохозяйственной техники федерального уровня, функционирующая на основе программно-целевого метода планирования и управления. Установлено, что проведение комплексных исследований, базирующихся на разработанном методологическом обеспечении, позволяет охватить максимально возможное количество значимых параметров. Определены взаимосвязанные этапы процесса обоснования утилизации, направленные на эффективное достижение целевой установки заказчика с использованием соответствующих исходных данных, методик и ресурсных ограничений. На первых двух этапах решается статическая задача по формированию рациональных альтернативных вариантов планов утилизации. На втором этапе проводится технико-экономическая оценка выбранных вариантов направлений утилизации с использованием методики оценки показателей эффективности и стоимости. На третьем этапе решается динамическая задача по балансировке альтернативных планов утилизации по интервалам программного периода с использованием критерия достижения максимального эффекта от утилизации. Особое внимание уделено совершенствованию экономической базы для создания системы утилизации сельскохозяйственной техники. Для управления процессами утилизации сельскохозяйственной техники предложена методика, позволяющая в условиях недостатка исходных данных рационально распределять ассигнования между элементами структуры программы с использованием несложных логико-математических расчетов. Полученные результаты позволяют планировать приоритетность инвестирования в формирование комплексной системы управления процессами утилизации сельскохозяйственной техники.

Ключевые слова: сельскохозяйственная техника, система утилизации, номенклатура образцов, рециклинг, целевая программа утилизации, распределение ассигнований, планирование, затраты на утилизацию.

FORMATION OF THE REGULATORY-LEGISLATIVE AND ECONOMIC FRAMEWORK FOR THE DISPOSAL OF AGRICULTURAL MACHINERY

Abstract. Agricultural machinery requiring disposal contains a large amount of materials that can be recycled and reused, as well as a number of components that pose a danger to flora and fauna. A unified planned system for the utilization of agricultural machinery at the federal level is proposed, functioning on the basis of a program-targeted method of planning and management. It has been established that conducting comprehensive studies based on the developed methodological support allows us to cover the maximum possible number of significant parameters. The interrelated stages of the recycling justification process are identified, aimed at effectively achieving the customer's target setting using appropriate initial data, methods and resource limitations. At the first two stages, the static problem of generating rational alternative disposal plans is solved. At the second stage, a technical and economic assessment of the selected options for disposal directions is carried out using the methodology for assessing efficiency and cost indicators. At the third stage, the dynamic problem of balancing alternative utilization plans over intervals of the program period is solved using the criterion of achieving the maximum effect from utilization. Particular attention is paid to improving the economic base for creating a recycling system for agricultural machinery. To manage the processes of recycling agricultural machinery, a methodology has been proposed that allows, in conditions of a lack of initial data, to rationally distribute allocations between elements of the program structure using simple logical and mathematical calculations. The results obtained allow us to plan the priority of investment in the formation of an integrated system for managing the recycling processes of agricultural machinery.

Keywords: agricultural machinery, disposal system, nomenclature of samples, recycling, targeted recycling program, allocation of appropriations, planning, disposal costs.

Введение. В агропромышленном комплексе (АПК) России проблема утилизации выведенной из эксплуатации сельскохозяйственной техники возникла в результате влияния ряда технических и социально-экономических факторов [1-4], сопровождающих проводимые в нашей стране реформы.

В настоящее время необходимость осуществления утилизации отражена в ряде правительственных постановлений и нормативных документов. Согласно распоряжению Правительства Российской Федерации от 25 января 2018 г. № 84-р об утверждении «Стратегии развития промышленности по обработке, утилизации и обезвреживанию отходов производства и потребления на период до 2030 года» (далее – Стратегия), определены задачи по формированию и перспективному развитию отрасли промышленности по утилизации отходов в различных отраслях. Для достижения поставленных целей настоящей Стратегии ставится задача создания эффективной комплексной системы управления и регулирования в области утилизации отходов. Кроме того, ГОСТ 34986-2023 регламентирует порядок утилизации ряда сельскохозяйственных машин. В нем отмечается, выведенная из эксплуатации сельскохозяйственная техника представляет серьезную угрозу окружающей среде из-за значительного объема образующихся отходов и наличия в них токсических веществ, которые оказывают существенное влияние на здоровье людей. Оптимизация системы утилизации выведенной из строя техники в рамках ремонтных и сервисных предприятий позволит снизить ущерб окружающей среде, а также получить вторичные ресурсы в результате переработки компонентов утилизируемой техники [5, 6].

Устаревшая сельскохозяйственная техника, требующая утилизации, содержит большое количество материалов, поддающихся рециклингу и повторному использованию, а также ряд опасных для флоры и фауны компонентов.

Практически во всех странах, имеющих большой машинно-тракторный парк, и особенно в странах, производящих технику, созданы и успешно функционируют системы ее утилизации. Правительства многих стран принимают непосредственное участие в обеспечении эффективного функционирования таких систем, представляя участникам утилизации нормативно-законодательную базу, и при необходимости, экономическую поддержку [7, 8]. Для решения проблемы утилизации сельскохозяйственной техники и составных ее частей необходима разработка единой плановой системы утилизации федерального уровня, что обеспечит эффективный, сбалансированный по объемам и срокам возврат ресурсов в хозяйственную

сферу [9-12]. Решение этой задачи наиболее эффективно может быть осуществлено на базе программно-целевого метода планирования и управления, который реализуется посредством разработки системы целевых программ утилизации.

Формирование и анализ исходных данных предусматривает проведение исследований по разработке и пополнению базы данных по рассматриваемой проблеме и анализу результатов прогнозирования условий проведения утилизации, состоянию существующей системы утилизации и ее финансового и нормативно-технического обеспечения, а также анализу рынков сбыта продуктов утилизации. При этом завершающим этапом является этап практического формирования проектов программных документов [13], определяющих перспективы утилизации техники на рассматриваемый период.

Целевая программа утилизации сельскохозяйственной техники в виде самостоятельного раздела Федеральной целевой программы представляет собой достаточно сложный динамический процесс, учитывающий совокупность факторов экономического и технического характера. При этом предполагается, что на основе определенной структуры и основных показателей к утилизации сельскохозяйственной техники в системе АПК привлекается определенная совокупность специализированных предприятий с соответствующими производственными мощностями [14, 15]. Кроме того, известен состав и основные технические характеристики и технико-экономические показатели образцов сельскохозяйственной техники, а также динамика ее замены в планируемом периоде и объемы заказов на серийное производство.

На проведение работ по утилизации (НИОКР, практические работы, капитальное строительство и т.д.) выделяются некоторые ограниченные суммы ассигнований (финансирование). При этом требуется распределить их таким образом, чтобы на каждом интервале планирования достигался максимально возможный эффект от утилизации высвобождаемых образцов.

Цель исследования – обоснование единой плановой системы утилизации сельскохозяйственной техники и оборудования, функционирующей на основе программно-целевого метода планирования и управления.

Материалы и методы исследования. Исходя из опыта программного планирования [16, 17], в рамках комплекса разрозненных методик и методических положений невозможно отразить многие существенные факторы формирования долгосрочных программ. Поэтому декомпозиция сложной системы мероприятий по обоснованию программы утилизации сельскохозяйственной техники (отдельные подсистемы и их описание с помощью системы взаимосвязанных модельных блоков) является основой системного подхода к решению данной проблемы. Логическая схема и научно-методическое обеспечение процесса формирования предложений по проекту ЦПУ представлена на рисунке 1.



Рис. 1 – Структурная схема научно-методического сопровождения разработки проекта утилизации сельскохозяйственной техники в системе АПК

Процесс обоснования проекта утилизации состоит из четырех взаимосвязанных (по входным и выходным параметрам) этапов, направленных на эффективное достижение целевой установки заказчика с использованием соответствующих исходных данных, методов и ресурсных ограничений.

На первых двух этапах решается статическая задача по формированию рациональных альтернативных вариантов планов утилизации. Вначале (блок 1) с помощью соответствующих методик решаются следующие задачи:

- формирование исходного перечня образцов, их возможных объемов и сроков проведения работ по утилизации по годам рассматриваемого периода;
- определение вариантов целесообразных направлений утилизации;
- обоснование перечня и сроков проведения практических работ.

Далее (блок 2) осуществляется технико-экономическая оценка выбранных вариантов направлений утилизации с использованием методики оценки показателей эффективности и стоимости [18], по результатам которой определяются потенциально возможные альтернативные варианты схем утилизации. Выходными параметрами данного этапа являются: перечень образцов, подлежащих утилизации, их объемы и сроки проведения; состав НИОКР и практических работ по альтернативным вариантам направлений утилизации, а также сводные технико-экономические показатели.

На третьем этапе (блок 3) с учетом ограничений возможностей промышленности, потребностей народного хозяйства и Минсельхоза России в материальных резервах, получаемых в результате переработки, выделенных ассигнований и приоритетности работ в текущий момент времени решается динамическая задача сбалансированности альтернативных планов утилизации на интервалах программного периода по критерию достижения максимального эффекта. Расчеты проводятся с использованием методики распределения ассигнований на основе результатов, полученных на предыдущих этапах исследований. Выходными параметрами этапа являются варианты сбалансированных объемно-календарных перспективных планов выполнения комплексов работ по утилизации сельскохозяйственной техники, варианты технико-экономических показателей утилизации, как по интервалам планирования, так и на весь период. На заключительном четвертом этапе осуществляется обобщение и анализ полученных результатов, а также непосредственное формирование проекта ЦПУ.

В основе такой декомпозиции системных мероприятий по обоснованию ЦПУ техники лежит общесистемный принцип постоянного внешнего дополнения определенных исходных данных, характерных для каждого из рассматриваемых этапов. Отправным моментом решения задачи по формированию рациональных вариантов планов утилизации высвобождаемых образцов является предварительная оценка их номенклатуры и возможных сроков утилизации. Кроме того, необходимо установить динамику накопления образцов, подлежащих утилизации, по годам планируемого периода. Исходными данными для решения поставленной задачи предварительной оценки номенклатуры, объемов и сроков утилизации являются: типы и марки машин, предлагаемых для включения в ЦПУ на планируемый период; начало и окончание серийного производства техники; объемы заказов на серийное производство рассматриваемых образцов; предельные сроки хранения и эксплуатации техники; данные о наличии техники, непригодной для дальнейшего использования по прямому назначению.

Результаты исследований и их обсуждение. Объемы i -х образцов $N_{y_{it}}$, подлежащих утилизации, рассчитываются для каждого года t планируемого периода T , исходя из накопленных объемов образцов $N_{y_{i0}}$ на начало планируемого периода t_0 , предельных сроков их хранения T_{x_i} , начала G_{n_i} и окончания G_{k_i} серийного производства, а также сведений об объемах фактически выпущенных образцов и планируемых объемах производства по годам программного периода $N_{v_{it}}$.

При выполнении рассмотренных условий объемы образцов, подлежащих утилизации, рассчитываются на каждый год планируемого периода по зависимости:

$$N_{y_{it}} = \begin{cases} 0, & \text{если } t \leq G_{n_i} + T_{x_i} \\ N_{y_{it_0}}, & \text{если } t = t_0 \\ N_{v_{it'}}, & \text{если } G_{n_i} + T_{x_i} < t < G_{k_i} + T_{x_i} \\ 0, & \text{если } t > G_{k_i} + T_{x_i} \end{cases} \quad (1)$$

где $N_{v_{it'}}$ – объем i -х образцов, выпущенных в год t' ($t' = t - T_{x_i}$).

В первом году планирования объемы образцов, подлежащих утилизации, определяются фактическими данными об их наличии на складах и базах. Для последующих интервалов планирования расчет объемов производится в зависимости от следующих условий. Если текущий год планирования не превышает значения, равного сумме года начала производства образца и предельного срока годности (значения, определяющего год, в котором образец относится к категории «утилизируемый»), то объем утилизации в этом году планирования будет равным нулю. В противном случае расчет объемов производится в зависимости от положения текущего года планирования по отношению к моменту завершения производства образца, а также его предельного срока годности, в котором образец относится к категории «утилизируемый». Если текущий год меньше значения, равного сумме года окончания производства и предельного срока хранения, но больше года попадания образца в категорию «утилизируемый», то объем образцов, подлежащих утилизации, равен объему выпуска образца в год t' . При этом если текущий год больше суммы года окончания производства и предельного срока хранения, то в этом случае расчетный объем принимается равным нулю.

Блок-схема алгоритма выбора номенклатуры и прогнозирования объемов и сроков накопления техники, подлежащей утилизации, представлена на рисунке 2. Расчет проводится по каждому i -му образцу рассматриваемой номенклатуры 1 (блоки 1, 10, 11), начиная с первого года t_0 , последовательно по годам t планируемого периода T (блоки 2, 8, 9). Объем выборки образцов, подлежащих утилизации, зависит от положения текущего года планирования по отношению к временным показателям его жизненного цикла (G_{k_i} , T_{x_i} , $T_{э_i}$) (блок 3). Если текущий год больше или равен сумме G_{k_i} и T_{x_i} (для образцов, находившихся на хранении) или G_{k_i} и $T_{э_i}$ (для образцов, находившихся в эксплуатации), то объемы образцов, подлежащих утилизации N_{un_i} , рассчитываются соответственно по формулам блока 4, в противном случае – по формулам блока 5 (рисунок 2). Получение отрицательных значений (блок 6) свидетельствует о том, что в рассматриваемом году i -е образцы не подлежат утилизации. Следовательно, их объем равен нулю (блок 7). На следующем этапе исследований необходимо определить перечень НИОКР, которые следует провести для реализации основных направлений утилизации соответствующих образцов техники.

Предлагается формулировать задачу выбора (прогнозирования) тематики при отсутствии проектно-конструкторских и технологических разработок в вероятностной постановке. Показателем, используемым в качестве критерия возможности

решения научно-технической задачи к намеченному сроку, является вероятность достижения цели. В зависимости от того, достигнет ли эта вероятность уровня достоверности или нет, будет решаться вопрос о включении темы в проект программы утилизации.

Вероятность $P(t)$ достижения цели к моменту времени t можно определить из выражения:

$$P(t) = 1 - \exp(-\alpha(t)), \tag{2}$$

где $\alpha(t)$ – технико-экономический потенциал.

Применительно к проблеме утилизации сельскохозяйственной техники выразим $\alpha(t)$ как произведение индексов материального обеспечения $\beta(t)$ и научно-технического потенциала $w(t)$, который будет сформирован к моменту времени t :

$$\alpha(t) = \beta(t) \cdot w(t). \tag{3}$$

Определение показателя $\beta(t)$ сопряжено с принципиальными трудностями, поскольку на данном этапе исследований невозможно заранее определить уровни допустимых затрат. Поэтому используется индикаторный подход, позволяющий рассчитать не затраты, а степень экономической обеспеченности проводимых исследований. В развернутом виде категории экономической обеспеченности можно представить в виде следующего перечня:

1. Специалисты высшей категории.
2. Инженерно-технические кадры и обслуживающий персонал.
3. Лабораторное оборудование, приборы и материалы для проведения исследований.
4. Информационное обеспечение (базы для изготовления опытных и промышленных образцов).
5. Обеспечение экологической безопасности.

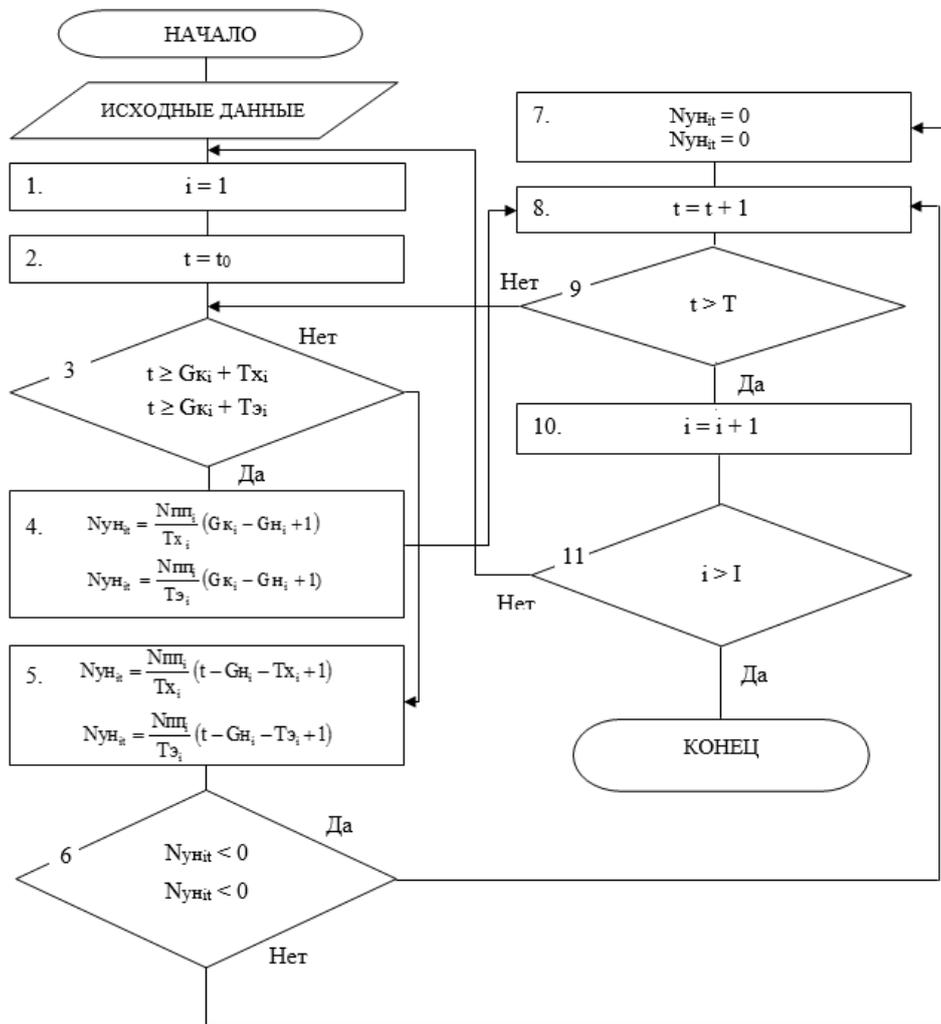


Рис. 2 – Алгоритм выбора номенклатуры и прогнозирования накопления объемов и сроков утилизации образцов сельскохозяйственной техники

Предположим, что все эти категории по значимости равны. При полном отсутствии обеспечения индексу $\beta(t)$ присваивается нулевое значение, а при полном обеспечении значение индекса $\beta(t)=1$. Таким образом, индекс $\beta(t)$ изменяется в пределах от 0 до 1.

Для удобства расчетов разобьем весь диапазон изменения индекса на десять интервалов с шагом (приращением), равным 0,1. При этом существует однозначное соответствие между предполагаемой экономической обеспеченностью исследований и индексом $\beta(t)$.

В настоящее время информационная база не позволяет использовать традиционные методы прогнозирования стоимостных показателей утилизации отдельных моделей сельскохозяйственной техники. В связи с этим предлагается проводить оценку стоимости утилизации на основе экспертно-аналитических методов [19], которые применительно к рассматри-

ваемой проблеме базируются на оценке степени подобия технических и экономических показателей производства продуктов утилизации. Таким образом, стоимость промышленной утилизации образцов оценивается путем аналитического сопоставления размеров основных статей затрат при производстве с затратами на те же статьи затрат при утилизации по формуле:

$$C_{\text{пр}} = \sum_1^N k_i C_i, \quad (4)$$

где C_i – размер стоимости i -й статьи калькуляции при серийном производстве образцов; k_i – коэффициент зависимости i -й статьи калькуляции при утилизации от размера этой статьи при серийном производстве образцов; N – число статей калькуляции.

Одним из основных этапов исследований является распределение ассигнований (средств) между видами (типами) утилизируемой техники и элементами программной структуры, определяющими перспективы развития ее утилизации. Данная часть работы по своему назначению направлена на руководство и координацию научно-исследовательской деятельности всей кооперации исполнителей по обоснованию сбалансированных предложений, связанных с утилизацией сельскохозяйственной техники. Укрупненный алгоритм решения задачи распределения средств на проведение практических работ по утилизации сельскохозяйственной техники представлен на рисунке 3.

На первом этапе расчетов (блок 1) проводится корректировка плана утилизации техники в зависимости от сроков проведения НИОКР. Далее (блок 2) выполняются расчеты по уточнению (корректировке) значений объемов утилизации образцов Ny_{jit} для интервалов планируемого периода с учетом возможностей промышленности Nen_{jit} и спроса на продукцию утилизации Ncn_{jit} по следующей зависимости:

$$Ny_{jit} = \min (Nen_{jit}, Ncn_{jit}), \text{ если } Ny_{jit} > Nen_{jit} \text{ или } Ny_{jit} > Ncn_{jit}. \quad (5)$$

Естественно, если в t -м интервале планируемые объемы i -х образцов не превышают возможностей промышленности и спроса, возникающие в результате их утилизации, то никакие корректировки не производятся. В противном случае скорректированные значения объемов утилизации должны быть равны минимальной мощности промышленности и спросу на продукцию утилизации.

Затем выполняется расчет необходимых (требуемых) затрат на реализацию намеченного плана утилизации по интервалам планируемого периода и за весь период в целом (блок 3) по зависимости:

$$C_{\text{ун}} = \sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C_{yji} N_{jit}. \quad (6)$$

Если требуемые общие затраты меньше или равны выделенным ассигнованиям, то задача считается решенной. В противном случае проводится сбалансирование ассигнований по интервалам планируемого периода с учетом суммарного показателя эффективности утилизации образцов (блок 5), используя соотношение:

$$C'_{ун_t} = C_{ун_t} - \frac{\sum_{t=1}^T \sum_{i=1}^I W_{y_{it}}}{\sum_{i=1}^I W_{y_{it}} \sum_{t=1}^T \frac{\sum_{i=1}^I W_{y_{it}}}{\sum_{i=1}^I W_{y_{it}}}} (C_{ун} - C_{\text{в}}), \quad (7)$$

где $C'_{ун_t}$ – сбалансированные ассигнования в t -м интервале программного периода; $C_{ун_t}$ – необходимые ассигнования на утилизацию в t -м интервале программного периода.

Суммарные ассигнования, необходимые на проведение утилизации по каждому интервалу программного периода, корректируются с учетом дефицита средств ($C_{ун} - C_{\text{в}}$) путем вычитания взвешенной доли дефицита из первоначальной суммы необходимых ассигнований.

На следующем этапе (блок 6) осуществляется распределение сбалансированных по интервалам планируемого периода ассигнований между образцами, подлежащими утилизации:

$$C'_{ун_{it}} = C_{ун_{it}} - \frac{\sum_{i=1}^I W_{y_{it}}}{W_{y_{it}} \sum_{i=1}^I \frac{\sum_{i=1}^I W_{y_{it}}}{W_{y_{it}}}} (C_{ун_t} - C'_{ун_t}), \quad (8)$$

где $C'_{ун_{it}}$ – сбалансированные ассигнования на утилизацию i -х образцов в t -м интервале программного периода; $C_{ун_{it}}$ – необходимые ассигнования на утилизацию i -х образцов в t -м интервале программного периода.



Рис. 3 – Укрупненный алгоритм распределения ассигнований на проведение практических работ по утилизации сельскохозяйственной техники

Механизм распределения происходит аналогичным образом, но в этом случае суммарные затраты на утилизацию корректируются с учетом дефицита средств интервала периода планирования, путем вычитания его из первоначальной суммы необходимых затрат на утилизацию данного образца в текущем году.

Далее (блок 7) осуществляется распределение ассигнований, сбалансированных по образцам между основными направлениями их утилизации:

$$C'_{ун_{ji}} = C_{ун_{ji}} - \frac{\sum_{j=1}^J W y_{ji}}{W y_{ij} \sum_{j=1}^J \frac{\sum_{j=1}^J W y_{ji}}{W y_{ji}}} (C_{ун_i} - C'_{ун_{it}}) \quad (9)$$

где $C'_{ун_{ji}}$ – сбалансированные ассигнования на утилизацию i -х образцов по j -му направлению; $C_{ун_{ji}}$ – необходимые ассигнования на утилизацию i -х образцов по j -му направлению.

В результате перераспределения средств может оказаться, что на утилизацию некоторых образцов техники в определенном интервале планирования будут выделены «отрицательные» ассигнования. Такие образцы исключаются из плана утилизации. В этом случае расчеты приобретают итерационный характер. Процесс завершается, когда все отобранные для утилизации образцы по каждому направлению на каждом интервале планирования имеют положительный показатель эффективности и необходимые затраты на реализацию намеченного плана утилизации не превысят выделенных средств, т.е. выполняются все условия и ограничения поставленной задачи.

По результатам расчетов (блок 8) формируется сбалансированный план утилизации, на основании которого даются предложения в проект ЦПУ на планируемый период по номенклатуре образцов, их объемам, основным направлениям утилизации и срокам выполнения работ.

Заключение. На основании представленных выше соображений можно сделать следующие выводы.

1. Эффективная утилизация сельскохозяйственной техники требует применения сложных экспертно-аналитических методов, способных учитывать множество факторов, влияющих на стоимость и объемы утилизации. Предложен алгоритм, основанный на принципе сравнения затрат при серийном производстве и утилизации, который позволяет более гибко подойти к решению этой проблемы.

2. Для управления процессами утилизации разработана методика, позволяющая в условиях недостаточности исходных данных рационально распределять ассигнования между элементами структуры программы с помощью простых логических и математических расчетов.

3. Распределение средств между различными видами техники и направлениями утилизации является важнейшим этапом в научно-исследовательской деятельности, направленной на совершенствование процессов утилизации. Учитывая

изменчивость спроса и промышленных мощностей, необходимость корректировки планов на каждом этапе подтверждает динамичный характер развития этой области. Это не только обеспечивает экономическое обоснование затрат, но и способствует созданию единой плановой системы утилизации сельскохозяйственной техники и оборудования, действующей на основе программно-целевого метода планирования и управления.

4. Полученные результаты позволяют определить стратегические направления для инвестирования в разработку и внедрение комплексной системы управления процессами утилизации сельскохозяйственной техники, позволяющей минимизировать риски на 25-30 % и обеспечить более эффективное использование ресурсов.

Библиография

1. Игнатов В.И., Герасимов В.С., Буряков С.А., Мордасова М.С. Методология формирования системы утилизации сельскохозяйственной техники в АПК // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2019. № 4. С. 54–61.
2. Игнатов В.И., Герасимов В.С., Буряков С.А. Использование цифровых технологий при ценообразовании ремонта и утилизации техники // Техника и оборудование для села. 2019. № 6(264). С. 32–37. DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-32-37.
3. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Игнатов В.И., Баулин Н.К. Концепция утилизации сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2021. № 3(144). С. 72–81. DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-3-72-81.
4. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Мордасова М.С. Создание в АПК России наукоемкой системы утилизации сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. № 4(149). С. 29–36. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-4-29-36.
5. Журлин А.Н., Егоров Р.Н. Ресурсосберегающие технологии утилизации выбывшей из эксплуатации техники // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 6. С. 82–86.
6. Герасимов В.С., Игнатов В.И., Пехальский И.А. и др. Экологические аспекты при проведении утилизации самоходной техники // Экология и промышленность России. 2018. Т. 22. № 4. С. 31–37. DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-31-37.
7. Игнатов В.И., Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Баулин Н.К. Система утилизации техники в АПК и вопросы законодательной базы // Сельскохозяйственная техника: обслуживание и ремонт. 2021. № 10. С. 56–67. DOI: 10.33920/sel-10-2110-08.
8. Герасимов В.С., Тишанинов И.А., Мордасова М.С. Вопросы создания системы утилизации техники в агропромышленном комплексе // Охрана труда и техника безопасности в сельском хозяйстве. 2023. № 9. С. 41–47.
9. Кравченко И.Н., Кузнецов Ю.А., Лесконог Ю.А. и др. Моделирование процессов формирования системы утилизации выведенной из эксплуатации сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2017. № 9. С. 39–44.
10. Кравченко И.Н., Мигачев Ю.С., Кузнецов Ю.А. и др. Исследование влияния сложности технического исполнения и номенклатурно-количественного состава сельскохозяйственной техники на показатель ее утилизируемости // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 4. С. 683–698. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.683-698.
11. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Мордасова М.С. Стратегия формирования инженерной структуры утилизации сельскохозяйственной техники // Техника и оборудование для села. 2022. № 10(304). С. 31–34. DOI: 10.33267/2072-9642-2022-10-31-34.
12. Катаев Ю.В., Герасимов В.С., Баулин Н.К. Оптимальные решения при проведении утилизации сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. № 1(146). С. 23–31. DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-1-23-31.
13. Журлин А.Н., Егоров Р.Н. Ресурсосберегающие технологии утилизации выбывшей из эксплуатации техники // Международный технико-экономический журнал. 2015. № 6. С. 82–86.
14. Игнатов В.И. Концепция формирования стратегии утилизации техники (СУТ) // Труды ГОСНИТИ. 2016. Т. 124. № 1. С. 8–18.
15. Воротников И.Л., Колотырин К.П., Васильева Е.В., Дильманова Э.С. Особенности учета рисков при реализации проектов рециклирования сельскохозяйственной техники // Аграрный научный журнал. 2017. № 1. С. 54–58.
16. Поспелов Г.С., Ириков В.А., Курилов А.Е. Процедуры и алгоритмы формирования комплексных программ. М.: Наука, 1985. 424 с.
17. Шарапова А.В. Проблемы применения методов сетевого планирования и управления в отраслях АПК // Управление рисками в АПК. 2019. № 1(29). С. 16–24.
18. Кравченко И.Н., Алдошин Н.В., Лесконог Ю.А. Формирование системы управления процессами утилизации сельскохозяйственной техники // Труды ГОСНИТИ. 2017. Т. 127. С. 120–132.
19. Игнатов В.И., Герасимов В.С., Мордасова М.С. Утилизация и ремонт техники как элементы циркулярной экономики // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 1. С. 21–42. DOI: 10.15507/2658-4123.030.202001.021-042.

References

1. Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Buryakov S.A., Mordasova M.S. Metodologiya formirovaniya sistemy utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki v APK [Methodology for the formation of a system for the disposal of agricultural machinery in the agro-industrial complex] // Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2019. № 4. S. 54–61 (In Russian).
2. Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Buryakov S.A. Ispol'zovaniye tsifrovyykh tekhnologiy pri tsenoobrazovanii remonta i utilizatsii tekhniki [Using digital technologies in pricing for repair and disposal of equipment] // Tekhnika i oborudovaniye dlya sela. 2019. № 6(264). S. 32–37 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2019-6-32-37.
3. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Baulin N.K. Kontseptsiya utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [The concept of utilization of agricultural machinery] // Tekhnicheskii servis mashin. 2021. № 3(144). S. 72–81 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2021-59-3-72-81.
4. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Mordasova M.S. Sozdaniye v APK Rossii naukoemkoy sistemy utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Creation of a science-intensive system for the disposal of agricultural machinery in the Russian agro-industrial complex] // Tekhnicheskii servis mashin. 2022. № 4(149). S. 29–36 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-4-29-36.
5. Ignatov V.I., Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Baulin N.K. Sistema utilizatsii tekhniki v APK i voprosy zakonodatel'noy bazy [The system of equipment disposal in the agro-industrial complex and issues of the legislative framework] // Sel'skokhozyaystvennaya tekhnika: obsluzhivaniye i remont. 2021. № 10. S. 56–67 (In Russian). DOI: 10.33920/sel-10-2110-08.

6. Zhurilin A.N., Egorov R.N. Resursosberegayushchiye tekhnologii utilizatsii vybyvshey iz ekspluatatsii tekhniki [Resource-saving technologies for the disposal of disused equipment] // *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal*. 2015. № 6. S. 82–86 (In Russian).
7. Gerasimov V.S., Ignatov V.I., Pekhalskiy I.A. et al. Ekologicheskiye aspekty pri provedenii utilizatsii samokhodnoy tekhniki [Environmental aspects during the disposal of self-propelled equipment] // *Ekologiya i promyshlennost' Rossii*. 2018. Vol. 22. № 4. S. 31–37 (In Russian). DOI: 10.18412/1816-0395-2018-4-31-37.
8. Gerasimov V.S., Tishaninov I.A., Mordasova M.S. Voprosy sozdaniya sistemy utilizatsii tekhniki v agropromyshlennom kompleksa [Issues of creating a system for recycling equipment in the agro-industrial complex] // *Okhrana truda i tekhnika bezopasnosti v sel'skom khozyaystve*. 2023. № 9. S. 41–47 (In Russian).
9. Kravchenko I.N., Kuznetsov Yu.A., Leskonog Yu.A. et al. Modelirovaniye protsessov formirovaniya sistemy utilizatsii vyvedennoy iz ekspluatatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Modeling the processes of formation of the disposal system of decommissioned agricultural machinery] // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2017. № 9. S. 39–44 (In Russian).
10. Kravchenko I.N., Migachev Yu.S., Kuznetsov Yu.A. et al. Issledovaniye vliyaniya slozhnosti tekhnicheskogo ispolneniya i nomenklaturno-kolichestvennogo sostava sel'skokhozyaystvennoy tekhniki na pokazatel' yeye utiliziruyemosti [Study of the influence of the complexity of technical execution and the nomenclature and quantitative composition of agricultural machinery on the indicator of its utilization] // *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy*. 2020. Vol. 30. № 4. S. 683–698 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202004.683-698.
11. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Mordasova M.S. Strategiya formirovaniya inzhenernoy struktury utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Strategy for the formation of an engineering structure for the utilization of agricultural machinery] // *Tekhnika i oborudovaniye dlya sela*. 2022. № 10(304). S. 31–34 (In Russian). DOI: 10.33267/2072-9642-2022-10-31-34.
12. Kataev Yu.V., Gerasimov V.S., Baulin N.K. Optimal'nyye resheniya pri provedenii utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Optimal solutions for the disposal of agricultural machinery] // *Tekhnicheskii servis mashin*. 2022. № 1(146). S. 23–31 (In Russian). DOI: 10.22314/2618-8287-2022-60-1-23-31.
13. Zhurilin A.N., Egorov R.N. Resursosberegayushchiye tekhnologii utilizatsii vybyvshey iz ekspluatatsii tekhniki [Resource-saving technologies for recycling of decommissioned equipment] // *Mezhdunarodnyy tekhniko-ekonomicheskii zhurnal*. 2015. № 6. S. 82–86 (In Russian).
14. Ignatov V.I. Kontseptsiya formirovaniya strategii utilizatsii tekhniki (SUT) [Concept of formation of strategy of utilization of equipment (SUE)]. *Trudy GOSNITI*. 2016. Vol. 124. № 1. S. 8–18 (In Russian).
15. Vorotnikov I.L., Kolotyurin K.P., Vasilyeva E.V., Dilmanova E.S. Osobennosti ucheta riskov pri realizatsii proyektov retsiklirovaniya sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Features of risk accounting in the implementation of agricultural machinery recycling projects] // *Agrarnyy nauchnyy zhurnal*. 2017. № 1. S. 54–58 (In Russian).
16. Pospelov G.S., Irikov V.A., Kurilov A.E. Protsedury i algoritmy formirovaniya kompleksnykh programm [Procedures and algorithms for the formation of complex programs.]. Moscow : Nauka. 1985. 424 s. (In Russian).
17. Sharapova A.V. Problemy primeneniya metodov setevogo planirovaniya i upravleniya v otraslyakh APK [Problems of application of network planning and management methods in the agro-industrial complex] // *Upravleniye riskami v APK*. 2019. № 1(29). S. 16–24 (In Russian).
18. Kravchenko I.N., Aldoshin N.V., Leskonog Yu.A. Formirovaniye sistemy upravleniya protsessami utilizatsii sel'skokhozyaystvennoy tekhniki [Formation of a management system for the disposal of agricultural machinery] // *Trudy GOSNITI*. 2017. Vol. 127. S. 120–132 (In Russian).
19. Ignatov V.I., Gerasimov V.S., Mordasova M.S. Utilizatsiya i remont tekhniki kak elementy tsirkulyarnoy ekonomiki [Recycling and repair of equipment as elements of a circular economy] // *Inzhenernyye tekhnologii i sistemy*. 2020. Vol. 30. № 1. S. 21–42 (In Russian). DOI: 10.15507/2658-4123.030.202001.021-042.

Сведения об авторах

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

Башко Артем Юрьевич, аспирант кафедры технического сервиса машин и оборудования, ФГБОУ ВО «Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева», ул. Тимирязевская, д. 49, г. Москва, Россия, 127434, тел. +7 (911) 155-41-10, e-mail: bashko86@mail.ru.

Кузнецов Юрий Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры надежности и ремонта машин, ФГБОУ ВО «Орловский государственный аграрный университет имени Н.В. Парахина», ул. Генерала Родина, д. 69, г. Орел, Россия, 302019, тел. +7 (920) 828-92-219, e-mail: kentury@yandex.ru.

Information about authors

Kravchenko Igor Nikolaevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technical Service of Machines and Equipment, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, Russia, 127434, tel. +7 (916) 242-78-86, e-mail: kravchenko-in71@yandex.ru.

Bashko Artem Yuryevich, Postgraduate Student of the Department of Technical Service of Machines and Equipment, Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy, 49 Timiryazevskaya St., Moscow, Russia, 127434, tel. +7 (911) 155-41-10, e-mail: bashko86@mail.ru.

Kuznetsov Yury Alekseevich, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Reliability and Repair of Machines, Orel State Agrarian University named after N.V. Parakhin, 69 General Rodin St., Orel, Russia, 302019, tel. +7 (920) 828-92-219, e-mail: kentury@yandex.ru.

УДК 633.2

А.Т. Лебедев, А.А. Серегин, П.А. Лебедев, Б.А. Ангрыков, О.А. Абушинов

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ИЗМЕНЕНИЯ НАСЫПНОЙ ПЛОТНОСТИ СЕМЯН КОХИИ ПРОСТЕРТОЙ

Аннотация. В данном исследовании представлены исследования закономерностей изменения насыпной плотности семян кохии простертой (прутняка), оказывающих влияние на качественный посев. При заготовке семян верхняя часть стеблей срезается вместе с семенами и после просушивания убранный материал обмолачивается. Анализ исследований показывает, что семенной ворох прутняка, согласно принятой классификации, относится как к трудно сыпучим, так и несипучим материалам. В реальной действительности изменение плотности укладки частиц, по нашему мнению, может происходить из-за колебаний, вибраций, встряхивания, которые возникают при работе машин, или рабочих органов, непосредственно контактирующих с сыпучим материалом, а также за счет намеренного сжатия материала. За счет таких изменений можно выделить три периода степени уплотнения сыпучего материала: И – исходная насыпка, В – частичное уплотнение вибрацией, П – сжатие прессованием. Сравнительные экспериментальные исследования по динамике изменения насыпной плотности и коэффициентов уплотнения сыпучих материалов выполнены для уточнения и подтверждения представленных теоретических положений. Наибольшее изменение насыпной плотности на этапе В отмечено для семенного материала кохии простертой (прутняка), которая увеличилась со 160 до 217 кг/м³, объем удаленного воздуха составил 420 см³, исходный объем насыпки снизился на 26,2 %, коэффициент уплотнения составил 1,36. Это исключило подвижность данного образца при наклоне и перевороте емкости. Впервые предложенная теоретическая модель динамики изменения насыпной плотности семенного материала кохии простертой подтверждена экспериментальными данными. Семенная масса прутняка является многокомпонентной смесью, содержащей мелкосеменную фракцию, в значительной степени изменяет исходную насыпную плотность из-за встряхиваний, колебаний, вибрации и сжатия прессованием. Уплотнение семян увеличивается на 63 %, что исключает подвижность и сыпучесть семян.

Ключевые слова: корм, семена, прутняк, животноводство, аридность, насыпная плотность.

PATTERNS OF CHANGES IN THE BULK DENSITY OF THE SEEDS OF KOCHIA PROSTRATE

Abstract. This study presents studies of the patterns of changes in the bulk density of prostrate cochia seeds (prutnyak), which affect the quality of sowing. When harvesting seeds, the upper part of the stems is cut off along with the seeds and after drying, the harvested mass is threshed. The analysis of the research shows that the seed pile of the rod, according to the accepted classification, is classified as both hard-to-loose and non-loose materials. In reality, a change in the density of particle stacking, in our opinion, may occur due to vibrations, vibrations, shaking that occur during the operation of machines or working bodies in direct contact with bulk material, as well as due to intentional compression of the material. Due to such changes, three periods of the degree of compaction of the bulk material can be distinguished: I – initial filling, B – partial compaction by vibration, P – compression by pressing. Comparative experimental studies on the dynamics of changes in bulk density and compaction coefficients of bulk materials were carried out to clarify and confirm the theoretical provisions presented. The largest change in bulk density at stage B was noted for the prostrate cochii (rod) seed material, which increased from 160 to 217 kg/m³, the volume of removed air was 420 cm³, the initial volume of the filling decreased by 26.2 %, the compaction coefficient was 1.36. This eliminated the mobility of this sample during tilting and overturning of the container. For the first time, the proposed theoretical model of the dynamics of changes in the bulk density of the cochian seed material is confirmed by experimental data. The seed mass of the rod is a multicomponent mixture containing a small-seed fraction, which significantly changes the initial bulk density due to shaking, vibrations, vibration and compression by pressing. Seed compaction increases by 63 %, which eliminates the mobility and flowability of seeds.

Keywords: feed, seeds, rod, animal husbandry, aridity, bulk density.

Введение. Среди основных направлений развития агропромышленного комплекса одним из приоритетных является развитие животноводства как гаранта обеспечения продовольственной безопасности страны выделяемое в Доктрине продовольственной безопасности Российской Федерации по Указу Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20. Непременным условием ведения эффективного животноводства является обеспеченность надежной и качественной кормовой базой в течение всего года независимо от природно-климатической зоны. Особую значимость это имеет в засушливых зонах страны, которые по степени засушливости (аридности) разделяются на шесть категорий. Крайне и сильно аридные территории с коэффициентом аридности 0,11...0,30 охватывают Астраханскую область, Калмыкию, северную часть Дагестана, юг Волгоградской и Саратовской областей, восток Ставропольского края. Их общая площадь составляет 8,7...13,1 млн. га [1, 2]. На этих территориях развито пастбищное скотоводство. Лидирующие позиции принадлежат Калмыкии. Площадь пастбищ в структуре земельного фонда республики составляет 5371,5 тыс. га, или 85 % [3]. Потребности животных обеспечиваются за счет естественной продуктивности пастбищ, которая в настоящее время в среднем составляет 0,8...1,2 ц/га [3, 4]. Что может обеспечить полноценным питанием лишь половину существующего поголовья. С учетом нынешнего поголовья животных средние по республике нагрузки скота на пастбища превышают нормы до 2,5 раз [3]. Прогнозируемое увеличение производства продукции животноводства, в первую очередь за счет увеличения численности поголовья, должно сопровождаться за счет кардинальных мер по восстановлению деградированных пастбищ, их коренного улучшения, разработки и внедрения технологий производства новых видов кормов и создание гарантированной базы кормовых ресурсов. Для осуществления такого важного для аридных территорий стратегического проекта выполнено большое количество теоретических и экспериментальных исследований по введению в культуру перспективных трав, адаптированных к местным климатическим условиям. Имеется реальный передовой опыт широкомасштабного использования аридных культур при производственной проверке их агробиологической и хозяйственной ценности на территории Республики Калмыкия [3, 4]. На площади 2361 га в Приютненском районе изучены особенности развития и продуктивность прутняка (кохии простертой) и травосмесей из житняка и прутняка. Урожайность прутняка составляла 25...34 ц/га, а травосмеси достигала 40 ц/га сухой массы [3]. Такая продуктивность угодий позволит увеличить поголовье до 30...40 млн. условных голов в масштабах Республики Калмыкия. Однако широкомасштабное тиражирование и распространение этого положительного опыта сдерживается рядом причин объективного и субъективного характера, которые можно условно разделить на две

группы: семена и машины. Получаемого семенного материала на малочисленных семенных участках, или собираемого вручную из дикорастущих трав недостаточно как по количеству, так и по качеству, в первую очередь из-за плохой полевой всхожести. Технические средства, которые требуются на различных технологических операциях возделывания и переработки травяной массы прутняка, отсутствуют, а те, которые используются, очень часто не учитывают механические, физические, морфологические и другие особенности аридных культур. Наибольшие проблемы на практике вызывают качественный посев, получение качественного семенного материала, переработка собранного урожая для получения новых видов корма из трав аридных культур.

В данном исследовании представлены исследования закономерностей изменения насыпной плотности семян кохии простертой, оказывающих влияние на качественный посев.

Материалы и методика. Кохия простертая адаптировалась и встречается в различных природно-климатических условиях от пустынь до высокогорий. По своей жизненной форме она относится к полукустарничкам. Имеет мощную и глубоко проникающую в почву корневую систему. Кохия простертая, наряду с другими перспективными полукустарничками и полукустарничками, отобрана из дикорастущих трав, как ценный и высокопитательный экотип и введена в культуру. В научной литературе [4, 10] встречаются и другие равнозначные названия кохии: прутняк, изень, зултрган. Наиболее распространенным синонимом является прутняк. При заготовке семян верхняя часть стеблей срезается вместе с семенами и после просушивания убранный материал обмолачивается. Полученный семенной ворох досушивается и закладывается на хранение до посева.

Согласно ГОСТ Р 55330-2012 «Семена аридных кормовых культур. Посевные качества», семена кохии простертой должны иметь: чистоту не менее 50 % и 35 %, содержание семян сорняков не более 1,5 % и 2,5 %, всхожесть не менее 60 % и 50 % для оригинальных, элитных семян (ОС, ЭС) и репродукционных семян (РС) соответственно, влажность не более 12 % [5]. Исходя из стандартных требований по чистоте семян считаем, что более точными или равнозначными определениями термину «семена» употребление терминов «семенной материал», «семенной ворох» или «посевная масса». Так как получаемый после обмолота продукт однозначно представляет собой многокомпонентную смесь, содержащую в том числе и семена кохии.

В качестве объекта в данном исследовании выступают семена кохии простертой, урожаем 2023 года. Согласно исследованиям, выполненными испытательным центром «Северо-Кавказская межрегиональная ветеринарная лаборатория» (ИЦ ФГБУ «Северо-Кавказская МВЛ») получены следующие данные: категория семян РС, всхожесть семян 61 %, энергия прорастания семян 59 %, масса 1000 семян 1,3 г.

К наиболее употребительным физическим свойствам семенного материала можно отнести: гранулометрический состав, размерно-весовые характеристики, форма отдельных семян, насыпная плотность, плотность семян, влажность, гигроскопичность, сыпучесть и другие свойства [6]. Учитывая специфику семенного материала кохии простертой как многокомпонентной смеси, исследование гранулометрического состава считаем целесообразным представить отдельным исследованием.

Принципиальное значение при выборе устройства, реализующего заданную технологическую операцию, имеет сыпучесть, или степень подвижности материала. Анализ исследований показывает, что семенной ворох прутняка, согласно принятой классификации, относят как к трудно сыпучим, так и несипучим материалам [9, 10]. В основу классификации, предложенной академиком А.Н. Карпенко, положено деление на группы по величине коэффициента внутреннего трения f , который определяется углом естественного откоса – углом между откосом насыпи и горизонтальной плоскостью [8]. Всего четыре группы: семена повышенной сыпучести при $f < 0,45$, сыпучие $f = 0,45 \dots 0,7$, семена пониженной сыпучести $f = 0,7 \dots 1,0$ и несипучие $f > 1,0$. Данный метод оценки фрикционных свойств материалов при их свободном истечении оправдан, и дает хорошую сходимости теоретических и экспериментальных результатов для первых двух групп. Трудно сыпучие материалы имеют пограничное состояние. При снижении сил сцепления между частицами улучшается сыпучесть материала, а при их увеличении, за счет уплотнения, материал все также остается трудно сыпучим. Для придания такому уплотненному материалу сыпучести необходима еще большая работа для снижения связности между частицами и слоями такого материала. Термин несипучий материал, по нашему мнению, не предусматривает возможности появления сыпучести у этого материала. Поэтому физические и механические свойства трудно сыпучих и несипучих материалов, должна оцениваться так, как оценивается связная среда, для которой устанавливаются начальное сопротивление сдвигу, коэффициент текучести и другие параметры [11]. Представленный анализ существующей классификации сыпучих материалов позволяет обоснованно отнести семенной материал кохии простертой к категории трудно сыпучих материалов.

Одной из значимых оценок сыпучего материала является насыпная плотность или натура, применительно к зерновым материалам. Насыпная плотность является неотъемлемой частью при проектировании бункеров, силосов, семенных и туковых ящиков сеялок, емкостей для смешивания и приготовления многокомпонентных смесей и других устройств.

Насыпной плотностью сыпучего материала γ ($\text{кг}/\text{м}^3$) называют массу M (кг) единицы объема V (м^3) этого материала при свободном засыпании в измерительный сосуд и определяется по формуле [6]

$$\Gamma = \frac{M}{V}, \quad (1)$$

Насыпная плотность исходя из определения зависит от массы сыпучего материала, размещенного в известном объеме емкости при ее заполнении, и собственно объема, ограниченного внутренними поверхностями этой емкости. В количественном отношении масса сыпучего материала, находящегося в емкости, величина постоянная, при условии постоянства влажности и плотности частиц этого материала. В наибольшей степени изменению подвержен внутренний объем емкости, величина которого определяется суммой объемов всех частиц твердой фракции сыпучего материала V_4 и суммарным объемом $V_{\text{пч}}$ всех пустот между частицами, которые заполнены атмосферным воздухом: $V = V_4 + V_{\text{пч}}$.

При отсутствии разрушающих нагрузок и сохранении целостности частиц сыпучего материала величина V_4 постоянна. Гранулометрический состав и форма частиц не оказывают влияния на V_4 , но в значительной степени определяют способ укладки их в слое и свободное пространство между частицами. Как показывает практика, при постоянной влажности и отсутствии внешних механических воздействий, сыпучий материал с течением времени t может самоуплотняться, что связано с уменьшением суммарного объема пустот $V_{\text{пч}}$ между частицами. В этом случае происходит увеличение насыпной плотности из-за самопроизвольного уплотнения укладки частиц. Это характерно для разнородных многокомпонентных смесей, в том числе и для семенного вороха кохии простертой [6, 11].

В реальной действительности изменение плотности укладки частиц, по нашему мнению, может происходить из-за колебаний, вибраций, встряхивания, которые возникают при работе машин или рабочих органов, непосредственно контак-

тирующих с сыпучим материалом, а также за счет намеренного сжатия материала. За счет таких изменений можно выделить три периода степени уплотнения сыпучего материала: И – исходная насыпка, В – частичное уплотнение вибрацией, П – сжатие прессованием. Для соответствующего периода состояния материала можно оценить исходной насыпной плотностью $\gamma_{и}$ и объемом $V_{и}$, плотностью за счет вибрации $\gamma_{в}$ и объемом $V_{в}$, плотностью после прессования $\gamma_{п}$ и объемом $V_{п}$. Конкретные значения величин объемов для каждого периода определяются экспериментально, а соответствующие им плотности по формуле (1). Теоретическая зависимость изменения насыпной плотности сыпучего материала в зависимости от указанных периодов, представлена на рисунке 1.

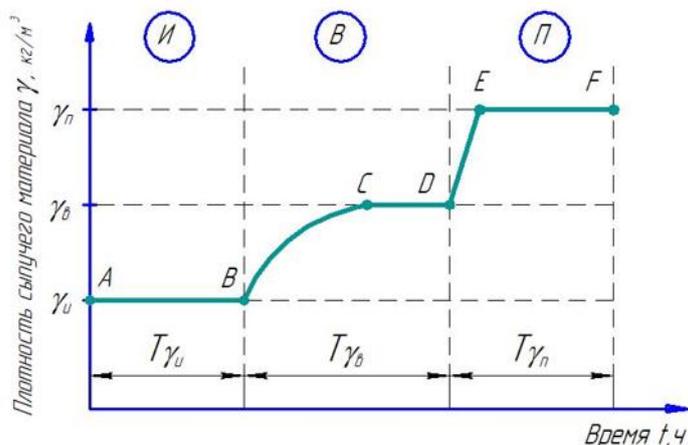


Рис. 1 – Диаграмма изменения насыпной плотности сыпучего материала

На рисунке 1 отрезок АВ соответствуют времени постоянного значения экспериментально определенного значения $\gamma_{и}$. Отрезок ВС характеризует уплотнение укладки частиц для периода В. На этом этапе происходит вытеснение доли атмосферного воздуха и уменьшение объема пустот на величину $\Delta V_{в}$. Общий объем, занимаемый сыпучим материалом, уменьшается до $V_{в}$, величина которого на отрезке CD не изменяется, даже под действием вибрации. Но при любой степени изменения исходной плотности материала с течением времени, сыпучая среда будет содержать минимальный объем свободного пространства между твердыми частицами $V_{сч}$. Отрезок DE характеризует интенсивность дополнительного уплотнения сыпучего материала на участке П, после уплотнения вибрацией. Происходит дополнительное вытеснение доли атмосферного воздуха и уменьшение объема пустот на величину $\Delta V_{п}$. Объем, занимаемый сыпучим материалом, уменьшается до $V_{п}$, его величина на отрезке EF – постоянна.

Исходя из выполненного анализа, теоретическая зависимость изменения насыпной плотности представлена в следующем виде:

$$\gamma = \frac{M}{V_{и} + V_{сч} + \Delta V_{в} + \Delta V_{п}} \quad (2)$$

На данном этапе решение представленной зависимости выполнено экспериментально.

Результаты и их обсуждение. Сравнительные экспериментальные исследования по динамике изменения насыпной плотности и коэффициентов уплотнения сыпучих материалов выполнены для уточнения и подтверждения представленных теоретических положений. Наряду с семенной массой кохии протертой, в эксперименте были исследованы дерть, смесевой состав (смесь) пшеницы с ячменем в соотношении 50:50, кукуруза и горох. Дерть представляла собой смесь пшеницы, ячменя и кукурузы по 30 % каждого и гороха в количестве 10 %, измельчённых до среднего модуля помола, размер частиц 1,2 мм.

Влажность кохии протертой составляла 9,8 %, остальных образцов не превышала 12,2 %. При проведении эксперимента использовалось лабораторное оборудование (рисунок 2), стандартные и оригинальные методики [6, 12].



а) анализатор влажности ЭВЛАС-2М



б) шкаф сушильный СЭШ-3М-02



в) весы DEMCOM

Рис. 2 – Лабораторное оборудование

При проведении эксперимента моделировалось поведение образцов в условиях, приближенных к реальному посеву. В соответствие с ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытания» рекомендуется определять влияние тряски на качество работы высевающих аппаратов рядовых сеялок [7].

Опыты проводились в следующей последовательности. На этапе И исследуемый образец засыпался непрерывным потоком в стеклянную емкость до полного его заполнения. Излишки по верхнему обрезу емкости удалялись металлической линейкой. По занимаемому объему определялся V_u . Далее для имитации вибрации на этапе В вручную создавались толкающие удары снизу емкости, расположенной вертикально, со средней частотой 1,5 Гц в течение одной минуты. После емкость устанавливалась на горизонтальный стол и в журнале наблюдений регистрировалась высота уплотненного образца H_n . На третьем этапе осуществляли дальнейшее уплотнение образца сжатием в несколько приемов без встряхивания до максимальной осадки образца, и фиксировали высоту образца H_n . В дальнейшем образец пересыпался в пакет и взвешивался. Одновременно контролировалась сыпучесть материала. Далее емкость очищалась от остатков материала и из мерного стакана заливалась вода до полученных отметок H_n и H_v , по которым определялись величины объемов V_n и V_v . По всем образцам выполнены аналогичные операции и определены интересные параметры. Фрагменты проведения экспериментальных исследований представлены на рисунке 3.

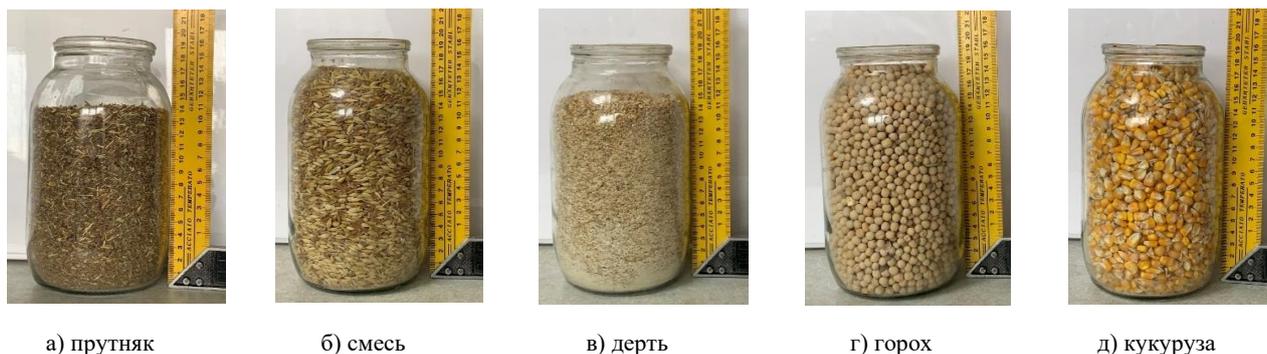


Рис. 3 – Фото образцов после второго этапа (уплотнение вибрацией)

Результаты и их обсуждение. Все исходные и расчетные данные представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Результаты исследования насыпной плотности образцов

Параметр	Прутняк	Смесь	Дерть	Горох	Кукуруза
$D_{нар}$, мм	115	115	115	115	115
H , мм	195	195	195	195	195
$H_в$, мм	138	170	153	183	183
H_n , мм	116	165	142	183	183
$\Delta H_в = H - H_в$	57	25	43	12	12
$\Delta H_n = H_в - H_n$	18	5	11	0	0
$\Delta H_в$, %	29,2	12,8	22,1	6,2	6,2
ΔH_n , %	13,4	3,0	7,2	0	0
V , см ³	1600	1600	1600	1600	1600
$V_в$, см ³	1180	1440	1340	1530	1530
V_n , см ³	980	1400	1260	1530	1530
$\Delta V_в = V - V_в$	420	160	260	70	70
$\Delta V_n = V_в - V_n$	200	40	80	0	0
$\Delta V_в$, %	26,2	10	16,2	4,4	4,4
ΔV_n , %	17	2,8	6,0	0	0
m , г	256	1102	916	1250	1138
$\gamma_u = m/V_u$	160	689	572	781	711
$\gamma_в = m/V_в$	217	765	684	817	744
$\gamma_n = m/V_n$	261	787	727	817	744
$K_{у_в}$	1,36	1,11	1,19	1,05	1,05
$K_{у_n}$	1,63	1,14	1,27	1,05	1,05

По результатам, представленным в таблице, построены графики изменения насыпной плотности всех представленных образцов (рисунок 4). Наибольшее изменение насыпной плотности на этапе В отмечено для семенного материала кохии простертой (прутняка), которая увеличилась со 160 до 217 кг/м³, объем удаленного воздуха составил 420 см³, исходный объем насыпки снизился на 26,2 %, коэффициент уплотнения составил 1,36. Это исключило подвижность данного образца при наклоне и перевороте емкости. Насыпные плотности дерти, смеси, кукурузы и гороха увеличились с разной степенью

интенсивности на 19,6 %, 11,1 %, 4,6 % и 4,6 %, соответственно. Исходный объем насыпки снизился на 16,2 %, 10 %, 4,4 % и 4,4 %, коэффициент уплотнения 19 %, 11 %, 5 % и 5 %, соответственно. Все образцы сохранили исходную сыпучесть и подвижность. На третьем этапе (период П) насыпная плотность кукурузы и гороха осталась прежней, небольшое снижение отмечено у смеси на 2,8 % и у дерги на 6,3 %. Подвижность и сыпучесть осталась прежней. В отличие от рассмотренных образцов семенная масса кохии простертой на этом этапе дополнительно уплотнилась на 17 %, насыпная плотность составила 261 кг/м³, объем удаленного воздуха составил 200 см³, коэффициент уплотнения составил 1,63. Подвижность и сыпучесть не появились и в перевернутой емкости.

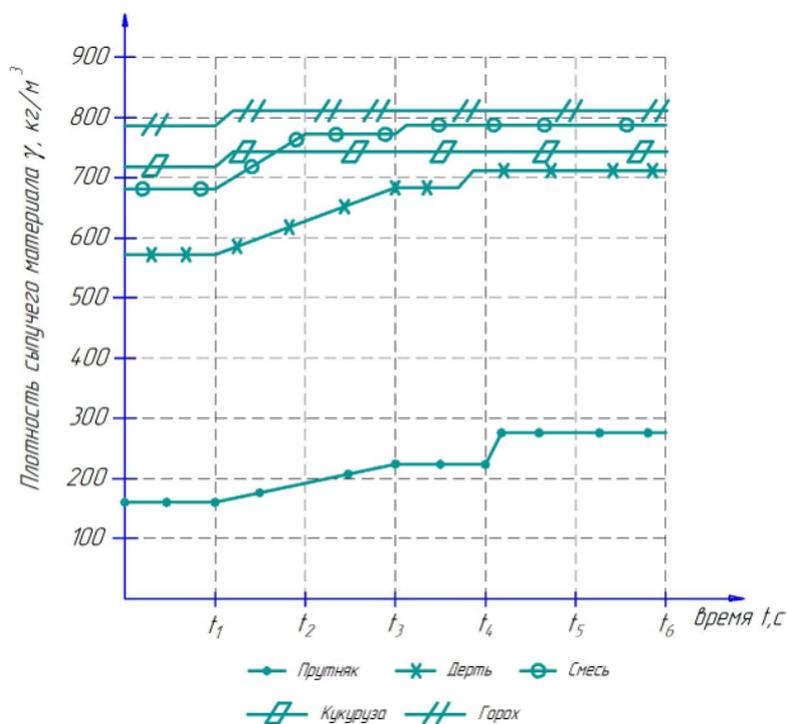


Рис. 4 – Изменение насыпной плотности экспериментальных образцов

На рисунке 5 представлены сравнительные данные величин объема воздуха, удаляемого при уплотнении сыпучего материала ΔV_v и ΔV_n , и коэффициенты уплотнения $K_{ув}$ и $K_{уп}$ всех изученных образцов.

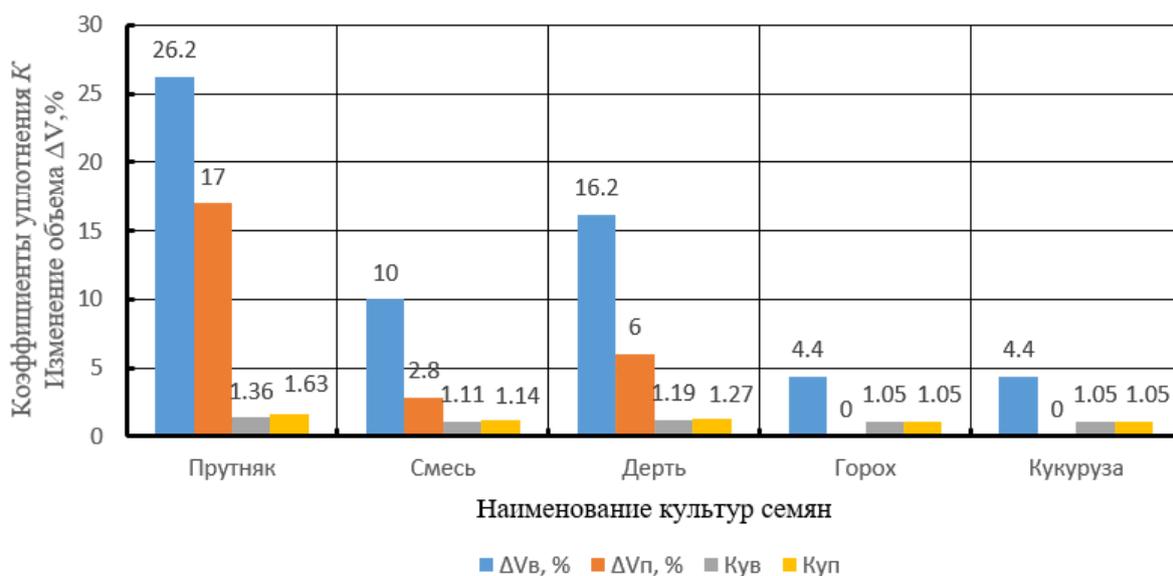


Рис. 5 – Диаграмма сравнительных данных изученных образцов

Выводы. На основании обобщения полученных результатов можно сделать следующие выводы.

1. Кохия простертая является ценной кормовой культурой, адаптированной к возделыванию в крайне и сильно аридных зонах с коэффициентом аридности 0,11...0,30. Недостаточный объем объективных данных по динамике изменения физических и механических свойств семенного материала трав аридных культур сдерживает разработку и совершенствование технических средств для их возделывания.

2. Предложенная теоретическая модель динамики изменения насыпной плотности семян кохии простертой подтверждена экспериментальными данными. При встряхивании и вибрации насыпная плотность увеличилась со 160 до 217 кг/м³, объем удаленного воздуха составил 420 см³, исходный объем насыпки снизился на 26,2 %, коэффициент уплотнения составил 1,36. Это исключило подвижность и сыпучесть данного образца.

3. Насыпные плотности дерты, смеси, кукурузы и гороха увеличились с разной степенью интенсивности на 19,6 %, 11,1 %, 4,6 % и 4,6 %, соответственно. Исходный объем насыпки снизился на 16,2 %, 10 %, 4,4 % и 4,4 %, коэффициент уплотнения 19 %, 11 %, 5 % и 5 %, соответственно. Все образцы сохранили исходную сыпучесть и подвижность.

4. Семенная масса прутняка является многокомпонентной смесью, содержащей мелкосеменную фракцию, в значительной степени изменяет исходную насыпную плотность из-за встряхиваний, колебаний, вибрации и сжатия прессованием. Суммарное уплотнение семян увеличивается на 63 %, что исключает подвижность и сыпучесть семян.

5. Полученные результаты могут служить основой для разработки и совершенствования семенных ящиков, бункеров для семян, высевальных аппаратов и способов организации доставки трудно сыпучего семенного материала к заделывающим устройствам при посеве аридных культур.

Библиография

1. Зонн И.С. Земельные ресурсы аридных территорий России / И. С. Зонн, И. А. Трофимов, Н. З. Шамсутдинов, З. Ш. Шамсутдинов // Аридные экосистемы. 2004. Т. 10, № 22/23. С. 87–102.

2. Шамсутдинов З.Ш. Научные основы и методы восстановления продуктивности деградированных аридных пастбищ / З. Ш. Шамсутдинов, Ш. Рахмилевич, Н. Лазаревич, А. А. Хамидов, Н. З. Шамсутдинов // Кормопроизводство. 2009. № 1. С. 11–17.

3. К вопросу повышения продуктивности природных пастбищ Республики Калмыкия // Б. А. Ангрыков, О. Д. Васильев, В. А. Эвиев, А. Т. Лебедев // Природно-ресурсный потенциал Прикаспия и сопредельных территорий: проблемы его рационального использования. Материалы XI региональной научно-практической конференции, посвященной Году семьи. Санкт-Петербург, 2024. С. 58–63.

4. Бегучев П.П. Прутняк – (зултрган) – ценная кормовая культура в Калмыкии / П. П. Бегучев, И. П. Леонтьев // Элиста : Калмыцкое книжное изд-во, 1960. С. 95–102.

5. ГОСТ Р 55330-2012 Семена аридных кормовых культур. Посевные качества. Технические условия. М. : Стандартинформ, 2014. 15 с.

6. ГОСТ 10840-2017. Зерно. Метод определения природы. М. : Стандартинформ, 2019. 10 с.

7. ГОСТ 31345-2017 «Техника сельскохозяйственная. Сеялки тракторные. Методы испытания». М. : Стандартинформ, 2018. 58 с.

8. Карпенко А.Н. Труды ВИМ. М., 1949, т. 12. С. 44–78.

9. Трухачев Е.Д. Результаты сравнительных стендовых испытаний нового высевального устройства для посева несипучих семенных материалов / Е. Д. Трухачев, Д. Н. Сляднев, В. Х. Малиев, А. А. Спиричкин, М. В. Данилов // Вестник АПК Ставрополя. 2015. № 4(20). С. 70–75.

10. Полторынкин С.С. Некоторые физико-механические свойства трудно сыпучих семян терескена и прутняка / С. С. Полторынкин, А. Н. Цепляев // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2013. № 3(31). С. 220–225.

11. Несмиян А.Ю. Обоснование модели сыпучих сред // Вестник аграрной науки Дона. 2013. № 3(23). С. 25–34.

12. Физико-механические свойства растений, почв и удобрений: методы исследования, приборы, характеристики / Б. А. Воронюк, А. И. Пьянков, Л. В. Мильцева и др. М. : Колос, 1970. 423 с.

References

1. Zonn I.S. Zemel'nye resursy aridnyh territorij Rossii [Land resources of arid territories of Russia] / I. S. Zonn, I. A. Trofimov, N. Z. Shamsutdinov, Z. Sh. Shamsutdinov // Aridnye ekosistemy. 2004. T. 10, №22/23. S. 87–102.

2. Shamsutdinov Z.Sh. Nauchnye osnovy i metody vosstanovleniya produktivnosti degradirovannyh aridnyh pastbishch [Scientific foundations and methods of restoring productivity of degraded arid pastures] / Z. Sh. Shamsutdinov, Sh. Rahmilevich, N. Lazarevich, A. A. Hamidov, N. Z. Shamsutdinov // Kormoproizvodstvo. 2009. № 1. S. 11–17.

3. K voprosu povysheniya produktivnosti prirodnyh pastbishch Respubliki Kalmykiya [On the issue of increasing the productivity of natural pastures of the Republic of Kalmykia] // B. A. Angrykov, O. D. Vas'kiev, V. A. Eviev, A. T. Lebedev // Prirodno-resursnyj potencial Priskaspiya i sopredel'nyh territorij: problemy ego racional'nogo ispol'zovaniya. Materialy XI regional'noj nauchno-prakticheskoy konferencii, posvyashchennoj Godu sem'i. Sankt-Peterburg, 2024. S. 58–63.

4. Beguchev P.P. Prutnyak – (zultrgan) – cennaya kormovaya kul'tura v Kalmykii [Prutnyak – a valuable forage crop in Kalmykia] / P. P. Beguchev, I. P. Leont'ev. Elista : Kalmyckoe knizhnoe izd-vo, 1960. S. 95–102.

5. GOST R 55330-2012 Semena aridnyh kormovyh kul'tur. Posevnye kachestva [GOST R 55330-2012 Seeds of arid forage crops. Sowing qualities.]. Tekhnicheskie usloviya. M. : Standartinform, 2014. 15 s.

6. GOST 10840-2017. Zerno. Metod opredeleniya natury [GOST 10840-2017. Seed. The method of determining nature]. M. : Standartinform, 2019. 10 s.

7. GOST 31345-2017 «Tekhnika sel'skohozyajstvennaya. Seyalki traktornye. Metody ispytaniya» [GOST 31345-2017 «Agricultural machinery. Tractor seeders. Test methods»]. M. : Standartinform, 2018. 58 s.

8. Karpenko A.N. Trudy VIM. [Proceedings of VIM]. M., 1949, t. 12. S. 44–78.

9. Truhachev E.D. Rezul'taty sravnitel'nyh stendovyh ispytaniy novogo vysevalushchego ustrojstva dlya poseva nesypuchih semennyh materialov [Results of comparative bench tests of a new seeding device for sowing non-loose seed materials] / E. D. Truhachev, D. N. Slyadnev, V. H. Maliev, A. A. Spirochkin, M. V. Danilov // Vestnik APK Stavropol'ya. 2015. № 4(20). S. 70–75.

10. Poltorynkin S.S. Nekotorye fiziko-mekhanicheskie svoystva trudno sypushih semyan tereskena i prutnyaka / S. S. Poltorynkin, A. N. Ceplyaev [Some physico-mechanical properties of hard-to-loose seeds of teresken and prutnyak] // Izvestiya Nizhnevolskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie. 2013. № 3(31). S. 220–225.

11. Nesmiyan A.Yu. Obosnovanie modeli sypushih sred [Substantiation of the model of bulk media] // Vestnik agrarnoj nauki Dona. 2013. № 3(23). S. 25–34.

12. Fiziko-mekhanicheskie svojstva rastenij, pochv i udobrenij: metody is-sledovaniya, pribory, harakteristiki [Physico-mechanical properties of plants, soils and fertilizers: research methods, devices, characteristics] / В. А. Voronyuk, А. I. P'yankov, L. V. Mil'ceva i dr. М. : Kolos, 1970. 423 s.

Сведения об авторах

Лебедев Анатолий Тимофеевич, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», ул. Пушкина, д. 11, г. Элиста, Республика Калмыкия, Россия, 358000, тел. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: lebedev.1962@mail.ru.

Серегин Александр Анатольевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры агроинженерии, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», ул. Пушкина, д. 11, г. Элиста, Республика Калмыкия, Россия, 358000, тел. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: alexandrseriogin@mail.ru.

Лебедев Павел Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры механики и технического сервиса, ФГБОУ ВО «Ставропольский государственный аграрный университет», пер. Зоотехнический, д.12., г. Ставрополь, Ставропольский край, Россия, 355035, тел. +7 (8652) 35-22-82, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Ангрыков Борис Алексеевич, аспирант кафедры агроинженерии, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», ул. Пушкина, д. 11, г. Элиста, Республика Калмыкия, Россия, 358000, тел. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: angrykov@mail.ru.

Абушинов Олег Анатольевич, старший преподаватель кафедры агроинженерии, ФГБОУ ВО «Калмыцкий государственный университет имени Б.Б. Городовикова», ул. Пушкина, д. 11, г. Элиста, Республика Калмыкия, Россия, 358000, тел. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: stanley-cup@mail.ru.

Information about authors

Lebedev Anatolij Timofeevich, doktor tehnikeskikh nauk, professor, glavnyj nauchnyj sotrudnik, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kalmyckij gosudarstvennyj universitet imeni B.B. Gorodovikova», ul. Pushkina, d. 11, g. Elista, Respublika Kalmykiya, Rossiya, 358000, tel. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: lebedev.1962@mail.ru.

Seregin Alexander Anatolyevich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Agroengineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kalmyckij gosudarstvennyj universitet imeni B.B. Gorodovikova», Pushkin str., 11, Elista, Republic of Kalmykia, Russia, 358000, tel. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: alexandrseriogin@mail.

Lebedev Pavel Anatolyevich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Mechanics and Technical Service, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Stavropol State Agrarian University», trans. Zootechnical, 12., Stavropol, Stavropol Territory, Russia, 355035, tel. +7 (8652) 35-22-82, e-mail: zoya_lebedeva@mail.ru.

Angrykov Boris Alekseevich, postgraduate student of the Department of Agroengineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kalmyckij gosudarstvennyj universitet imeni B.B. Gorodovikova», Pushkin str., 11, Elista, Republic of Kalmykia, Russia, 358000, tel. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: angrykov@mail.ru.

Abushinov Oleg Anatolyevich, Senior lecturer at the Department of Agroengineering, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Kalmyckij gosudarstvennyj universitet imeni B.B. Gorodovikova», Pushkin str., 11, Elista, Republic of Kalmykia, Russia, 358000, tel. +7 (84722) 5-08-10, e-mail: stanley-cup@mail.ru.

УДК 636.631

А.В. Мачкарин, А.В. Рыжков

АНАЛИТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА ПРИ ВНУТРИПОЧВЕННОМ ВНЕСЕНИИ

Аннотация. Утилизация и переработка жидкого навоза в Белгородской области является одной из основных проблем, с которой сталкиваются на животноводческих фермах и комплексах при использовании гидравлического способа уборки навоза, который за время его хранения расслаивается, что приводит к необходимости перемешивания и дальнейшей транспортировки к местам переработки. Основным оборудованием, применяемым для перемешивания жидкого навоза в навозохранилищах, являются устройства с лопастными или винтовыми мешалками. В статье приводятся теоретические исследования процессов однородного перемешивания и внутрипочвенного внесения жидкого навоза, позволяющие обосновать конструктивно-технологические параметры устройства для перемешивания и распределителя жидких органических удобрений, определить гидравлические потери, которые связаны с сужением отверстий, в кольцевых поворотах и зазорах. Применение распределителя жидких органических удобрений с полученной диаграммой изменения площади сечения отверстий позволит эффективно использовать пунктирный способ внесения жидких органических удобрений, который сокращает эмиссию азота в атмосферу на 90...95 %. С понижением влажности навоза циркуляция затухает более интенсивно, что обусловлено проявлением внешних и внутренних сил трения при малых скоростях сдвига. Определено время затухания циркуляции навоза влажностью 95,7 % до $\omega_{кр}=0,59...0,65\text{ с}^{-1}$ составляет 120...250 с. Установлены гидравлические потери напора, связанные с сужением отверстий, в кольцевых поворотах, зазорах и отверстиях, напор, создаваемый распределителем. Использование машин для качественного перемешивания и внутрипочвенного внесения жидких органических удобрений пунктирным способом позволяет обеспечить полную инфильтрацию больших доз внесенных жидких органических удобрений в соответствии с агротехническими требованиями, здоровье почвы, рост урожая и экологическую устойчивость.

Ключевые слова: жидкий навоз, лагуна, однородность, органическое удобрение, устройство, распределитель.

ANALYTICAL STUDIES OF THE PROCESS OF MIXING LIQUID MANURE DURING INTRASOIL APPLICATION

Abstract. Utilization and processing of liquid manure in the Belgorod region is one of the main problems faced on livestock farms and complexes when using a hydraulic method of manure harvesting, which stratifies during its storage, which leads to the need for mixing and further transportation to processing sites. The main equipment used for mixing liquid manure in manure storage facilities are devices with paddle or screw agitators. The article presents theoretical studies of the processes of homogeneous mixing and intra-soil application of liquid manure, which make it possible to substantiate the design and technological parameters of the device for mixing and distributor of liquid organic fertilizers, to determine the hydraulic losses associated with the narrowing of holes in ring turns and gaps. The use of a liquid organic fertilizer distributor with the resulting diagram of the change in the cross-sectional area of the holes will make it possible to effectively use the dotted method of applying liquid organic fertilizers, which reduces nitrogen emissions into the atmosphere by 90...95 %. With a decrease in the moisture content of manure, circulation attenuates more intensively, which is due to the manifestation of external and internal friction forces at low shear rates. The damping time of the manure circulation with a humidity of 95.7 % to $\omega_{кр}=0,59...0,65\text{ s}^{-1}$ is 120...250 s. The hydraulic pressure losses associated with the narrowing of the holes in the annular turns, gaps and holes, the pressure created by the distributor, have been established. The use of machines for high-quality mixing and intra-soil application of liquid organic fertilizers in a dotted manner allows for complete infiltration of large doses of applied liquid organic fertilizers in accordance with agrotechnical requirements, soil health, crop growth and environmental sustainability.

Keywords: liquid manure, lagoon, homogeneity, organic fertilizer, device, distributor.

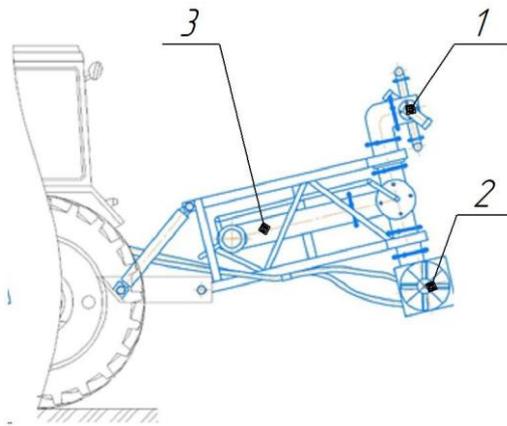
Постановка проблемы. В соответствии с отраслевой программой «Применение вторичных ресурсов и вторичного сырья из отходов в сфере сельского хозяйства на 2022-2030 годы», входящей в состав инициатив социально-экономического развития Российской Федерации на период до 2030 года, применение ресурсосберегающих технологий является ключевой задачей. Эти технологии обеспечивают производство продукции с минимально возможным потреблением топлива и других источников энергии, а также сырья, материалов, воздуха, воды и прочих ресурсов для технологических целей. Поэтому важной задачей на сегодняшний день является поиск эффективных технологических решений по переработке отходов животноводства, получения органических удобрений для дальнейшего внесения в почву. В Белгородской области годовой выход жидкого навоза составляет около 15 млн. м³. Навоз, находящийся в лагуне, в общем случае имеет три состояния: первое, когда достигнута нужная степень однородности под действием гидродинамической установки; второе, когда твердые частицы оседают (свиной навоз) или всплывают (навоз от крупного рогатого скота); третье – слои твердой и жидкой фракции разделились. Внутрипочвенное пунктирное внесение жидкого навоза на поля и механизм его осуществления – полезная практика для оздоровления почвы, снижения зависимости от синтетических удобрений и защиты окружающей среды [1].

Цель работы – провести теоретический анализ рабочего процесса перемешивания жидкого навоза для внутрипочвенного внесения с помощью предложенного дозатора.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- представить методики расчета конструктивно-режимных параметров устройства для перемешивания и агрегата для внутрипочвенного внесения жидкого навоза;
- теоретически определить зависимости времени перемешивания от объема лагуны, мощность, необходимую для её перемешивания, время перемешивания от влажности навоза;
- получить аналитические выражения, которые позволяют выявить конструктивно-технологические параметры распределителя жидких органических удобрений;
- теоретически определить гидравлические потери в распределителе и вычислить напор, создаваемый распределителем.

На рисунке 1 представлено устройство для перемешивания жидкого навоза.



1 – блок насадок, 2 – насос-измельчитель, 3 – трубопровод

Рис. 1 – Конструктивно-технологическая схема для перемешивания жидкого навоза

Методика расчета конструктивно-режимных параметров устройства для перемешивания жидкого навоза.

Определим степень однородности навоза достигается подведенной извне энергией, которая во время разгона расходуется на увеличение кинетической энергии. Воспользуемся первым законом термодинамики [2]:

$$dQ_{\text{п}} = dQ_{\text{пт}} + dQ_{\text{кн}}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{п}}$ – полная энергия навозной массы, Дж; $Q_{\text{пт}}$ – потенциальная энергия, Дж; $Q_{\text{кн}}$ – подведенная кинетическая энергия, Дж.

Можно предположить, что, если подведенная кинетическая энергия превышает энергию, расходуемую на трение, навоз будет двигаться с ускорением. При выключении гидродинамической установки движение навоза замедляется. Время $t_{\text{эц}}$ затухания циркуляции зависит от $Q_{\text{кн}}$ и момента сопротивления вращению массы, который обусловлен внешним и внутренним трением. При этом величина $Q_{\text{п}}$ снижается до значения, соответствующего равновесному состоянию. Время $t_{\text{с}}$ осаждения твердых частиц зависит от их гидравлической крупности, плотности и динамической вязкости навоза.

К навозу, находящемуся в лагуне, можно применить основные положения механики сплошных сред: при перемещении потери кинетической энергии на турбулизацию отсутствуют; вязкопластические свойства навоза описываются уравнениями Шведова-Бингама при $92\% \leq W \leq 97\%$ и Ньютона при $W \geq 97\%$ (W – относительная влажность навоза), тогда получим:

$$Q_{\text{кн}} = 10^3 N_c t_c, \quad (2)$$

где N_c – мощность гидродинамической установки, кВт.

Мощность, необходимую для перемешивания, определяют с учетом параметров лагуны, кинетических режимов движения навоза и его реологических свойств:

$$N_c = 10^{-3} (P_{\text{уд}} F_{\text{тр}} \omega_{\text{п}} R_{\text{хр}} + \tau_c \pi R_{\text{хр}}^2 H_{\text{хр}} \omega_{\text{п}}) = j_{\text{п}} \pi R_{\text{хр}}^2 H_{\text{хр}}, \quad (3)$$

где $P_{\text{уд}}$ – удельное давление навоза на стенки лагуны, Па; $F_{\text{тр}}$ – площадь трения о поверхность лагуны, м²; $\omega_{\text{п}}$ – средняя частота вращения навоза в лагуне, с⁻¹; $R_{\text{хр}}$ – радиус лагуны, м; τ_c – напряжение сдвига массы навоза, Па; $j_{\text{п}}$ – интенсивность перемешивания навоза, кВт/(м³/с); $H_{\text{хр}}$ – высота лагуны, м.

Удельное давление навоза на стенки лагуны:

$$P_{\text{уд}} = C_{\text{тр}} \rho_{\text{н}} (\omega_{\text{п}} R_{\text{хр}})^2 / 2, \quad (4)$$

где $C_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления трению, отнесенный к единице поверхности лагуны; $\rho_{\text{н}}$ – плотность навоза, кг/м³.

Коэффициент сопротивления трению, отнесенный к единице поверхности лагуны:

$$C_{\text{тр}} = 0,33 (2 \rho_{\text{н}} \omega_{\text{п}} R_{\text{хр}}^2 / \eta_{\text{эк}})^{-0,25}, \quad (5)$$

где $\eta_{\text{эк}}$ – эквивалентная кажущая вязкость потока жидкого навоза при ламинарном течении, Па·с.

Подставив (5) и (4) в (3), находим:

$$N_c = \left[\frac{0,33}{4 \sqrt{2 \rho_{\text{н}} \omega_{\text{п}} R_{\text{хр}}^2 / \eta_{\text{эк}}}} \frac{\rho_{\text{н}} (\omega_{\text{п}} R_{\text{хр}})^2}{2} 1,25 \pi D_{\text{хр}} H_{\text{хр}} + \tau_c \pi R_{\text{хр}}^2 H_{\text{хр}} \omega_{\text{п}} \right] 10^{-3}. \quad (6)$$

Время, за которое средняя частота вращения навоза становится больше критической $\omega_{\text{кр}}$ и осаждения частиц не наблюдается, можно определить из основной теоремы об изменении кинетической энергии вращающегося тела:

$$t_{\text{п}} = J_z (\omega_{\text{п}} - \omega_0) / (M_{\text{вр}} - M_{\text{тр}}),$$

где J_z – момент инерции вращающегося навоза относительно вертикальной оси Z , кг·м²; ω_0 – средняя начальная частота вращения навоза, с⁻¹; $M_{\text{вр}}$ и $M_{\text{тр}}$ – моменты вращения и торможения, Н·м.

При $J_z \neq \text{const}$ и $M_{\text{вр}} = \text{const}$, т.е. во время выгрузки навоза из хранилищ с одновременным перемешиванием (общий случай):

$$J_z = [V_{xp} - t_{п} (dV_{xp}/dt)] (\rho_n R_{xp}^2 / 2),$$

где V_{xp} – объем хранилища, м³.
Тогда получим:

$$t_{п} = \frac{[V_{xp} - t_{п} (dV_{xp}/dt) (\omega_{п} - \omega_0)]}{2(M_{вп} - M_{тп})}.$$

Так как для каждого типа насоса можно считать $dV_{xp}/dt = \text{const} = Q_n$ (Q_n – подача насоса), то $\partial V_{xp} / \partial t = \text{const} = Q_n$ и после подстановки и преобразований получим:

$$t_{п} = \frac{V_{xp} \rho_n R_{xp}^2 (\omega_{п} - \omega_0)}{2(M_{вп} - M_{тп}) + \rho_n R_{xp}^2 Q_n (\omega_{п} - \omega_0)}. \tag{7}$$

Момент вращения относительно вертикальной оси:

$$M_{вп} = F_{стр} R_{xp} \cos \alpha, \tag{8}$$

где $F_{стр}$ – средняя сила удара струи, воспринимаемая навозом в хранилище и приводящая его во вращение, Н; α – угол между направлением действия струи и уровнем навоза в лагуне, рад.

Для определения времени повторного перемешивания в формулу (6) вместо ω_0 подставляют $\omega_{кр}$, так как предполагается, что повторно перемешивающую установку включают тогда, когда $\omega_n \rightarrow \omega_{кр}$.

Аналитические исследования показали, что значения $t_{п}$ и $t_{ци}$ возрастают с увеличением V_{xp} (рисунок 2).

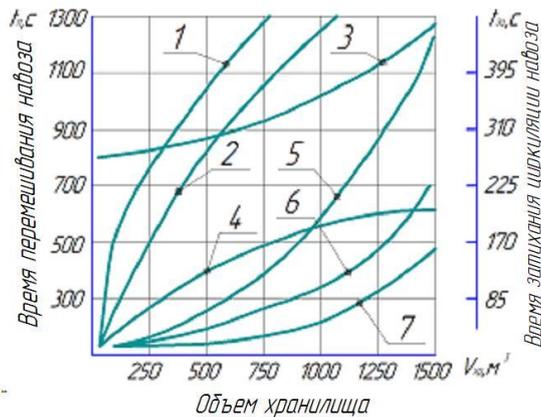


Рис. 2 – Зависимости времени t_n (1, 2, 6), $t_{ци}$ (4, 5, 7) и t_{zh} (3), от объема V_{xp} при $Q=100$ м³/ч (1, 4), $Q=200$ м³/ч (2, 3, 5) и $Q=300$ м³/ч (6, 7)

Исследование мощности насосной установки ($N_n = W \omega_n \eta_{эк}$) показывает, что N_n больше зависит от ω_n , чем от $\eta_{эк}$. Это объясняется более значительным проявлением липкости навоза при малых скоростях сдвига (рисунок 3).

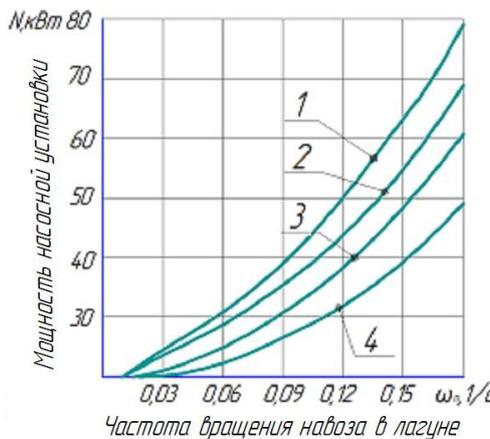


Рис. 3 – Зависимости мощности N_n перемешивающей установке при $V_{xp}=1500$ м³ и $\eta_{эк}=0,015$ (1), 0,009 (2), 0,005 (3) и $\eta_{эк}=0,0015$ (4)

Установлено, что при влажности 93...98 % хорошо перемешать навоз можно за 650...800 с (рисунок 4). Следовательно, время $t_{п}$ зависит от требований к качеству перемешанного навоза [3].

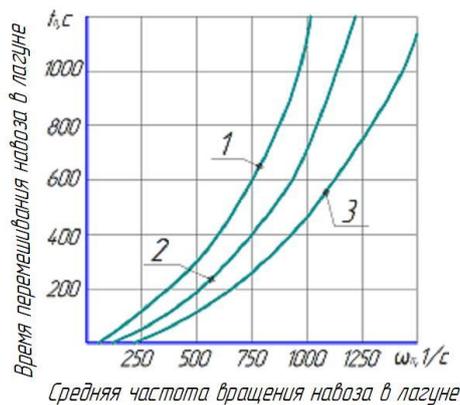


Рис. 4 – Зависимость времени t_n при $V_{кр}=1500 \text{ м}^3$, $\alpha=30^\circ$ и исходной влажности навоза $W_0=93,6 \%$ (1), $95,3$ (2) и $97,8 \%$ (3)

Методика расчета конструктивно-режимных параметров агрегата для внутрипочвенного внесения жидкого навоза. Для агрегатов норма внесения жидкого навоза может быть задана массой Q , $\text{м}^3/\text{ч}$ [4].

Обозначим число пунктиров внесения жидких стоков на один га M , кг, количество жидкости при одном пунктире E , л; расстояние между пунктирами внесения b' , м.

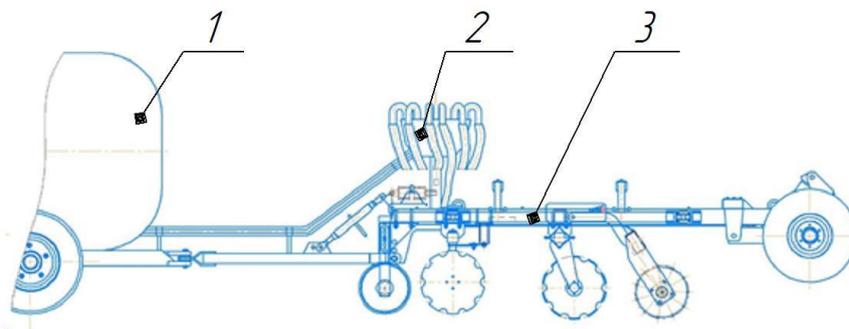
Для проведения расчетов по настройке распределителя на заданную норму внесения жидких стоков необходимо знать следующие параметры: b – ширину междурядья, м; δ – массу разового впрыска одной трубкой, кг; ρ – плотность жидких стоков, $\text{кг}/\text{м}^3$.

Число впрысков жидких органических удобрений в почву:

$$M = \frac{10^4 \cdot E}{b \cdot b'} \quad (9)$$

$$Q = \frac{M \cdot \delta}{10^6} \quad (10)$$

Конструктивно-технологическая схема агрегата для внутрипочвенного внесения жидкого навоза представлена на рисунке 5.



1 – цистерна, 2 – распределитель, 3 – рама

Рис. 5 – Конструктивно-технологическая схема агрегата для внутрипочвенного внесения жидкого навоза

Зная M и Q , определяют число впрысков за один оборот бегунка распределителя:

$$\mu = \frac{\Pi \cdot D \cdot M \cdot v}{10^4 \cdot i \cdot \eta} \quad (11)$$

где D – диаметр распределителя, м; i – число отверстий, перекрываемое бегунком распределителя, шт; η – коэффициент подтекания жидкости при перекрытии бегунком.

Масса жидких органических удобрений, вносимая в почву за один оборот бегунка.

$$m_o = \frac{\Pi \cdot D \cdot v \cdot Q}{10^4 \cdot i \cdot \eta} \quad (12)$$

тогда число отверстий, перекрываемых бегунком

$$i = \frac{n_o}{n_k} \quad (13)$$

где n_o – частота вращения бегунка, с^{-1} ; n_k – частота вращения дисков агрегата, мин^{-1} .

Отсюда имеем:

$$n_k = \frac{60 \cdot V \cdot \eta}{\Pi \cdot D}, \quad (14)$$

где V – скорость движения агрегата, м/с.

Зная m_o , определим объем жидких органических удобрений, вносимых за один оборот бегунка распределителя:

$$V_o = \frac{\Pi \cdot D \cdot v \cdot Q}{10^4 \cdot i \cdot \eta \cdot \rho}. \quad (15)$$

Если норма внесения задана числом пунктиров M , то получим:

$$V_o = \frac{\Pi \cdot D \cdot v \cdot M \cdot \delta}{10^4 \cdot i \cdot \eta \cdot \rho}. \quad (16)$$

Объем жидких навозных стоков, вносимый за один оборот бегунка распределителя, определяют через конструктивные параметры распределителя

$$V = d_p [f_{жс} \cdot z + \Pi(d_k + C) \cdot C], \quad (17)$$

где V – объём жидких навозных стоков, м³; d_p – диаметр выходного отверстия распределителя, м; $f_{жс}$ – площадь одного отверстия распределителя, м²; z – число отверстий на распределителе, шт.; d_k – диаметр расположения отверстий распределителя, м; C – площадь поперечного сечения распределителя, м².

Диаметр выходного отверстия распределителя определяют по формуле:

$$d_p = \frac{\Pi \cdot D \cdot v \cdot Q}{10^4 \cdot i \cdot \eta \cdot \rho [f_{жс} \cdot z + \Pi(d_k + C) \cdot C]} = \frac{Q}{i} \cdot A, \quad (18)$$

где

$$A = \frac{\Pi \cdot D \cdot v}{10^4 \cdot \eta \cdot \rho [f_{жс} \cdot z + \Pi(d_k + C) \cdot C]}. \quad (19)$$

Для агрегатов внесения жидких навозных стоков в почву важно также установить места их заправки. В этом случае необходимо знать путь L агрегата, который он может пройти с одной полной заправкой. Для агрегата его определили по зависимости [5]:

$$L = \frac{W \cdot k \cdot 10^4 \rho}{Q \cdot B}, \quad (20)$$

где W – объем цистерны, м³; k – коэффициент заполнения; Q – норма внесения жидких навозных стоков кг/га; B – ширина захвата агрегата, м.

Определим отклонение от нормы выдачи:

$$\Delta b = \frac{b' - b}{b'} \cdot 100 \quad (21)$$

где Δb – отклонение от нормы выдачи, кг.

Представленная методика расчета параметров агрегата обеспечивает конструктивную разработку распределителей для агрегатов внесения жидких стоков.

Теория процесса распределения включает довольно обширный круг вопросов, связанных с изысканием путей и возможностей совершенствования существующих и создания принципиально новых способов распределения конструкций, технических средств для осуществления этих способов. Основная задача теории – опираясь на точные, конкретные представления о сущности явлений, происходящих в рабочих органах машин, дать взаимосвязь между энергетическими затратами, конструктивными параметрами и качественными показателями процесса, выявить те основные величины, характеризующие процесс, изменяя которые можно поддерживать протекание процесса в оптимальных условиях, указать пути снижения энергоёмкости, износа рабочих органов, металлоёмкости агрегатов [6, 7].

Основная цель распределения – получить одинаковые направления потоков жидкого навоза. Одной из задач расчета агрегата подобного типа является определение гидравлических потерь, обусловленных прохождением жидкого навоза в кольцевых каналах, поворотах и отверстиях.

Технологическая схема использования распределителя предусматривает подачу жидкого навоза с помощью насоса, развивающего определенное давление (напор). В этом случае величину теоретического напора определяем, как разницу между давлением (напором) H на входе в распределитель и величиной гидравлических потерь $ДН$ при движении массы через распределитель, т.е.:

$$H_T = H - ДН, \quad (22)$$

где H_T – теоретический напор в распределителе, м; H – напор на входе в распределитель, м; $ДН$ – потери напора в распределителе, м.

Величина потерь напора в распределителе определяется как формой и размерами конструктивных элементов в отдельности, так и их сочетанием. Определение абсолютной величины потерь в распределителе – задача довольно сложная ввиду многообразия процессов, происходящих в распределителе. В связи с этим нами произведено расчленение общих потерь на их составляющие [8, 9]. Такое расчленение вполне допустимо. В общем случае потери напора в распределителе складываются из потерь, связанных с сужением потока при входе на рабочее водило (потери на удар), потерь при прохождении

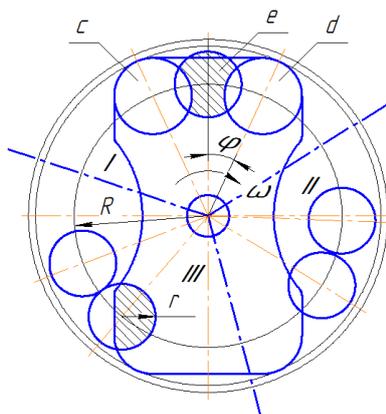
дении массы в кольцевых по воротах, потерь при прохождении массы в кольцевых каналах между вращающимися рабочим водилом и корпусом диска, потерь при движении массы в отверстиях рабочего диска т.е.:

$$\Delta H = \Delta H_v + \Delta H_{II} + H_K + \Delta H_O, \quad (23)$$

где ΔH – общие потери напора в распределителе, м; ΔH_v – потери, связанные с сужением потока при входе в отверстия рабочего диска, м; ΔH_n – потери напора при движении массы в кольцевых поворотах, м; ΔH_K – потери на трение в кольцевых зазорах между рабочим диском и корпусом распределителя, м; ΔH_o – потери при движении массы в отверстиях распределителя, м.

Для выявления общих закономерностей рассмотрим характер изменения площади проходного сечения отверстий распределителя.

При работе распределителя можно выделить три основных момента (рисунок 6).



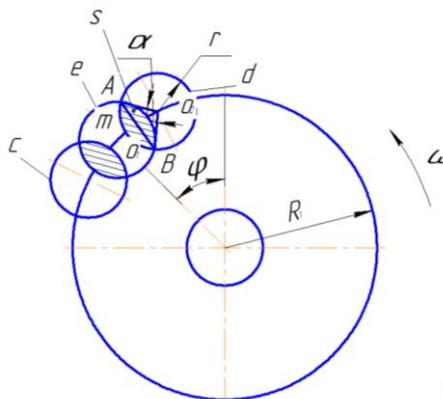
I – момент начала открытия отверстий; II – момент полного открытия отверстий; III – момент начала закрытия отверстий; e – отверстие в бегунке; c, d – отверстия в корпусе распределителя; ω – угловая скорость бегунка; φ – угол между отверстиями; R – радиус расположения отверстий

Рис. 6 – Схема расположения отверстий распределителя

Рассмотрим момент начала открытия отверстий (рисунок 7). Переменная площадь проходного сечения отверстий меняется от S_{min} т.е. начало открытия до $S_{max} = \pi r^2$, когда отверстия полностью открыты. Переменная площадь определяется выражением [10]:

$$S^n = S^e - S \Delta, \quad (24)$$

где S^n – переменная площадь, м²; S^e – площадь сектора 0_2BmA , м²; $S \Delta$ – площадь треугольника ABO , м².



c, d – отверстия в корпусе распределителя, e – отверстие в бегунке; S – площадь проходного сечения отверстий; r – радиус отверстий; α – угол сектора; φ – угол между радиусами ограничивающими площадь сектора; R – радиус расположения отверстий

Рис. 7 – Схема расположения отверстий распределителя в момент открытия

Площадь сектора 0_2BmA :

$$S = \frac{r^2 \alpha}{2}, \quad (25)$$

где r – радиус отверстий, м; α – угол сектора, град.

Выразим угол α через конструктивный параметр распределителя y_0

$$\frac{y_0}{2r} = \cos \frac{\alpha}{2} \quad \frac{\alpha}{2} = \arccos \frac{y_0}{2r} \quad \alpha = 2 \arccos \frac{y_0}{2r} \quad (26)$$

где y_0 – конструктивный параметр, м; r – расстояние между центрами отверстий, м; α – угол между радиусами, ограничивающими площадь сектора, град.

Подставив (26) в (25), получим:

$$S^c = r^2 \arccos \frac{y_0}{2r} \quad (27)$$

Площадь треугольника ABO_2

$$S^{\Delta} = \frac{1}{2} AB \frac{y_0}{2}, \quad AB = 2 \sqrt{r^2 - \left(\frac{y_0}{2}\right)^2} \quad \text{или} \quad S^{\Delta} = \frac{y_0}{2} \sqrt{r^2 - \left(\frac{y_0}{2}\right)^2} \quad (28)$$

Подставив (27 и 28) в выражение (24), получим:

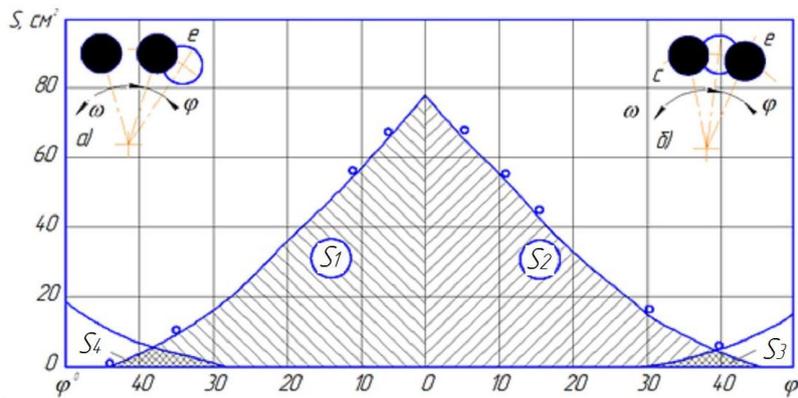
$$S^n = 2 \left[r^2 \arccos \frac{y_0}{2r} - \frac{y_0}{2} \sqrt{r^2 - \left(\frac{y_0}{2}\right)^2} \right] \quad (29)$$

Выразим y_0 через φ $y_0 = 2R_1 \sin \frac{\varphi}{2}$.

Окончательно имеем:

$$S_n = \left[r^2 \arccos \left(\frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2} \right) - R_1 \sin \frac{\varphi}{2} \sqrt{r^2 - \left(R_1 \sin \frac{\varphi}{2} \right)^2} \right] \quad (30)$$

Задавая значениями угла φ (таблица 1), который при выбранных конструктивных параметрах r и R_1 изменяется от 0 до 45° , построена диаграмма изменения площади проходного сечения отверстий распределителя за один цикл (рисунок 8).



S_1, S_2 – площади от начала открытия отверстий до закрытия; S_3, S_4 – площади образованные смежными отверстиями разносчика и направляющих колец; e – отверстие направляющей; c, d – отверстия разносчика; a – момент открытия; b – момент закрытия отверстий

Рис. 8 – Диаграмма изменения площади сечения отверстий распределителя за один цикл

Таблица 1 – Значение площади проходного сечения отверстий в зависимости от угла поворота разносчика

φ , град	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
S , см ²	78,5	67,19	56,05	45,31	34,86	33,38	16,78	8,57	3,40	0

Закономерность изменения проходного сечения отверстий распределителя определяется геометрическими размерами: радиусами отверстий, радиусом расположения отверстий и углом их расположения по окружности [11, 12]. Причем геометрическое расположение отверстий таково, что полного перекрытия отверстий не происходит. На диаграмме это площади S_3 и S_4 образованные смежными отверстиями диска, разница в открытии которых составляет 15° , что исключает их полное перекрытие и возникновение гидравлического удара потока. Изменение площади проходного сечения отверстий происходит циклично с частотой:

$$f = \frac{nz}{60}, \quad (31)$$

где n – частота вращения диска, c^{-1} ; z – число отверстий в диске и на корпусе, шт. Поэтому при расчетах целесообразно пользоваться осредненной площадью проходного сечения.

Проинтегрируем выражение (31) приведя его к виду:

$$S = 2r^2 \int \left[\arccos\left(\frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2}\right) - \frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2} \sqrt{1 - \left(\frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2}\right)^2} \right] d\varphi. \quad (32)$$

Для упрощения интегрирования введем обозначения:

$$\frac{r}{R_1} = k, \quad \alpha = \frac{k}{0.495}, \quad \sin \frac{\varphi}{2} = 0.495 \quad \text{при} \quad 0 \leq \varphi \leq \arcsin \frac{r}{R_1}.$$

В соответствии с принятыми обозначениями имеем:

$$\begin{aligned} S &= 2r^2 \int_0^{\varphi} \left(\arccos \frac{\varphi}{a} - \frac{\varphi}{a^2} \sqrt{a^2 - \varphi^2} \right) dx = \\ &= 2r^2 \left[\varphi \arccos \frac{\varphi}{a} - \sqrt{a^2 - \varphi^2} + \frac{1}{3a^2} \sqrt{(a^2 - \varphi^2)^3} \right]_0^{\varphi} = \\ &= 2r^2 \left[\varphi \arccos\left(\frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2}\right) - a \sqrt{1 - \left(\frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2}\right)^2} + \frac{1}{3a^2} \sqrt{1 - \left(\frac{R_1}{r} \sin \frac{\varphi}{2}\right)^2}^3 \right]. \end{aligned} \quad (33)$$

После постановки пределов изменения и соответствующих преобразований получим:

$$S = \frac{4}{3} ar^2, \quad S_n = \frac{2sn}{2\pi} \quad \text{или} \quad S_n = 0.857n \frac{r^3}{R_1}, \quad (34)$$

где n – число отверстий, шт.; R – радиус отверстий, м; R_1 – радиус расположения отверстий, м.

Потери, связанные с сужением потока при входе в отверстия рабочего диска, определяем по формуле:

$$\Delta H_y = \xi_m \frac{V^2}{2g}, \quad (35)$$

где ξ_m – коэффициент местного сопротивления; V – средняя скорость в отверстии рабочего диска, м/с; g – ускорение свободного падения, м/с².

Для описания закона движения жидкого навоза вместо модели Шведова-Бингама можно использовать модель Ньютона:

$$\tau = \mu \frac{dV}{dr}, \quad (36)$$

т.е. обобщенный параметр Рейнольдса можно заменить обычным числом Рейнольдса:

$$Re = \frac{Vd\rho}{\mu}. \quad (37)$$

В таблице 2 для сравнения приведены значения λ , вычисленные по формуле (36, 37) с использованием числа Рейнольдса обобщенного параметра Рейнольдса [13].

Подставляя (37, 36) в (35) получим:

$$\Delta H = n\alpha [0,2 + 0,001(100\lambda)^8] \sqrt{\frac{d}{R_2}} \cdot \frac{V^2}{2g}. \quad (38)$$

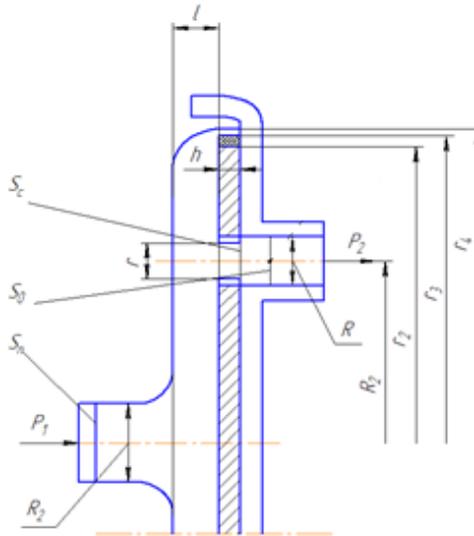
Учитывая, что $V = \frac{Q}{\pi r^2}$ окончательно имеем:

$$\Delta H_n = \pi\alpha \sqrt{\frac{d}{R_2}} [0,2 + 0,001(100\lambda)^8] \frac{Q^2}{2g(\pi r^2)^2}. \quad (39)$$

Таблица 2 – Значение коэффициента λ для Re и Re^*

W, %	ρ , кг/м ³	μ , Па·с	τ_0 , Па	Re	Re*	$\lambda = \frac{64}{Re}$	$\lambda = \frac{64}{Re^*}$
Навоз крупного рогатого скота $V = 1,358$ м/с, $d = 150$ мм							
89	1140	0,80	32,0	290	167,5	0,220	0,382
93	1020	0,210	2,1	988	840	0,0647	0,0761
97	1012	0,051	-	4120	4120	0,0155	0,0155
99	1005	0,010	-	20459	20450	0,00312	0,0312
Навоз свиной $V = 1,358$ м/с, $d = 150$ мм							
89	1250	0,40	25	610	284	0,104	0,255
93	1030	0,150	11,5	1397	1182	0,0458	0,0541
97	1008	0,020	-	10260	10260	0,00623	0,00623
99	1002	0,020	-	10199	10199	0,00627	0,00627

Потери на трение в кольцевых зазорах между рабочим диском и корпусом распределителя определяем аналогично зависимостям «трубной» гидравлики. Подобный опыт по определению потерь в криволинейных и вращающихся каналах с использованием основных закономерностей «трубной» гидравлики успешно применялся рядом исследователей [14]. Движение массы в кольцевых зазорах носит сложный характер. Потери на трение обусловлены, прежде всего, трением диска о боковые грани кольцевых каналов. Частицы массы, непосредственно прилегающие к боковым поверхностям диска и корпуса, увлекаются ими во вращательное движение и под действием центробежных сил отбрасываются к периферии направляющей поверхности корпуса, где также теряется энергия за счет потерь на трение о неподвижную поверхность корпуса. Вследствие того, что толщина ребер диска мала в сравнении с их диаметром, трением торцевых частей диска о внутреннюю поверхность цилиндрического корпуса пренебрегаем, поэтому рассмотрим трение боковых граней дисков о боковую поверхность кольцевых каналов. Выделим между неподвижной боковой поверхностью кольцевого паза к торцам подвижного ножа элементарный цилиндрический слой толщиной h ограниченный цилиндрическими поверхностями радиуса r_2 , r_3 (рисунк 9).



P_1, P_2 – давление на входе и выходе распределителя; S_0 – площадь отверстий; S_c – площадь сжатой струи; S_x – площадь подходящего потока; R_1 – радиус расположения отверстий; r – радиус отверстий; r_2, r_3 – радиус выделенных элементарного слоя; r_4 – радиус разносчика; R_2 – радиус подвода жидкости; h – толщина слоя; l – длина консоли; R – радиус трубопровода

Рис. 9 – Схема к расчету гидравлических потерь в распределителе

Выводы. На основании обобщения представленных выше результатов можно сформулировать следующие выводы.

1. Исследования показали, что влажность навоза, поступающего из лагуны к перемешивающей установке, непостоянна и зависит от времени перемешивания и исходной влажности массы. В момент включения установки в ее заборное устройство поступает жидкая фракция навоза. Со временем твердая фракция из осадка переходит во взвешенное состояние, а влажность в зоне забора снижается. Затухание циркуляции навоза в лагуне подчиняется параболической зависимости.

С понижением влажности навоза циркуляция затухает более интенсивно, что обусловлено проявлением внешних и внутренних сил трения при малых скоростях сдвига. Время затухания циркуляции навоза влажностью 95,7 % до $\omega_{кр} = 0,59 \dots 0,65 \text{ с}^{-1}$ составляет 120...250 с.

2. Аналитическим путем получены выражения, которые позволяют обосновать конструктивно-технологические параметры распределителя жидких органических удобрений. Применение распределителя жидких органических удобрений с

полученной диаграммой изменения площади сечения отверстий позволит эффективно использовать пунктирный способ внесения жидких органических удобрений, который сокращает эмиссию азота в атмосферу на 90...95 %.

3. Определены гидравлические потери напора, связанные с сужением отверстий, в кольцевых поворотах, зазорах и отверстиях. Зная величину создаваемого напора на входе в распределитель или задаваясь требуемыми значениями, можно вычислить напор, создаваемый распределителем считав его составляющие по вышеприведенным выражениям и в зависимости от его значения предусматривать технологическую схему подачи измельченной массы.

4. Дальнейшее использование машин для качественного перемешивания и внутрпочвенного внесения жидких органических удобрений пунктирным способом позволяет обеспечить полную инфильтрацию больших доз, внесенных жидких органических удобрений в соответствии с агротехническими требованиями, здоровье почвы, рост урожая и экологическую устойчивость.

Библиография

1. Основы механизации сельскохозяйственного производства: учебное пособие / К. Н. Путиенко, Ю. В. Саенко, А. Н. Макаренко [и др.]. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2021. 420 с.
2. Алейник С.Н., Григоров М.С., Григоров С.М. Внутрпочвенное орошение сточными водами и плодородие почвы // Плодородие. 2007. № 1(34). С. 31–32.
3. Машины и оборудование в животноводстве / А. Н. Макаренко [и др.]. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2016. 116 с.
4. Долбаненко В.М. Машины и оборудование в животноводстве: учеб. пособие / В. М. Долбаненко, А. Н. Ковальчук; Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2017. 189 с.
5. Научные основы выращивания ремонтного молодняка крупного рогатого скота : монография / Д. М. Богданович, В. Н. Тимошенко, А. А. Музыка [и др.] ; Науч.-практический центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. Жодино, 2022. 303 с.
6. Технологии и средства механизации уборки, переработки и утилизации навоза: монография / С. А. Булавин [и др.]. Белгород, ФГБОУ ВО Белгородская ГСХА им. В.Я. Горина, 2013. 334 с.
7. Максимов Г.В. Выращивание ремонтного молодняка сельскохозяйственных животных : научно-практические рекомендации / Г. В. Максимов, Н. В. Иванова, А. Г. Максимов; Донской ГАУ. Персиановский : Донской ГАУ, 2018. 34 с.
8. Булавин С.А., Мачкарин А.В. Обоснование формы лагуны для получения однородной массы жидких стоков // Вестник мичуринского государственного аграрного университета научно-производственный журнал. 2014. № 2. С. 72–76.
9. Мачкарин А.В., Рыжков А.В., Казаков К.В. Машина для создания однородной массы навоза в лагуне // Эффективное животноводство. 2018. № 7(146). С. 62–63.
10. Мачкарин А.В., Рыжков А.В. Аналитические исследования оборудования для получения однородной массы жидких стоков // Вестник всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2019. № 4(36). С. 156–160.
11. Китун А.В. Эффективность использования механического способа диспергирования жидкого навоза / А. В. Китун, И. М. Швед // Агропанорама. 2018. № 3. С. 35–37.
12. Ковалев Д.А. Усовершенствованный биореактор для переработки жидких органических отходов / Д. А. Ковалев, А. А. Ковалев // Вестник ВНИИМЖ. 2018. № 4. С. 132–133.
13. Сторожук Т.А. Теоретические исследования процесса обеззараживания животноводческих стоков / Т. А. Сторожук // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2020. № 163. С. 238–247.
14. Завражнов А.И. Технологии и оборудование для компостирования органических отходов / А. И. Завражнов, В. В. Миронов // Техника и оборудование для села. 2008. № 12. С. 19–21.

References

1. Fundamentals of mechanization of agricultural production: textbook [Osnovy mekhanizacii selskohozyajstvennogo proizvodstva] / K. N. Putienko, Yu. V. Saenko, A. N. Makarenko [and others]. Maisky : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina, 2021. 420 p.
2. Aleinik S.N., Grigorov M.S., Grigorov S.M. Vnutripochvennoe oroshenie stochnymi vodami i plodorodie pochvy [Intra-soil irrigation with sewage and soil fertility] // Fertility. 2007. № 1(34). Pp. 31–32.
3. Machinery and equipment in animal husbandry [Mashiny i oborudovanie v zhivotnovodstve] / A. N. Makarenko [and others]. Maisky : Belgorod State Agrarian University named after V.Ya. Gorina, 2016. 116 p.
4. Dolbanenko V.M. Mashiny i oborudovanie v zhivotnovodstve: ucheb. Posobie [Machinery and equipment in animal husbandry] / V. M. Dolbanenko, A. N. Koval'chuk; Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2017. 189 s.
5. Nauchny'e osnovy' vy'rashhivaniya remontnogo molodnyaka krupnogo rogatogo skota : monografiya [Scientific foundations of growing repair young cattle] / D. M. Bogdanovich, V. N. Timoshenko, A. A. Muzy'ka [i dr.] ; Nauch.-prakticheskij centr Nacz. akad. nauk Belarusi po zhivotnovodstvu. Zhodino, 2022. 303 s.
6. Tekhnologii i sredstva mekhanizacii uborki, pererabotki i utilizacii navoza [Technologies and means of mechanization of cleaning, processing and disposal of manure] / S. A. Bulavin and others. Belgorod, FSBEI of HE Belgorod State Agricultural Academy named. V.Ya. Gorina, 2013. 334 p.
7. Maksimov G.V. Vy'rashhivanie remontnogo molodnyaka sel'skohozyajstvenny'x zhivotny'x : nauchno-prakticheskie rekomendacii [Cultivation of repair young farm animals: scientific and practical recommendations] / G. V. Maksimov, N. V. Ivanova, A. G. Maksimov; Donskoj GAU. Persianovskij : Donskoj GAU, 2018. 34 s.
8. Bulavin S.A., Machkarin A.V. Obosnovanie formy laguny dlya polucheniya odnorodnoj massy zhidkih stokov [Justification of the shape of the lagoon to obtain a homogeneous mass of liquid effluents] // Bulletin of the Michurin State Agrarian University Scientific and Production Journal. 2014. № 2. Pp. 72–76.
9. Machkarin A.V., Ryzhkov A.V., Kazakov K.V. Mashina dlya sozdaniya odnorodnoj massy navoza v lagune [Machine for creating a homogeneous mass of manure in the lagoon] // Effective Livestock. 2018. № 7(146). Pp. 62–63.

10. Machkarin A.V., Ryzhkov A.V. Analiticheskie issledovaniya oborudovaniya dlya polucheniya odnorodnoy massy zhidkih stokov [Analytical studies of equipment for obtaining a homogeneous mass of liquid effluents] // Bulletin of the All-Russian Scientific Research Institute of Animal Husbandry Mechanization. 2019. № 4(36). Pp. 156–160.

11. Kitun A.V. Efficiency of using the mechanical method of dispersing liquid manure [Effektivnost' ispol'zovaniya mekhanicheskogo sposoba dispergirovaniya zhidkogo navoza] / A. V. Kitun, I. M. Shved // Agropanorama. 2018. № 3. Pp. 35–37.

12. Kovalev D.A. Improved bioreactor for processing liquid organic waste [Uovershenstvovannyj biorektor dlya pererabotki zhidkih organicheskikh othodov] / D. A. Kovalev, A. A. Kovalev // Bulletin of VNIIMZh. 2018. № 4. Pp. 132–133.

13. Storozhuk T.A. Theoretical studies of the process of disinfection of livestock waste [Teoreticheskie issledovaniya procesa obezzarazhivaniya zivotnovodcheskih stokov] / T. A. Storozhuk // Polythematic network electronic scientific journal of the Kuban State Agrarian University. 2020. № 163. Pp. 238–247.

14. Zavrazhnov A.I. Technologies and equipment for composting organic waste [Tekhnologii i oborudovanie dlya kompostirovaniya organicheskikh othodov] / A. I. Zavrazhnov, V. V. Mironov // Machinery and equipment for the village. 2008. № 12. Pp. 19–21.

Сведения об авторах

Мачкарин Александр Викторович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8(4722) 38-19-48, e-mail: machkarin@mail.ru.

Рыжков Андрей Владимирович, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8(4722) 38-19-48, e-mail: ryzhkovbgsha@yandex.ru.

Information about authors

Machkarin Alexander Viktorovich, candidate of technical Sciences, associate Professor of Department of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy p., Bel-urban district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 8(4722) 38-19-48, E-mail: machkarin@mail.ru.

Ryzhkov Andrey Vladimirovich, candidate of technical Sciences, associate Professor of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy p., Bel-urban district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 8(4722) 38-19-48, e-mail: ryzhkovbgsha@yandex.ru.

КОМПЛЕКСНАЯ АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ КАРДАННЫХ ШАРНИРОВ

Аннотация. В федеральной научно-технической программе развития сельского хозяйства России на 2017-2030 годы указывается, что основной целью программы является повышение эффективности производства за счет разработки и внедрения современной высокопроизводительной сельскохозяйственной техники и оборудования. Текущее состояние машинно-тракторного парка является неудовлетворительным, что приводит к росту дополнительных материальных затрат. В эксплуатации работоспособность техники определяется агрегатами трансмиссии, среди которых наименее долговечными являются карданные передачи. Цель работы – комплексная аналитическая оценка работоспособности серийных конструкций подшипниковых узлов карданных шарниров. Методика комплексной аналитической оценки основана на методе численного анализа расчетных данных по динамической грузоподъемности, долговечности и углам перекаса подшипниковых узлов карданных шарниров с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на базе справочной научно-технической литературы. В результате статистической оценки расчетных данных по динамической грузоподъемности получена эмпирическая модель зависимости от типоразмерного фактора, выборка данных соответствует теоретическому закону распределения Вейбулла-Гнеденко. Аналитическая оценка выборок по расчету долговечности показала, что расчетные значения носят случайный, но не статистический характер, эмпирические модели могут рекомендоваться для предварительной оценки опытных конструкций. По результатам оценки и сопоставления углов перекаса геометрических осей в подшипниковых узлах установлено, что определяющими факторами, которые вносят наибольший вклад в перекас элементов, являются радиальный зазор и деформация кручения проушин. Окончательно отмечаем, что графический и статистический анализ результатов аналитической оценки работоспособности подшипниковых узлов показал ее применимость для опытных конструкций.

Ключевые слова: работоспособность, трансмиссия, карданный шарнир, подшипниковый узел, динамическая грузоподъемность, долговечность, угол перекаса.

COMPREHENSIVE ANALYTICAL EVALUATION OF OPERABILITY OF BEARING UNITS OF CARDAN JOINTS

Abstract. The federal scientific and technical program for the development of agriculture in Russia for 2017-2030 states that the main goal of the program is to increase production efficiency through the development and implementation of modern high-performance agricultural machinery and equipment. The current condition of the machine and tractor fleet is unsatisfactory, which leads to an increase in additional material costs. In operation, the performance of equipment is determined by transmission units, among which the least durable are cardan gears. The purpose of the work is a comprehensive analytical assessment of the performance of serial structures of bearing assemblies of cardan joints. The method of comprehensive analytical assessment is based on the method of numerical analysis of design data on dynamic load capacity, durability and skew angles of bearing units of cardan joints, taking into account structural, technological and operational factors on the basis of reference scientific and technical literature. As a result of statistical evaluation of design data on dynamic load capacity, an empirical model of dependence on the size factor was obtained, the data sample corresponds to the theoretical Weibull-Gnedenko distribution law. An analytical evaluation of the durability samples showed that the calculated values are random, but not statistical in nature, empirical models can be recommended for preliminary assessment of experimental designs. According to the results of evaluation and comparison of skew angles of geometric axes in bearing units, it was established that the determining factors that make the greatest contribution to the skew of the elements are the radial clearance and torsion deformation of the eyes. Finally, we note that the graphical and statistical analysis of the results of the analytical assessment of the operability of bearing assemblies has shown its applicability for experimental structures.

Keywords: operability, transmission, cardan joint, bearing assembly, dynamic load capacity, durability, skew angle.

Введение. В федеральной научно-технической программе (ФНТП) развития сельского хозяйства на 2017-2030 годы, утвержденной Постановлением Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 года № 996, указывается, что основной целью программы является повышение эффективности производства в сфере агропромышленного комплекса за счет разработки и внедрения отечественных инновационных технологий и достижений, повышения их конкурентоспособности для реализации положений Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденной Указом Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20. Среди основных задач ФНТП выделяют разработку, создание и производство современной высокопроизводительной сельскохозяйственной техники и оборудования. При этом ожидаемый результат реализации Программы заключается во внедрении передовых научно-технических результатов в сельское хозяйство, полученных в рамках научно-технической деятельности [1].

По данным Минсельхоза России на начало двадцатых годов XXI века нагрузка на сельскохозяйственную технику возрастает: на один трактор приходится около 320 га пашни, на зерноуборочный комбайн – порядка 420 га, на свеклоуборочную машину – 460 га. В агропромышленном комплексе эксплуатируется более 59 % тракторов, 44 % зерноуборочных комбайнов и 43 % кормоуборочных комбайнов возрастом свыше 10 лет, т.е. техника морально устаревшая, физически изношенная и выработавшая свой ресурс. Эксплуатация такой техники приводит к росту дополнительных материальных затрат более чем на 3,5 и 1,5 млрд р., соответственно, на техническое обслуживание и ремонт, а также топливо-смазочные материалы. Низкая оснащенность сельскохозяйственной техникой приводит к росту агрономических потерь на уровне 8 млрд р. от недобора урожая по причине нарушения агросроков, потерь от упрощения технологий, потерь от нарушения севооборотов и др. [2, 3].

Таким образом, текущее состояние парка сельскохозяйственных машин является неудовлетворительным с точки зрения технического обеспечения роста качественной продукции сельскохозяйственного производства. В этой связи исследовательские работы, направленные на разработку перспективной и совершенствование эксплуатируемой сельскохозяйственной техники с целью повышения ее эффективности, являются актуальными.

Решением проблем работоспособности такого машинно-тракторного парка является разработка и оценка конструктивно-технологических и конструктивно-эксплуатационных мероприятий, обеспечивающих реализацию 100 %-го ресурса агрегатов. Применительно к энергетическим, транспортным и технологическим машинам одной из наиболее важных систем является механическая трансмиссия, в которой наиболее слабым звеном является карданная передача, по причинам ее конструктивных, нагрузочных и эксплуатационных особенностей и параметров. В этой связи в настоящей работе с целью повышения работоспособности карданных передач предполагается провести комплексную аналитическую оценку работоспособности карданных шарниров неравных угловых скоростей на игольчатых подшипниках, широко применяемых в карданных передачах энергонасыщенных тракторов, автомобилей высокой проходимости и сложных сельскохозяйственных машинах [4-6].

Анализ исследований и публикаций. Работоспособность карданных передач энергетических, транспортных и технологических машин в эксплуатации определяется безотказностью и долговечностью подшипниковых узлов, образованных соединением «шип крестовины – подшипник игольчатый бессепараторный», что доказано исследованиями Аниловича В.Я., Дегтярева М.Г., Иванова С.Н., Лапшина С.А., Меновщикова В.А., Флика Э.П. и др. Безотказность описанных подшипниковых узлов обеспечивается снижением числа отказов различных технических систем, образующих конструкцию карданного шарнира неравных угловых скоростей, в частности: системы «материал»; несущая; смазки; соединений; уплотняющие, соединяющие и предохранительные устройства; металлоконструкция; вспомогательные, крепежные устройства. Долговечность упомянутых подшипниковых узлов обеспечивается реализацией в эксплуатации потенциала, заложенного в конструкцию карданного шарнира при конструировании и изготовлении, поэтому связано с реализацией линейного контакта в соединении «стакан подшипника – игольчатый ролик – шип крестовины» [4-9].

Для грузовых автомобилей долговечность L_h , ч, игольчатых подшипников карданных шарниров определяют для температуры в подшипниках менее 100 °С, при минимальном радиальном зазоре и разноразмерности игольчатых роликов ± 3 мкм, с учетом минимальных статических углов излома и при высоких частотах вращения, по математической модели, учитывающей влияние конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов [10]

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

где n – рабочая частота вращения, мин⁻¹; γ – статический угол излома, град; C – динамическая грузоподъемность игольчатого подшипника, Н; H – торцевой размер крестовины, м; L_w – длина игольчатых роликов подшипника, м; T_{max} – максимальный крутящий момент, Нм.

Для сельскохозяйственных технологических машин по РТМ 37.006.323–80 при эксплуатации и испытаниях карданных передач применяют комплексную математическую модель для расчета долговечности карданных игольчатых подшипников [11]

$$L_h = \frac{1,5 \cdot 10^6}{n\gamma} \cdot \left[\frac{C(H-L_w)}{K_d T_{max}} \right]^{10/3} \cdot a_1 a_2 a_3, \quad (2)$$

где K_d – коэффициент динамичности при эксплуатации по результатам тензометрирования; a_1, a_2, a_3 – коэффициенты надежности, материала, смазки и состояния поверхностей тел качения. Минимальное значение угла излома шарниров принимается $\gamma=3^\circ$.

При реальной оценке взаимосвязи и влияния начального и предельного значений радиального зазора в карданных подшипниках на предельную наработку карданных передач энергонасыщенного трактора при режимах стендовых ресурсных испытаний применяют математическая модель долговечности в виде [7]

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

где Δ_H – начальный зазор в карданных подшипниковых узлах, мкм. При этом показатель степени $m=3,165$ показывает на условия в контакте тел и дорожек качения в подшипниках между условиями шариков ($m=3$) и роликов ($m=3,33$).

Данные математические модели (1) – (3) объединены тем, что в них среди основных факторов, оказывающих наибольшее влияние на долговечность игольчатых подшипников, присутствует динамическая грузоподъемность C и геометрический фактор $(H - L_w)$, которые учитывают плечо действия радиальных сил на подшипники при условии полного контакта в соединении «шип крестовины – игольчатый ролик – стакан подшипника», что на практике подтверждает наличие модифицированного линейного контакта в упомянутом соединении.

Динамическая грузоподъемность радиального роликового подшипника в соответствии с ГОСТ 18855-2013 (ISO 281:2007) определяют по формуле [12-15]

$$C_r = b_m f_c (i L_{We} \cos \alpha)^{7/9} Z^{3/4} D_{We}^{29/27}, \quad (4)$$

где b_m – коэффициент, учитывающий свойства стали с учетом способа ее изготовления, для роликового игольчатого подшипника со штампованным наружным кольцом принимаем $b_m=1,0$; $f_c=f(D_{We} \cos \alpha / D_0)$ – коэффициент, зависящий от геометрии деталей подшипника, точности их изготовления и материала; D_{We} – диаметр игольчатого ролика, мм; D_0 – диаметр окружности центров комплекта роликов, мм; $i=1$ – число рядов роликов в подшипнике; L_{We} – длина ролика для расчета грузоподъемности, мм; $\alpha=0^\circ$ – номинальный угол контакта подшипника, град; Z – число роликов в подшипнике.

Расчетно-аналитическая оценка динамической грузоподъемности бессепараторных игольчатых подшипников показала, что параметром, определяющим реализацию линейного контакта в соединениях «шип крестовины – игольчатый ролик – стакан подшипника», является начальный радиальный зазор, поэтому, потенциально динамическая грузоподъемность зависит от значений реального радиального зазора в соединениях «шип крестовины – игольчатый подшипник» [16].

Обзор исследований по проблемам линейного контакта в игольчатых подшипниках показал, что основной причиной резкого снижения долговечности карданных шарниров энергетических, транспортных и технологических машин является явление перекоса, возникающее в подшипниковых узлах вследствие наличия радиального зазора, деформаций шипа крестовины и проушин вилок, контактных деформаций в соединении «шип крестовины – игольчатый ролик – стакан подшипника». В результате для карданных подшипниковых узлов получено выражение для угла перекоса θ , рад, геометрических осей шипа и игольчатого подшипника в виде

$$\theta = \theta_{G_r} + \theta_{ef} + \theta_H \pm \theta_X + \theta_Y, \quad (5)$$

где θ_{Gr} – угол перекоса шипа, определяемый величиной радиального зазора, рад; θ_{ef} – угол перекоса шипа, обусловленный его упругим прогибом, рад; θ_H – угол перекоса осей, являющийся результатом упругих контактных деформаций элементов соединения «шип – ролик – стакан», рад; θ_V – угол перекоса оси стакана при изгибе проушины вилки, рад; θ_x – угол перекоса оси стакана при скручивании проушины вилки, рад.

На основании поэтапного определения составляющих угла перекоса получена итоговая математическая модель угла перекоса θ , рад, геометрических осей шипа и игольчатого подшипника в развернутом виде [17]

$$\theta = \frac{(G_{r1} + G_{r2})}{H_0} + \frac{F_r L^2}{2EI} + \frac{8,10 \cdot 10^{-5}}{RL_w^{0,85}} \cdot \left(\frac{5F_r}{iZ \cos \alpha} \right)^{0,925} \pm \left(\frac{F_r a L_1}{GI_{K1}} + \frac{F_r a L_2}{GI_{K2}} \right) + \left(\frac{F_r L_1^3}{3REI_{Z1}} + \frac{14F_r L_2^3}{6REI_{Z2}} \right), \quad (6)$$

где G_{rCp} , G_{r1} , G_{r2} – среднее и начальные значения радиального зазора в противоположных подшипниках, м; R – расстояние от торца шипа до центра крестовины, определяемое как половина характерного размера крестовины H_0 , м; F_r – радиальная сила, действующая на подшипник, Н; L – плечо радиальной силы, определяемое как разность длины шипа и половины рабочей длины ролика, м; E – модуль упругости материала, МПа; I – осевой момент инерции кольцевого сечения шипа, м⁴; D – наружный диаметр шипа, м; $\alpha = d/D$ – коэффициент; d – внутренний диаметр шипа, м; L_w – рабочая длина ролика, мм; i – число рядов тел качения; Z – число тел качения в ряду; α – угол контакта элементов подшипника; L_1 , L_2 – длина участков проушины вилки с отверстием и без, м; I_z – осевой момент инерции сечения проушины, м⁴; I_{z1} , I_{z2} – осевой момент инерции сечений проушины, м⁴; a – плечо радиальной силы, создающей крутящий момент, м; I_{K1} , I_{K2} – момент инерции кручения сечений проушины, м⁴; G – модуль сдвига материала проушины, МПа.

Таким образом, основываясь на оценке угла перекоса геометрических осей шипа крестовины и игольчатого подшипника можно отметить, что с учетом пропорциональности контактной деформации δ_H нагрузке в элементах карданных подшипниковых узлов и с учетом геометрической связи угла перекоса θ с упругими деформациями и реальной длиной контакта ролика и шипа, эффективную длину контакта L_{we} в упомянутом соединении следует определять из соотношения

$$L_{we} = \delta_H / \theta \quad (7)$$

Окончательно отмечаем, что взаимосвязь угла перекоса в подшипниковых узлах с эффективной длиной контакта в шипов и игольчатых роликов является объективной и явной, оказывает существенное влияние на их динамическую грузоподъемность и долговечность.

Цель исследования – провести комплексную расчетную оценку работоспособности серийных конструкций подшипниковых узлов карданных шарниров.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- 1) выполнить расчетную оценку динамической грузоподъемности подшипниковых узлов основных типоразмеров карданных шарниров;
- 2) выполнить расчетную оценку долговечности подшипниковых узлов карданных шарниров на основе математических моделей, включающих геометрические параметры игольчатых подшипников;
- 3) определить и сопоставить расчетные и экспериментальные значения длины контакта в подшипниковом узла на основе аналитической оценки углов перекоса;
- 4) провести графический и статистический анализ полученных результатов.

Материал и методы исследования. Методика расчетной оценки основана на методе численного сопоставительного анализа расчетных данных по жесткости и долговечности подшипниковых узлов карданных шарниров с учетом конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов на базе справочной научно-технической литературы.

Результаты исследований и их обсуждение. Ранее автором выполнена расчетно-аналитическая оценка динамической грузоподъемности бессепараторных игольчатых подшипников по исходным данным из нормативной литературы (таблица 1).

На первом этапе проводился расчет по различным математическим моделям, учитывающим конструктивные и технологические особенности игольчатых подшипников, при этом значения, полученные по формуле (4), показали средние значения с учетом разброса всех расчетных данных (таблица 2).

Аппроксимация расчетных данных позволила получить эмпирическую зависимость динамической грузоподъемности бессепараторных игольчатых подшипников для различных типоразмеров (x) с наибольшим значением коэффициента качества аппроксимации $R^2 = 0,9883$ [16]

$$C_r = 5,9981e^{0,2071x} \quad (8)$$

Таблица 1 – Исходные данные по карданным игольчатым подшипникам (по каталогу) [11]

Типоразмер	№ подшипника	Z	D_w , мм	L_w , мм	$C_{кат}$, кН
I	904902	22	2,4	10,0	8,0
II	704902	22	2,5	12,5	7,2
III	704702K2	29	2,0	13,8	7,7
III	704702KY2	20	3,0	13,5	7,7
IV	804704	26	3,0	18,0	13,7
V	804805	29	3,0	18,1	14,5
VI	804907	38	3,0	18,0	16,5
VII	804707	38	3,0	24,0	21,0
VIII	804709	50	3,0	24,0	31,5

На втором этапе исследований автором выполнена расчетная оценка долговечности карданных шарниров с игольчатыми подшипниками на основании различных математических моделей при номинальном режиме эксплуатации, при этом данные по формулам (1) – (3) предпочтительны по условию включения в формулы параметров, характеризующих условия и величину контакта тел и дорожек качения в подшипниковых узлах (таблица 2). Номинальный режим эксплуатации кардан-

ной передачи характеризуется: номинальным значением крутящего момента по каждому типоразмеру, приведенной рабочей частотой вращения $n=1000 \text{ мин}^{-1}$ и угла излома $\gamma_{\text{мин}}=3^\circ$. Аппроксимация расчетных данных позволила получить эмпирические зависимости долговечности карданных подшипниковых узлов с игольчатыми подшипниками для различных типоразмеров (x) со значениями коэффициента качества аппроксимации $R^2=0,2761; 0,2664; 0,2844$, соответственно [18]:

$$L_{h(1)} = 16486x^2 - 221251x + 760279, \tag{9}$$

$$L_{h(2)} = 1152x^2 - 15192x + 51901, \tag{10}$$

$$L_{h(3)} = 2780x^2 - 37522x + 130172. \tag{11}$$

Результаты расчетов представлены в таблице 2, а графическая интерпретация и сопоставление результатов показаны на рисунках 1 и 2.

Таблица 2 – Результаты расчета динамической грузоподъемности и долговечности [13]

Типоразмер	№ подшипника	Динамическая грузоподъемность		Долговечность, ч		
		f_c	C_r , кН	$L_{h(1)}$	$L_{h(2)}$	$L_{h(3)}$
I	904902	77,7	12,1	190000	12900	34733
II	704902	77,8	15,1	1100000	75200	186788
III	704702K2	76,3	15,5	14600	999	3055
III	704702КУ2	78,3	18,3	23900	1631	4818
IV	804704	77,0	27,3	30000	2053	5352
V	804805	76,1	29,5	17800	1220	3160
VI	804907	72,6	34,3	60500	4139	9169
VII	804707	72,6	42,9	100000	3487	7785
VIII	804709	69,2	50,2	147000	10100	20525

Статистическая оценка расчетных результатов по динамической грузоподъемности (таблица 2) показала, что данная выборка соответствует теоретическому закону распределения Вейбулла-Гнеденко с коэффициентом вариации равным 0,5, поэтому формула (8) может быть использована для прогнозирования.

Статистическая оценка выборок по расчету долговечности (таблица 2) показала, что расчетные значения не носят статистический характер, не подчиняются ни одному закону распределения случайных величин, поэтому формулы (9) – (11) можно использовать лишь для предварительной оценки усовершенствованных и модернизированных конструкций подшипниковых узлов.

На третьем этапе, с учетом полученной математической модели (6) полного угла перекося в подшипниковых узлах, проведены расчеты и оценка вклада составляющих в результирующее значение на примере серийной конструкции VII типоразмера карданного шарнира с игольчатыми подшипниками 804707K4C10: нормальный радиальный зазор $G_r=40...75 \text{ мкм}$, геометрический фактор $H_0=147 \text{ мм}$, длина игольчатого ролика $L_w=24 \text{ мм}$, плечо радиальной силы при изгибе шипа $L=25 \text{ мм}$, наружный диаметр шипа $D=33,635 \text{ мм}$, внутренний диаметр шипа $d=16,25 \text{ мм}$, крутящий момент номинального режима $T=815 \text{ Н·м}$, число игольчатых роликов $Z=38$, размеры сечения проушины без отверстия $b_2=60 \text{ мм}$, $h_2=28 \text{ мм}$, сечение части проушины с отверстием содержит два прямоугольника с размерами $b_1=10 \text{ мм}$ и $h_1=25 \text{ мм}$ на расстоянии 60 мм между осями, длина 2 ступени проушины $L_2=20 \text{ мм}$, длина 1 ступени $L_1=26 \text{ мм}$, плечо радиальной силы скручивающего момента $a=32,5 \text{ мм}$, модуль продольной упругости $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ МПа}$, модуль сдвига $G=8 \cdot 10^4 \text{ МПа}$ [17].

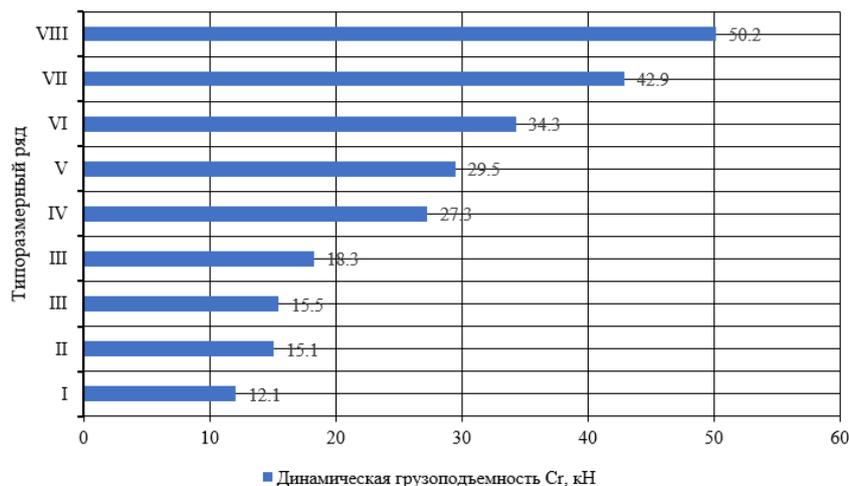


Рис. 1 – Результаты расчета динамической грузоподъемности

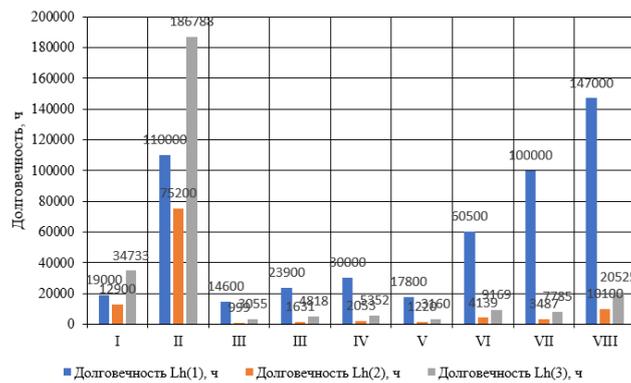


Рис. 2 – Результаты расчета долговечности

В результате расчета получены следующие значения: $\theta_{Gr}=1 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_{ef}=0,176 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_H=0,041 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_Y=0,002 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_X=0,939 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_{ном}=2,17 \cdot 10^{-3}$ рад. Оценка вклада составляющих показала, что наибольшее влияние оказывают радиальный зазор – 46 % и деформация кручения проушин – 43 %, остальные составляющие дают суммарно около 11 %. При пересчете на стендовый режим экстремального нагружения получаем: 1) углы перегиба $\theta_{Gr}=1 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_{ef}=0,433 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_H=0,094 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_Y=0,004 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_X=2,30 \cdot 10^{-3}$ рад, $\theta_{экстр}=3,83 \cdot 10^{-3}$ рад; 2) наибольшее влияние оказывают деформация кручения проушин – 60 % и радиальный зазор – 26 %, остальные составляющие около 14 %.

На четвертом этапе на основании формулы (7) установлено значение эффективной длины контакта в серийной конструкции соединения «шип крестовины – игольчатый ролик – стакан подшипника», которая для режима номинального нагружения составляет $L_{we}=1,39$ мм, для режима экстремального нагружения – $L_{we}=1,81$ мм. При этом сопоставление данного параметра с аналогичным, полученным по результатам статических испытаний при номинальном $L_{we}=8,45$ мм и экстремальном $L_{we}=13,80$ мм нагружении показывает, что величины имеют один порядок, однако различие достаточное чтобы оставить открытым вопрос об аналитическом исследовании явления углов перегиба в карданных подшипниковых узлах как серийной, так и опытных конструкций [19, 20].

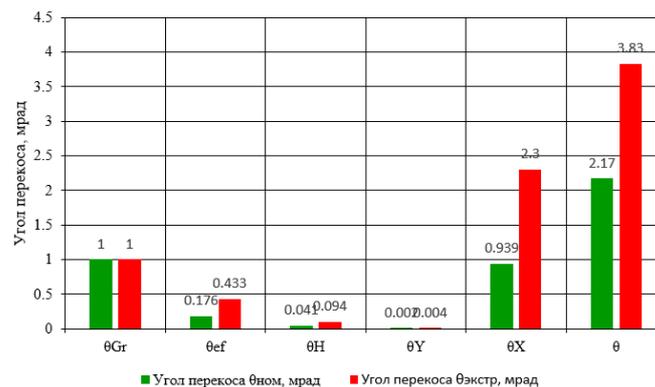


Рис. 3 – Результаты расчета углов перегиба на примере карданного шарнира VII типоразмера с игольчатыми подшипниками 804707K4C10

Окончательно следует отметить, что представленная методика комплексной оценки работоспособности подшипниковых узлов карданных шарниров сельскохозяйственной техники может быть положена в основу оценки совершенства опытных конструкций упомянутых узлов при проектировании и модернизации техники, а ее результаты могут служить примером критериальной оценки.

Выводы и перспективы исследований. На основании обобщения полученных результатов можно сделать следующие выводы:

- 1) по данным графического и статистического анализа расчетной оценки динамической грузоподъемности карданных подшипниковых узлов с учетом типоразмерного ряда получено эмпирическое уравнение с высоким уровнем достоверности $R^2=0,9883$;
- 2) по результатам графического и статистического анализа расчетной оценки долговечности карданных подшипниковых узлов с учетом типоразмерного ряда получены эмпирические уравнения с низким уровнем достоверности ($R^2<0,3$), которые можно использовать лишь для приближенной оценки долговечности модернизируемых узлов;
- 3) сопоставление теоретических и опытных данных по длине контакта в подшипниковых узлах показало, что данные расходятся в несколько раз, что требует дальнейших исследований и уточнения методов расчета углов перегиба в подшипниках;
- 4) апробированная методика комплексной оценки работоспособности подшипниковых узлов перспективна для аналитической оценки усовершенствованных и модернизированных конструкций карданных шарниров.

Библиография

1. Федеральная научно-техническая программа развития сельского хозяйства на 2017–2030 годы : постановление Правительства Российской Федерации от 25 августа 2017 г. № 996 (в ред. Постановления Правительства РФ от 30.09.2023 № 1614).

2. Бурак П.И. Состояние и перспективы обновления парка сельскохозяйственной техники: науч. аналит. обзор / П. И. Бурак, И. Г. Голубев, В. Ф. Федоренко и др. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2019. – 152 с.
3. Тимашов Е.П. Обоснование системы технического обслуживания и ремонта на основе характеристик машинно-тракторного парка // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2021. – № 1(29). – С. 40–45.
4. Ерохин М.Н. Надежность карданных передач трансмиссий сельскохозяйственной техники в эксплуатации: монография / М. Н. Ерохин, А. Г. Пастухов. – Белгород : Изд-во БелГСХА, 2008. – 160 с.
5. Тимашов Е.П. Результаты статических испытаний крестовин карданных шарниров с поворотными втулками / Е. П. Тимашов // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – 2005. – № 1(4). – С. 100–105.
6. Timashov E.P. Improvement of the design of the cardan shaft of agricultural machinery / E. P. Timashov // Traktori i Pogonske Mašine. – 2023. – Vol. 28, № 2. – P. 60–64.
7. Сигаев А.М. Повышение эффективности диагностирования и ремонта карданных шарниров тракторов: автореферат дис. ... канд. техн. наук / А. М. Сигаев. – Харьков : ХИМЭСХ, 1985. – 24 с.
8. Вишняков В.С. Исследование влияния жесткости элементов автомобильного кардана на работоспособность игольчатых подшипников: автореферат дис. ... канд. техн. наук / В. С. Вишняков. – М. : МАМИ, 1978. – 26 с.
9. Тимашов Е.П. Повышение долговечности карданных шарниров сельскохозяйственной техники при ремонте и эксплуатации: автореферат дис. ... канд. техн. наук / Е. П. Тимашов. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 2005. – 17 с.
10. Высоцкий М.С. Грузовые автомобили / М. С. Высоцкий, Ю. Ю. Беленький, Л. Х. Гилелес и др.; под ред. В. В. Осепагутова. – М. : Машиностроение, 1979. – 384 с.
11. Флик Э.П. Механические приводы сельскохозяйственных машин: монография / Э. П. Флик. – М. : Машиностроение, 1984. – 272 с.
12. Перель Л.Я. Подшипники качения: расчет, проектирование и обслуживание опор: справочник / Л. Я. Перель, А. А. Филатов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1992. – 608 с.
13. Техническая механика. Курсовое проектирование : учебное пособие для профессиональных образовательных учреждений / Д. Н. Бахарев, А. А. Добрицкий, С. Ф. Вольвак, В. Д. Несвит. – Санкт-Петербург : ООО «НИЦ АРТ», 2017. – 236 с. – ISBN 978-5-906968-15-9.
14. Биргер И.А. Расчет на прочность деталей машин: справочник / И. А. Биргер, Б. Ф. Шорр, Г. Б. Иосилевич. – 4-е изд., перераб и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 640 с.
15. Техническая механика. Курсовое проектирование : Учебное пособие для учебных заведений, реализующих программу среднего профессионального образования по техническим специальностям / Д. Н. Бахарев, А. А. Добрицкий, С. Ф. Вольвак, В. Д. Несвит. – Издание 2-е, стереотипное. – Москва : Общество с ограниченной ответственностью «Научно-издательский центр ИНФРА-М», 2020. – 236 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-015658-3.
16. Пастухов А.Г. Расчетно-аналитическая оценка динамической грузоподъемности бесцепных игольчатых подшипниковых узлов / А. Г. Пастухов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2023. – № 1(37) – С. 27–31.
17. Пастухов А.Г. Исследование явления перекоса в карданных подшипниковых узлах и обоснование повышения их долговечности / А. Г. Пастухов // Материалы XLVII международной научно-технической конференции «Достижения науки – агропромышленному производству», посвященной 100-летию со дня рождения И.Е. Ульямана. Ч.2. Челябинск : ЧГАУ, 2008. – С. 150–155.
18. Пастухов А.Г. Расчетная оценка долговечности подшипниковых узлов сельскохозяйственных карданных валов / А. Г. Пастухов // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2023. – № 2(38). – С. 25–31.
19. Пастухов А.Г. Методика статических испытаний карданных шарниров / А. Г. Пастухов // Механизация сельскохозяйственного производства: сборник научных трудов Национального аграрного университета Украины. – Киев : Изд-во НАУ, 1998. – Т. IV. – С. 350–353.
20. Пастухов А.Г. Повышение долговечности карданных шарниров сельскохозяйственной техники: автореферат дис. ... канд. техн. наук / А. Г. Пастухов. – М. : ФГОУ ВПО МГАУ, 1998. – 18 с.

References

1. Federal'naya nauchno-tekhnicheskaya programma razvitiya sel'skogo khozyajstva na 2017–2030 gody [Federal Scientific and Technical Program for the Development of Agriculture for 2017-2030] : postanovlenie Pravitel'stva Rossijskoj Federacii ot 25 avgusta 2017 g. № 996 (v red. Postanovleniya Pravitel'stva RF ot 30.09.2023 № 1614).
2. Burak P.I. Sostoyanie i perspektivy obnovleniya parka sel'skokozyajstvennoj tekhniki [Status and Prospects of Agricultural Machinery Fleet Renewal]: nauch. analit. obzor / P. I. Burak, I. G. Golubev, V. F. Fedorenko i dr. – М. : FGBNU «Rosinformagrotekh», 2019. – 152 s.
3. Timashov E.P. Obosnovanie sistemy tekhnicheskogo obsluzhivaniya i remonta na osnove kharakteristik mashinno-traktornogo parka [Justification of the maintenance and repair system based on the characteristics of the machine and tractor fleet] / E. P. Timashov // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2021. – № 1(29). – S. 40–45.
4. Erokhin M.N. Nadezhnost' kardannykh peredach transmissii sel'skokhoziaistvennoj tekhniki v ekspluatatsii [Reliability of cardan transmissions of agricultural equipment transmissions in operation] / Erokhin M.N., Pastukhov A.G. – Belgorod : Izd-vo FGOU VPO BelGSKhA. 2008. – 160 s.
5. Timashov E.P. Rezul'taty staticheskikh ispytaniy krestovin kardannykh sharnirov s povorotnymi vtulkami [Results of static tests of crosspieces of cardan joints with rotary bushings] / E. P. Timashov // Konstruirovaniye, ispol'zovaniye i nadezhnost' mashin sel'skokhozyajstvennogo naznacheniya. – 2005. – № 1(4). – S. 100–105.
6. Timashov E. Improvement of the design of the cardan shaft of agricultural machinery / E. Timashov // Traktori i Pogonske Mašine. – 2023. – Vol. 28, № 2. – P. 60–64.
7. Sigaev A.M. Povyshenie effektivnosti diagnostirovaniya i remonta kardannykh sharnirov traktorov [Increased efficiency of diagnosis and repair of tractor cardan joints]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / A. M. Sigaev. – Khar'kov : Izd-vo KhIMESKh, 1985. – 24 s.
8. Vishnyakov V.S. Issledovanie vliyaniya zhestkosti ehlementov avtomobil'nogo kardana na rabotosposobnost' igol'chatykh podshpnikov [Study of the effect of the rigidity of the elements of the automobile gimbal on the performance of needle bearings]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / V. S. Vishnyakov. – М. : MAMI, 1978. – 26 s.

9. Timashov E.P. Povyshenie dolgovechnosti kardannykh sharnirov sel'skokozyajstvennoj tekhniki pri remonte i ekspluatatsii [Improvement of durability of agricultural machinery cardan joints during repair and operation]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / E. P. Timashov. – M. : FGOU VPO MGAU, 2005. – 17 s.
10. Vysockij M.S. Gruzovye avtomobili [Trucks] / M. S. Vysockij, Yu.Yu. Belen'kij, L.H. Gileles i dr.; pod red. V.V. Osep-chugova. – M. : Mashinostroenie, 1979. – 384 s.
11. Flik È.P. Mekhanicheskie privody sel'skokhoziajstvennykh mashin: monografiia [Mechanical drives of agricultural machines] / È. P. Flik. – M. : Mashinostroenie, 1984. – 272 s.
12. Perel' L.Ĭa. Podshipniki kacheniiia: raschet, proektirovanie i obsluzhivanie opor: spravochnik [Rolling bearings: calculation, design and maintenance of supports] / L. Ĭa. Perel', A. A. Filatov. – 2-e izd., pererab. i dop. – M. : Mashinostroenie, 1992. – 608 s.
13. Tekhnicheskaya mekhanika. Kursovoe proektirovanie [Technical mechanics. Course design] : uchebnoe posobie dlya professional'nykh obrazovatel'nykh uchrezhdenij / D. N. Bakharev, A. A. Dobrickij, S. F. Vol'vak, V. D. Nesvit. – Sankt-Peterburg : OOO «NIC ART», 2017. – 236 s. – ISBN 978-5-906968-15-9.
14. Birger I.A. Raschet na prochnost' detalei mashin: spravochnik [Strength calculation of machine parts] / I. A. Birger, B. F. Shorr, G. B. Iosilevich. – 4-e izd., pererab i dop. – M. : Mashinostroenie, 1993. – 640 s.
15. Tekhnicheskaya mekhanika. Kursovoe proektirovanie [Technical mechanics. Course design] : Uchebnoe posobie dlya uchebnykh zavedenij, realizuyushchikh programm srednego professional'nogo obrazovaniya po tekhnicheskim special'nostyam / D. N. Bakharev, A. A. Dobrickij, S. F. Vol'vak, V. D. Nesvit. – Izdanie 2-e, stereotipnoe. – Moskva : Obshchestvo s ogranichennoj otvetstvennost'yu «Nauchno-izdatel'skij centr INFRA-M», 2020. – 236 s. – (Srednee professional'noe obrazovanie). – ISBN 978-5-16-015658-3.
16. Pastukhov A.G. Raschetno-analiticheskaya ocenka dinamicheskoy gruzopod'emnosti besseparatornykh igol'chatykh podshipnikovykh uzlov [Computational and analytical assessment of the dynamic carrying capacity of separator-free needle bearing assemblies] / A. G. Pastukhov // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2023. – № 1(37) – S. 27–31.
17. Pastukhov A.G. Issledovanie yavleniya perekosa v kardannykh podshipnikovykh uzlakh i obosnovanie povysheniya ikh dolgovechnosti [Study of the phenomenon of skew in cardan bearing assemblies and justification for increasing their durability] / A. G. Pastukhov // Materialy KHLVII mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Dostizheniya nauki – agropromyshlennomu proizvodstvu», posvyashchennoj 100-letiyu so dnya rozhdeniya I.E. Ul'mana. Ch. 2. Chelyabinsk : CHGAU, 2008. – S. 150–155.
18. Pastukhov A.G. Raschetnaya ocenka dolgovechnosti podshipnikovykh uzlov sel'skokhozyajstvennykh kardannykh valov [Calculation of the durability of bearing assemblies of agricultural cardan shafts] / A. G. Pastukhov // Innovacii v APK: problemy i perspektivy. – 2023. – № 2(38). – S. 25–31.
19. Pastukhov A.G. Metodika staticheskikh ispytanij kardannykh sharnirov [Methods of static testing of cardan joints] / A. G. Pastukhov // Mekhanizatsiya sel'skokhozyajstvennogo proizvodstva: sbornik nauchnykh trudov Nacional'nogo agrarnogo universiteta Ukrainy. – Kiev : Izd-vo NAU, 1998. – T. IV. – S. 350–353.
20. Pastukhov A.G. Povyshenie dolgovechnosti kardannykh sharnirov sel'skokhozyajstvennoj tekhniki [Increasing the durability of cardan joints of agricultural machinery]: avtoreferat dis. ... kand. tekhn. nauk / A. G. Pastukhov. – M. : FGOU VPO MGAU, 1998. – 18 s.

Сведения об авторах

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

Казанцев Сергей Павлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой сопротивления материалов и детали машин, ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА им. К.А. Тимирязева, Лиственничная аллея, д. 7с2, Москва, Россия, 127550, тел. +7 (499) 976-06-73, e-mail: smdm@rgau-msha.ru.

Бахарев Дмитрий Николаевич, доктор технических наук, доцент, доцент кафедры технической механики и конструирования машин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 (4722) 39-12-33, e-mail: baharevdm_82@mail.ru.

Information about authors

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

Kazantsev Sergey Pavlovich, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Resistance of Materials and Machine Parts, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Russian State Agrarian University - Timiryazev Moscow Agricultural Academy», 7s2 Larch Alley, Moscow, Russia, 127550, tel. +7 (499) 976-06-73, e-mail: smdm@rgau-msha.ru.

Bakharev Dmitriy Nikolayevich, candidate of technical sciences, docent of the department of technical mechanics and machine design, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», str. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7 (4722) 39-12-33, e-mail: baharevdm_82@mail.ru.

УДК 631.313.5

А.В. Рыжков, А.В. Мачкарин

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ПРОЦЕССА РАБОТЫ МУЛЬЧИРОВЩИКА С НОЖЕВЫМИ ДИСКАМИ

Аннотация. Предлагается аналитическая оценка работы дискового мульчировщика ДМ-3,7 с плоскими подпружиненными дисками, на которых размещены изогнутые ножи. Мульчировщик может использоваться для обработки полей после снятия урожая сельскохозяйственных культур и по сидератам. Предлагаемый дисковый мульчировщик имеет ширину захвата 3,7 метра, состоит из рамы, на которой расположены четыре ряда дисков. Каждый диск закреплен при помощи крепления на индивидуальной пружинной стойке. Диаметр дисков составляет 500 мм. Угол атаки дисков не регулируется и составляет конструктивно 0°. Межрядное расстояние между рядами дисков составляет 600 мм. Дисковые секции четных рядов дисков установлены с перекрытием следов рабочих органов нечетных рядов, равным 1/6 ширины захвата рабочего органа. На каждом диске закреплены восемь изогнутых обоюдно заточенных ножей. Крепление каждого последующего ножа на диске происходит с другой стороны диска. Угол наклона каждого ножа относительно радиуса диска меняется в двух направлениях. Близкое расположение задних рядов дисков, а также их размер позволяет качественно измельчать и на требуемую глубину проводить заделку сидератов. Интенсивность воздействия обеспечивается посредством изменения угла установки ножей на дисках. Рабочая скорость составляет от 12 до 15 км/час, с возможным увеличением до 25 км/час. Высокая производительность, сравнительно небольшие расходы на эксплуатацию являются достоинствами ДМ-3,7, позволяющими снижать затраты. При проведении теоретического анализа предлагаемого мульчировщика было выявлено, что при работе ножевых дисков на тяговое сопротивление агрегата существенное влияние оказывают физико-механические свойства растений и почвы, а также от геометрия самого ножа и его установки на диске.

Ключевые слова: мульчировщик, резание, диск, нож, сидерат.

ANALYTICAL ASSESSMENT OF THE PROCESS OF OPERATION OF A MULCHER WITH KNIFE DISCS

Abstract. An analytical assessment of the operation of the DM-3.7 disc mulcher with flat spring-loaded discs on which curved knives are placed is proposed. The mulcher can be used for processing fields after harvesting crops and for siderates. The proposed disk mulcher has a grip width of 3.7 meters, consists of a frame on which four rows of disks are located. Each disc is secured by mounting on an individual spring rack. The diameter of the discs is 500 mm. The angle of attack of the discs is not adjustable and is structurally 0°. The axial distance between the rows of discs is 600 mm. Disk sections of even rows of disks are installed with overlapping traces of working bodies of odd rows equal to 1/6 of the width of the working body. Eight curved mutually sharpened knives are fixed on each disc. The fastening of each subsequent knife on the disc takes place on the other side of the disc. The angle of inclination of each knife relative to the radius of the disc varies in two directions. The close location of the rear rows of discs, as well as their size, allows for high-quality grinding and sealing of siderates to the required depth. The intensity of the impact is ensured by changing the angle of the knives on the discs. The operating speed ranges from 12 to 15 km/h, with a possible increase to 25 km/h. High productivity and relatively low operating costs are the advantages of the DM-3.7, which allow reducing costs. During the theoretical analysis of the proposed mulcher, it was revealed that during the operation of knife discs, the traction resistance of the unit is significantly influenced by the physical and mechanical properties of plants and soil, as well as by the geometry of the knife itself and its installation on the disc.

Keywords: mulcher, cutting, disc, knife, siderate.

Введение. Всероссийская программа развития биологических методов в земледелии и экологизации сельского хозяйства включена в ведущие тренды прогноза научно-технологического развития АПК РФ на период до 2030 года.

Биологизация и экологизация земледелия могут служить фактором восстановления и поддержания плодородия. В настоящее время все большее распространение получает использование «зеленых удобрений», т.е. пожнивных остатков, растений-сидератов, которые успешно заменяют навоз, компост и минеральные удобрения [1, 2]. В целом зеленое удобрение – это заделка в почву еще не отмерших зеленых, сочных растений, богатых сахарами, крахмалом, белком и азотом, а также корней растений, еще функционирующих ко времени обработки почвы, с присущим только им составом элементов питания, ферментов и микроорганизмов почвы, участвующих в его разложении [3].

Сидераты обогащают почву органическим веществом, которое является важнейшим источником азота. Они также повышают связность песчаных и супесчаных почв, а тяжелые глинистые почвы делают более рыхлыми. Кроме того, сидераты в отличие от навоза обходятся дешевле, их не надо транспортировать на поле, и они не содержат такого количества семян сорняков, как это свойственно навозу. В этой связи необходимо рационально подобрать рабочие органы, которые будут устанавливаться на орудия и обеспечивать качественную заделку сидератов в поверхностный слой почвы.

Развитие современной почвообрабатывающей техники происходит под влиянием новых более мощных энергетических средств, совершенствования агротехнологий, возросших требований к сохранению плодородия почвы, снижению энергетических и трудовых затрат, защиты почв от действий ветровой и водной эрозии [1].

Современная почвообрабатывающая техника – это оборотные плуги для вспашки, комплексы многооперационных машин для основной обработки почвы, машины с активными рабочими органами, орудия для полосной обработки почвы, большой комплекс из дисковых почвообрабатывающих машин и прочие.

Материал и методы исследования. На текущий момент в развитии почвообрабатывающей техники наметились следующие основные тенденции [4]:

- 1) конструктивное усложнение рабочих органов почвообрабатывающих машин и применение альтернативных материалов для их изготовления, позволяющее повысить износостойкость деталей и снизить затраты на их обслуживание;
- 2) повышение скорости и ширины захвата агрегатов;
- 3) создание комбинированных агрегатов для совмещения различных технологических операций обработки почвы, посева, внесения удобрений;
- 4) применение машин с активными и полуактивными рабочими органами, позволяющими учитывать специфику микрорельефа обрабатываемых полей;

5) создание машин для полосной обработки почвы;

6) создание универсальных дисковых почвообрабатывающих машин с набором различных дисковых рабочих органов.

Дисковые бороны используются для ресурсосберегающей предпосевной и основной обработки почвы на глубину от 8 до 18 см под зерновые, технические и кормовые культуры, уничтожения сорняков, измельчения пожнивных остатков, омоложения лугов и пастбищ. Первый ряд рабочих органов представляет собой два зубчатых плоских диска, которые отводят растительные остатки от плоского рифленого сплошного диска (второй рабочий орган), который разрезает почвенный пласт для снижения сопротивления и уменьшения отброса почвы при проходе третьего рабочего органа – глубокорыхлителя. Стойка размещается между двумя вырезными сферическими дисками (четвертый вид рабочих органов) для избегания отброса почвы. Подобная конструкция способствует лучшему обороту отрезанного пласта, его крошению, а также снижению тягового усилия трактора. В качестве примера можно рекомендовать бороны дисковые модульные (БДМ) производства «Белагромаш-Сервис им. В.М. Рязанова», предназначенные для поверхностной и мелкой безотвальной обработок почвы на глубину до 16 см с шириной захвата от 2,4 м до 8,0 м, с двух- или четырехрядным расположением дисков и спиральным (или кольчато-шпоровым катком). Применяются на почвах с различными физико-механическими свойствами с уклоном поверхности поля до 10°, ровным и волнистым микрорельефом, влажностью почвы до 28%, твердостью почвы в обрабатываемом слое до 3,5 МПа, высотой (длиной) растительных остатков до 25 см. Агрегируются данные бороны тракторами тяговых классов 1,4-6. Бороны дисковые модульные БДМ-4х4П «М» (производитель – ОАО «Белагромаш-Сервис им. В.М. Рязанова», Россия) имеет ширину захвата 4 метра, характеризуется производительностью до 4 га/час. Конструкция четырехрядной бороны предусматривает расположение в ряду 10 дисков диаметром 560-570 мм, угол атаки которых может изменяться от 0 до 30°. Агрегируется тракторами 4 тягового класса (рисунок 1).



Рис. 1 – Бороны дисковые модульные БДМ-4х4П «М»

Общий принцип работы и назначения рабочих органов одинаков, отличия заключаются в особенностях конструкции некоторых из них. Диски для отвода растительных остатков размещены не симметрично (один размещен чуть впереди по ходу движения орудия). Ограничительные диски выполнены сферическими, сплошными. Агрегируются бороны с тракторами мощностью от 120 л.с. до 480 л.с. (в зависимости от ширины захвата), глубина обработки за один проход составляет 8-12 см (рисунок 2) (производитель – HORSCH Maschinen GmbH, Германия).



Рис. 2 – Дисковая бороны Horsch Joker 8 RT

Ножевые бороны предназначены для разделывания стерни и измельчения дернины многолетних трав, заделки органических и минеральных удобрений, предпосевной подготовки почвы. Рабочими органами являются пластинчатые ножи из пружинной стали, собранные в батареи и установленные на раму посредством жестких стоек и подшипниковых узлов в 3 или 4 ряда [5, 6].

В отличие от дисковых борон, ножевые имеют следующие преимущества:

- 1) острые, прочные, износостойкие самозатачивающиеся ножи длиной 45 см, легко проникают в любую почву, эффективно измельчают и перемешивают её;
- 2) производительность ножевой бороны в 2-3 раза выше, чем у дисковой, которая достигается за счёт высокой рабочей скорости (не менее 10 км/час) и за счёт более эффективной обработки почвы. Это даёт большую экономию времени, горюче-смазочных материалов, уменьшает уплотняемость почвы, позволяет более эффективно бороться с сорняками.

Ширина захвата производимых в настоящее время ножевых борон варьирует в пределах 3,0-6,4 м, глубина обработки – до 20 см. В качестве примера можно привести ножевую борону КУОСА-5,8 (производитель – ЗАО ПК «Ярославич», Россия) (рисунок 3).



Рис. 3 – Ножевая борона КУОСА-5,8

Ширина захвата данной бороны 5,8 метров, которая состоит из 16 батарей с 256 ножами и пластинчатого катка. Производительность такого агрегата – 7 га/час.

Из зарубежных аналогов ножевых борон широко используются финские бороны Tume (производитель – Tume-Agri Оу, Финляндия). На раме крепятся 6-8 осей, на которых закрепляется 45-136 ножей, имеется прикатывающий рельефный каток. Предусмотрена возможность регулировки угла атаки ножей. Рабочая скорость – до 14 км/час (рисунок 4).

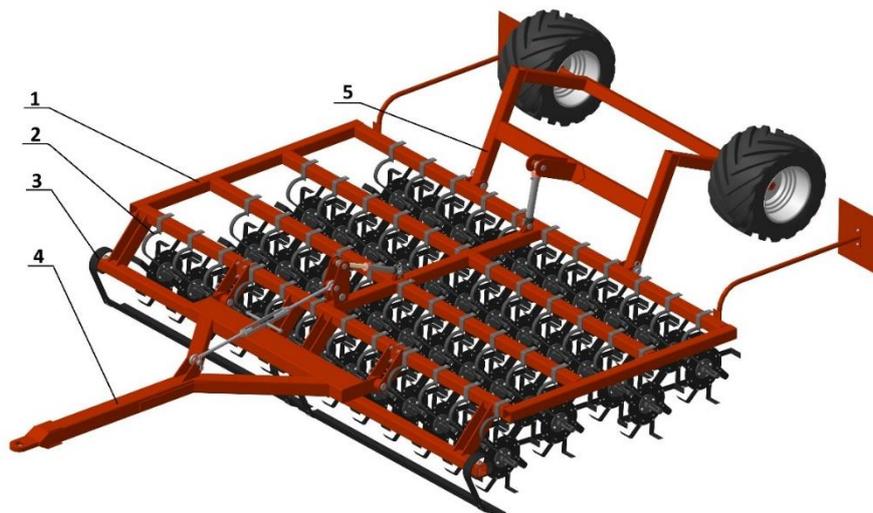


Рис. 4 – Ножевая борона Tume 3000S

Из представленного анализа конструкций рабочих органов дисковых борон наиболее перспективными являются диски на подпружиненных стойках со сменными ножами.

Предлагается конструкция дискового мульчировщика с четырехрядным размещением рабочих органов на раме. Предполагается, что такое расположение дисковых рабочих органов позволит качественно выполнить рыхление почвы, заделку и измельчить сидераты.

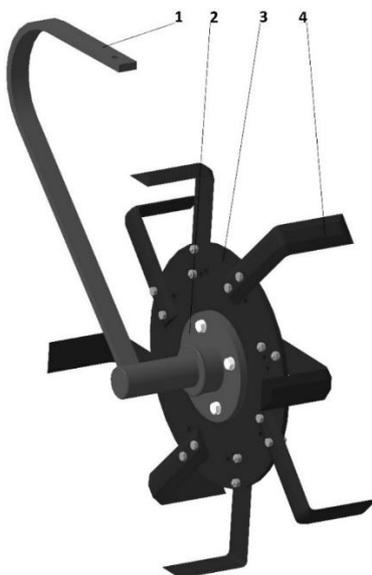
Предлагаемый дисковый мульчировщик имеет ширину захвата 3,7 метра (рисунок 5). Он состоит из рамы 1, на которой расположены четыре ряда дисков.



1 – рама; 2 – стойка с диском; 3 – выравнивающе-прижимное устройство; 4 – прицепное устройство; 5 – транспортная тележка

Рис. 5 – Дисковый мульчировщик ДМ-3,7

Результаты исследований и их обсуждение. Остановимся подробнее на предлагаемой конструкции стойки с диском (рисунок 6).



1 – пружинная стойка; 2 – ступица с подшипниковым узлом; 3 – диск; 4 – нож.

Рис. 6 – Стойка с диском

Каждый диск 2 закреплен при помощи крепления на индивидуальной пружинной стойке. Диаметр дисков составляет 500 мм. Угол атаки дисков не регулируется и составляет конструктивно 0° . Межрядное расстояние между рядами дисков составляет 600 мм. Близкое расположение задних рядов дисков, а также их размер позволяет качественно измельчать и на требуемую глубину проводить заделку сидератов.

При движении машин по полю выравнивающе-прижимное устройство распределяет кротовины и прижимает сидераты к полю по направлению движения орудия. Диски под действием массы мульчировщика врезаются в почву и вращаются. Режущими кромками ножей диски подрезают сидераты и пласт почвы на требуемую глубину, измельчают и крошат, заделывая сидераты. Последующие ряды дисков разбивают комья и доизмельчают сидеральные культуры. Применение данного мульчировщика позволит в кратчайший срок и с наименьшими затратами измельчить и распределить сидераты в почву.

На переднем и третьем ряду с помощью креплений монтируются по 12 рабочих органов, а на втором и четвертом – по 11. Таким образом, формируется поле мульчировщика с общим количеством дисковых рабочих органов – 46 шт.

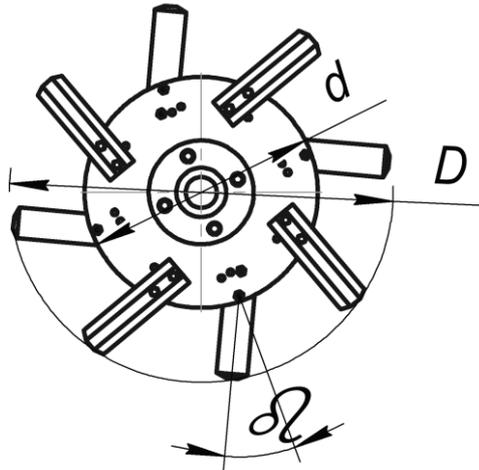
Мульчировщиком с четырехрядным размещением дисковых рабочих органов мы выполняем одновременно несколько операций обработки почвы:

- рыхление почвы;
- измельчение пожнивных остатков или сидератов;
- заделка сидератов.

На наш взгляд, это позволит улучшить технико-экономическую эффективность процесса обработки почвы с одновременным выполнением нескольких операций обработки почвы.

Характер деформации и перемещений почвы под действием дисков с ножами зависит от диаметра дисков, числа ножей, угла их установки относительно радиальной линии (угла поворота) и размеров пласта, вырезаемого каждым диском, а также зависит от скорости поступательного движения машины, ее веса и свойств почвы. Выбор значений перечисленных величин не может быть произвольным, так как для них по каждой группе дисковых рабочих органов существуют свои выработанные практикой пределы. Кроме того, отдельные геометрические элементы связаны между собой функциональными зависимостями [7, 8].

Одним из основных геометрических параметров диска является его рабочий диаметр (рисунок 7).



d – диаметр диска; β – угол поворота ножей; D – рабочий диаметр диска

Рис. 7 – Геометрические параметры дискового рабочего органа

Диаметр в зависимости от условий работы следует выбирать наименьшим из допустимых значений, так как с увеличением диаметра диска резко возрастает нагрузка, необходимая для заглабления дисков в почву. Рабочий диаметр диска зависит от заданной глубины обработки почвы a [9].

Между значениями D и a существует соотношение

$$D = k \cdot a, \quad (1)$$

где k – коэффициент (для дисков с ножами равен 12...15) [8].

При заданной глубине обработки $a=40$ мм, рабочий диаметр диска будет равен 500 мм.

Диаметр диска d зависит от максимальной глубины обработки H :

$$d = D - 2 \cdot H, \quad (2)$$

где H – максимальная глубина обработки.

При работе диска на частицу m почвы или сидерата (рисунок 8) будут действовать силы: G – сила веса, F_{mp} – сила трения, N – нормальная реакция ножа на почву. Разложим силу N на две составляющие: по направлению движения N_v и по направлению лезвия N_r . Сила $N_r - F_{mp}$ и G образуют заглабляющую силу P_3 , которая совместно с силой N_v образует равнодействующую R , по направлению которой будет двигаться частица m почвы или сидерата пока не будет разрушена или срезана ножом.

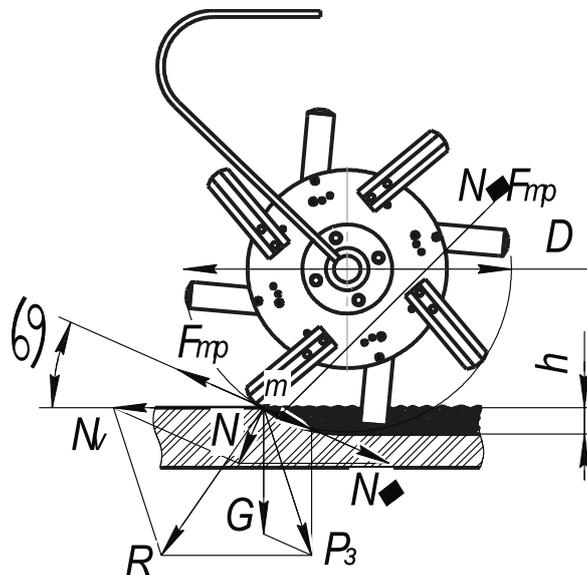


Рис. 8 – Схема сил, действующих на частицу почвы или сидерата

Резание будет со скольжением, если $N_{\tau} > F_{mp}$, т.е. когда $90 - \alpha > \varphi$, где α – угол входа ножа в почву; φ – угол трения почвы о лезвие ножа.

Если $90 - \alpha < \varphi$, то сила F_{mp} как реактивная равна N_{τ} , тогда корень или частица будут двигаться без скольжения. Значит резание со скольжением возможно, если $\alpha < 90 - \varphi$, т.е. если угол вхождения ножа в почву $\alpha < 90 - \varphi$ (угол трения сидерата по ножу $\varphi \approx 45^\circ$), тогда предельный угол $\alpha = 45^\circ$.

При определении расстояния b между соседними дисками в ряду следует учитывать габаритные размеры узлов крепления, подшипников и габаритов ножей [10]:

$$b \geq 1,5 \cdot h + 2 \cdot B, \quad (3)$$

где h – глубина обработки, м; B – ширина захвата ножа, м.

Угол входа ножа в почву α будет оказывать влияние на тангенциальную составляющую нормальной реакции – N_{τ} , и, как следствие на величину и направление заглубляющего усилия. Угол α является величиной регулируемой и зависимой от угла установки ножей на самом диске относительно радиального направления.

Способы резания, которые используются при исследовании средств механизации почвообработки, следующие: резание клином и лезвием [11]. При резании клином на почву в основном оказывает действие рабочая грань. В этом случае лезвие служит для выполнения вспомогательной функции.

При резании лезвием основное воздействие на почву оказывается лезвием, а рабочая грань служит для выполнения вспомогательной функции. Иногда один вид резания может трансформироваться в другой. Как показывает опыт, резание лезвием имеет наибольшее распространение при работе современных средств механизации почвообработки.

Процесс углубления лезвия в толщу почвы на определенную глубину h вызывает возникновение на режущей кромке разрушающего контактного напряжения σ [11].

При внедрении лезвия в обрабатываемый материал на него действуют следующие силы сопротивления (рисунок 9): резанию (F_p); смятия ($F_{см}$), которая в свою очередь включает силы осевого ($F_{осм}$) и тангенциального ($F_{тсм}$) смятия.

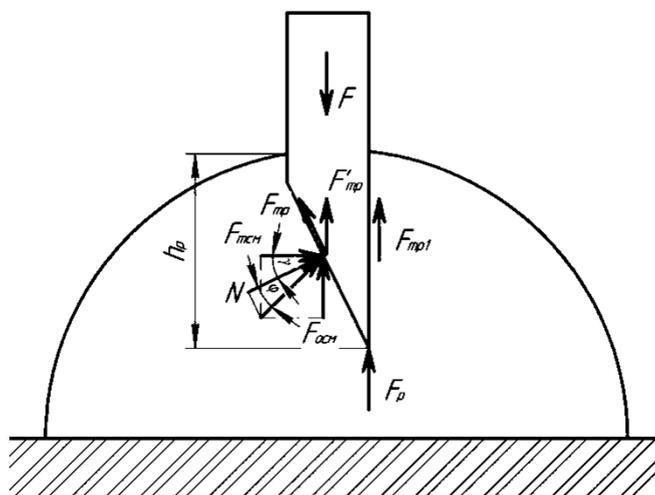


Рис. 9 – Схема для исследования процесса резания растительных остатков ножом диска

На фаску лезвия действует сила:

$$N = F_{осм} \cdot \sin(\gamma + \varphi) + F_{тсм} \cdot \cos \gamma, \quad (4)$$

где γ – угол между тангенциальной силой смятия $F_{тсм}$ и нормальной реакцией N (угол заточки лезвия ножа), град; φ – угол трения, град.

Силу трения, возникающую от действия нормальной реакции N , можно рассчитать по выражению:

$$F_{mp} = N \cdot f = N \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (5)$$

где f – коэффициент трения между материалом и ножом; φ – угол трения, град.

С учетом угла трения имеем:

$$N = \sqrt{F_{осм}^2 + F_{тсм}^2} \cdot \cos \varphi, \quad (6)$$

Действие силы $F_{тсм}$ приводит к возникновению силы $F_{мп1}$, подобной F_{mp}

$$F_{мп1} = F_{тсм} \cdot f, \quad (7)$$

После некоторых преобразований получим:

$$F_{мп1} = f \cdot (0,5 F_{осм} \cdot \sin 2\gamma + F_{тсм} \cdot \cos^2 2\gamma), \quad (8)$$

В процессе резания критическая сила, которая приложенная к ножу, должна соответствовать сумме проекций сил, действующих в вертикальной плоскости [11, 12]:

$$F = F_p + F_{осм} + F_{mp}' + F_{мп1}, \quad (9)$$

После подстановки и преобразования получим зависимость усилия на ноже от геометрических и физико-механических свойств обрабатываемого материала:

$$F = \sigma \cdot s + \frac{E \cdot h_p^2}{2 \cdot h_{p\max}} \cdot [tg\gamma + f \cdot \sin^2 \gamma + \mu \cdot (f + \cos^2 \gamma)] \quad (10)$$

где s – площадь сечения ножа, м²; σ – разрушающее контактное напряжение, МПа; E – модуль деформации стеблей, Н/м²; μ – коэффициент Пуассона; h_p и $h_{p\max}$ – соответственно начальная и максимальная глубина резания, м.

Таким образом, отмечаем, что усилие на ноже дискового рабочего органа будет зависеть от физико-механических свойств растений (модуль упругости), и почвы (удельное сопротивление, влажность, твердость), а также от геометрии самого ножа (угла заточки и площади лезвия).

Выводы. На основании обобщения представленных рассуждений сделаем следующие выводы.

1. Предлагаемый мульчировщик с ножевыми дисками рекомендуется к использованию для обработки полей, на которых проводится выращивание кукурузы, хлопка, рапса, зерновых, овощных культур, подсолнечника и сидеральных культур. Растительные остатки подвергаются измельчению с последующим оставлением на почвенной поверхности. Контактная с почвой, они становятся объектом дальнейшей работы микроорганизмов.

2. Диаметр дисков $D=500$ мм, количество ножей на диске – 8 шт, расстояние между дисками $b=160$ мм, ширина захвата диска – 180 мм.

3. При проведении теоретического анализа предлагаемого мульчировщика было выявлено, что при работе дисково-ножевого измельчителя на тяговое сопротивление агрегата существенное влияние оказывают физико-механические свойства растений и почвы, а также геометрия самого ножа и его угол установки на диске.

4. Перспективы развития дисковых почвообрабатывающих мульчировщиков связаны с улучшением их характеристик, расширением функционала и адаптацией под различные условия эксплуатации. Это позволит улучшить процесс обработки почвы, повысить урожайность и сократить затраты при производстве сельскохозяйственной продукции.

Библиография

1. Комплекс машин для внедрения биотехнологий в земледелии / И. И. Соломин, А. В. Турьянский, С. А. Булавин, В. Н. Любин // Белгородский агромир. – 2003. – № 2(9). – С. 38–39.
2. Курасов В.С. Орудия для измельчения пожнивных остатков кукурузы при вертикальной обработке почвы: обзор и анализ / В. С. Курасов, И. Е. Припоров, В. И. Бацунов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2024. – № 2(106). – С. 140–147.
3. Смирнов М.П. Комбинированное почвообрабатывающее орудие с дисковыми рабочими органами / М. П. Смирнов // Перспективные технологии и инновации в АПК в условиях цифровизации: Материалы Международной научно-практической конференции, Чебоксары, 15 февраля 2022 года. – Чебоксары : Чувашский государственный аграрный университет, 2022. – С. 466–467.
4. Булавин С.А. Агрегат для биотехнологической обработки почвы / С. А. Булавин, А. В. Рыжков // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2007. – № 1. – С. 3–5.
5. Современные почвообрабатывающие и посевная техника ОАО «Белагромашсервис» / В. А. Кравченко, А. А. Сенькевич, С. Е. Сенькевич, В. А. Максименко // Техника и оборудование для села. – 2009. – № 5. – С. 19–21.
6. Рыжков А.В. Агрегат для обработки почвы при биологизации земледелия / А. В. Рыжков, А. В. Мачкарин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 4(36). – С. 57–63.
7. Обработка почвы фрезой с клиновидными ножами / Б. Ф. Тарасенко, А. Нийомувуни, В. А. Дробот [и др.] // Тракторы и сельхозмашины. – 2023. – Т. 90, № 4. – С. 307–314.
8. Ryzhkov A.V. Comparative analysis of soil discarding by spherical disks / A. V. Ryzhkov, A. V. Machkarin, K. V. Kazakov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Michurinsk, 12 апреля 2021 года. – Michurinsk, 2021. – P. 012138. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012138.
9. Ожерельев В.Н. Совершенствование конструкции дисковых почвообрабатывающих орудий / В. Н. Ожерельев, В. В. Никитин, А. М. Гринь // Наука в центральной России. – 2020. – № 5(47). – С. 5–11. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-5-5-11.
10. Хлызов Н.Т. Обоснование параметров мульчирующего устройства для безотвального орудия / Н. Т. Хлызов, Д. А. Девятков // Актуальные вопросы агроинженерных и агрономических наук: матер. национальной науч. конф. Института агроинженерии, Института агроэкологии (Челябинск, Миасское, 2020) / под ред. д-ра биол. наук, доцента С. А. Гриценко. – Челябинск : ФГБОУ ВО Южно-Уральский ГАУ, 2020. – С. 172–179.
11. Ашабоков Х.Х. Параметры и режимы работы пахотно-фрезерного агрегата: специальность 05.20.01 «Технологии и средства механизации сельского хозяйства»: диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Ашабоков Хачим Хазраилович. – Нальчик, 2019. – 141 с.
12. Припоров Е.В. Сравнительный анализ затрат энергии на обработку почвы дисковым мульчировщиком / Е. В. Припоров, Г. Е. Самурганов // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. – 2019. – № 2(76). – С. 106–109.

References

1. Kompleks mashin dlya vnedreniya biotekhnologii v zemledelii [A set of machines for the introduction of biotechnology in agriculture] / I. I. Solomin, A. V. Turyanskiy, S. A. Bulavin, V. N. Lyubin // Belgorodskij agromir. – 2003. – № 2(9). – S. 38–39.
2. Kurasov V.S. Orudiya dlya izmelcheniya pozhnivnyh ostatkov kukuruzy pri vertikalnoj obrabotke pochvy: obzor i analiz [Tools for grinding corn crop residues during vertical tillage: overview and analysis] / V. S. Kurasov, I. E. Priporov, V. I. Baczunov // Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2024. – № 2(106). – S. 140–147.
3. Smirnov M.P. Kombinirovannoe pochvoobrabatyvayushee orudie s diskovymi rabochimi organami [Combined tillage tool with disc working bodies] / M. P. Smirnov // Perspektivnye tehnologii i innovacii v APK v usloviyax cifrovizacii: Materialy` Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii, Cheboksary, 15 fevralya 2022 goda. – Cheboksary` : Chuvashskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet, 2022. – S. 466–467.
4. Bulavin S.A. Agregat dlya biotekhnologicheskoy obrabotki pochvy [A unit for biotechnological soil treatment] / S. A. Bulavin, A.V. Ryzhkov // Mexanizaciya i elektrifikaciya selskogo hozyajstva. – 2007. – № 1. – S. 3–5.

5. Sovremennye pochvoobrabatyvayushhie i posevnaya texnika OAO «Belagromashservis» [Modern tillage and sowing equipment of JSC Belagromash Service] / V. A. Kravchenko, A. A. Senkevich, S. E. Senkevich, V. A. Maksimenko // *Texnika i oborudovanie dlya sela*. – 2009. – № 5. – S. 19–21.
6. Ryzhkov A.V. Agregat dlya obrabotki pochvy pri biologizacii zemledeliya [An aggregate for tillage in the biologization of agriculture] / A. V. Ryzhkov, A. V. Machkarin // *Innovacii v APK: problemy i perspektivy*. – 2022. – № 4(36). – S. 57–63.
7. Obrabotka pochvy frezoy s klinovidnymi nozhami [Soil treatment with a cutter with wedge-shaped knives] / B. F. Tarasenko, A. Nijomuvuni, V. A. Drobot [i dr.] // *Traktory i selhozmashiny*. – 2023. – T. 90, № 4. – S. 307–314.
8. Ryzhkov A.V. Comparative analysis of soil discarding by spherical disks / A. V. Ryzhkov, A. V. Machkarin, K. V. Kazakov // *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Michurinsk, 12 aprelya 2021 goda. – Michurinsk, 2021. – P. 012138. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012138.
9. Ozherelev V.N. Sovershenstvovanie konstrukcii diskovykh pochvoobrabatyvayushhix orudij [Improving the design of disk tillage tools] / V. N. Ozherelev, V. V. Nikitin, A. M. Grin // *Nauka v centralnoj Rossii*. – 2020. – № 5(47). – S. 5–11. – DOI 10.35887/2305-2538-2020-5-5-11.
10. Xlyzov N.T. Obosnovanie parametrov mulchiruyushhego ustrojstva dlya bezotvalnogo orudiya [Substantiation of the parameters of the mulching device for a non-shaft gun] / N. T. Xlyzov, D. A. Devyatkov // *Aktualnye voprosy agroinzhenernyh i agromicheskix nauk: mater. nacionalnoj nauch. konf. Instituta agroinzhenerii, Instituta agroekologii (Chelyabinsk, Miasskoe, 2020) / pod red. d-ra biol. nauk, docenta S. A. Gricenko*. – Chelyabinsk : FGBOU VO Yuzhno-Ural'skij GAU, 2020. – S. 172–179.
11. Ashabokov X.X. Parametry i rezhimy raboty paxotno-frezernogo agregata: specialnost 05.20.01 «Technologii i sredstva mexanizacii selskogo hozyajstva»: dissertaciya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata texnicheskix nauk [Parameters and modes of operation of the arable milling unit: specialty 05.20.01 «Technologies and means of mechanization of agriculture»: dissertation for the degree of Candidate of technical Sciences] / Ashabokov Xachim Xazrailovich. – Nalchik, 2019. – 141 s.
12. Priporov E.V. Sravnitel'nyj analiz zatrat e'nergii na obrabotku pochvy diskovym mulchirovshhikom [Comparative analysis of energy costs for tillage with a disc mulcher] / E. V. Priporov, G. E. Samurganov // *Izvestiya Orenburgskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. – 2019. – № 2(76). – S. 106–109.

Сведения об авторах

Рыжков Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8(4722) 38-19-48, e-mail: ryzhkovbgsha@yandex.ru.

Мачкарин Александр Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. 8(4722) 38-19-48, e-mail: machkarin@mail.ru.

Information about authors

Ryzhkov Andrey Vladimirovich, candidate of technical Sciences, associate professor of department of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy p., Bel-urban district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 8(4722) 38-19-48, e-mail: ryzhkovbgsha@yandex.ru.

Machkarin Alexander Viktorovich, candidate of technical Sciences, associate professor of department of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy p., Bel-urban district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. 8(4722) 38-19-48, e-mail: machkarin@mail.ru.

УДК 631.171

О.А. Чехунов, В.В. Воронин, Г.С. Чехунова, К.В. Казаков

РОБОТИЗИРОВАННЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ОБСЛУЖИВАНИЯ КОРМОВЫХ СТОЛОВ И ПОДКОРМА СКОТА

Аннотация. Предложена конструктивная схема роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, обеспечивающего в автоматическом режиме подравнивание корма в зону доступа животных с одновременной выдачей концентрированных кормов и (или) кормовых добавок, а также при необходимости уборку зоны кормления. Теоретическими исследованиями установлены зависимости, позволяющие определить мощность привода щеточных рабочих органов, усилие, затрачиваемое на сгребание корма, мощность для привода (перемещения) агрегата, производительность спирального дозатора комбикормов и (или) кормовых добавок. Получены зависимости усилия, необходимого для сдвигания корма на кормовом столе от высоты и ширины валька, производительности дозатора от числа оборотов, диаметра и шага спирали. По результатам работы определены размеры бункера для комбикормов и (или) кормовых добавок, выполненного в виде усеченной пирамиды: верхнее основание – 1×1 м, нижнее – 1×0,5 м, высота – 0,7 м; конструктивно-режимные параметры щеточного рабочего органа: диаметр щетки в нижнем основании – 1,5 м, число ворса в щетке – 200, длина ворса – 0,38 м, диаметр ворса – 0,005 м, частота вращения щетки – 350 мин⁻¹, усилие, затрачиваемое на сдвигание корма – 265...546 Н при высоте слоя 0,05...0,55 м и ширине слоя 0,1...1,1 м, мощность привода щетки – 0,5 кВт (предлагается использовать электродвигатель АМЖ5705 напряжением 12В); мощность для привода агрегата – 0,21...0,64 кВт при изменении скорости перемещения робота в пределах от 0,2 до 0,6 м/с, конструктивно-режимные параметры дозатора: шаг спирали 0,05 м, диаметр витков спирали 0,05 м, частота вращения, изменяемая частотным преобразователем, – 30...70 мин⁻¹.

Ключевые слова: сгребание корма, щетка, кормовой стол, комбикорм, кормовая добавка, спиральный дозатор, роботизированный агрегат.

ROBOTIC UNIT FOR MAINTENANCE OF FEEDING TABLES AND LIVESTOCK FEEDING

Abstract. A constructive scheme of a robotic unit for servicing feed tables and feeding livestock is proposed, which automatically equalizes feed into the animal access zone with simultaneous delivery of concentrated feed and (or) feed additives, as well as, if necessary, cleaning the feeding zone. Theoretical studies have established dependencies that allow us to determine the drive power of the brush working bodies, the effort spent on raking feed, the power to drive (move) the unit, the performance of the spiral dispenser of compound feeds and (or) feed additives. The dependences of the force required to shift the feed on the feed table on the height and width of the roll, the productivity of the dispenser on the number of revolutions, the diameter and the pitch of the spiral are obtained. According to the results of the work, the dimensions of the hopper for compound feeds and (or) feed additives, made in the form of a truncated pyramid, were determined: the upper base is 1×1 m, the lower one is 1×0.5 m, the height is 0.7 m; design and operating parameters of the brush working body: the diameter of the brush in the lower base is 1.5 m, the number of lint in the brush is 200, the length of the pile is 0.38 m, the diameter of the pile is 0.005 m, the brush rotation speed is 350 rpm, the force spent on shifting the feed is 265...546 N at a layer height of 0.05...0.55 m and a layer width of 0.1...1.1 m, the brush drive power is 0.5 kW (it is proposed to use an AMJ5705 electric motor with a voltage of 12V); the power to drive the unit is 0.21...0.64 kW when changing the speed of movement of the robot in the range from 0.2 to 0.6 m/s, the design and operating parameters of the dispenser: a spiral pitch of 0.05 m, the diameter of the coils of the spiral is 0.05 m, the rotation frequency, variable by a frequency converter, is 30...70 rpm.

Keywords: raking feed, brush, feed table, compound feed, feed additive, spiral dispenser, robotic unit.

Введение. В России активно ведется работа по импортозамещению практически во всех отраслях экономики и в первую очередь в сельском хозяйстве, в том числе и животноводстве. 21 января 2020 года президент РФ подписал указ «Об утверждении Доктрины производственной безопасности», основными элементами которой выступают мероприятия, направленные на продовольственную безопасность страны, рационализацию норм потребления высококачественных продуктов их физическую и экономическую доступность для населения. Для решения указанной задачи следует вести интенсивное наращивание производимого молока, при этом не только за счет строительства новых производственных мощностей, но и за счет повышения эффективности имеющегося поголовья, на которое в первую очередь оказывает влияние полнота кормления и ряд других зооветеринарных показателей. Чтобы получать высококачественное молоко в значительных количествах необходимо обеспечить молочный скот полнорационным кормлением, включая концентрированные корма, минеральные и витаминные добавки.

Анализ современного рынка оборудования для АПК и, в частности, для животноводства, указывает на растущую потребность отрасли в интеллектуальных машинах и оборудовании, включая роботизированную технику, позволяющую вывести обслуживающий персонал за пределы технологических операций, исключив одновременно и «человеческий фактор» (эмоциональное состояние, усталость, качество и добросовестность выполняемых работ и т.д.) [1]. В целом же использование роботов позволяет решать не только конкретные производственные задачи, но и полностью изменить всю стратегию и организацию производства на ферме, значительно повышая ее производительность и снижая себестоимость производимой продукции.

Специалистам известно, что молочное скотоводство по затратам ручного труда, энергетических мощностей и технического вооружения значительно превосходит все остальные отрасли животноводства, что делает себестоимость его продукции высокой, а прибыль относительно низкой [2].

Повышение эффективности молочного скотоводства, с точки зрения инженерного сопровождения, на наш взгляд, лежит в первую очередь в использовании роботизированных систем.

Для определения направления в создании новых интеллектуальных машин для молочного скотоводства рассмотрим технологические операции, выполняемые на молочно-товарных фермах и возможность их роботизации или автоматизации (наличие на рынке соответствующих роботов или автоматических интеллектуальных машин) [3, 4, 5]:

1) поение – данный процесс не требует наличия интеллектуальной техники и значительных затрат ручного труда, а его техническая реализация выражается в использовании различного типа автоматических поилок;

2) приготовление корма – данную операцию, к которой предъявляются довольно высокие требования со стороны зоотехнии, можно полностью роботизировать, используя различного рода системы кормления, например, Pellón TMR («Pellon Group OY»), Free Stall Feeder («GEA Farm Technologies»), Optimat™ II master («Delaval»), Triomatic («Trioliet»), Vector («Lely») и др.;

3) раздача кормов – данную операцию в не зависимости от способа содержания скота можно полностью роботизировать, используя различного рода роботы-кормораздатчики – стационарные (например, Q25 «Delaval», Pellon Belt Feeder («Pellon Group OY»), Lely Cosmix P («Lely») и др.), ограниченной мобильности, перемещаемые по монорельсу (например, Pellón Combi («Pellon Group OY»), Mix Feeder («GEA Farm Technologies»), FM 460/1300 и RA 135 («Delaval») и др.) и мобильного исполнения (например, Innovado («Schuitemaker Machines B.V.») и др.);

4) подгребание корма на кормовом столе – данную операцию, осуществляемую как правило вручную 3...6 раз в день, затрачивая каждый раз не менее 20 минут, можно полностью роботизировать, используя роботы ограниченной мобильности (например, Butler-Plus («Wasserbauer») или полностью мобильные решения (например, Juno («Lely»);

5) выдача концентрированных кормов и кормовых добавок на кормовой стол в дополнение к основному рациону – осуществляется вручную, мобильные роботизированные системы отсутствуют;

6) выгул, пастбище и перемещение животных по территории фермы – данные операции могут быть полностью роботизированы, используя при этом селекционные и пропускные ворота, подключенные к системам управления стадом (например, TIM («SAC»), DelPro™ и ALPRO™ («DeLaval»), автоматические пастбищные системы (например, Voyager «Lely»), роботы-пастухи, например, Shrimp;

7) выпойка телят – операция, выполняемая преимущественно вручную с использованием ручных поилок или стационарных поилок с ручной заправкой из «молочных такси») может быть полностью роботизирована путем применения соответствующих автоматических станций, например, Lely Calm («Lely»), DairyFeed J («GEA Farm Technologies»), Kormomama Urban U40 («Urban») и др.;

8) уход за животными – часть операций, входящих в данный блок, может быть автоматизирована, используя ванны и коврики для чистки копыт, автоматические щетки-чесалки (например, Lely Luna («Lely»), Profi-COW и Krazz-Maxx («Suevia») и др.);

9) машинное доение коров и первичная обработка молока – операции, определяющие качество и объемы получаемой на молочно-товарных фермах продукции, могут быть полностью роботизированы за счет применения доильных роботов в совокупности с танками-охладителями молока, например, VMS и AMR («DeLaval»), Astronaut («Lely»), Leonardo («Westfalia»), Galaxy («SAC»), Merlin («Fullwood»), AMSLiberty («Prolion») и др.;

10) навозоудаление – наиболее энергозатратная операция на МТФ, которая может быть полностью роботизирована с использованием автоматических скреперных установок, работающих по задаваемой в блоке управления программе, например, скреперы компании «Farmtec», или мобильных роботов для уборки навозных проходов (например, Scarabeo («Sermap Sas») и обслуживания щелевых полов (например, Discovery («Lely»), SRone «GEA Farm Technologies», RS250 («DeLaval»), JOZ-Tech («JOZ»), PriBot («Peter Prinzing GmbH») и др.);

11) подправка подстилки и очистка стойл – осуществляется вручную (не менее одного раза в день), роботизированные системы отсутствуют;

12) поддержание микроклимата – данная операция не является основополагающей для скотоводства, осуществляется как правило автоматическими вентиляционными системами различной компоновки и организации воздушных потоков (естественная и принудительные вентиляции, крышного, бокового, туннельного и комбинированных типов);

13) ветеринарное обслуживание скота – осуществляется вручную (не менее одного раза в день), роботизированные системы отсутствуют.

Таким образом, рассмотрев операции на молочно-товарных фермах, видно, что интеллектуальные машины и оборудование, в том числе и роботизированные системы не применяются при подправке подстилки и очистке стойл, ветеринарном обслуживании скота, а также при выдаче концентрированных кормов и кормовых добавок на кормовой стол в дополнение к основному рациону.

Специалистам известно, что получить высококачественное молоко с оптимальным физико-химическим составом невозможно без обеспечения эффективного кормления скота кормовыми смесями, включающими концентрированные элементы (дробленный зернофураж, комбикорма и другие добавки). При скармливании таких кормов животные в первую очередь выбирают «вкусные» части смеси, раскидывая по кормовому столу оставшиеся части рациона, перемещая их в недоступную для дальнейшего поедания зону. Потери кормов от этого факта могут достигать 5...7 % от рациона, что значительно повышает себестоимость производства [6]. Таким образом, сгребание корма на кормовом столе в зону доступную для поедания коровами также является актуальной проблемой, реализуемой в большинстве хозяйств ручным способом.

С учетом сказанного в данной работе ставится задача по разработке и обоснованию конструктивно-режимных параметров роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, обеспечивающего в автоматическом режиме следующие технологические операции – подравнивание корма в зону доступа животных с одновременной выдачей концентрированных кормов и (или) кормовых добавок, а также при необходимости уборку зоны кормления.

Материал и методы исследований. Объект исследования – роботизированный агрегат для обслуживания кормовых столов и подкорма скота. Предмет исследования – рабочий процесс агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, обеспечивающего подравнивание корма на кормовом столе в зону доступа животных с одновременной выдачей концентрированных кормов и (или) кормовых добавок, и уборку зоны кормления применительно к условиям молочно-товарной фермы на 1200 голов скота беспривязно-боксового содержания.

Цель работы – разработка конструкции роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота с обоснованием ее основных конструктивно-режимных параметров.

Результаты исследований и их обсуждение. Согласно действующей Доктрине производственной безопасности в России внутреннее производство молока не должно быть менее 90 % от потребности населения и промышленности. Для полной независимости страны от импорта следует вести интенсивное наращивание производимого молока, при этом не только за счет строительства новых производственных мощностей, но и за счет повышения эффективности имеющегося поголовья.

Высокие производственные показатели показывают молочно-товарные фермы, на которых используется беспривязный способ содержания с постоянным доступом животных к корму (кормление вволю с кормовых столов). В структуре

себестоимости животноводства не зависимо от масштабов производства и территориального расположения хозяйств затраты на корма, включающие этапы выпуска или приобретения сырья, хранения, подготовки, кормоприготовления и кормовых дачи, составляют до 65...75 % [7]. Кроме того, для получения высококачественного молока в заданных объемах необходимо обеспечить молочный скот полнорационным кормлением, включая концентрированные корма, минеральные и витаминные добавки, являющиеся основой кормовой базы и определяющие большую часть экономики всего хозяйства [2].

Практика показывает, что при использовании сбалансированных по питательным веществам и энергетической ценности кормов в рационах сельскохозяйственных животных и птицы их продуктивность возрастает на 10...12 %, а в случае введения в корма биологически активных добавок (аминокислот, антибиотиков, микроэлементов, витамин и т.д.) продуктивность увеличивается более чем на 25 % [8].

В молочном скотоводстве наибольшее распространение получили следующие виды кормовых добавок:

– продукты переработки нетоварной части животных – мясная и мясокостная мука, являющаяся высокобелковым компонентом, содержащая до 70 % протеина и 15 % жира;

– азотистые безбелковые добавки – карбамид, бикарбонат аммония, сульфат аммония, содержащие 17...46 % азота;

– минеральные добавки – мел, поваренная соль, осадки солей не пресных водоемов, известь, преципитат, монокальцийфосфат, динатрийфосфат и другие, служащие главным образом поставщиком кальция, натрия, фосфора и других необходимых животным микроэлементов;

– витамины различных групп – группы А, участвующие в обмене протеиновых и минеральных веществ; группы В, участвующие в обмене сахаров (В1), углеводном обмене (В2 и В5), клеточном обмене (В3), жировом обмене (В4, В6 и В12), водно-солевом обмене (В5), белковом обмене (В6), синтезе гемоглобина (В12); группы С, участвующие в большинстве обменных реакций организма; группы D, стимулирующие процесс пищеварения; группы Е, участвующие в репродуктивных процессах; группы К, участвующие в деятельности кровеносной системы; группы Н, участвующие в синтезе жиров, аминокислот и углеводов;

– побочные продукты перерабатывающих производств – жмых и шрот от масложировых производств, содержащие до 45 % протеина и богаты лизином, жим от свеклосахарного производства, заменяющий зернофураж в рационах дойных коров.

Подбор кормовых добавок следует осуществлять для конкретных половозрастных групп животных, при этом желательно учитывать различные особенности производства (основу кормовой базы, питательность основных рационов, производственное назначение и т.д.) [9].

Наблюдение за кормлением молочного скота, содержащегося без привязи и поедающим корм в виде кормовых смесей с кормовых столов, приготовление и раздача которых выполнялась мобильными кормораздатчиками, выявило следующие недостатки:

1) при приеме корма коровы разгребают его мордой, при этом значительная часть отодвигается от грудного упора кормового стола, т.е. он оказывается в зоне недоступной животным. Данную проблему в хозяйствах решают с помощью ручного сгребания при помощи метлы, кратность данной операции – не менее 4...6 раз в сутки. Таким образом, для осуществления данной операции затрачивается значительное количество времени и трудозатраты;

2) сдвинутый корм поедается животными менее охотно, но при его обогащении комбикормами, поедаемость резко увеличивается, что положительно сказывается на удоях;

3) витаминные добавки в хозяйствах наблюдения выдавались вручную – скотник, двигаясь вдоль кормового прохода вносил добавки на кормосмесь, заранее выданную на кормовой стол при помощи черпака, загребая их из перемещаемой тележки. Данная операция также затратная по времени и физическим силам. На ряде ферм выдача концентратов производилась в автоматизированных доильных установках посредством кормушек-дозаторов, недостатком такого способа можно считать увеличение времени нахождения скота в доильном зале, снижая его пропускную способность, соответственно и производительность, что в ряде случаев приводило к превышению зоотехнического лимита времени на доение.

Таким образом, в работе ставится задача разработки конструктивной схемы роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, решающего вышеуказанные недостатки – автоматическое сгребание корма с одновременным внесением в него комбикормов и кормовых добавок. Это позволит:

– во-первых, свести к нулю ручные операции по сгребанию корма и выдачи кормовых добавок;

– во-вторых, равномерно распределить добавки по всему фронту кормления (вдоль линии кормового стола);

– в-третьих, четко выдерживать заданную норму комбикорма и кормовых добавок по различным половозрастным группам скота (при этом предлагается в состав основной кормосмеси вводить меньше комбикорма, а недостающую разницу нивелировать при сгребании корма);

– в-четвертых, улучшится поедаемость корма, что в свою очередь повысит молочную продуктивность и снизит остатки, идущие на утилизацию;

– в-пятых, сказанное выше повысит экономику хозяйства, снизив себестоимость производства.

Проведенный анализ рынка отечественных и импортных роботизированных систем, обслуживающих операции приготовления и выдачи кормов, показал, что существует шесть основных типов данных машин [3, 4, 10]:

1) роботы, перемещающиеся в стойловом помещении посредством монорельса, проложенного вдоль фронта кормления, при этом приготовление кормосмеси происходит вне данных машин (на отдельной роботизированной или автоматизированной кормовой кухне при помощи стационарных кормосмесителей);

2) роботы, перемещающиеся в стойловом помещении посредством монорельса, проложенного вдоль фронта кормления, при этом они совмещают в себе функции агрегатов по приготовлению кормосмеси и ее выдачи в кормушки или на кормовой стол скота (загрузка компонентами осуществляется на кормовой кухне);

3) мобильные роботизированные измельчители-смесители-раздатчики кормов, загружаемые компонентами в местах их хранения, самостоятельно приготавливающие кормосмесь с последующей выдачей на кормовые столы;

4) автоматизированные ленточные конвейеры, перемещающие кормовую смесь вдоль фронта кормления с последующей выдачей животным;

5) кормовые станции, служащие для выдачи скоту концентрированных кормов и кормовых добавок (преимущественно входят в состав доильных установок или роботов, или стационарно устанавливаются в стойловом помещении);

6) роботы-сгребатели корма, служащие для подгребания корма на кормовых столах скота.

На молочнотоварных фермах России используют, как правило, роботы-разравниватели (полностью роботизированных систем кормления в стране единицы). При этом ежегодно в хозяйствах приобретается около 25...30 таких роботов [4, 10].

В общем объеме роботизированных систем в АПК молочное скотоводство выступает лидером, о чем свидетельствуют данные, приведенные на диаграмме (рисунок 1). По данным платформы «Aggeek» на территории Российской Федерации планируется интенсивный рост агробототехники (рисунок 2) [11].

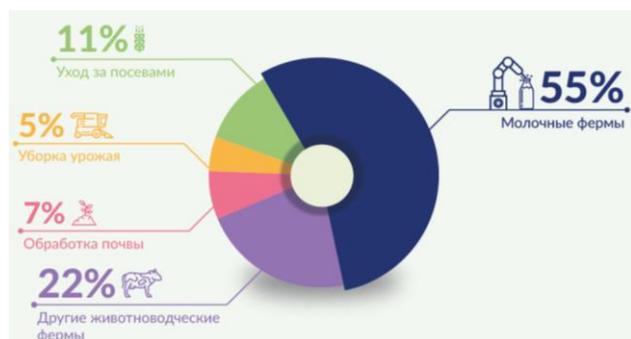


Рис. 1 – Распределение аграрных роботов по отраслям

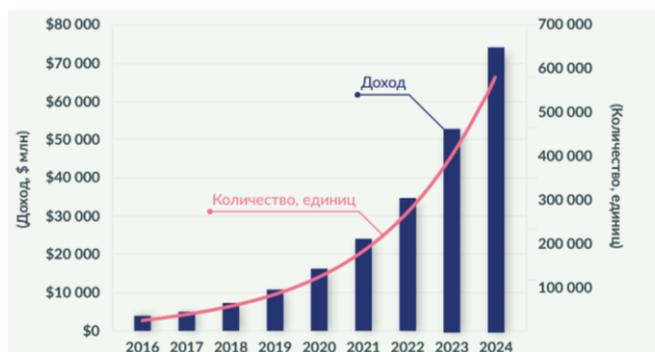
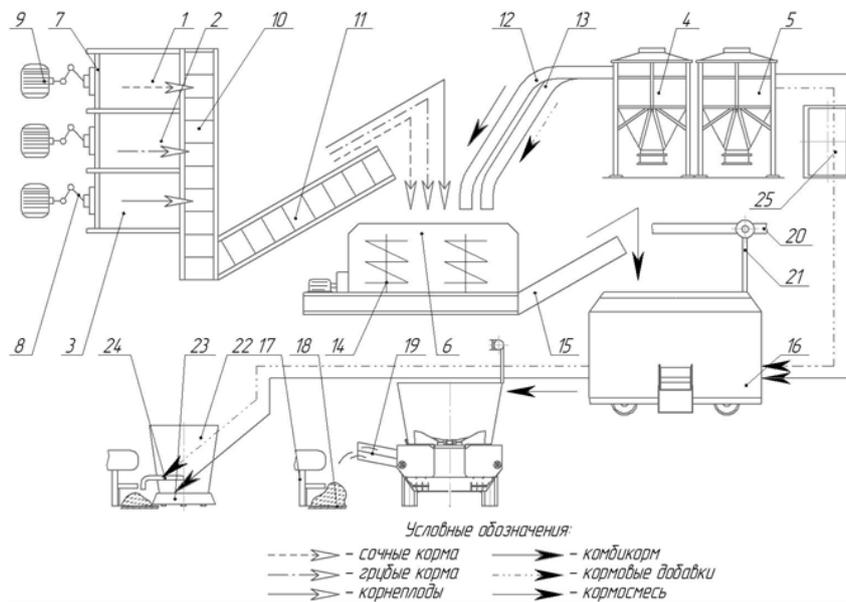


Рис. 2 – Прогноз развития агробототехники

Таким образом, разработка новой конструктивной схемы роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота является актуальной задачей, позволяющей повысить продуктивность молочного стада за счет нормированной выдачи комбикормов и (или) кормовых добавок; уменьшить затраты на корма за счет повышения их поедаемости и снижения отходов; снизить общую себестоимость производства за счет исключения трудоемких ручных операций и исключения из технологического процесса «человеческого фактора». Кроме того, ввиду отсутствия отечественных производителей роботов для приготовления и раздачи кормов, реализация идей, представленных в работе, позволит частично решить проблему импортозамещения и послужит драйвером для российских компаний, специализирующихся на выпуске оборудования для животноводства.

В работе предлагается рассмотреть две технологии приготовления и раздачи кормов при беспривязном содержании молочного скота – технологию для вновь строящихся молочнотоварных ферм с полностью роботизированной системой и технологию для модернизации действующих молочных ферм и комплексов с приготовлением и раздачей кормов мобильными тракторными измельчителями-смесителями-раздатчиками [3, 5].

Схема полностью роботизированной линии приготовления и раздачи корма представлена на рисунке 3.



- 1, 2, 3 – отделения для сочных, грубых кормов и корнеплодов, 4, 5 – силосы для комбикормов и кормовых добавок, 6 – стационарный измельчитель-смеситель, 7 – плунжер, 8 – кривошип, 9 – привод системы выгалькивания, 10 – приемный транспортер, 11 – наклонный конвейер, 12, 13 – транспортеры-дозаторы комбикормов и кормовых добавок, 14 – шнеки смесителя, 15 – выгрузной транспортер, 16 – робот-кормораздатчик, 17 – стойловое оборудование, 18 – кормовой стол, 19 – выгрузной транспортер кормораздатчика, 20 – монорельс, 21 – токоприемник, 22 – бункер, 23 – скребатель корма, 24 – дозатор, 25 – зарядная станция

Рис. 3 – Схема роботизированной линии приготовления и раздачи корма

Линия представляет собой отделение кормовой кухни, где расположены секции для кормовых ингредиентов (для сочных кормов 1, грубых кормов 2 и корнеплодов 3), силоса для концентратов 4 и кормовых добавок 5 и стационарный измельчитель-смеситель 6. Секции кормовых ингредиентов оборудованы системами выгалькивания, представляющие собой плунжера 7, связанные через кривошипно-шатунные механизмы 8 с приводами 9. По заданной рецептуре контролер приво-

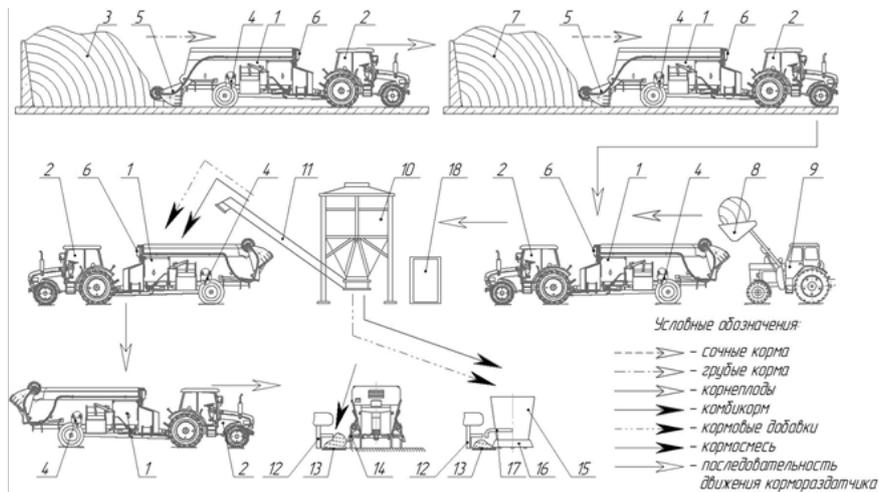
дит в действие соответствующий привод 9, который через кривошип 8 плунжером 7 сталкивает определенную порцию соответствующего ингредиента на приемный транспортер 10, перемещающий их к приемной ветви наклонного транспортера 11, осуществляющего загрузку кормосмесителя 6. Концентрированные корма и кормовые добавки из силосов 4 и 5 по соответствующим шнековым транспортерам-дозаторам 12 и 13 в заданном рецептом объеме попадают в рабочую емкость кормосмесителя 6 (заданную дозу обеспечивает контроллер, определяющий время вращения шнеков 12 и 13).

Ингредиенты кормосмеси, попав в стационарный измельчитель-смеситель 6, измельчаются и смешиваются вращающимися шнеками 14. Время данного процесса задает соответствующий контроллер, в зависимости от приготавливаемого рациона. Готовая кормосмесь из кормосмесителя 6 посредством выгрузного транспортера 15 загружается в бункер робота кормораздатчика 16, например, Triomatic компании «Triolet».

Робот кормораздатчик 16 перемещаясь вдоль стойлового оборудования 17 производит выдачу кормосмеси на кормовой стол 18 через выгрузной транспортер 19. Робот Triomatic осуществляет движение вдоль монорельса 20 с проложенным по нем электрической шиной, с которой посредством токоприемника 21 снимается напряжение для привода. После выдачи корма робот кормораздатчик 16 возвращается к стационарному кормосмесителю 6 для последующей загрузки, встав под ветвь наклонного транспортера 11.

В описанной выше линии кормовые добавки и комбикорма выдаются не в полном объеме рациона, а на 2/3. Оставшуюся треть комбикормов и добавок предлагается выдавать не в основной рацион, а при сгребании корма на кормовом столе 18, что повысит поедаемость. Совмещение данных операций осуществляется предлагаемым роботизированным агрегатом для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, оснащенным бункером 22, механизмом подравнивания корма 23 и дозатором 24 спирально-винтового типа. Норму внесения добавок задает контроллер, изменяющий частоту вращения спирали дозатора 24 и поступательную скорость перемещения робота вдоль стойлового оборудования 17 по кормовому проходу. После выполнения работы робот возвращается к силосам 4 и 5, где становится на загрузку и одновременно на зарядную станцию 25.

Схема приготовления и раздачи корма мобильными кормораздатчиками и роботизированным внесением комбикормов и (или) добавок при подравнивании корма на кормовом столе представлена на рисунке 4.



1 – тракторный измельчитель-смеситель-раздатчик кормов, 2, 9 – трактора, 3, 7 – хранилища грубых и сочных кормов, 4 – рабочие органы кормораздатчика, 5 – фрезерный загрузчик, 6 – монитор, 8 – навеска, 10 – силос комбикормов и кормовых добавок, 11 – транспортер-дозатор, 12 – стойла, 13 – кормовой стол, 14 – выгрузной транспортер, 15 – бункер, 16 – сгребатель корма, 17 – дозатор, 18 – зарядная станция

Рис. 4 – Схема приготовления и раздачи корма мобильными кормораздатчиками и роботизированным агрегатом для обслуживания кормовых столов и подкорма скота

Технологический процесс данной линии состоит в следующем. Мобильный тракторный измельчитель-смеситель-раздатчик кормов 1 в агрегате с трактором 2 подъезжает к хранилищу грубых кормов 3, включается привод рабочих органов 4 (шнеков), из которого посредством фрезерного загрузчика 5 происходит наполнение бункера в заданном в соответствии с рецептом количестве, определяемого по монитору 6, сигнал на который подается от тензометрической аппаратуры на оси раздатчика. Аналогичным образом происходит загрузка кормораздатчика 1 сочными кормами из хранилища 7. Загрузка корнеплодов происходит посредством фронтальной навески 8 на тракторе 9. Загрузку концентрированных кормов и кормовых добавок в измельчитель-смеситель-раздатчик кормов 1 из силосов 10 осуществляют транспортером-дозатором 11. Далее в течение определенного времени происходит процесс измельчения и смешивания компонентов в бункере кормораздатчика 1 рабочими органами 4. После приготовления кормосмеси кормораздатчик заезжает в коровник, где, двигаясь по кормовому проходу вдоль стойл 12, происходит выдача корма на кормовой стол 13 посредством выгрузного транспортера 14.

Как и в ранее рассмотренной линии кормовые добавки и комбикорма выдаются не в полном объеме, а на 2/3. Оставшуюся треть комбикормов и добавок предлагается выдавать не в основной рацион, а при подребании корма на кормовом столе 13, что повысит поедаемость. Совмещение данных операций осуществляется также предлагаемым роботизированным агрегатом для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, оснащенным бункером 15, механизмом подравнивания корма 16 и дозатором 17. Норму внесения добавок задает контроллер, изменяющий частоту вращения спирали дозатора 17 и поступательную скорость перемещения робота вдоль стойлового оборудования 12 по кормовому проходу. После выполнения работы робот возвращается к силосам 10 где становится на загрузку и одновременно на зарядную станцию 18.

В указанных технологических линиях основным оборудованием выступает предлагаемый роботизированный агрегат для обслуживания кормовых столов и подкорма скота (далее по тексту робот), представляющий собой платформу 1 (рисунок 5), оснащенную парой ведущих колес 2 с электроприводами 3, одним поворотным колесом 4 с электроприводом 5. Пе-

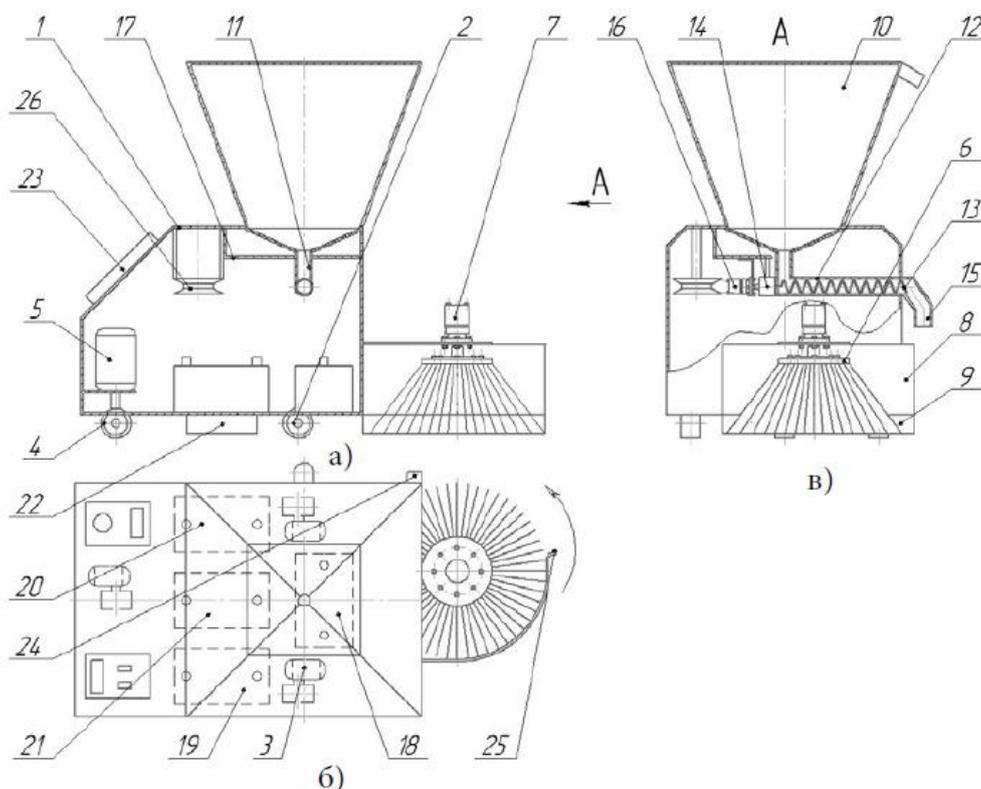
редняя часть платформы 1 оснащена устройством для сгребания корма, представляющим собой вращающуюся щетку 6 с электроприводом 7 и щиток-отсекатель 8, в нижней части которого размещена гибкая резиновая вставка 9. Верхняя часть платформы 1 оснащена бункером 10 для комбикормов и (или) кормовых добавок, который посредством патрубка 11 сообщается с дозатором, выполненным в виде помещенного в корпус 12 спирального винта 13, приводной конец которого смонтирован в подшипниковой опоре 14, а свободный конец размещен над направляющим соплом 15. Дозатор оснащен электроприводом 16, закрепленным на платформе 1 на монтажной площадке 17.

Для изменения режимов работы робота (скорости перемещения и режимных параметров дозатора) предусмотрен блок управления 23. Электроприводы щетки 6, ведущих колес 3 и поворотного колеса 4 питаются от аккумуляторных батарей 18, 19, 20 и 21 соответственно напряжением 12 В. Для зарядки аккумуляторных батарей 18, 19, 20 и 21, объединенных общей электропроводкой, предусмотрен зарядный электрод 22, входящий в соответствующие гнезда зарядной станции (на схеме не показана) при нахождении робота в режиме «парковка» в периодах между выполнением работ. Соединение станции управления 23, оснащенной процессорами, блоками управления, частотными преобразователями, контрольно-измерительной аппаратурой (вольт- и амперметрами, дисплеями идентификации текущих режимов, сенсорным пультом задания режимных параметров и т.д.) осуществляется посредством по канн-шин (на схеме не показаны).

Для контроля оставшегося корма на кормовом столе и своевременного информирования соответствующих служб хозяйства на бункере 10 смонтирована камера 24, сообщаемая канн-шиной с блоком управления 23, имеющим систему искусственного интеллекта по анализу объема корма на кормовом столе. Ультразвуковой сенсор 25 позволяет вести робот на заданном расстоянии от ограничительного борта кормового стола.

Механическая часть работы происходит следующим образом. Робот, двигаясь вдоль кормового прохода, вращающейся щеткой 6 и щитком-отсекателем 8 с резиновой вставкой 9 сдвигает корм в сторону стойл (в зону, доступную для животных), формируя валок. Одновременно с этим (при необходимости) на сформированный валок может происходить дозированная выдача комбикормов и (или) кормовых добавок. При этом корма, предварительно загруженные в бункер 10, через соединительный патрубок 11 самотеком поступают в дозатор, в котором, захватываясь вращающейся спиралью 13, направляются в сторону направляющего сопла 15, ссыпаясь на валок подгребенного корма. Степень дозирования комбикормов и (или) кормовых добавок изменяется поступательной скоростью перемещения робота и изменением частоты вращения спирали 13.

Роботизированная часть работы (перемещение робота по заданному маршруту вдоль кормового стола и к зарядной станции) происходит следующим образом. При поступлении робота на молочно-товарную ферму его следует «обучить», т.е. задать маршруты его движения, привязавшись к конкретным условиям хозяйства используя специальное программное приложение. Точками корректировки маршрута служат направление движения и пройденное расстояние, а также удаленность от края кормового стола, определяемое ультразвуковым сенсором 25. Решение этих задач обеспечивается путем оснащения робота измерительными техническими средствами (для получения первичной информации) и бортовым компьютером с соответствующим программным обеспечением (для анализа полученной информации, принятия необходимого решения и выдачи команды исполнительным механизмам – электроприводу 5 поворотного колеса 4).



а – вид сбоку; б – вид сверху; в – общий вид;

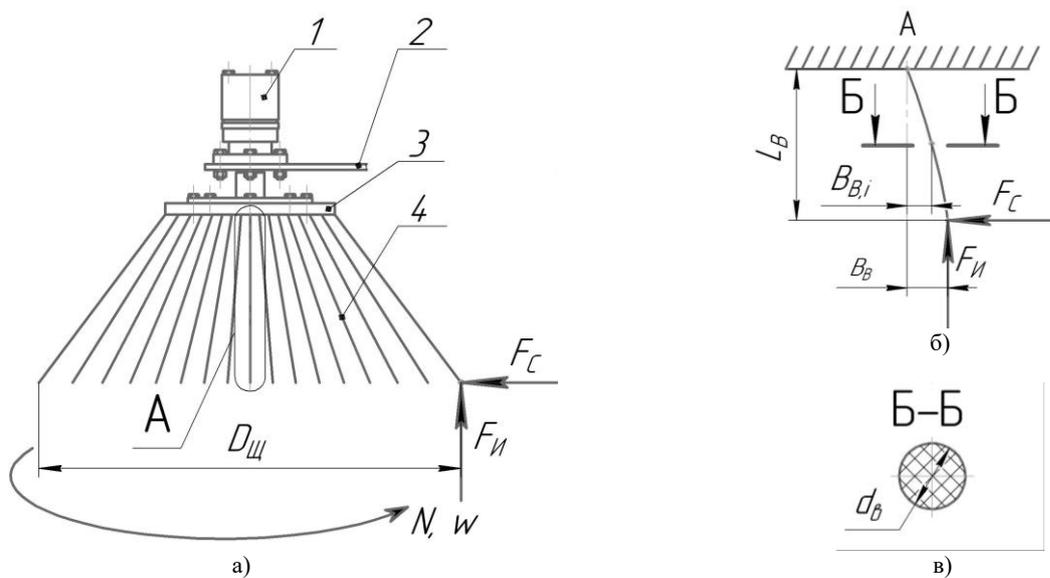
- 1 – платформа, 2 – ведущие колеса, 3, 5, 7, 16 – электроприводы, 4 – поворотное колесо, 6 – щеточный подгребатель корма, 8 – щиток-отсекатель, 9 – резиновая вставка, 10 – бункер комбикормов и (или) кормовых добавок, 12 – патрубок, 13 – спирально-винтовой дозатор, 14 – опора, 15 – сопло, 17 – монтажная плита, 18, 19, 20 и 21 – аккумуляторные батареи, 22 – зарядный электрод, 23 – блок управления, 24 – видеокамера, 25 – ультразвуковой сенсор, 26 – гироскоп

Рис. 5 – Схема роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота

На основе анализа информации, поступающей от установленного внутри платформы 1 гироскопа 26 (фиксирует любые изменения направления движения) и передает сигналы в блок управления 23) и сигнала от ультразвукового сенсора 25, бортовой компьютер определяет направление движения робота. Пройденное им расстояние вычисляется программным обеспечением по результатам обработки информации, получаемой от размещенных на приводных колесах 2 датчиков (подсчитывают их число оборотов). Кратность включения робота кормораздатчика также задается на программном уровне.

Определим основные конструктивно-режимные параметры роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота.

Размеры бункера для комбикормов и (или) кормовых добавок. Проведя технологический расчет линии кормления фермы с полнорационным силосно-сенажным типом кормления для молочного стада массой 550...600 кг со среднесуточным удоем 32 кг (среднегодовой удой 9700 кг) при жирности молока 3,5...4 %, установлено, что суточная потребность в комбикорме составляет 4,3 кг/гол., кормовых добавок (рапсовый и подсолнечный шроты) – 3,6 кг/гол. (соответственно 1,7 и 1,9 кг) и премикс (П-60-3) – 0,1 кг/гол. При этом для молочно-товарной на 1200 голов при трехразовой выдаче комбикормов и кормовых добавок из расчета выдачи 1/3 от суточного рациона объем бункера роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота должен составлять 0,44 м³. Приняв объем бункера с некоторым запасом (0,5 м³), конструктивно принимаем бункер, выполненный в виде усеченной пирамиды с размерами: верхнее (большее) основания – 1×1 м, нижнего (меньшего) основания – 1×0,5 м, высота – 0,7 м.



а – щеточный подгребатель корма; б – расчетная схема величины прогиба; в – сечение ворса щетки;
1 – электропривод; 2 – рама; 3 – основание щетки; 4 – ворс

Рис. 6 – Схема к расчету конструктивно-режимных параметров щеточного подгребателя корма

Конструктивно-режимные параметры щеточного рабочего органа (подгребателя корма). Для привода щеток роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота в конструкции предусмотрен электропривод (рисунок 6), мощность которого должна быть достаточной для сгребания остатков корма, значение которой можно определить по выражению [12]:

$$N_{щ} = \frac{F_{и} \cdot K_{з.м} \cdot R_{щ} \cdot n_6 \cdot \omega}{\eta_n}, \quad (1)$$

где $F_{и}$ – изгибающее усилие ворса щетки, Н; $K_{з.м}$ – добавочный коэффициент увеличения запаса мощности; $R_{щ}$ – радиус щетки, м; n_6 – число ворса в щетке, шт.; ω – частота вращения щетки, с⁻¹; η_n – КПД привода.

Изгибающее усилие ворса щетки зависит от величины его прогиба. Условно приняв ворс за консольно закрепленную балку (один конец жестко закреплен в основании щетки, другой – свободный), величина прогиба которой находится по выражению:

$$B_B = \frac{F_{и} \cdot L_B^3}{3 \cdot E_B \cdot I}, \quad (2)$$

где L_B – длина ворса щетки, м; E_B – модуль упругости ворса, Па; I – момент инерции поперечного сечения ворса, м⁴.

Приняв ворс круглым сечением, для которого момент инерции составляет:

$$I = \frac{\pi \cdot d_B^4}{64}, \quad (3)$$

где d_B – диаметр ворса щетки, м.

Преобразовав выражение (2), выразим изгибающее усилие ворса щетки:

$$F_H = \frac{3 \cdot E_B \cdot I \cdot B_B}{L_B^3} \quad (4)$$

Условно допустив, что ворс щетки прогибается на половину его длины ($B_B=L_B/2$), подставив формулу (3) в выражение (4), получаем:

$$F_H = \frac{3 \cdot E_B \cdot \pi \cdot d_6^4 \cdot B_6}{64 \cdot L_B^3} \quad (5)$$

При работе щеток ворс должен обеспечить усилие, достаточное для сдвигания корма, которое с определенной степенью точности можно определить по выражению [13]:

$$F_C = \frac{\pi^3 \cdot E_B \cdot d_6^4}{256 \cdot L_B^3} \quad (6)$$

Составим уравнение моментов, действующих на ворс щетки, приложив усилия сдвига и изгиба (рисунок 6):

$$M = \frac{-E \cdot I \cdot d_6^2 \cdot B_{B,i}}{dx^2}, \quad (7)$$

где $B_{B,i}$ – прогиб ворса в i -той точке, м.

На консольно-закрепленный ворс щетки при вращении действует момент его изгиба, описываемый зависимостью:

$$M = -F_c \cdot (B_B - B_{B,i}). \quad (8)$$

Приравняв выражения (7) и (8) учитывая, что максимальный прогиб ворса будет на его свободном конце, получаем уравнение равенства моментов:

$$\frac{E \cdot I \cdot d_6^2 \cdot B_{B,i}}{dx^2} = F_c \cdot L_B. \quad (9)$$

Подставив формулу (6) в выражение (9) и преобразовав его относительно d_6 , получаем выражение для определения диаметра ворса щетки:

$$d = \sqrt[4]{\frac{256 \cdot F_c \cdot L_B}{\pi^3 \cdot E}} \quad (10)$$

Усилие, необходимое сдвигания корма на кормовом столе, зависит от его количества на кормовом столе (высоты и ширины сдвигаемого волка корма). График изменения усилия, необходимого сдвигания корма на кормовом столе в зависимости от высоты и ширины валка представлен на рисунке 7.

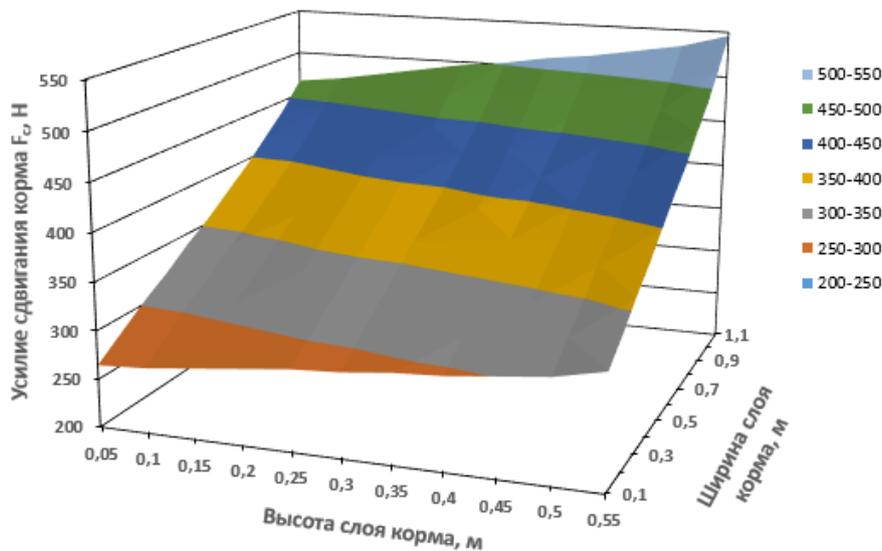


Рис. 7 – Зависимость усилия, необходимого сдвигания корма на кормовом столе от высоты и ширины валка

Анализ литературных источников, существующих технических решений и результаты расчета позволили определить оптимальные конструктивно-режимные параметры щеточного рабочего органа (подгребателя корма): диаметр щетки в нижнем (большем) основании – 1,5 м, число ворса в щетке – 200, длина ворса – 0,38 м, диаметр ворса – 0,005 м, частота вращения щетки – 350 мин⁻¹, усилие, затрачиваемое на сдвигание корма, – 265...546 Н при высоте слоя 0,05...0,55 м и ширине слоя 0,1...1,1 м, мощность привода щетки – 0,5 кВт (предлагается использовать электродвигатель АМЖ5705 напряжением 12В) [3, 4, 5, 13].

Мощность привода для перемещения роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота. Для определения мощности, затрачиваемой на привод (перемещение) робота, воспользуемся следующим выражением [12]:

$$N_{II} = f \cdot m \cdot g \cdot \vartheta, \tag{11}$$

где f – коэффициент качения; m – масса робота в снаряженном состоянии; g – ускорение свободного падения, м/с²; ϑ – скорость перемещения робота, м/с.

При изменении скорости перемещения роботизированного агрегата вдоль кормового стола в пределах от 0,2 до 0,6 м/с, мощность для привода составляет 0,21...0,64 кВт. С учетом того, что в конструкции предусмотрено два приводных двигателя, с необходимостью обеспечения запаса мощности и с целью унификации комплектующих предлагается принять для привода робота, как и в прошлом случае, двигатели AMJ5705 напряжением 12В и мощностью 0,5 кВт.

Конструктивно-режимные параметры винтового дозатора комбикормов и (или) кормовых добавок. Рассмотрим известные технические решения известных дозаторов для сухих комбикормов и кормовых добавок останавливаем свой выбор на шнековом дозаторе, а точнее на одной из его разновидностей – спирально-винтовом дозаторе. Данный выбор обусловлен следующими факторами, которые обеспечивает спирально-винтовой дозатор: низкая погрешность при дозировке, универсальность по виду комбикормов (гранулометрическому составу, плотности, размерам и т.д.), техническая простота в изменении дозируемой нормы (изменение числа оборотов, обеспечиваемая вариатором механически или при помощи частотного преобразователя электрически), непрерывность (поточность) работы, малые потери, вызванные расслоением корма на фракции или его дополнительном измельчении, малая шумность, легкость очистки, низкие металло- и энергоемкость и другие эксплуатационные затраты [2, 7, 8].

Основным параметром, определяющим качество его работы, выступает производительность, определяемая по формуле [14]:

$$W = \pi \cdot D^2 \cdot S \cdot n \cdot \varphi \cdot \rho \cdot K_g, \tag{12}$$

где D – диаметр внешней образующей витка, м; S – шаг витка, м; n – частота вращения спирали, мин⁻¹; φ – коэффициент заполнения внутреннего объема дозатора; ρ – плотность корма, кг/м³; K_g – коэффициент скорости.

Графики, характеризующие зависимость производительности дозатора от числа оборотов, диаметра и шага спирали, приведены на рисунках 8 и 9.

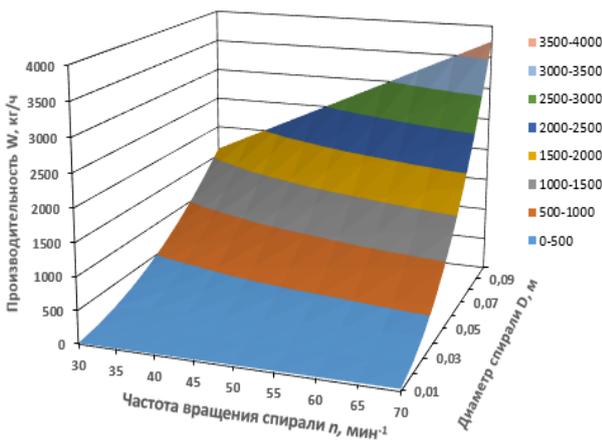


Рис. 8 – Зависимость производительности дозатора от частоты вращения и диаметра спирали (при $S=50$ мм)

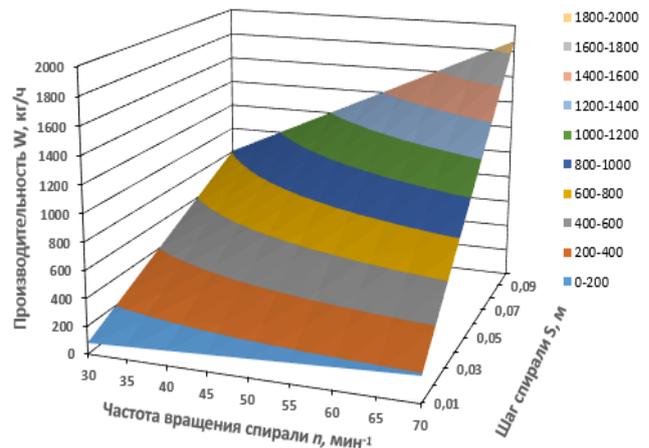


Рис. 9 – Зависимость производительности дозатора от частоты вращения и шага спирали (при $D=50$ мм)

Опираясь на труды Лялина Е.А., принимаем шаг и диаметр спирали равными 50 мм ($D=S=0,05$ м) [15]. Производительность (количество выдаваемых комбикормов и (или) кормовых добавок) предлагается регулировать изменением частоты вращения спирали, осуществляемую, например, частотным преобразователем.

Выводы. В результате обобщения представленного материала можно сделать следующие выводы.

1. На основании анализа технологических операций на молочнотоварных фермах установлено, что для большинства из них промышленностью освоен выпуск роботизированных систем, однако отсутствуют мобильные роботизированные агрегаты для обслуживания кормовых столов (для сгребания корма и очистки) и подкормки скота комбикормами и (или) кормовыми добавками в дополнение к основному рациону.

2. Для решения указанной задачи разработана конструктивная схема роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота, применение которой по сравнению с известными техническими решениями позволит реализовать следующие преимущества: повышение молочной продуктивности за счет дозированной выдачи комбикормов и (или) кормовых добавок; снижение потерь кормов, объясняемая более охотной поедаемостью «старого» корма, остающегося на кормовом столе, за счет его обогащения «вкусными» добавками (комбикормом); снижение капиталоемкости за счет отсутствия металлоемких стационарных подвесных систем и необходимости в техническом перевооружении фермы; универсальность, объясняемая возможностью использования технического решения как на вновь проектируемых фермах вне зависимости от степени автоматизации, так и в уже действующих при беспривязном содержании с использованием кормовых столов; исключение затрат ручного труда на сгребание корма и очистку кормового стола; исключение «человеческого фактора» путем вывода обслуживающего персонала за пределы технологических операций.

3. Теоретическими исследованиями установлены зависимости, позволяющие определить мощность привода щеточных рабочих органов, усилие, затрачиваемое на сгребание корма, мощность для привода (перемещения) агрегата, производительность спирального дозатора комбикормов и (или) кормовых добавок. Получены зависимости усилия, необходимого для сдвигания корма на кормовом столе, от высоты и ширины валька, производительности дозатора от числа оборотов, диаметра и шага спирали. По результатам работы определены размеры бункера для комбикормов и (или) кормовых добавок, выполненного в виде усеченной пирамиды: верхнее основание – 1×1 м, нижнее – 1×0,5 м, высота – 0,7 м; конструктивно-режимные параметры щеточного рабочего органа: диаметр щетки в нижнем основании – 1,5 м, число ворса в щетке – 200, длина ворса – 0,38 м, диаметр ворса – 0,005 м, частота вращения щетки – 350 мин⁻¹, усилие, затрачиваемое на сдвигание корма – 265...546 Н при высоте слоя 0,05...0,55 м и ширине слоя 0,1...1,1 м, мощность привода щетки – 0,5 кВт (предлагается использовать электродвигатель АМJ5705 напряжением 12В); мощность для привода агрегата – 0,21...0,64 кВт при изменении скорости перемещения робота в пределах от 0,2 до 0,6 м/с, конструктивно-режимные параметры дозатора: шаг спирали 0,05 м, диаметр витков спирали 0,05 м, частота вращения, изменяемая частотным преобразователем, – 30...70 мин⁻¹.

4. Таким образом, предполагается, что применение разработанного роботизированного агрегата для обслуживания кормовых столов и подкорма скота позволит решить проблему импортозамещения в данной области механизации, а полученные результаты могут быть использованы отечественными компаниями, специализирующимися на выпуске оборудования для животноводства.

Библиография

1. Животноводство и роботы [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://robotrends.ru/robopedia/zhivotnovodstvo-i-roboty>.
2. Антонюк В.С., Плященко С.И., Сапего В.И. и др. Животноводство. Минск : БГАТУ, 2003. 352 с.
3. Макаренко А.Н., Чехунов О.А. Система технологических процессов в животноводстве и растениеводстве. Белгород : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2012. 64 с.
4. Наumenko А.А., Чигрин А.А., Палий А.П. и др. Роботизированные системы в животноводстве. Харьков : ХНТУСХ им. Петра Василенка, 2015. 171 с.
5. Макаренко А.Н., Ужик В.Ф., Скляр А.И. и др. Механизация и автоматизация животноводства. Белгород : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2015. 76 с.
6. Вендин С.В., Саенко Ю.В., Макаренко А.Н. Устройство для очистки групповых кормушек в промышленном свиноводстве // Техника в сельском хозяйстве. 2014. № 3. С. 23–26.
7. Афанасьев В.А. Руководство по технологии комбикормовой продукции с основами кормления животных. Воронеж : ВНИИКП, 2007. 389 с.
8. Денисов Н.И., Таранов М.Т. Производство и использование комбикормов. М. : КолосС, 2009. 160 с.
9. Федоренко И.Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов. М. : КолосС, 2008. 201 с.
10. Патрин П.А., Новик В.А., Рудаков Д.С. Современные технологии и техника в АПК. Новосибирск : НГАУ, 2024. 96 с.
11. Агророботы наступают [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://habr.com/ru/articles/479150>.
12. Баловнев В.И., Данилов Р.Г., Селиверстов Н.Д. Подметально-уборочные машины. М. : МАДИ, 2016. 144 с.
13. Клименко Д.Б. Разработка и обоснование параметров устройства для санитарной обработки вымени коров перед доением на автоматизированной доильной установке: автореф. дис. канд. тех. наук. Мичуринск, 2012. 19 с.
14. Ужик В.Ф., Китаева О.В., Макаренко А.Н. и др. Теория и расчет машин для животноводства. Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2018. 285 с.
15. Лялин Е.А., Трутнев М.А. Направление совершенствования спирально-винтовых питателей // Актуальные проблемы науки и агропромышленного комплекса в процессе европейской интеграции. Пермский ГАТУ. 2013. С. 11–15.

References

1. Zhivotnovodstvo i roboty [Animal husbandry and robots]. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://robotrends.ru/robopedia/zhivotnovodstvo-i-roboty>.
2. Antonyuk V.S., Plyashchenko S.I., Sapego V.I. i dr. Zhivotnovodstvo [Animal husbandry]. Minsk : BGATU, 2003. 352 s.
3. Makarenko A.N., Chekhunov O.A. Sistema tekhnologicheskikh processov v zhivotnovodstve i rastenievodstve [The system of technological processes in animal husbandry and crop production]. Belgorod : Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ya. Gorina, 2012. 64 s.
4. Naumenko A.A., Chigrin A.A., Palij A.P. i dr. Robotizirovannye sistemy v zhivotnovodstve [Robotic systems in animal husbandry]. Har'kov : HNTUSH im. Petra Vasilenka, 2015. 171 s.
5. Makarenko A.N., Uzhik V.F., Sklyarov A.I. i dr. Mekhanizaciya i avtomatizaciya zhivotnovodstva [Mechanization and automation of animal husbandry]. Belgorod : Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ya. Gorina, 2015. 76 s.
6. Vendin S.V., Saenko Yu.V., Makarenko A.N. Ustrojstvo dlya ochistki gruppovyh kormushek v promyshlennom svinovodstve [Device for cleaning group feeders in industrial pig farming] // Tekhnika v sel'skom hozyajstve. 2014. № 3. S. 23–26.
7. Afanas'ev V.A. Rukovodstvo po tekhnologii kombikormovoj produkcii s osnovami kormleniya zhivotnyh [A guide to the technology of feed products with the basics of animal feeding]. Voronezh : VNIKIP, 2007. 389 s.
8. Denisov N.I., Taranov M.T. Proizvodstvo i ispol'zovanie kombikormov [Production and use of compound feeds]. M. : KolosS, 2009. 160 s.
9. Fedorenko I.Ya. Tekhnologicheskie processy i oborudovanie dlya prigotovleniya kormov [Technological processes and equipment for the preparation of feed]. M. : KolosS, 2008. 201 s.
10. Patrin P.A., Novik V.A., Rudakov D.S. Sovremennye tekhnologii i tekhnika v APK [Modern technologies and equipment in the agro-industrial complex]. Novosibirsk : NGAU, 2024. 96 s.
11. Agroroboty nastupayut [Agrorobots are coming]. Elektronnyj resurs. Rezhim dostupa: <https://habr.com/ru/articles/479150>.
12. Balovnev V.I., Danilov R.G., Seliverstov N.D. Podmetal'no-uborochnye mashiny [Sweepers and sweepers]. M. : MADI, 2016. 144 s.

13. Klimenko D.B. Razrabotka i obosnovanie parametrov ustrojstva dlya sanitarnoj obrabotki vymeni korov pred doeniem na avtomatizirovannoj doil'noj ustanovke [Development and justification of the parameters of the device for sanitary treatment of cows' udders before milking on an automated milking machine]: avtoref. dis. kand. tekhn. nauk. Michurinsk, 2012. 19 s.

14. Uzhik V.F., Kitaeva O.V., Makarenko A. N. i dr. Teoriya i raschet mashin dlya zhivotnovodstva [Theory and calculation of machines for animal husbandry]. Majsij : Belgorodskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet imeni V.Ya. Gorina, 2018. 285 s.

15. Lyalin E.A., Trutnev M.A. Napravlenie sovershenstvovaniya spiral'no-vintovyh pitatele [The direction of improvement of spiral screw feeders] // Aktual'nye problemy nauki i agropromyshlennogo kompleksa v processe evropejskoj integracii. Permskij GATU. 2013. S. 11–15.

Сведения об авторах

Чехунов Олег Андреевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-19-48, e-mail: olegbelgorod@mail.ru.

Воронин Владимир Викторович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры сельскохозяйственных машин, тракторов и автомобилей, ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ, ул. Мичурина, д. 1, г. Воронеж, Россия, 394087, тел: +74732 53-86-51, e-mail: voronin-v75@mail.ru.

Чехунова Галина Сергеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры общей и частной зоотехнии, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 39-13-19, e-mail: chekhunova_gs@bsaa.edu.ru.

Казakov Константин Владимирович, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-19-48, e-mail: kazakov_kv@bsaa.edu.ru.

Information about authors

Chekhunov Oleg Andreevich, candidate of technical sciences, associate professor of the department of machinery and equipment in agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, tel. +7(4722)38-19-48, e-mail: olegbelgorod@mail.ru.

Voronin Vladimir Viktorovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of agricultural machinery, tractors and automobiles, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Voronezh State Agrarian University, Michurina str., 1, Voronezh, Russia, 394087, tel: +74732 53-86-51, e-mail: voronin-v75@mail.ru.

Chekhunova Galina Sergeevna, Candidate of Agricultural Sciences, Senior lecturer of the Department of General and Private Animal Science, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-13-19, e-mail: chekhunova_gs@bsaa.edu.ru.

Kazakov Konstantin Vladimirovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Machinery and Equipment in Agribusiness, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 38-19-48, e-mail: kazakov_kv@bsaa.edu.ru.

ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В АГРОНОМИИ

УДК 546.815:581.4:582.572.226

В.И. Желтухина, Е.Ю. Колесниченко, А.В. Акинчин

ВЛИЯНИЕ НИТРАТА СВИНЦА НА МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ ПРОРОСТКОВ ТЮЛЬПАНОВ

Аннотация. В настоящее время интенсивно изучаются физиологические свойства, механизмы действия и токсичность металлов для живых организмов. Нами была проведена оценка токсического воздействия нитрата свинца на морфологические показатели, энергию прорастания, динамику роста тюльпанов.

Для достижения намеченной цели нами было проведено исследование фитотоксического действия свинца азотно-кислого в зависимости от его концентрации в грунте и растворах по показателям морфобиологического развития проростков тюльпанов; оценено токсическое воздействие различных доз свинца на прирост массы, размеров корней и ростков; определена интенсивность аккумуляции свинца в проростках тюльпанов в зависимости от его концентрации в грунте и растворах. Проведенными исследованиями по изучению влияния возрастающих доз нитрата свинца в грунте и растворах на некоторые биологические показатели, энергию прорастания, динамику роста тюльпанов установлено, что, возрастающие дозы свинца в растворах значительно снижали энергию прорастания тюльпанов и в дозах свыше 48 мг/л полностью угнетали рост вегетативных органов.

При почвенном культивировании токсический эффект нитрата свинца был менее выраженным. Фитотоксичность металла по отношению к проросткам тюльпанов проявилась в снижении прироста как массы, так размеров корней и ростков. При содержании свинца азотнокислого в дозах 24 мг/л в растворе и 24 мг/кг в почве токсическое действие металла не наблюдалось, что можно объяснить стимулирующим эффектом нитрат-иона. Содержание свинца в проростках повышалось по мере роста концентрации его в растворе до 48 мг/л, свыше этой дозы аккумуляция металла увеличилась незначительно. Процент выноса свинца проростками из раствора с увеличением его концентрации уменьшался.

Ключевые слова: тяжелые металлы, нитрат свинца, проростки тюльпанов, морфометрические показатели.

THE EFFECT OF LEAD NITRATE ON THE MORPHOMETRIC PARAMETERS OF TULIP SEEDLINGS

Abstract. Physiological properties, mechanisms of action and toxicity of metals for living organisms are currently being intensively studied. We have assessed the toxic effect of lead nitrate on morphological parameters, germination energy and growth dynamics of tulips. To achieve the intended goal, we have conducted a study of the phytotoxic effect of lead nitrate depending on their concentration in soil and solutions according to the parameters of morphophysiological development of tulip sprouts; assessed the toxic effect of various doses of lead on the increase in mass, size of roots and sprouts; determined the intensity of lead accumulation in tulip sprouts depending on its concentration in soil and solutions. The conducted studies on the effect of increasing doses of lead nitrate in soil and solutions on some biological indicators, germination energy, and growth dynamics of tulips established that increasing doses of lead in solutions significantly reduced the germination energy of tulips and, in doses above 48 mg/l, completely inhibited the growth of vegetative organs. In soil cultivation, the toxic effect of lead nitrate was less pronounced. The phytotoxicity of the metal in relation to tulip sprouts was manifested in a decrease in the increase in both the mass and size of roots and sprouts. With a lead nitrate content of 24 mg/l in solution and 24 mg/kg in soil, the toxic effect of the metal was not observed, which can be explained by the stimulating effect of nitrate ion. The lead content in sprouts increased as its concentration in the solution increased to 48 mg/l; above this dose, the accumulation of the metal increased insignificantly. The percentage of lead removal from the solution by seedlings decreased with increasing concentration.

Keywords: heavy metals, lead nitrate, tulip seedlings, morphometric indicators.

Введение. Многие тяжелые металлы, в оптимальных для живых организмах количествах, необходимы для роста и развития растений. Они входят в состав различных биологически активных веществ, которые регулируют жизнедеятельность организма. В случае изменения концентраций тяжелых металлов в окружающей среде происходит нарушение многих процессов жизнедеятельности, что отрицательно отражается на росте и развитии организма [1].

Тяжелые металлы, попадая в почву в результате техногенного загрязнения, имеют способность к миграции по пищевым цепям и аккумуляции в последних звеньях. Изучение влияния тяжелых металлов на рост и развитие растений после миграции почва-растение в настоящее время актуально и непосредственно связано с производством экологически безопасной продукции. Накопление тяжелых металлов в организме человека непосредственно связано с потреблением продуктов питания, а именно с качеством продуктов растительного происхождения, т. к. они в большей степени аккумулируют тяжелые металлы из почвы. Следует отметить, что динамика развития реакций растений на химические стрессоры, такие как избыток содержания микроэлементов, достаточно лабильна. В процессе эволюции у растений могут формироваться механизмы адаптации к изменениям концентраций токсикантов в окружающей среде [2].

В настоящее время интенсивно изучаются физиологические свойства, механизмы действия и токсичность металлов для живых организмов. Наибольшее внимание исследователей до последнего времени было обращено на пару таких элементов, как цинк и кадмий, которые, обладая сходными физико-химическими свойствами, тем не менее находятся на противоположных полюсах своего биологического действия: цинк является необходимым элементом многих биологических структур и функций клеток (входя в активные центры 70-ти ферментов и реализуя сигнал трансдукции в клетках), а кадмий – даже в малых концентрациях в окружающей среде очень токсичен для всего живого [3].

Возрастающее влияние антропогенных загрязнителей на агроэкосистемы предполагает необходимость изучения состояния и оценки устойчивости наиболее значимых компонентов ценоза и поиска приемов сохранения их стабильности. Присутствующие в почвенном растворе ионы свинца, а также некоторые органические комплексы, в состав которых входит свинец, токсичны для растений. Поэтому борьба со свинцовой токсичностью – важнейшая практическая задача. Результаты изучения физиолого-биохимических и генетических основ устойчивости растений к ионам свинца расширят современное представление о токсическом действии металлов и позволят предложить приемы и методы борьбы с ионной токсичностью,

а возможность идентифицировать наиболее устойчивые формы растений способна привести к созданию устойчивых сортов культурных растений [4].

Целью настоящего исследования является оценка токсического воздействия нитрата свинца на морфологические показатели, энергию прорастания, динамику роста тюльпанов [5].

Для достижения намеченной цели нами было проведено исследование фитотоксического действия свинца азотнокислого в зависимости от его концентрации в грунте и растворах по показателям морфофизиологического развития проростков тюльпанов; оценено токсическое воздействие различных доз свинца на прирост массы, размеров корней и ростков; определена интенсивность аккумуляции свинца в проростках тюльпанов в зависимости от его концентрации в грунте и растворах.

Методы. Исследования проводились в лаборатории биотехнологий ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. В вегетационных модельных опытах изучали токсикологическую реакцию тюльпанов на нитрат свинца в грунте и растворах.

Луковицы тюльпанов выращивали на грунтах (чернозем), содержащих нитрат свинца в дозах 2, 4, 8 и 16 ПДК (табл. 1), исходя из гигиенических нормативов по содержанию подвижных форм свинца в почве (О введении в действие гигиенических нормативов ГН 2.1.7.2041 – 06 от 23 января 2006 года №1). В качестве контроля использовалась та же почва, что и для опытных вариантов.

Одновременно с опытами на грунте луковицы тюльпанов инкубировали на растворах, содержащих $Pb(NO)_2$ в дозах: 2, 4, 8 и 16 ПДК. В качестве контроля использовалась дистиллированная вода.

Таблица 1 – Схема эксперимента

Вариант	ПДК	Содержание свинца в грунте, мг/кг	Содержание свинца в растворе, мг/л
1	-	-	-
2	2	12	12
3	4	24	24
4	8	48	48
5	16	96	96

Продолжительность опыта составляла 9 дней. Токсическое действие свинца оценивали на 3, 6 и 9 сутки по следующим параметрам: размеры побега, число и длина корней. Кроме того, определяли массу луковицы перед началом эксперимента. После культивирования корни и побеги отделяли от зубка и определяли их сырой вес, после чего высушивали в сушильном шкафу при 70 °С в течение примерно 72 ч и измеряли их сухой вес.

Содержание свинца в корнях, ростках и луковицах определяли методом атомно-абсорбционной спектроскопии.

Результаты. 1. Динамика прироста надземных вегетативных органов.

Развивающийся проросток – это сложная система, онтогенез которой, с одной стороны, зависит от поступления веществ из луковицы, с другой – от внешнего воздействия. Молодой проросток функционирует с максимальной потребностью в питательных веществах для роста, поэтому он очень чувствителен к действию факторов среды.

Результаты воздействия различных доз азотнокислого свинца на формирование надземных вегетативных органов тюльпанов представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Динамика развития проростков тюльпанов в мм

Вариант	Почва	Раствор
3 суток		
1	18,2±1,5	16,8±1,3
2	15,8±1,3	16,4±1,7
3	23,6±1,7*	15,4±2,3
4	14,3±2,1	11,75±1,2*
5	12,5±1,6*	-
6 суток		
1	32,3±1,8	26,0±1,7
2	29,5±1,6	17,1±2,4*
3	34,2±2,1	19,7±2,1*
4	19,6±1,9**	17,5±1,9**
5	19,0±2,3**	-
9 суток		
1	52,5±3,7	34,6±1,9
2	37,2±2,8*	20,2±2,2**
3	47,6±2,6	26,4±1,8
4	25,6±3,5**	23,0±2,4**
5	20,1±2,8**	-

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Анализ табличных данных показал, что длина почвенных проростков на третьи сутки в третьем варианте была на 5,4 мм или на 29,7 % ($p < 0,05$) больше, а в пятом варианте на 5,7 мм или на 31,3 % ($p < 0,05$) меньше по сравнению с контролем. В остальных вариантах отмечалось снижение роста, но это различие оказалось недостоверным (рис. 1).

На шестые сутки наиболее существенное различие было отмечено в четвертом варианте на 12,7 мм или на 39,3 % ($p < 0,01$) и в пятой на 13,3 или 41,2 % ($p < 0,01$). Для второго и третьего варианта различие с контролем было несущественным.

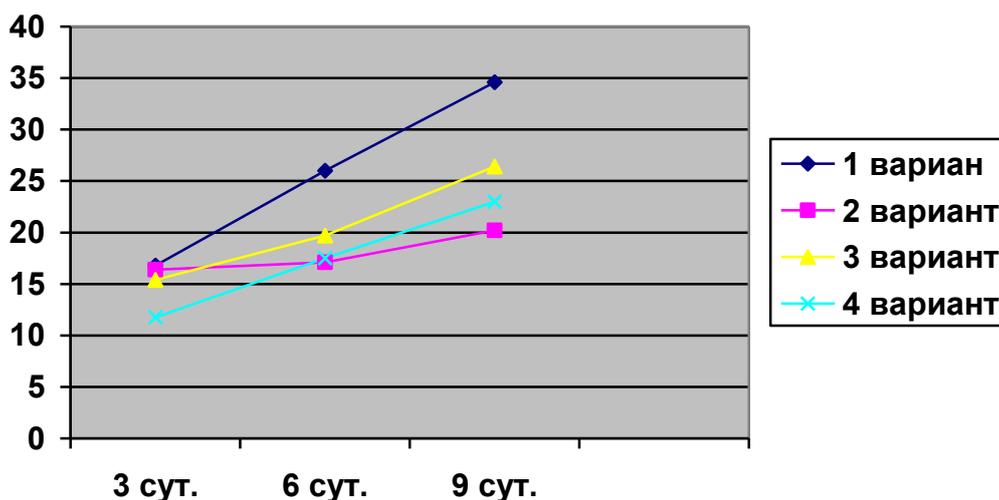


Рис. 1 – Динамика изменения длины ростков тюльпанов, культивируемых на грунте, мм.

К концу опыта во всех вариантах длина проростков была меньше по сравнению контролем: во втором варианте на 15,3 мм или 29,1 % ($p < 0,05$); в третьем – на 4,9 мм или 9,3 % ($p > 0,05$); в четвертом – 26,9 мм или на 51,2 % ($p < 0,01$); в пятом – 32,4 мм или на 61,7 % ($p < 0,01$). Для тюльпанов, инкубируемых на растворах, токсическое действие свинца проявилось уже на третьи сутки: для пятого варианта различие с контролем составило 3,05 мм или 30,1 % ($p < 0,05$); снижение прироста для остальных вариантов оказалось незначительным и не подтвердилось статистическим анализом.

У шестисуточных проростков тюльпанов ингибирующее действие нитрата свинца было более явным. Для второго варианта различие составило 8,9 мм или 34,2 % ($p < 0,05$); третьего – 6,3 мм или 24,2 % ($p < 0,05$); четвертого – 8,5 мм или 32,7 % ($p < 0,01$) по отношению к контролю.

На девятые сутки сохранилась прежняя динамика прироста: во втором варианте на 14,4 мм или на 41,6 % ($p < 0,01$); в третьем – на 8,2 мм или 23,7 % ($p > 0,05$); в четвертом – на 11,6 мм или на 33,5 % ($p < 0,01$) меньше по сравнению с контролем. Тюльпаны, инкубируемые на растворе 16 ПДК, побегов и корней за весь период опыта не произвели (рис. 2).

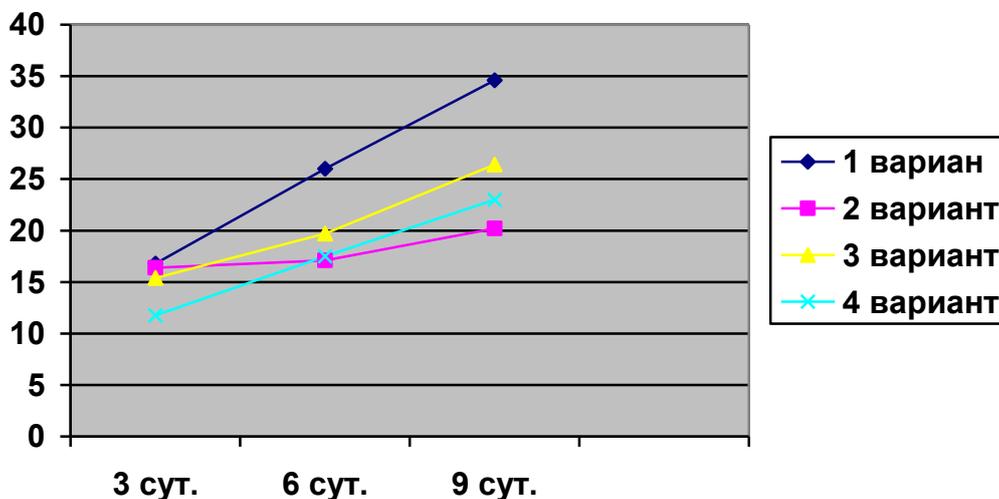


Рис. 2 – Динамика изменения длины ростков тюльпанов, культивируемых на растворах, мм.

Таким образом, ингибирующее действие нитрата свинца на проростки при культивировании тюльпанов на грунте и в растворах наиболее отчетливо проявилось при 8 и 16 ПДК. Инкубация тюльпанов на растворе, содержащем 96 мг/л азотнокислого свинца, полностью блокировала развитие вегетативных органов у растений. Различия между грунтовым и растворным культивированием проявилось в более интенсивном приросте тюльпанов, выращиваемых на почве. Кроме того, при содержании в грунте нитрата свинца 4 ПДК наблюдалось отсутствие различий этого варианта с контролем, что можно объяснить стимулирующим влиянием нитрат-иона, который дезавуирует токсическое действие свинца. Этот же эффект, но не в столь явном виде, можно обнаружить и при инкубации тюльпанов на растворе, и, хотя статистически он не подтверждается, как тенденция он вполне очевиден.

Продуктивные характеристики проростков тюльпанов. Как показали проведенные исследования, свинец оказывал значительное влияние на темпы роста и биологическую продуктивность тюльпанов (табл. 3, 4). Установлена отрицательная корреляционная зависимость между содержанием элемента в растворе и приростом массы вегетативных органов. Снижение темпов роста на содержащих Pb вариантах проявилось в течение всего периода наблюдения.

Таблица 3 – Влияние возрастающих доз свинца в грунте на прирост массы тюльпанов, число и длину корней

Вариант	Масса, г				Число корней	Длина корней
	проростка	исходной луковицы	луковицы в конце опыта	корней		
1	5,05±0,45	18,17±2,31	16,97±1,91	3,97±0,23	60,25±2,9	4,89±0,35
2	3,51±0,61	15,57±2,04	14,19±2,17	2,8±0,27*	54,0±0,21	4,45±0,31
3	5,66±0,73	17,5±2,73	14,55±2,38	4,27±0,31	64,5±3,11	5,05±0,38
4	3,49±0,41*	17,34±3,02	14,29±3,07	3,25±0,22**	34,66±4,23**	3,66±0,32*
5	2,54±0,47**	17,12±2,53	14,78±2,77	1,96±0,26**	24,33±3,91**	2,43±0,30**

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Таблица 4 – Влияние возрастающих доз свинца в растворе на прирост массы тюльпанов, число и длину корней

Вариант	Масса, г				Число корней	Длина корней
	проростка	исходной луковицы	луковицы в конце опыта	корней		
1	4,12±0,51	17,39±1,76	15,17±1,63	2,12±0,36	41,2±2,3	3,31±0,22
2	2,11±0,44*	15,29±2,32	13,71±1,42	1,31±0,27	30,5±2,7*	2,15±0,19**
3	3,06±0,63	16,61±1,94	14,21±1,93	1,61±0,31	38,3±2,9	2,71±0,16
4	1,91±0,45*	17,04±2,07	13,81±2,21	0,56±0,29**	17,6±1,9**	1,13±0,21**
5	-	16,72±2,14	15,72±1,85	-	-	-

Примечание: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$.

Масса проростков (табл. 5) при выращивании тюльпанов в грунте уменьшалась во втором варианте на 1,54 г или на 30,5 % ($p > 0,05$); в четвертом – на 1,56 г или на 30,9 % ($p < 0,01$); в пятом – на 2,51 г или на 49,7 % ($p < 0,01$) и лишь в третьем варианте отмечено увеличение на 0,61 г или на 12,1 % не подтвердившееся статистическим анализом.

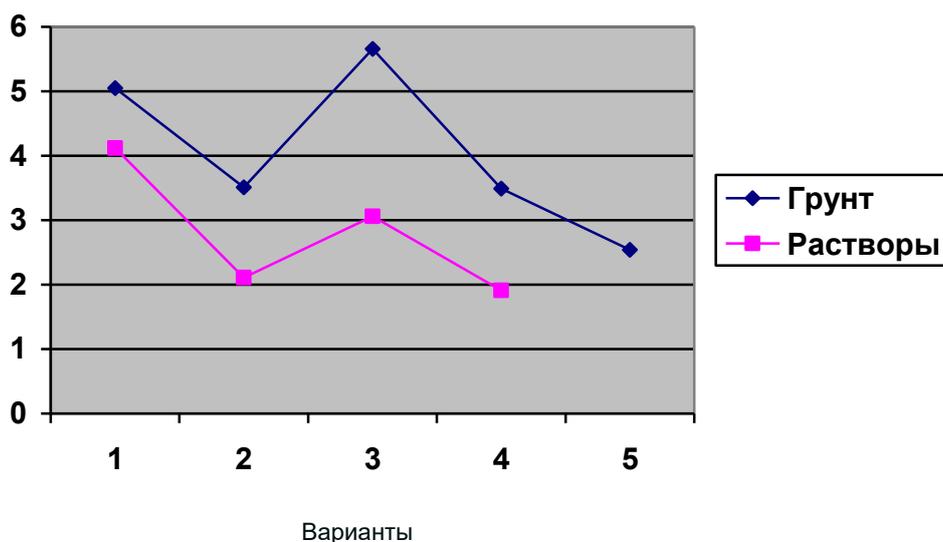


Рис. 3 – Динамика изменения массы ростков тюльпанов, культивируемых на грунте и растворах, г.

Для луковиц, инкубируемых на растворах, снижение массы ростков отмечено во всех вариантах: во втором на 2,01 г или на 48,8 % ($p < 0,05$); в третьем на 1,06 г или на 25,7 % ($p > 0,05$); в четвертом – на 2,21 г или на 53,6 % ($p < 0,05$); в пятом варианте проростки отсутствовали (рис. 3).

Масса луковиц во всех вариантах эксперимента как на грунте, так и в растворах снижалась, однако эти изменения оказались статистически недостоверными.

Влияние нитрата свинца на ризогенную активность луковиц тюльпанов носила отрицательный характер. У растений, выращиваемых на грунте, масса корней снижалась во втором варианте на 1,17 г или на 29,5 % ($p < 0,05$); в четвертом – на 0,72 г или на 18,1 % ($p < 0,01$) и в пятом – на 2,01 г или на 50,6 % ($p < 0,05$). В третьем варианте наблюдалось превышение контрольного уровня на 0,3 г или на 7,5 % ($p > 0,05$).

На растворах так же наблюдалось снижение массы корневой системы во втором варианте на 0,81 г или на 38,2 % ($p > 0,05$); в третьем – на 0,51 г или на 24,1 % ($p > 0,05$); в четвертом – на 1,56 г или на 73,6 % ($p < 0,01$) по сравнению с контролем.

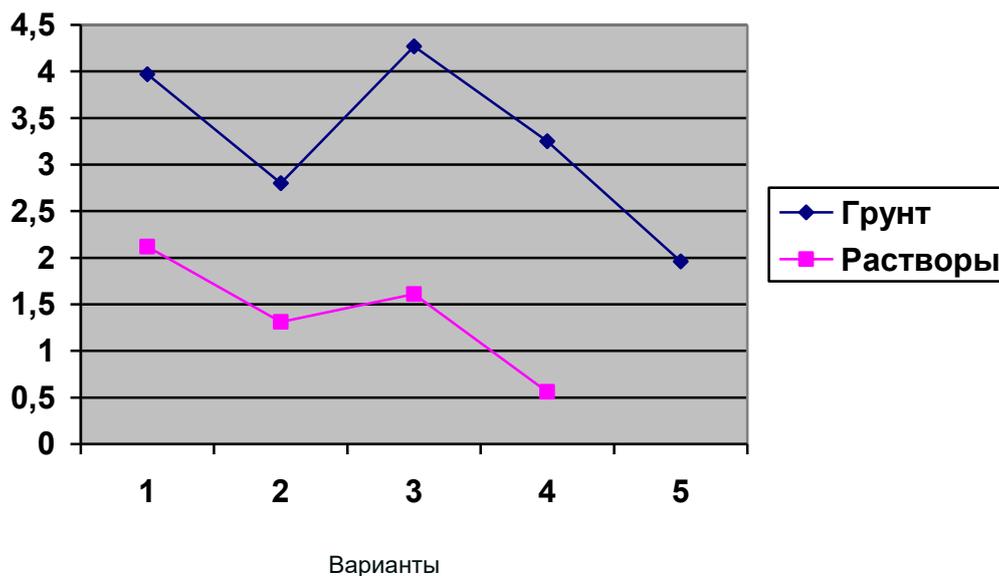


Рис. 4 – Динамика изменения массы корней тюльпанов, культивируемых на грунте и растворах, г.

Число корней закономерно снижалось по мере роста концентрации азотнокислого свинца в грунте (рис. 5) во втором варианте на 6,26 или на 10,4 % ($p > 0,05$); в четвертом – на 25,59 или на 42,5 % ($p < 0,01$); в пятом – на 35,92 или на 59,6 % ($p < 0,01$) по сравнению с контрольным вариантом. В третьем варианте наблюдалось превышение контрольного уровня на 4,25 или на 7,1 % при $p > 0,05$.

По аналогичному сценарию развивались события при инкубации луковиц на растворах: во втором варианте число корней уменьшилось на 10,7 или на 26 % ($p < 0,05$); в третьем – на 2,9 или на 7,0 % ($p > 0,05$); в четвертом – на 23,6 или на 57,3 % ($p < 0,01$).

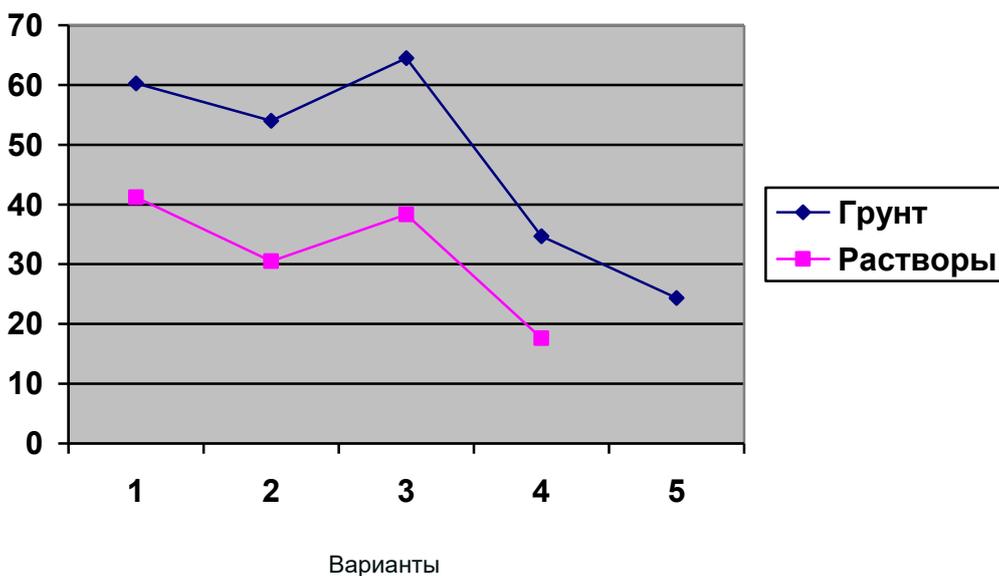


Рис. 5 – Динамика изменения числа корней тюльпанов, культивируемых на грунте и растворах.

Ингибирующее действие раствора нитрата свинца на длину корней так же носило вполне отчетливый характер (рис 6). Для второго варианта уменьшение длины корней по сравнению с контролем составило 0,44 мм или 9,0 % ($p > 0,05$); четвертого – 1,23 мм или 25,2 % ($p < 0,05$); пятого – 2,46 мм или 50,3 % ($p < 0,01$). В четвертом варианте наблюдалось незначительное превышение на 0,16 мм или на 3,3 % контрольного уровня, не подтвержденное статистическим анализом.

Длина корней тюльпанов, инкубируемых на растворах, так же уменьшалась во втором варианте на 1,16 мм или на 35,1 % ($p < 0,01$); в четвертом – на 2,18 мм или на 65,9 % ($p < 0,01$) и лишь в третьем варианте отмечено незначительное превышение контроля.

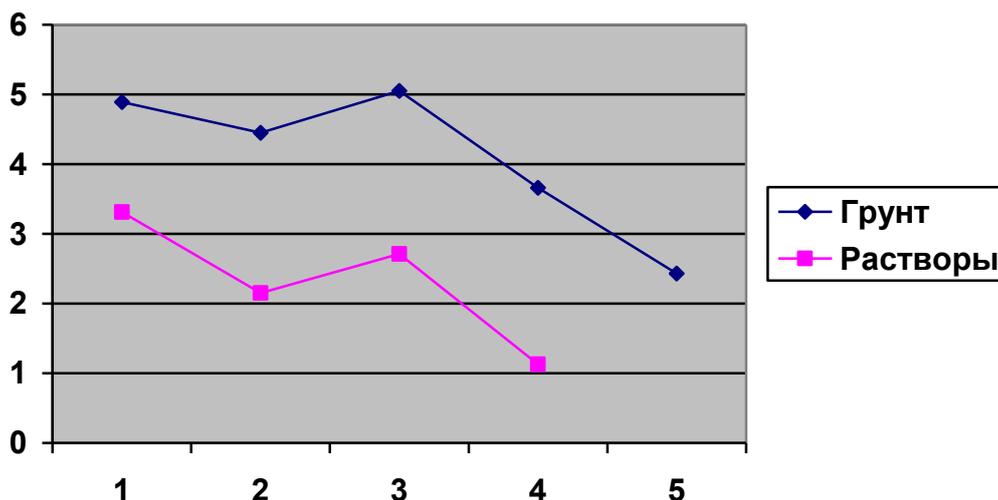


Рис. 6 – Динамика изменения длины корней тюльпанов, культивируемых на грунте и растворах, мм.

Таким образом, продуктивные характеристики тюльпанов, культивируемых на грунте и в растворах, снижались по мере роста концентрации нитрата свинца, за исключением третьего варианта, в котором прирост массы проростков и корней оставались на уровне контрольных параметров. Аналогичная закономерность наблюдалась с числом и длиной корней тюльпанов.

Содержание свинца в проростках тюльпанов. Концентрация свинца в проростках, инкубируемых на дистиллированной воде и контрольном грунте, составляла 2,45 и 2,75 мг/кг соответственно (табл. 5).

Таблица 5 – Содержание свинца в проростках тюльпанов

Вариант	Раствор		Почва	
	Содержание свинца, мг/кг	% выноса от дозы внесенного в раствор	Содержание свинца, мг/кг	% выноса от дозы внесенного в раствор
1	2,45	-	2,75	-
2	16,34	136,2	12,85	107,1
3	24,17	100,7	16,25	67,7
4	46,12	96,1	44,40	92,5
5	47,86	49,8	47,95	49,9

Аккумуляция свинца проростками из раствора $Pb(NO_3)_2$ носила вполне закономерный характер, по мере роста концентрации свинца в растворе увеличивалось его количество в тюльпанах: для второго варианта содержание свинца в 6,67; для третьего – в 9,88; четвертого – 18,82; пятого – 19,53 раза превышало контрольные показатели. А вот процент выноса металла проростками из раствора наоборот уменьшался от 136,2 % во втором варианте до 49,8 % в пятом.

При почвенном культивировании тюльпанов содержание свинца также увеличивалось во втором варианте в 4,67; в третьем – 5,91; четвертом – 16,14; пятом – 17,44 раза по сравнению с контролем. Процент выноса свинца от дозы его внесения в грунт составлял от 107,1 % до 49,9 % в пятом.

Выводы. Проведенными исследованиями по изучению влияния возрастающих доз нитрата свинца в грунте и растворах на некоторые биологические показатели, энергию прорастания, динамику роста тюльпанов установлено, что, возрастающие дозы свинца в растворах значительно снижали энергию прорастания тюльпанов и в дозах свыше 48 мг/л полностью угнетали рост вегетативных органов. При почвенном культивировании токсический эффект нитрата свинца был менее выраженным. Фитотоксичность металла по отношению к проросткам тюльпанов проявилась в снижении прироста как массы, так размеров корней и ростков. При содержании свинца азотнокислого в дозах 24 мг/л в растворе и 24 мг/кг в почве токсическое действие металла не наблюдалось, что можно объяснить стимулирующим эффектом нитрат-иона. Содержание свинца в проростках повышалось по мере роста концентрации его в растворе до 48 мг/л, свыше этой дозы аккумуляция металла увеличилась незначительно. Процент выноса свинца проростками из раствора с увеличением его концентрации уменьшался.

Библиография

1. Демиденко Г.А. Влияние свинца на рост и развитие семян и проростков гороха овощного / Г. А. Демиденко // Вестник КрасГАУ. 2019. № 4.
2. Решетник Г.В. Активность антиоксидантных ферментов прорастающих семян пшеницы (*triticum aestivum* L.) в условиях воздействия нитрата свинца / Г. В. Решетник, Н. С. Задиранова, А. В. Серов // Ученые записки Крымского федерального университета имени В. И. Вернадского. Биология. Химия. Том 3(69). 2017. № 2. С. 37–46.
3. Фрунзе О.В. Изменение морфометрических показателей декоративных травянистых растений в условиях загрязнения почвы ионами свинца / О. В. Фрунзе // Вестник Донецкого национального университета. Серия А: Естественные науки. 2022. № 4. С. 62–68.
4. Панин С.И. Влияние минеральных удобрений на популяционно-морфологические характеристики сои / С. И. Панин, М. А. Куликова, В. И. Желтухина // Вопросы современной генетики, селекции и ресурсосберегающих технологий возделывания сельскохозяйственных культур. Сборник докладов национальной научной конференции. 2021. С. 62–64.

5. Панин С.И. Морфометрические характеристики сои в зависимости от внесения в почву возрастающих доз бесподстилочного птичьего помета / С. И. Панин, В. И. Соловьева, М. А. Куликова // Аграрная наука в условиях инновационного развития АПК. Сборник докладов национальной конференции. Белгород, 30 ноября 2020 г. 2020. С. 37–38.

References

1. Demidenko G.A. Effect of lead on the growth and development of seeds and seedlings of vegetable peas / G. A. Demidenko // Bulletin of KrasSAU. 2019. № 4.
2. Reshetnik G.V. Activity of antioxidant enzymes of germinating wheat seeds (*triticum aestivum* L.) under the influence of lead nitrate / G. V. Reshetnik, N. S. Zadiranova, A. V. Serov // Scientific notes of the Crimean Federal University named after V.I. Vernadsky Biology. Chemistry. Vol. 3(69). 2017. № 2. P. 37–46.
3. Frunze O.V. Changes in morphometric parameters of ornamental herbaceous plants under conditions of soil pollution with lead ions / O. V. Frunze // Bulletin of Donetsk National University. Series A: Natural Sciences. 2022. № 4. P. 62–68.
4. Panin S.I. Effect of mineral fertilizers on population-morphological characteristics of soybeans / S. I. Panin, M. A. Kulikova, V. I. Zheltukhina // Issues of modern genetics, selection and resource-saving technologies for the cultivation of agricultural crops. Collection of reports of the national scientific conference. 2021. P. 62–64.
5. Panin S.I. Morphometric characteristics of soybeans depending on the introduction of increasing doses of litter-free poultry manure into the soil / S. I. Panin, V. I. Solovieva, M. A. Kulikova // Agricultural science in the context of innovative development of the agro-industrial complex. Collection of reports of the national conference. Belgorod, November 30, 2020. 2020. P. 37–38.

Сведения об авторах

Желтухина Валентина Ивановна, кандидат биологических наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 39-17-96, e-mail: Zheltukhina_vi@bsaa.edu.ru.

Колесниченко Елена Юрьевна, кандидат биологических наук, доцент, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-17-70, e-mail: Kolesnichenko_ey@bsaa.edu.ru.

Акинчин Александр Владимирович, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-17-70, e-mail: Akinhin_av@bsaa.edu.ru

Information about authors

Zheltukhina Valentina Ivanovna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 39-17-96, e-mail: Zheltukhina_vi@bsaa.edu.ru.

Kolesnichenko Elena Yuryevna, Candidate of Biological Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: Kolesnichenko_ey@bsaa.edu.ru.

Akinchin Alexander Vladimirovich, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor of the Faculty of Agronomy, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: Akinhin_av@bsaa.edu.ru.

УДК 631.816.3:631.559:633.11"321"

О.С. Кузьмина, П.А. Свилогузова

ВЛИЯНИЕ ЛИСТОВЫХ ПОДКОРМОК НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

Аннотация. В условиях вегетационных периодов 2020-2023 гг. проведены полевые опыты по влиянию листовых подкормок Нутривант плюс зерновой, Пантафол 20-20-20, Мегафол, Ж, Текнокель аминок азот плюс на особенности формирования длины вегетационного периода, структуры продуктивности, урожайности и качества яровой мягкой пшеницы сорта Тризо.

Выявлены закономерности в сокращении сроков вегетации в зависимости от применяемых листовых подкормок. Сокращение вегетации установлено на всех вариантах опыта, она изменялась от 2 суток до 8 суток.

Установлено положительное влияние некорневых подкормок на формирование структуры продуктивности растений яровой пшеницы. На всех опытных вариантах установлено увеличение длины колоса в среднем по вариантам за 2020-2023 гг. на 7,7 см, числа колосков в колосе на 16,0 шт., зерен в колосе на 34,4 шт., массы зерна с колоса на 1,5 г. Лучшая структура продуктивности получена при листовой подкормке Текнокель аминок азот плюс.

Выявлены закономерности в формировании уровня урожайности на всех вариантах, где использовали листовые подкормки. Уровень урожайности во все годы исследований был достоверно выше контроля. Меньшей средняя урожайность по опыту была в 2020 году – 3,17 т/га, большей в 2023 году – 4,32 т/га. В среднем за 4 года наибольшие прибавки и уровень урожайности по опыту получены при листовой подкормке Текнокель аминок азот плюс 1,42 т/га или 51,7 %.

Установлено положительное влияние применяемых листовых подкормок на содержание и сбор с гектара сырого белка во все годы исследований. Наибольшее содержание белка и его сбор с гектара в среднем за годы проведения опытов получены на варианте Текнокель аминок азот – 13,9 % и 578,5 кг/га.

Ключевые слова: яровая пшеница, урожайность, структура продуктивности, содержание и сбор белка.

INFLUENCE OF FOLIAR FEEDING ON THE YIELD AND QUALITY OF SPRING WHEAT

Abstract. In the conditions of the vegetation periods of 2020-2023, field experiments were conducted on the effect of foliar feeding Nutrivant plus grain, Plantafol 20-20-20, Megafol, Zh, Teknokel amino nitrogen plus on the features of the formation of the length of the vegetation period, the structure of productivity, yield and quality of spring soft wheat of the Trizo variety. Patterns in accelerating the vegetation period depending on the foliar feeding used were revealed. A reduction in vegetation was found in all experimental variants and varied from 2 days to 8 days. A positive effect of foliar feeding on the formation of the productivity structure of spring wheat plants was established. An increase in the length of the ear on average was found in all experimental variants for 2020-2023 by 7,7 cm, the number of spikelets per spike by 16,0 pcs., grains per spike by 34,4 pcs., grain weight per spike by 1,5 g. The best productivity structure was obtained with foliar feeding Teknokel amino nitrogen plus. Regularities in the formation of the yield level were revealed in all variants where foliar feeding was used; the yield level in all years of research was significantly higher than the control. The average yield according to the experiment was lower in 2020 – 3,17 t/ha, higher in 2023 – 4,32 t/ha. On average, over 4 years, the greatest increases and yield level according to the experiment were obtained with foliar feeding Teknokel amino nitrogen plus 1,42 t/ha or 51,7 %. A positive effect of the applied foliar feeding on the content and collection of crude protein per hectare was established in all years of research. The highest protein content and its yield per hectare on average over the years of experiments were obtained with the Teknokel amino plus nitrogen variant – 13,9 % and 578,5 kg/ha.

Keywords: spring wheat, yield, productivity structure, protein content and collection.

Введение. Для отечественного растениеводства каждый сельскохозяйственный сезон представляет собой определенные риски недополучения урожайности сельскохозяйственных культур, основное влияние на величину которой, как правило, предопределяется климатическими особенностями региона, резервами технологии возделывания сельскохозяйственных культур, а также экономическими возможностями хозяйства. Изменяющаяся ситуация на рынке удобрений, комплекствующих сельскохозяйственной техники, средств защиты растений и других средств производства формирует риски невозможности получения стабильной урожайности сельскохозяйственных культур, для решения которой ежегодно требуется значительно большее количество ресурсов [1, 2, 3].

Для успешного решения данной проблемы целесообразными являются пути ведения хозяйственной деятельности на основе освоения современных адаптивно-ландшафтных систем земледелия в сочетании с минимализацией основных элементов технологии возделывания сельскохозяйственных культур, основанной на усилении экологически безопасных приемов [8, 9, 10].

Стремительно увеличивающаяся тенденция сокращения доли удобрений и пестицидов при производстве зерна объясняется ростом рынка более дешевых, но не менее эффективных микроудобрений и биопрепаратов, которые позволяют получать зерно более высокого качества, соответствующее критерию экологически безопасной продукции, имеющее высокую стоимость и конкуренцию на рынке [4, 5, 6].

Перспективным и малоизученным элементом технологии возделывания яровой пшеницы в регионе является применение жидких минеральных удобрений с целью получения зерна высокого качества. Особое значение и актуальность они приобретают в разрезе регионов, то есть в разных почвенно-климатических условиях, когда отмечается положительный экономических эффект их применения [2, 3, 7, 8].

В юго-западной части Центрально-Черноземного региона регулярно ведется научная работа, направленная на изучение влияния удобрений на урожайность и качество различных зерновых культур, и яровой пшеницы в том числе. Однако несмотря на создание и внедрение новых её сортов данное направление исследований, на наш взгляд, изучено недостаточно, в связи с чем взятая на изучение тема, несомненно, актуальна.

Цель исследования. Определить особенности вегетации, формирования структуры продуктивности, формирования урожайности и качества зерна яровой мягкой пшеницы сорта Тризо в условиях юго-западной части ЦЧР в зависимости от применения листовых подкормок.

Материалы, условия и методы исследований. Полевые опыты по влиянию листовых подкормок на особенности формирования урожайности, структуры продуктивности и качество зерна яровой мягкой пшеницы проводили по общепринятым методикам в 2020-2023 гг. на базе ФХ Ярослав Мудрый Старооскольского района Белгородской области в условиях различных вегетационных периодов. Объектом изучения в наших полевых опытах был сорт яровой мягкой пшеницы Тризо, высеваемый в четырехкратной повторности с площадью учетной делянки 50 м². Схемой опыта предусмотрена обработка вегетирующих растений водой (контроль), двукратно по вегетации в фазу выхода в трубку и флаговому листу препаратами: Нутривант плюс зерновой – 2,0 кг/га; Плантафол 20-20-20 – 4 кг/га; Мегафол, Ж – 2 л/га и Текнокель аминок азот плюс – 3,0 л/га.

Почва опытного участка чернозём обыкновенный с содержанием гумуса в пахотном слое – 5,32 %, рН солевой вытяжки – 6,2, со средним содержанием основных элементов питания.

Погодные условия вегетационных периодов в годы проведения исследований были вполне типичными для региона, но отличаясь за период исследований незначительными изменениями температуры и количества выпавших осадков. В 2020 и 2023 гг. условия были более благоприятными. За изучаемый период температура воздуха была выше всего на 2,8 °С в 2022 году. Осадков выпало на 82 мм больше по отношению к среднемноголетнему их количеству в 2022 году. В 2021 году вегетация пшеницы проходила при избытке тепла и незначительном дефиците влаги. Температура воздуха была на 3 °С больше, а осадков выпало на 35,2 мм меньше среднемноголетней нормы.

Результаты. В результате обработки полученных опытных данных за 2020-2023 гг. было установлено положительное влияние изучаемых листовых подкормок на продолжительность вегетационного периода, он сокращался в зависимости от варианта опыта (табл. 1).

Таблица 1 – Вегетационный период яровой пшеницы сорта Тризо при применении листовых подкормок, суток 2020-2023 гг.

Вариант опыта	Всходы-созревание	Посев-созревание
Контроль	92	97
Нутривант плюс зерновой	90	95
Плантафол 20-20-20	89	93
Мегафол, Ж	87	91
Текнокель аминок азот плюс	84	88
В среднем по вариантам	88	93

Продолжительность периода посев-созревание позволило установить, что в среднем по вариантам опыта появление всходов отмечалось через 5 дней после посева. На контроле этот период составил 97 суток, на варианте с применением листовых подкормок сокращался и варьировал от 95 до 88 суток. Период от всходов до созревания на контрольном варианте составил 92 суток, в среднем по опыту 88 суток. В зависимости от применения листовых подкормок растения яровой пшеницы вегетировали меньше. Так, при применении Нутривант плюс зерновой – 2 кг/га на 2 суток и составил 90 суток, Плантафол 20-20-20 – 4 кг/га на 3 суток и составил 89 суток, Мегафол, Ж – 2 л/га на 5 суток и составил 87 суток. Быстрее всего созревание растений яровой пшеницы установлено на варианте с применением Текнокель Аминок Азот Плюс – 3 л/га период всходы-созревание составил 84 дня.

Программой исследования было предусмотрено определение влияния изучаемых листовых подкормок на особенности формирования элементов структуры продуктивности растений яровой пшеницы. В ходе опытов было установлено, что применение листовых подкормок оказывало положительное влияние на формирование длины колоса, числа колосков на одно растение, количества зерен в колосе, массу зерна с колоса и массу 1000 зерновок (табл. 2).

Таблица 2 – Элементы структуры продуктивности растений яровой пшеницы сорта Тризо в зависимости от листовых подкормок, 2020-2023 гг.

Вариант опыта	В среднем на 1 растение				Масса 1000 зерен, г
	длина колоса, см	число		масса зерна с колоса, г	
		колосков в колосе, шт.	зерен в колосе, шт.		
Контроль	5,7	13,7	27,5	1,32	34,9
Нутривант плюс зерновой	7,1	14,9	28,9	1,41	36,4
Плантафол 20-20-20	8,9	17,6	37,4	1,62	37,5
Мегафол, Ж	7,4	15,4	32,7	1,54	38,7
Текнокель аминок азот плюс	9,5	18,2	45,3	1,75	39
Среднее	7,7	16,0	34,4	1,5	37,3

В среднем по вариантам опыта за 2020-2023 гг. длина колоса составила 7,7 см, количество колосков в колосе 16 шт., количество зерен в колосе 34,4 шт., масса зерна с колоса 1,5 г, масса 1000 зерновок 37,3 г. В зависимости от условий вегетационных периодов показатели структуры были весьма переменными, и были хуже в 2020 году, а лучшими в 2023 году.

Листовые подкормки, применяемые в опыте, оказали положительное влияние на формирование показателя длины колоса растений яровой пшеницы, она была больше контроля на всех вариантах. При применении Нутривант плюс зерновой длина колоса была на 1,4 см больше контроля и составила 7,1 см, Мегафол, Ж на 1,7 см больше (7,4 см), Плантафол 20-20-20 на 3,2 см больше (8,9 см) и Текнокель аминок азот плюс на 3,8 см больше (9,5 см). Количество колосков на колос также увеличивалось при применении листовых подкормок и изменялось в интервале от 1,2 шт, при использовании Нутривант плюс зерновой до 4,5 шт. на колос при применении Текнокель аминок азот плюс. Число зерен в колосе и их масса были наибольшим по вариантам при внесении Текнокель аминок азот плюс и составили 45,3 шт, и 1,75 г., что на 17,8 шт, и 0,43 г больше контрольного варианта. Масса 1000 зерен изменялась не значительно и была в пределах, заявленных оригинатором, и варьировала от 34,9 г до 39 г.

В опыте 2020-2023 гг. в формировании урожая зерна яровой пшеницы установлено влияние климатических условий и листовых подкормок, наблюдались различия по годам исследований и вариантам опыта (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность яровой пшеницы сорта Тризо в зависимости от применения листовых подкормок, т/га, 2020-2023 гг.

Вариант опыта	Год				Средняя	+/- к контролю	
	2020	2021	2022	2023		т/га	%
Контроль	2,65	2,1	2,33	3,89	2,74	-	-
Нутривант плюс зерновой	3,12	3,34	4,11	4,2	3,69	0,95	34,8
Плантафол 20-20-20	3,35	3,58	4,41	4,52	3,97	1,23	44,7
Мегафол, Ж	3,2	3,47	4,29	4,32	3,82	1,08	39,4
Текнокель аминок азот плюс	3,52	3,85	4,57	4,69	4,16	1,42	51,7
В среднем по годам	3,17	3,27	3,94	4,32	3,68	0,94	34,1
НСР ₀₅	0,42	0,30	0,23	0,34	-	-	-

В условиях вегетационного периода 2020 года растения яровой пшеницы в среднем по вариантам формировали урожайность на уровне 3,17 т/га, которая была меньше за все годы проведения опыта. Прибавка урожая при применении листовых подкормок была достоверно большей в сравнении с контролем на всех вариантах опыта и изменялась от 0,47 т/га при внесении Нутривант плюс зерновой до 0,87 т/га при листовой подкормке Текнокель аминок азот плюс, различия между вариантами опыта находились в пределах ошибки опыта.

Несколько большей средней урожайности по опыту была в 2021 году – 3,27 т/га. Полученная на всех вариантах опыта урожайность в этом году также была достоверно больше контроля, прибавки составили: Нутривант плюс зерновой – 1,24 т/га при урожайности 3,34 т/га, Мегафол, Ж – 1,37 т/га при урожайности 3,47 т/га, Плантафол 20-20-20 – 1,48 т/га, при урожайности 3,58 т/га и Текнокель аминок азот плюс – 1,78 т/га при урожайности 3,27 т/га, межвариантные различия в этом году также были недостоверными.

Уровень урожайности в вегетационном периоде 2022 года в среднем по вариантам составил 3,94 т/га изменялся по вариантам от 2,33 т/га на контроле до 4,57 т/га на варианте Текнокель аминок азот плюс, на этом же варианте получена наибольшая прибавка 2,24 т/га.

За все годы проведения опыта самый высокий уровень урожайности получен в 2023 году. В среднем по вариантам урожайность была на уровне 4,32 т/га, прибавки по вариантам варьировали от 0,31 т/га до 0,8 т/га и были математически достоверны за исключением варианта Нутривант плюс зерновой. В этом же году впервые за весь период проведения опытов были установлены достоверные различия между вариантами Текнокель аминок азот плюс и Нутривант плюс зерновой – 0,49 т/га (НСР_{0,5} 0,34) и между вариантами Мегафол, Ж и Текнокель аминок азот плюс – 0,37 т/га.

В среднем за 2020-2023 гг. урожайность по вариантам опыта изменялась от 2,74 т/га до 4,16 т/га, в среднем по вариантам опыта ее уровень составил 3,68 т/га. Прибавки урожайности были довольно высокие и варьировали от 0,95 т/га до 1,42 т/га или от 34,8 % до 51,7 %. Средняя по вариантам прибавка была на уровне – 0,94 т/га или 34,1 %, что характеризует определенно положительное влияние применяемых некорневых подкормок. Лучшая урожайность зерна яровой пшеницы в среднем за 4 года проведения опытов получена при листовой подкормке Текнокель аминок азот плюс – 4,16 т/га, прибавка по отношению к контролю на этом варианте была наибольшей по опыту и составила – 1,42 т/га или 51,7 %.

Важнейшее значение в определении эффективности применяемых листовых подкормок имеет определение их влияния на содержание в зерне и сбор с гектара сырого белка. В наших опытах установлено положительное влияние листовых подкормок на содержание сырого белка на всех вариантах опыта. В среднем за 4 года оно было от 12,0 % до 13,9 % (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание и сбор сырого белка в зерне яровой пшеницы сорта Тризо в зависимости от листовых подкормок, 2020-2023 гг.

Вариант опыта	Содержание сырого белка, %					ИДК, ед	Сбор белка, кг/га
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее		
Контроль	12,7	12,5	11,4	11,2	12,0	105	327,9
Нутривант плюс зерновой	13,4	12,7	12	12,5	12,7	97	467,3
Плантафол 20-20-20	14,2	14,1	12,2	12,9	13,4	95	530,1
Мегафол, Ж	13,8	13,5	11,8	12,2	12,8	97	490,4
Текнокель аминок азот плюс	14,9	14,5	12,8	13,4	13,9	90	578,5

На 0,7 % больше содержание белка было при использовании Нутривант плюс зерновой и составило 12,7 %, еще большим при опрыскивании Мегафол, Ж на 0,8 % больше и содержании 12,8 %. Лучшие результаты получены на варианте Плантафол 20-20-20 прибавка 1,4 % с содержанием 13,4%, лучшую прибавку обеспечил вариант с внесением Текнокель аминок азот плюс 1,9 % при содержании белка 13,9 %, на этом же варианте получен лучший показатель ИДК, который составил 90 единиц.

Сбор белка с урожаем зерна яровой пшеницы варьировал от 327,9 кг/га до 578,5 кг/га. На всех вариантах опыта сбор белка был выше контрольного варианта. Лучшие показатели по сбору белка получены на вариантах с лучшим содержанием белка Плантафол 20-20-20 – 530,1 кг/га и Текнокель аминок азот плюс – 578,5 кг/га.

Заключение. Таким образом, проведенные исследования и их результаты имеют определенную научную и практическую ценность. За 2020-2023 гг. полевых опытов установлено положительное влияние листовых подкормок на формирование структуры продуктивности, урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы сорта Тризо в различных условиях вегетационных периодов.

Библиография

1. Власова Л.М. Опыт биологической защиты озимой пшеницы от болезней / Л. М. Власова, В. А. Федотов, Н. В. Подлесных, А. А. Муравьев // Защита и карантин растений. – 2018. – № 8. – С. 24–26.

2. Власова Л.М. Инсектофунгицидная баковая смесь для защиты посевов озимой пшеницы / Л. М. Власова, О. В. Попова, А. А. Муравьев // Защита и карантин растений. – 2019. – № 9. – С. 19–20.
3. Организационно-технологические нормативы возделывания сельскохозяйственных культур (на примере Белгородской области) [Текст] / А. В. Турьянский, В. И. Мельников, Л. А. Селезнева, Н. Р. Асыка, В. Ф. Ужик и др. – Белгород : Изд. Константа, 2014. – 462 с.
4. Муравьев А.А. Зависимость урожайности яровой пшеницы от обработки биопрепаратом / А. А. Муравьев // Инновации в АПК проблемы и перспективы. – 2019. – № 3(23). – С. 142–147.
5. Муравьев А.А. Влияние листовых подкормок на эффективность возделывания яровой пшеницы / А. А. Муравьев, И. С. Муравьева, Д. Н. Ходжаев // Вызовы и инновационные решения в аграрной науке : Материалы XXVII Международной научно-производственной конференции, Майский, 12 апреля 2023 года. Том 1. – Майский : Белгородский государственный аграрный университет имени В.Я. Горина, 2023. – С. 26–27.
6. Муравьев А.А. Эффективность листовых подкормок на яровой пшенице / А. А. Муравьев // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2020. – № 1(25). – С. 154–161.
7. Власова Л.М. Баксовые смеси пестицидов для защиты ярового ячменя / Л. М. Власова, О. В. Попова, А. А. Муравьев // Защита и карантин растений. – 2020. – № 6. – С. 18–19.
8. Sergeeva V.A. Productivity, quality and efficiency of spring durum wheat cultivation when treating crops with a biological product / V. A. Sergeeva, A. A. Muravyov, L. M. Vlasova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Michurinsk, 12 апреля 2021 года. – Michurinsk, 2021. – P. 012026. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012026.
9. Muravyov A.A. Formation of structural elements of spring wheat productivity based on foliar application / A. A. Muravyov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Michurinsk, 12 апреля 2021 года. – Michurinsk, 2021. – P. 012115. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012115.
10. Муравьев А.А. Влияние минеральных удобрений и регулятора роста на биоэнергетическую эффективность возделывания кормового белого люпина / А. А. Муравьев, В. А. Сергеева // Современные технологии сельскохозяйственного производства : Сборник научных статей по материалам XIX Международной научно-практической конференции, Гродно, Беларусь, 25 марта 2016 года. – Гродно, Беларусь : Гродненский государственный аграрный университет, 2016. – С. 84–86.

References

1. Vlasova L.M. Experience of biological protection of winter wheat from diseases / L. M. Vlasova, V. A. Fedotov, N. V. Podlesnykh, A. A. Muravyov // Plant protection and quarantine. – 2018. – № 8. – P. 24–26.
2. Vlasova L.M. Insecto-fungicidal tank mixture for protection of winter wheat crops / L. M. Vlasova, O. V. Popova, A. A. Muravyov // Plant protection and quarantine. – 2019. – № 9. – P. 19–20.
3. Organizational and technological standards for the cultivation of agricultural crops (on the example of the Belgorod region) [Text] / A. V. Turyansky, V. I. Melnikov, L. A. Selezneva, N. R. Asyka, V. F. Uzhik et al. – Belgorod : Publishing House Constanta, 2014. – 462 p.
4. Muravyov A.A. Dependence of spring wheat yield on treatment with a biopreparation / A. A. Muravyov // Innovations in the agro-industrial complex problems and prospects. – 2019. – № 3(23). – P. 142–147.
5. Muravyov A.A. Influence of foliar feeding on the efficiency of spring wheat cultivation / A. A. Muravyov, I. S. Muravyova, D. N. Khodjaev // Challenges and innovative solutions in agricultural science: Proceedings of the XXVII International Scientific and Production Conference, Maysky, April 12, 2023. Volume 1. – Maysky : Belgorod State Agrarian University named after V. Ya. Gorin, 2023. – P. 26–27.
6. Muravyov A.A. Efficiency of foliar feeding on spring wheat / A. A. Muravyov // Innovations in the agro-industrial complex: problems and prospects. – 2020. – № 1(25). – P. 154–161.
7. Vlasova L.M. Tank mixtures of pesticides for the protection of spring barley / L. M. Vlasova, O. V. Popova, A. A. Muravyov // Plant protection and quarantine. – 2020. – № 6. – P. 18–19.
8. Sergeeva V.A. Productivity, quality and efficiency of spring durum wheat cultivation when treating crops with a biological product / V. A. Sergeeva, A. A. Muravyov, L. M. Vlasova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Michurinsk, 12 апреля 2021 года. – Michurinsk, 2021. – P. 012026. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012026.
9. Muravyov A.A. Formation of structural elements of spring wheat productivity based on foliar application / A. A. Muravyov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Michurinsk, 12 апреля 2021 года. – Michurinsk, 2021. – P. 012115. – DOI 10.1088/1755-1315/845/1/012115.
10. Muravyov A.A. Influence of mineral fertilizers and growth regulator on bioenergetic efficiency of cultivation of forage white lupine / A. A. Muravyov, V. A. Sergeeva // Modern technologies of agricultural production: Collection of scientific articles based on the materials of the XIX International scientific and practical conference, Grodno, Belarus, March 25, 2016. – Grodno, Belarus : Grodno State Agrarian University, 2016. – P. 84–86.

Сведения об авторах

Кузьмина Ольга Сергеевна, кандидат технических наук, старший преподаватель агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, 8-951-140-14-44, osk9592@mail.ru.

Свилгозува Полина Александровна, студентка 2-го курса агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Information about authors

Kuzmina Olga Sergeevna, Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Agronomic Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, p. Maysky, Belgorodsky District, Belgorod Region, Russia, 308503, 8-951-140-14-44, osk9595@mail.ru.

Sviloguzova Polina Aleksandrovna, 2nd year student of the agronomic faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, p. Maysky, Belgorodsky District, Belgorod Region, Russia, 308503.

УДК 631.41:631.445.41:633.854.78:631.8:631.582

Д.И. Панарин, С.И. Смуров, А.Г. Ступаков, М.А. Куликова

ФОРМИРОВАНИЕ АГРОХИМИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ЧЕРНОЗЁМА ТИПИЧНОГО НА ПОСЕВАХ ПОДСОЛНЕЧНИКА ПОД ВЛИЯНИЕМ УДОБРЕНИЙ В ЗВЕНЕ СЕВООБОРОТА

Аннотация. В условиях юго-запада Центрально-Черноземного региона России на базе стационарного опыта лаборатории по изучению систем земледелия Белгородского ГАУ были проведены исследования по выявлению зависимости варьирования свойств чернозёма типичного от минеральных удобрений в разных звеньях севооборота на посевах подсолнечника гибрида Сумико. За 2021–2023 гг. было выявлено, что наибольшему повышению содержания щёлочногидролизуемого азота в почве слоя 0–30 см при возделывании подсолнечника в звеньях севооборота с многолетними травами и ячменём на 10 и 6 мг/кг (+ 5,7 и 9,4 %) способствовало увеличение доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания – без основного удобрения (насыщенность севооборота удобрениями $N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}$) – до высокого – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$). Применение полного минерального удобрения дозе $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) обусловило наиболее значимое повышение содержания подвижных фосфатов в почве по предпредшественнику чёрный пар, составившее 114 мг/кг (+68,2 %) к его содержанию на низком фоне. Средний фон минерального питания – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (насыщенность севооборота $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$) обозначил наименьший прирост содержания фосфатов, отмеченный в звене с многолетними травами. В этом же звене севооборота проявился наибольший эффект в повышении содержания обменного калия (+74 мг/кг или 36,3 %) от внесения высокого фона питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$). Размещение многолетних трав в севообороте обеспечило практически стабильное содержание гумуса в почве при внесении разных доз минеральных удобрений, тогда как при применении высокого фона питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ при насыщенности севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$ наблюдалось его снижение в звеньях с горохом и чёрным паром на 0,4 %. Переход значений обменной кислотности почвы из градации «близкая к нейтральной» в градацию «слабокислая» при возделывании подсолнечника по предпредшественнику горох наблюдался при средней и высокой дозе минеральных удобрений, по ячменю – при высокой дозе и по чёрному пару – при средней дозе.

Ключевые слова: минеральные удобрения, подсолнечник, подвижные формы азота, фосфора и калия, чернозём типичный, кислотность почвы.

FORMATION OF AGROCHEMICAL AND PHYSICO-CHEMICAL PROPERTIES OF TYPICAL CHERNOZEM ON SUNFLOWER CROPS UNDER THE INFLUENCE OF FERTILIZERS IN THE CROP ROTATION LINK

Abstract. In the conditions of the southwest of the Central Black Earth region of Russia, based on the stationary experience of the laboratory for the study of farming systems of the Belgorod State Agrarian University, studies were conducted to identify the dependence of the variation in the properties of typical chernozem on mineral fertilizers in different links of crop rotation in Sumiko hybrid sunflower crops. For 2021–2023 it was found that the greatest increase in the content of alkaline-hydrolyzable nitrogen in the soil of the 0–30 cm layer when cultivating sunflower in crop rotation links with perennial grasses and barley by 10 and 6 mg/kg (+5.7 and 9.4 %) was facilitated by an increase in the doses of mineral fertilizers from a low background of mineral nutrition – without the main fertilizer (saturation of the crop rotation with fertilizers $N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}$) – to a high – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (saturation of the crop rotation $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$). The application of complete mineral fertilizer at a dose of $N_{120}P_{120}K_{120}$ (crop rotation saturation $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) resulted in the most significant increase in the content of mobile phosphates in the soil after the black fallow precursor, amounting to 114 mg/kg (+68.2 %) compared to its content at a low background. The average background of mineral nutrition – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (crop rotation saturation $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$) indicated the smallest increase in the content of phosphates, noted in the link with perennial grasses. In the same crop rotation link, the greatest effect in increasing the content of exchangeable potassium (+74 mg/kg or 36.3 %) from the introduction of a high nutrient background – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (crop rotation saturation $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) was manifested. The placement of perennial grasses in the crop rotation ensured a virtually stable humus content in the soil with the introduction of different doses of mineral fertilizers, whereas with the use of a high nutrient background – $N_{120}P_{120}K_{120}$ with a crop rotation saturation of $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$, its decrease in links with peas and black fallow by 0.4 % was observed. The transition of the exchangeable acidity values of the soil from the gradation of «close to neutral» to the gradation of «slightly acidic» during the cultivation of sunflower on the pea predecessor was observed with a medium and high dose of mineral fertilizers, on barley – with a high dose and on black fallow – with a medium dose.

Keywords: mineral fertilizers, sunflower, mobile forms of nitrogen, phosphorus and potassium, typical chernozem, soil acidity.

Введение. В повышении почвенного плодородия, увеличении урожайности и улучшении качества сельскохозяйственных культур важная роль принадлежит элементам минерального питания. Главными источниками их поступления в растения служат питательные вещества, находящиеся в почве и поступающие в неё с удобрениями [3, 5, 6, 7]. Между уровнем плодородия почвы, применением удобрений, урожайностью сельскохозяйственных культур и валовыми сборами продукции растениеводства существует прямая зависимость, именно удобрения являются важнейшим средством интенсификации земледелия и позволяют эффективно использовать сельскохозяйственные земли [2, 15].

В результате сокращения поступления в почву органического вещества после распашки черноземов наблюдается уменьшение содержания гумуса и усиление процессов минерализации, интенсивность которых зависит от характера использования почв и зональных условий [4]. Гумусное состояние почв считается оптимальным, если оно обеспечивает реализацию потенциала продуктивности сельскохозяйственных культур, соответствующую биоклиматическим ресурсам, при этом эффективное применение минеральных удобрений позволяет поддерживать и улучшать гумусное состояние почвы [8].

Одним из наиболее значимых требований возделывания культур является севооборот, однако научно обоснованные рекомендации зачастую не соблюдаются, что приводит к ряду негативных последствий – почвоутомлению, обеднению основными элементами питания, деградации почвенного плодородия и общему ухудшению экологической обстановки [1]. Важно также учитывать эффект последствия удобрений, внесенных в севообороте под предшествующие культуры [2]. Оптимальное соотношение фосфора и калия в почве способствует здоровому развитию корневой системы, увеличивает усвоение других питательных веществ, таких как азот, и повышает общую продуктивность сельскохозяйственных культур [11].

В кислых почвах снижается содержание гумуса и кальция, в результате деградации этих факторов почвенной структуры ухудшается водопроницаемость и влагоёмкость почвы. Повышенная кислотность действует негативно на полезную почвенную микрофлору, в кислой среде теряют способность фиксировать азот симбиотические корневые бактерии бобовых [10].

Физиологическая роль серы в питании растений заключается в регулировании окислительно-восстановительного потенциала клетки, аминокислоты с ее участием влияют на действие протеолитических ферментов, влияет на образование хлорофилла, хотя и не входит в его состав [6]. Цинк, в соответствии с его содержанием в почве, рассматривают как микроэлемент, необходимый растениям, выполняет роль катализатора в ферментах, либо находится в них в качестве структурного элемента, также связан с белковым синтезом, так как является структурным компонентом рибосом, также он входит в состав клеточных мембран, и защищает ее липиды и белки от окислительной деструкции [9]. Доступный марганец крайне редко находится в дефиците, в большинстве почв его достаточно для удовлетворения потребности растений, больше всего его содержание в кислых почвах, при снижении кислотности его содержание уменьшается [13].

Цель и задачи. Основной целью исследований было выявление закономерностей формирования агрохимических и физико-химических свойств чернозёма типичного на посевах подсолнечника под влиянием удобрений при длительном использовании в звене севооборота.

Методика. Исследования проводились в комплексном стационаре лаборатории по изучению систем земледелия ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ. Почва опытного участка представлена чернозёмом типичным среднесиловым слабоэродированным тяжелосуглинистым гранулометрического состава. В пахотном 0-30 см слое почвы содержалось гумуса 4,55 %, рН_{KCl} 5,68, S и Нг соответственно 36,2 и 3,14 мг.-экв./100 г почвы, V=92,0 %, легкогидролизуемого азота, подвижного фосфора и обменного калия соответственно 151, 168 и 160 мг/кг. В звене севооборота в качестве предпредшественников подсолнечника изучались: многолетние травы, горох, ячмень, чёрный пар. Схема внесения удобрений представлена в таблице 1.

Таблица 1 – Схема применения удобрений

Номера вариантов	Фоны минерального питания	Насыщенность 1 га севооборотной площади, кг			Удобрение подсолнечника, кг/га			
					Основное			Предпосевное
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	
1	Низкий	22,5	7,5	7,5	–	–	–	–
2	Средний	57,5	42,5	42,5	60	60	60	–
3	Высокий	92,5	77,5	77,5	120	120	120	–
4	Интенсивный	115,0	82,5	82,5	60	60	60	70

Результаты и обсуждение. Нашими исследованиями в течение 2021-2023 гг. выявлено, что в посевах подсолнечника в звене с многолетними травами почва без основного удобрения (насыщенность севооборота удобрениями N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}) обладала несколько более высоким содержанием щёлочногидролизуемого азота в слое 0-30 см – 155 мг/кг, чем в звене с горохом, ячменём и чёрным паром, соответственно – 153, 154 и 152 мг/кг (табл. 2).

Таблица 2 – Влияние минеральных удобрений и предпредшественников подсолнечника на содержание щёлочногидролизуемого азота в слое почвы 0-30 см, мг/кг

Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Многолетние травы				
Без удобрения	163	149	152	155
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	165	154	156	158
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	168	167	159	165
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	157	156	163	159
Горох				
Без удобрения	158	154	147	153
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	156	155	163	158
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	157	158	161	159
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	155	159	164	160
Ячмень				
Без удобрения	157	154	152	154
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	161	153	154	156
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	162	161	157	160
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	156	155	154	155
Чёрный пар				
Без удобрения	153	154	148	152
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	156	155	152	154
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	157	153	153	154
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	157	156	153	155

Насыщенность севооборота удобрениями (фонны питания): низкий – N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}, средний – N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}, высокий – N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}, интенсивный – N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}.

С увеличением доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания – без основного удобрения до среднего – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (насыщенность севооборота $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$) наметилась тенденция к повышению содержания его в посевах подсолнечника в соответствующих звеньях на 3, 5, 2 и 2 мг/кг (+ 1,9, 3,3, 0,6, и 1,3 %). Наибольшее увеличение было отмечено при доведении доз минеральных удобрений до высокого фона питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) в звене севооборота с многолетними травами (+10 мг/кг или 6,5 %), а также с горохом и ячменём (по 6 мг/кг или 3,9 %).

При увеличении доз минеральных удобрений до интенсивного фона – $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$ (насыщенность севооборота $N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}$), повышение содержания азота в звеньях севооборота с многолетними травами, горохом и чёрным паром составило 4, 7 и 3 мг/кг (+ 1,9, 4,6 и 0,7 %) соответственно и не превышало значений, полученных при внесении удобрений высокого фона.

Наиболее высокое содержание подвижных фосфатов в почве при применении низкого фона минерального питания – без основного удобрения (насыщенность севооборота удобрениями $N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}$) выявлено в результате возделывания подсолнечника по предпредшественнику горох – 190 мг/кг (табл. 3). Несколько меньше их содержалось после многолетних трав и чёрного пара, соответственно 180 и 171 мг/кг. Наименьшим содержанием отличалась почва после предпредшественника ячмень – 160 мг/кг.

Таблица 3 – Влияние минеральных удобрений и предпредшественников подсолнечника на содержание подвижного фосфора в слое почвы 0-30 см, мг/кг

Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Многолетние травы				
Без удобрения	177	182	180	180
$N_{60}P_{60}K_{60}$	182	189	183	185
$N_{120}P_{120}K_{120}$	198	213	203	205
$N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$	187	211	192	197
Горох				
Без удобрения	178	206	187	190
$N_{60}P_{60}K_{60}$	208	219	224	217
$N_{120}P_{120}K_{120}$	262	296	274	277
$N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$	214	253	236	234
Ячмень				
Без удобрения	102	191	188	160
$N_{60}P_{60}K_{60}$	189	217	191	199
$N_{120}P_{120}K_{120}$	245	369	203	272
$N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$	228	246	267	247
Чёрный пар				
Без удобрения	160	171	183	171
$N_{60}P_{60}K_{60}$	192	198	221	204
$N_{120}P_{120}K_{120}$	241	275	338	285
$N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$	202	273	211	229

Насыщенность севооборота удобрениями (фоны питания): низкий – $N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}$, средний – $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$, высокий – $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$, интенсивный – $N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}$.

При увеличении доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до среднего – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (насыщенность севооборота $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$) прирост содержания фосфатов в посевах подсолнечника в звеньях севооборота с многолетними травами, горохом, ячменём и чёрным паром, составил соответственно 5, 27, 39 и 33 мг/кг или 3,4, 10,6, 18,3 и 19,4 %.

На высоком фоне минерального питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) наибольшим повышением содержания подвижных фосфатов отличалась почва с такими предпредшественниками как ячмень и чёрный пар (соответственно 112 и 114 мг/кг или 60,3 и 68,2 %), а наименьшим – с многолетними травами и горохом (соответственно 25 и 87 мг/кг или 15,1 и 40,6 %).

При увеличении доз удобрений до интенсивного фона – $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$ (насыщенность севооборота $N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}$) повышение содержания фосфатов было выше, чем при использовании среднего фона, но ниже, чем при использовании высокого – для звеньев с многолетними травами, горохом, ячменём и чёрным паром оно составило соответственно 17, 44, 87 и 58 мг/кг или 10,6, 18,8, 46,7 и 34,1 %.

Анализ содержания обменного калия в почве выявил, что при применении низкого фона минерального питания – без основного удобрения (насыщенность севооборота удобрениями $N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}$) самым большим оно было в посевах подсолнечника, размещённых по предпредшественнику многолетние травы – 204 мг/кг, несколько меньшим в звеньях с горохом, ячменём и чёрным паром, соответственно 175, 155 и 171 мг/кг. Это составило от уровня его по многолетним травам 85,8, 74,0 и 83,8 % (табл. 4).

Таблица 4 – Влияние минеральных удобрений и предпредшественников подсолнечника на содержание обменного калия в слое почвы 0-30 см, мг/кг,

Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Многолетние травы				
Без удобрения	195	214	202	204
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	197	199	192	196
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	244	293	289	275
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	125	144	196	155
Горох				
Без удобрения	157	169	198	175
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	178	181	204	188
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	194	256	214	221
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	147	166	224	179
Ячмень				
Без удобрения	138	182	144	155
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	144	176	181	167
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	172	223	234	210
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	104	274	238	205
Черный пар				
Без удобрения	146	178	189	171
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	145	159	188	164
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	194	189	227	203
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	153	174	218	182

Насыщенность севооборота удобрениями (фоны питания): низкий – N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}, средний – N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}, высокий – N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}, интенсивный – N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}.

При доведении доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до среднего – N₆₀P₆₀K₆₀ (насыщенность севооборота N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}) наибольшим повышением содержания обменного калия выделилась почва в звеньях с предпредшественниками горох и ячмень (13 и 12 мг/кг или 7,4 и 8,6 %).

В повышении содержания обменного калия от применения высокого фона питания – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ (насыщенность севооборота N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}), максимального в опыте, предпредшественники по значимости воздействия расположились в такой восходящей последовательности: чёрный пар (+33 мг/кг), горох (46 мг/кг), ячмень (61 мг/кг) и многолетние травы (74 мг/кг) или 19,3, 26,3, 34,4 и 36,3 % соответственно.

При доведении доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до интенсивного – N₆₀P₆₀K₆₀+N₇₀ (насыщенность севооборота N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}) наиболее заметное повышение содержания обменного калия отмечено только в звене с ячменём, но оно менее выражено – 50 мг/кг или 37,1 %.

Нашими исследованиями в среднем за три года (2021-2023 гг.) выявлено, что наиболее высокое содержание гумуса в почве слоя 0-30 см при применении низкого фона питания – без основного удобрения при насыщенности севооборота удобрениями N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5} содержалось в результате возделывания подсолнечника по предпредшественнику горох – 5,1 %. По другим предшественникам его содержание было ниже и составляло 4,8-4,9 % (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние минеральных удобрений и предпредшественников подсолнечника на содержание гумуса в слое почвы 0-30 см, %

Варианты	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее
Многолетние травы				
Без удобрения	5,1	4,7	4,8	4,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,2	4,8	5,1	5,0
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5,0	4,8	5,1	5,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	5,0	4,7	4,9	4,9
Горох				
Без удобрения	5,1	4,9	5,2	5,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,7	4,8	5,1	4,9
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,8	4,6	4,7	4,7
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	4,9	4,5	5,0	4,8
Ячмень				
Без удобрения	4,6	4,9	4,8	4,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,7	4,9	4,8	4,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,8	4,6	4,9	4,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	4,6	4,6	4,7	4,6
Черный пар				
Без удобрения	4,7	4,8	5,1	4,9
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	4,4	4,7	4,6	4,6
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	4,3	4,6	4,6	4,5
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	4,6	4,5	4,7	4,6

Насыщенность севооборота удобрениями (фоны питания): низкий – N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}, средний – N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}, высокий – N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}, интенсивный – N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}.

С внесением разных доз минеральных удобрений в звене севооборота с многолетними травами содержание гумуса практически не изменялось и находилось в пределах 4,9-5,0 %. При применении высокого фона питания – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ при насыщенности севооборота N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5} наблюдалось его снижение в звеньях с горохом и чёрным паром на 0,4 %.

При доведении доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания при насыщенности севооборота удобрениями N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5} до интенсивного – N₆₀P₆₀K₆₀+N₇₀ при насыщенности севооборота N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5} снижение содержания гумуса в звене с ячменём менее выражено (- 0,2 %).

Полученные в ходе наших исследований данные свидетельствуют о том, звенья севооборота оказывали влияние на кислотность почвы при различных дозах полного минерального питания. Значения обменной кислотности при возделывании подсолнечника по всем изучаемым предпредшественникам при применении низкого фона питания – без основного удобрения не выходили за пределы градации «близкая к нейтральной» – рН_{KCl} 5,8-6,0 (табл. 6).

При внесении среднего – N₆₀P₆₀K₆₀ (насыщенность севооборота N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}) и высокого – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ (насыщенность севооборота N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}) фонов питания проявилось явно выраженное повышение кислотности почвы. Наибольшее её повышение наблюдалось при использовании среднего фона питания – при размещении подсолнечника в звене с горохом (- 0,6 ед.), при этом для почвы характерен переход кислотности из градации «близкая к нейтральной» в градацию «слабокислая»: от 6,0 до 5,4 ед.

Таблица 6 – Влияние минеральных удобрений и предпредшественников подсолнечника на кислотность почвы (рН_{KCl}) в слое 0-30 см (2021-2023 гг.)

Варианты	Предпредшественник подсолнечника			
	Многолетние травы	Горох	Ячмень	Чёрный пар
рН _{KCl}				
Без удобрений	6,0	6,0	5,9	5,8
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	5,9	5,4	5,7	5,5
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	5,8	5,5	5,5	5,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	6,3	6,3	6,2	6,1

Насыщенность севооборота удобрениями (фоны питания): низкий – N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}, средний – N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}, высокий – N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}, интенсивный – N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}.

При использовании интенсивного фона – N₆₀P₆₀K₆₀+N₇₀ (насыщенность севооборота N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}) кислотность снижалась по всем предпредшественникам (+ 0,3 ед.).

Нами установлено, что содержание микроэлементов варьировало в зависимости от звена севооборота и доз минеральных удобрений в широком диапазоне.

Содержание серы снижалось при повышении доз минеральных удобрений. Её содержание на низком фоне минерального питания составило 3,2-3,6 мг/кг (табл. 7). В ряду снижения содержания серы в почве при применении высокого фона питания – N₁₂₀P₁₂₀K₁₂₀ (насыщенность севооборота N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}) предпредшественники расположились в такой последовательности: чёрный пар (- 1,4 мг/кг), горох (- 1,2 мг/кг), ячмень (- 0,9 мг/кг) и многолетние травы (- 0,8 мг/кг) или - 38,9, 37,5, 26,5 и 22,8 % соответственно.

При доведении доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до интенсивного – N₆₀P₆₀K₆₀+N₇₀ (насыщенность севооборота N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}), в ряду снижения содержания серы предпредшественники расположились таким образом: чёрный пар (- 2,7 мг/кг), ячмень (- 1,9 мг/кг), горох и многолетние травы (- 0,9 мг/кг).

Таблица 7 – Влияние минеральных удобрений и предпредшественников подсолнечника на содержание микроэлементов в почве, мг/кг

Варианты	Предпредшественники подсолнечника			
	Многолетние травы	Горох	Ячмень	Чёрный пар
S				
Без удобрений	3,5	3,2	3,4	3,6
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	3,4	3,1	2,8	3,7
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	2,7	2,0	2,5	2,2
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	2,6	2,3	1,5	0,9
Mn				
Без удобрений	10,5	14,1	12,9	13,0
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	12,1	12,6	13,0	12,8
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	12,2	12,8	13,3	12,1
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	12,9	13,2	13,1	12,3
Zn				
Без удобрений	0,75	0,82	0,73	0,65
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀	0,81	0,84	0,75	0,71
N ₁₂₀ P ₁₂₀ K ₁₂₀	0,63	0,66	0,71	0,59
N ₆₀ P ₆₀ K ₆₀ + N ₇₀	0,78	0,80	0,74	0,67

Насыщенность севооборота удобрениями (фоны питания): низкий – N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}, средний – N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}, высокий – N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}, интенсивный – N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}.

Наибольшее содержание марганца наблюдалось на низком фоне питания – без удобрений по предпредшественнику горох, составившее 14,1 мг/кг. Для звеньев с многолетними травами, ячменём и чёрным паром, содержание составило 74,5, 91,5 и 92,2 % от уровня звена с горохом, соответственно.

С повышением доз минеральных удобрений содержание марганца изменялось неоднозначно. В звеньях с многолетними травами и ячменём оно увеличивалось с доведением доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до интенсивного, в то время как по предпредшественникам горох и чёрный пар отмечалось его снижение.

Повышение содержания марганца в почве при применении высокого фона питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) наблюдалось в звеньях с многолетними травами и ячменём (+2,5 и 0,4 мг/кг, в то время как по предпредшественникам горох и чёрный пар наблюдалось его снижение (- 0,3 и 0,9 мг/кг соответственно).

Наибольшее повышение содержания марганца при использовании интенсивного фона – $N_{60}P_{60}K_{60}+N_{70}$ (насыщенность севооборота $N_{115,0}P_{82,5}K_{82,5}$) составило + 2,4 мг/кг в звене с многолетними травами. Наибольшее снижение на интенсивном фоне отмечалось по предпредшественнику горох, составившее 0,9 мг/кг.

Содержание цинка на низком фоне питания – без удобрений было наибольшим по предпредшественнику горох, составившее 0,82 мг/кг. Содержание в звеньях с многолетними травами, ячменём и чёрным паром от его уровня в звене с горохом составило 91,5, 89,0 и 79,3 % соответственно предпредшественникам.

При доведении доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до среднего – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (насыщенность севооборота $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$) увеличение содержания цинка наблюдалось по предпредшественникам многолетние травы, горох, ячмень и чёрный пар, составившее соответственно 0,06, 0,02, 0,02 и 0,06 мг/кг.

В ряду снижения содержания цинка в почве при применении высокого фона минерального питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) предпредшественники расположились в такой последовательности: многолетние травы (- 0,22 мг/кг), горох (- 0,18 мг/кг), чёрный пар (-0,06 мг/кг) и ячмень (- 0,02 мг/кг).

Содержание цинка в почве под подсолнечником было больше по всем предпредшественникам при использовании среднего фона минерального питания – $N_{60}P_{60}K_{60}$ (насыщенность севооборота $N_{57,5}P_{42,5}K_{42,5}$), которое составило в звене с горохом, 0,84 мг/кг, а наименьшее при использовании дозы $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) по предпредшественнику чёрный пар, равное 0,59 мг/кг.

Заключение. Увеличение доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания – без основного удобрения (насыщенность севооборота удобрениями $N_{22,5}P_{7,5}K_{7,5}$) – до высокого – $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$) – способствовало наибольшему повышению содержания щелочногидролизующего азота в посевах подсолнечника в звеньях севооборота с многолетними травами и ячменём на 10 и 6 мг/кг (+5,7 и 9,4 %).

Наибольшее повышение содержания подвижных фосфатов в почве наблюдалось по предпредшественнику чёрный пар при дозе полного минерального удобрения $N_{120}P_{120}K_{120}$ (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$), составившее 114 мг/кг или 68,2 % к его содержанию на низком фоне. Наименьшим повышением содержания фосфатов, отличалось звено с многолетними травами при использовании среднего фона питания.

Наибольшее повышение содержания обменного калия в почве проявилось с предпредшественником многолетние травы (74 мг/кг или 36,3 %) при возрастании доз минеральных удобрений от низкого фона минерального питания до высокого фона питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$, (насыщенность севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$), обеспечив максимальное его содержание.

Содержание гумуса в почве в звене с многолетними травами при внесении разных доз минеральных удобрений практически не изменялось, а при применении высокого фона питания – $N_{120}P_{120}K_{120}$ при насыщенности севооборота $N_{92,5}P_{77,5}K_{77,5}$ наблюдалось его снижение в звеньях с горохом и чёрным паром на 0,4 %.

Увеличение доз минеральных удобрений от низкого фона питания – без основного удобрения – обусловило переход величины обменной кислотности почвы из градации «близкая к нейтральной» в градацию «слабокислая» при возделывании подсолнечника по предпредшественнику горох (при средней и высокой дозе минеральных удобрений), по ячменю (при высокой дозе) и по чёрному пару (при средней дозе).

Содержание микроэлементов в почве колебалось в зависимости от предпредшественника и доз минеральных удобрений.

Библиография

1. Смуров С.И. Влияние элементов биологизации на плодородие почвы и продуктивность звена севооборота в условиях юго-западной части Центрально-Чернозёмного региона / С. И. Смуров, О. В. Гапиенко, О. В. Григоров, П. В. Андреев, А. Г. Ступаков, Ю. Е. Щедрина // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 4. – С. 6–8.
2. Смуров С.И. Продуктивность подсолнечника в зависимости от минеральных удобрений и звеньев севооборота на Юго-Западе ЦЧР / С. И. Смуров, Д. И. Панарин, А. Г. Ступаков, А. В. Рашенко, М. А. Куликова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 5. – С. 21–28.
3. Смуров С.И. Показатели плодородия чернозёма типичного, его водные, агрофизические свойства и урожайность культур при применении различных технологий в условиях юго-западной части Белгородской области / С. И. Смуров, С. Н. Ермолаев, В. Н. Наумкин, Д. И. Панарин // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2023. – № 1(37). – С. 93–101.
4. Кирюшин В.И. Агрономическое почвоведение. – М.: КолосС, 2010. – 687 с.
5. Ягодин Б.А. Агрохимия / Б. А. Ягодин, Ю. П. Жуков, В. И. Кобзаренко / Под ред. Б. А. Ягодина. – М.: Колос, 2002. – 584 с.
6. Мязин Н.Г. Система удобрения: учебное пособие / Н. Г. Мязин. – Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГАУ, 2009. – 350 с.
7. Минеев В.Г. Состояние и перспективы применения минеральных удобрений в мировом и отечественном земледелии / В. Г. Минеев, Л. А. Бычкова // Агрохимия. – 2003. – № 8. – С. 5–12.
8. Кузнецова Л.Н. Влияние удобрений и способов основной обработки почвы на питательный режим чернозема типичного / Л. Н. Кузнецова, А. В. Акинчин, С. А. Линков, А. Г. Ступаков // Вестник курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2012. – № 6. – С. 48–51.
9. Шеуджен А.Х. Влияние природных и антропогенных факторов на физико-химические свойства чернозема выщелоченного и его загрязнение тяжелыми металлами / А. Х. Шеуджен, Н. Н. Нецадим, Н. Г. Гайдукова, И. В. Шабанова // Агрохимия. – 2019. – № 1. – С. 19–28.

10. Карабутов А.П. Калийный режим чернозема типичного под влиянием элементов агротехнологии / А. П. Карабутов, Г. И. Уваров // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2015. – № 3. – С. 58–66.
11. Уваров Г.И. Изменения агрохимических свойств чернозема типичного при применении удобрений в длительном полевом опыте / Г. И. Уваров, А. П. Карабутов // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 14–20.
12. Носко Б.С. Последствие удобрений на физико-химические и агрохимические свойства чернозема типичного / Б. С. Носко, В. И. Бабынин, Е. Ю. Гладких // Агрохимия. – 2012. – № 4. – С. 3–13.
13. Муха В.Д. Изменение физико-химических свойств чернозема типичного при его длительном сельскохозяйственном использовании / В. Д. Муха, В. И. Лазарев // Агрохимия. – 2003. – № 1. – С. 5–7.
14. Лукин С.В. Динамика кислотности и проведение химической мелиорации пахотных почв в Белгородской области / С. В. Лукин // Агрохимический вестник. – 2016. – № 6. – С. 2–6.
15. Боева Н.Н. Параметры изменения показателей плодородия чернозема типичного при многолетнем использовании удобрений / Н. Н. Боева, Г. М. Дериглазова // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2019. – № 2. – С. 42–44.

References

1. Smurov S.I. Vlijanie `elementov biologizatsii na plodorodie pochvy i produktivnost' zvena sevooborota v uslovijah jugo-zapadnoj chasti Tsentral'no-Chernozjomnogo regiona [The influence of biologization elements on soil fertility and productivity of the crop rotation link in the southwestern part of the Central Black Earth Region] / S. I. Smurov, O. V. Gapienko, O. V. Grigorov, P. V. Andreev, A. G. Stupakov, Ju. E. Schedrina // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. – 2023. – № 4. – S. 6–8.
2. Smurov S.I. Produktivnost' podsolnechnika v zavisimosti ot mineral'nyh udobrenij i zven'ev sevooborota na Jugo-Zapade TsChR [Sunflower productivity depending on mineral fertilizers and crop rotation links in the South-West of the CBR] / S. I. Smurov, D. I. Panarin, A. G. Stupakov, A. V. Raschenko, M. A. Kulikova // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. – 2023. – № 5. – S. 21–28.
3. Smurov S.I. Pokazateli plodorodija chernozjoma tipichnogo, ego vodnye, agrofizicheskie svojstva i urozhajnost' kul'tur pri primenenii razlichnyh tehnologij v uslovijah jugo-zapadnoj chasti Belgorodskoj oblasti [Fertility indicators of typical chernozem, its water, agrophysical properties and crop yields when using various technologies in the conditions of the southwestern part of the Belgorod region] / S. I. Smurov, S. N. Ermolaev, V. N. Naumkin, D. I. Panarin // Innovatsii v APK : problemy i perspektivy. – 2023. – № 1(37). – S. 93–101.
4. Kirjushin V.I. Agronomicheskoe pochvovedenie [Agronomic soil science]. – М. : KolosS, 2010. – 687 s.
5. Jagodin B.A. Agrohimiya [Agrochemistry] / B. A. Jagodin, Ju. P. Zhukov, V. I. Kobzarenko / Pod red. B. A. Jagodina. – М. : Kolos, 2002. – 584 s.
6. Mjazin N.G. Sistema udobrenija: uchebnoe posobie [Fertilizer system: tutorial] / N. G. Mjazin. – Voronezh : FGBOU VPO VGau, 2009. – 350 s.
7. Mineev V.G. Sostojanie i perspektivy primeneniya mineral'nyh udobrenij v mirovom i otechestvennom zemledelii [The state and prospects of application of mineral fertilizers in world and domestic agriculture] / V. G. Mineev, L. A. Bychkova // Agrohimiya. – 2003. – № 8. – S. 5–12.
8. Kuznetsova L.N. Vlijanie udobrenij i sposobov osnovnoj obrabotki pochvy na pitatel'nyj rezhim chernozema tipichnogo [The influence of fertilizers and methods of primary soil cultivation on the nutritional regime of typical chernozem] / L. N. Kuznetsova, A. V. Akinchin, S. A. Linkov, A. G. Stupakov // Vestnik kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. – 2012. – № 6. – S. 48–51.
9. Sheudzhen A.H. Vlijanie prirodnyh i antropogennyh faktorov na fiziko-himicheskie svojstva chernozema vyschelochennogo i ego zagryznenie tjazhelymi metallami [The influence of natural and anthropogenic factors on the physicochemical properties of leached chernozem and its pollution with heavy metals] / A. H. Sheudzhen, N. N. Neschadim, N. G. Gajdukova, I. V. Shabanova // Agrohimiya. – 2019. – № 1. – S. 19–28.
10. Karabutov A.P. Kalijnyj rezhim chernozema tipichnogo pod vlijaniem `elementov agrotehnologii [Potassium regime of typical chernozem under the influence of elements of agricultural technology] / A. P. Karabutov, G. I. Uvarov // Innovatsii v APK: problemy i perspektivy. – 2015. – № 3. – S. 58–66.
11. Uvarov G.I. Izmeneniya agrohimicheskijh svojstv chernozema tipichnogo pri primenenii udobrenij v dlitel'nom polevom opyte [Changes in agrochemical properties of typical chernozem when using fertilizers in a long-term field experiment] / G. I. Uvarov, A. P. Karabutov // Agrohimiya. – 2012. – № 4. – S. 14–20.
12. Nosko B.S. Posledestvie udobrenij na fiziko-himicheskie i agrohimicheskie svojstva chernozema tipichnogo [Aftereffect of fertilizers on the physicochemical and agrochemical properties of typical chernozem] / B. S. Nosko, V. I. Babyнин, E. Ju. Gladkih // Agrohimiya. – 2012. – № 4. – S. 3–13.
13. Muha V.D. Izmenenie fiziko-himicheskijh svojstv chernozema tipichnogo pri ego dlitel'nom sel'skhozjajstvennom ispol'zovanii [Changes in the physicochemical properties of typical chernozem during its long-term agricultural use] / V. D. Muha, V. I. Lazarev // Agrohimiya. – 2003. – № 1. – S. 5–7.
14. Lukin S.V. Dinamika kislotnosti i provedenie himicheskoi melioratsii pahotnyh pochv v Belgorodskoj oblasti [Dynamics of acidity and chemical melioration of arable soils in the Belgorod region] / S. V. Lukin // Agrohimicheskij vestnik. – 2016. – № 6. – S. 2–6.
15. Boeva N.N. Parametry izmeneniya pokazatelej plodorodija chernozema tipichnogo pri mnogoletnem ispol'zovanii udobrenij [Parameters of change in fertility indicators of typical chernozem with long-term use of fertilizers] / N. N. Boeva, G. M. Deriglavzova // Vestnik Kurskoj gosudarstvennoj sel'skhozjajstvennoj akademii. – 2019. – № 2. – S. 42–44.

Сведения об авторах

Панарин Даниил Игоревич, аспирант, агроном научно-практического центра земледелия и селекции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Смуров Сергей Иванович, кандидат сельскохозяйственных наук, руководитель научно-практического центра земледелия и селекции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Ступаков Алексей Григорьевич, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры земледелия, агрохимии, землеустройства, экологии и ландшафтной архитектуры, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +74722 38-17-70, e-mail: alex.stupackow@yandex.ru.

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

Information about authors

Panarin Daniil I., post-graduate student, agronomist of the Scientific and Practical center of farming and selection, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Smurov Sergey I., Candidate of Agricultural Sciences, Head of the Scientific and Practical center of farming and selection, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia. 308503.

Stupakov Alexey G., Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Agriculture, Agrochemistry, Land Management, Ecology and Landscape Architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: alex.stupackow@yandex.ru.

Kulikova Marina A., candidate of agricultural Sciences, associate Professor of the Department of agricultural chemistry, Land management, Ecology and Landscape architecture, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul Vavilova, 1, Maiskiy, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +74722 38-17-70, e-mail: kursi-2010@mail.ru.

УДК 633.812:631.8

Е.В. Сумина, О.Ю. Артемова, С.В. Белецкий

ОЦЕНКА УРОЖАЙНОСТИ И ЭФИРОМАСЛИЧНОСТИ СЫРЬЯ ШАЛФЕЯ ЛЕКАРСТВЕННОГО В ЗАВИСИМОСТИ ОТ НЕКОРНЕВОЙ ПОДКОРМКИ МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИМ УДОБРЕНИЕМ «БИОГОР»

Аннотация. Шалфей лекарственный – ценная эфиромасличная культура. Спрос на лекарственное растительное сырье шалфея постоянно растет. Поэтому исследования, связанные с совершенствованием технологических приемов возделывания шалфея для конкретных почвенно-климатических условий, являются весьма актуальными. Цель исследования – определить влияние микробиологического удобрения «Биогор» на урожайность и эфиромасличность сырья шалфея лекарственного в почвенно-климатических условиях Белгородской области. Место проведения исследований – коллекционный питомник Белгородского филиала ФГБНУ ВИЛАР. Исследования проведены на посевах шалфея лекарственного 2-го года вегетации. Учетная площадь делянки – 10 м², размещение делянок – систематическое, повторность – трехкратная. Схема опыта включала контроль (обработка водой) и три опытных варианта с обработкой растений микробиологическим удобрением «Биогор» в дозах 1,0; 2,0 и 3,0 л/га. Обработку шалфея микробиологическим удобрением проводили в фазе массового отрастания. Учет урожайности сырья проводили со всей учетной площади каждой делянки. Лабораторные исследования выполняли в Центре химии и фармацевтической технологии ВИЛАР. Обработка шалфея лекарственного микробиологическим удобрением оказывала положительное влияние на морфометрические показатели растений культуры, что в итоге привело к повышению урожайности сырья. Наибольшую урожайность сырья обеспечило применение препарата «Биогор» в дозе 3,0 л/га, которая в среднем за два года исследований составила 1,17 т/га, превысив контроль на 0,28 т/га. Обработка растений препаратом «Биогор» в дозе 1,0 л/га способствовала значительному увеличению содержания эфирного масла в сырье шалфея. Некорневая подкормка шалфея микробиологическим удобрением «Биогор» служит эффективным приемом, активизирующим ростовые процессы растений и обеспечивающим повышение урожайности сырья. Применение препарата «Биогор» в минимальной дозе 1,0 л/га приводит к наибольшему увеличению содержания эфирного масла в сырье.

Ключевые слова: шалфей лекарственный, микробиологическое удобрение, морфометрические показатели, урожайность, эфирное масло.

ASSESSMENT OF THE PRODUCTIVITY AND ESSENTIAL OIL CONTENT OF SAGE RAW MATERIALS DEPENDING ON FOLIAR FEEDING WITH MICROBIOLOGICAL FERTILIZER «BIOGOR»

Abstract. Common sage is a valuable essential oil crop. The demand for medicinal plant raw materials of sage is constantly growing. Thus, research aimed at improving agricultural practices cultivation of *Salvia officinalis* for specific soil and climatic conditions are very relevant. The purpose of the research was to determine the effect of the microbiological fertilizer «Biogor» on yield and essential oil content of sage raw materials in soil and climatic conditions Belgorod region. The location of the research is the collection nursery of the Belgorod branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution VILAR. The studies were carried out on crops of common sage of the 2nd year of vegetation. The accounting area of the plot is 10 m², the placement of plots is systematic, the repetition is threefold. The experimental design included a control (water treatment) and three experimental variants with plant treatment with the microbiological fertilizer Biogor at doses of 1.0; 2.0 and 3.0 l/ha. Sage was treated with the microbiological fertilizer in the mass regrowth phase. The raw material yield was recorded for the entire accounting area of each plot. Laboratory studies were carried out at the VILAR Center for Chemistry and Pharmaceutical Technology. Treatment of medicinal sage with the microbiological fertilizer had a positive effect on the morphometric parameters of the crop plants, which ultimately led to an increase in the raw material yield. The highest raw material yield was ensured by the use of the Biogor preparation at a dose of 3.0 l/ha, which on average over two years of research amounted to 1.17 t/ha, exceeding the control by 0.28 t/ha. Treatment of plants with the Biogor preparation at a dose of 1.0 l/ha contributed to a significant increase in the essential oil content in the sage raw material. Foliar feeding of sage with the microbiological fertilizer «Biogor» is an effective method that activates plant growth processes and ensures an increase in the yield of raw materials. The use of the «Biogor» preparation in a minimum dose of 1.0 l/ha leads to the greatest increase in the content of essential oil in the raw material.

Keywords: sage, microbiological fertilizer, morphometric parameters, yield, essential oil.

Введение. В настоящее время одной из основных социальных задач государственного регулирования является охрана здоровья населения, обеспечение нормального функционирования системы здравоохранения, что отражено в программе «Стратегии лекарственного обеспечения населения Российской Федерации на период до 2025 года». За последние годы значительно повысился интерес к производству отечественных фитопрепаратов. В связи с этим, необходимо решить задачу обеспечения фармацевтической промышленности высококачественным лекарственным сырьем собственного производства [7]. Перспективным направлением в современных агротехнологиях лекарственных культур является применение микробиологических удобрений, оказывающих положительное влияние на рост, развитие растений, обеспечивающих повышение урожайности и способствующих увеличению производства экологически безопасного фармацевтического сырья.

Шалфей лекарственный (*Salvia officinalis* L.) – ценная эфиромасличная культура [2, 5]. Представляет собой многолетний полукустарник [1, 3, 4, 6, 8]. Растение теплолюбивое. Засухоустойчивость высокая. При возделывании шалфея лекарственного в районах с холодной зимой и неустойчивым снежным покровом отмечается его слабая зимостойкость. Может расти на малоплодородных почвах, щебнисто-галечниковых, однако для получения высоких урожаев лекарственного сырья требует достаточной обеспеченности питательными элементами и влагой. Размножается семенами. Относится к перекрестно опыляющимся растениям. В основном шалфей опыляют шмели и пчелы. В первый год жизни растения шалфея лекарственного растут медленно, образуя небольшое количество облиственных побегов. С наступлением устойчивых заморозков вегетационный период шалфея заканчивается. Перезимовавшие растения отрастают в конце марта - первой декаде апреля. Цветение и плодоношение шалфея наступает со второго года жизни. В фазу бутонизации растения, как правило, вступают в начале или середине мая.

Цветение наблюдается в третьей декаде мая – июне. Через месяц после начала цветения созревают плоды. Плантации культуры используют не менее четырех лет. Сроки уборки зависят от степени нарастания листьев и содержания в них

эфирного масла. На переходящих плантациях лучшим сроком уборки листьев шалфея считается начало созревания семян. Спрос на лекарственное сырье шалфея лекарственного постоянно растет [9, 10]. Поэтому исследования, связанные с совершенствованием технологических приемов возделывания шалфея для конкретных почвенно-климатических условий, являются весьма актуальными.

Цель и задачи. Цель исследования – определить влияние микробиологического удобрения «Биогор» на урожайность и эфиромасличность сырья шалфея лекарственного в почвенно-климатических условиях Белгородской области.

Материалы и методы. Полевой опыт по определению влияния микробиологического удобрения «Биогор» на рост, развитие, урожайность и эфиромасличность сырья шалфея лекарственного проводили в 2023-2024 гг. на коллекционном питомнике Белгородского филиала ФГБНУ ВИЛАР. Пункт программы ФНИ в РФ 4.1.2.3. Управление селекционным процессом создания новых генотипов культурных растений с высокоценными признаками продуктивности и качества, устойчивости к био- и абиострессорам; методы и способы реализации генетического потенциала новых генотипов сельскохозяйственных, лекарственных и ароматических культур. «Поиск и выявление перспективных видов дикорастущих растений, изучение их ресурсного потенциала, формирование высокопродуктивных агроценозов лекарственных и ароматических культур путем создания новых сортов и разработки интенсивных, экологически безопасных технологий их возделывания» (№ FGUU-2022-0009).

Почва коллекционного участка – чернозем типичный среднесиловый тяжелосуглинистого гранулометрического состава. Погодные условия в годы исследований характеризовались резкими колебаниями температур и недостатком влаги. Низкое содержание влаги в почве негативно отразилось на растениях. На фоне высоких среднесуточных температур и дефицита влагообеспеченности нарастание вегетативной массы растений шалфея лекарственного шло медленно, что повлияло на урожайность сырья культуры.

При закладке и проведении опыта руководствовались методикой проведения полевых опытов с лекарственными и эфиромасличными культурами (ВИЛАР, 2023). Исследования проведены на плантации шалфея лекарственного 2-го года вегетации. Учетная площадь делянки – 10 м², размещение делянок – систематическое, повторность – трехкратная. Схема опыта включала контроль (обработка водой) и три опытных варианта с обработкой растений шалфея лекарственного микробиологическим удобрением «Биогор» в дозах 1,0; 2,0 и 3,0 л/га. Опрыскивание растений шалфея биоудобрением проводили в фазе массового отрастания. Расход рабочего раствора – 200 л/га.

Учет урожайности сырья проводили со всей учетной площади каждой делянки с дальнейшим пересчетом на 1 га. Лабораторные исследования по определению содержания эфирного масла в сырье шалфея лекарственного проводили в Центре химии и фармацевтической технологии ВИЛАР в соответствии с ГФ РФ XIV ОФС. 1.5.3.0010.15.

Результаты исследований. Важными морфометрическими показателями являются высота растений, число побегов и количество листьев шалфея лекарственного, что определяет будущий урожай культуры. В варианте опыта с применением микробиологического удобрения в дозе 3,0 л/га была отмечена наибольшая высота растений во все сроки проведения учетов. Так, в фазе плодоношения высота растений шалфея в среднем за два года исследований составила 69,9 см, что на 12,1 см больше по сравнению с контролем. Дозы микробиологического удобрения 1,0 и 2,0 л/га также оказывали положительное действие на линейный рост растений шалфея, однако эффект был ниже, чем при использовании максимальной дозы (табл. 1).

Таким образом, обработка шалфея лекарственного микробиологическим удобрением «Биогор» способствовала усилению ростовых процессов растений.

Таблица 1 – Влияние микробиологического удобрения «Биогор» на высоту растений шалфея лекарственного, 2023-2024 гг.

Варианты опыта	Высота растений, см		
	массовая бутонизация	массовое цветение	плодоношение
Обработка водой, контроль	39,0	48,7	57,8
«Биогор» (развитие) в дозе 1,0 л/га	42,0	53,9	63,3
«Биогор» (развитие) в дозе 2,0 л/га	45,1	56,1	66,7
«Биогор» (развитие) в дозе 3,0 л/га	47,5	58,9	69,9
НСР ₀₅ в 2024 г.	1,9	2,2	2,5
НСР ₀₅ в 2024 г.	1,6	1,9	2,1

Повышение дозы изучаемого биопрепарата привело к увеличению числа побегов на одном растении и количества листьев на одном побеге шалфея лекарственного. В среднем за два года лучшие показатели по числу побегов на одном растении и количеству листьев на одном побеге были отмечены на варианте опыта с применением биопрепарата «Биогор» в дозе 3,0 л/га, составив соответственно 56,6 шт./раст. и 16,4 шт./побеге, что превысило контроль на 11,9 шт./раст. и 4,9 шт./побеге (табл. 2).

Увеличение числа побегов и количества листьев на растениях шалфея лекарственного наблюдалось также при применении минимальной и двойной дозы препарата «Биогор», однако положительный эффект от них был ниже по сравнению с максимальной дозой.

Таблица 2 – Число побегов на 1 растении и количество листьев на 1 побеге шалфея лекарственного в зависимости от микробиологического удобрения «Биогор», 2023-2024 гг.

Варианты опыта	Фаза плодообразования	
	число побегов, шт./раст.	количество листьев, шт./побеге
Обработка водой, контроль	44,7	11,5
«Биогор» (развитие) в дозе 1,0 л/га	48,2	13,9
«Биогор» (развитие) в дозе 2,0 л/га	51,1	14,7
«Биогор» (развитие) в дозе 3,0 л/га	56,6	16,4
НСР ₀₅	2,7	1,3

Погодные условия, сложившиеся в годы исследований, оказали значительное влияние на урожайность сырья шалфея лекарственного. В 2024 году урожайность сырья культуры по всем вариантам опыта оказалась ниже по сравнению с 2023 годом. Разница составила от 0,07 до 0,15 т/га в зависимости от опытного варианта (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность воздушно-сухого сырья шалфея лекарственного в зависимости от микробиологического удобрения «Биогор», 2023-2024 гг.

Варианты опыта	Урожайность, т/га			± к контролю	
	2023 г	2024 г.	Ср.	т/га	%
Обработка водой, контроль	0,92	0,85	0,89	-	-
«Биогор» (развитие) в дозе 1,0 л/га	1,04	0,93	0,99	0,10	11,2
«Биогор» (развитие) в дозе 2,0 л/га	1,18	1,03	1,11	0,22	24,7
«Биогор» (развитие) в дозе 3,0 л/га	1,21	1,13	1,17	0,28	31,5
НСР ₀₅	0,12	0,07			

Применение микробиологического удобрения в годы исследований способствовало повышению урожайности сырья шалфея лекарственного. Эффективность некорневой подкормки повышалась с увеличением дозы микробиологического удобрения. Наибольшую урожайность сырья обеспечило применение препарата «Биогор» в дозе 3,0 л/га, которая в среднем за два года исследований составила 1,17 т/га, превысив контроль на 0,28 т/га или 31,5 %.

Максимальная продуктивность лекарственных культур не всегда гарантирует высокое содержание БАВ в сырье. Количество биологически активных веществ в растениях зависит от многих факторов, в том числе и от применяемых удобрений. Содержание БАВ под воздействием экзогенных и эндогенных факторов может изменяться как в положительную, так и в отрицательную сторону. В сырье шалфея лекарственного основным действующим веществом является эфирное масло. Поэтому важно определить влияние некорневых подкормок микробиологическим удобрением «Биогор» на содержание эфирного масла в сырье культуры.

Результаты лабораторных исследований показали, что применение микробиологического удобрения «Биогор» в минимальной дозе (1,0 л/га) оказывает положительное влияние на содержание эфирного масла в сырье культуры. При обработке растений шалфея лекарственного микробиологическим удобрением в тройной дозе полезный эффект заметно снижался. Двойная доза удобрения привела к снижению содержания эфирного масла в сырье шалфея лекарственного по сравнению с контролем (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание эфирного масла в сырье шалфея лекарственного и его сбор с урожаем в зависимости от микробиологического удобрения «Биогор», % 2024 г.

Варианты опыта	Содержание эфирного масла, %	Сбор эфирного масла с урожаем, кг/га
Обработка водой, контроль	0,54±0,2	3,94
«Биогор» (развитие) в дозе 1,0 л/га	0,97±0,15	7,86
«Биогор» (развитие) в дозе 2,0 л/га	0,49±0,12	4,36
«Биогор» (развитие) в дозе 3,0 л/га	0,58±0,02	5,63

Наибольший сбор эфирного масла с урожаем был отмечен на варианте опыта с применением микробиологического удобрения «Биогор» в дозе 1,0 л/га, который составил 7,86 кг/га, что на 3,92 кг/га больше по сравнению с контролем. Стоит отметить, что за счёт высокой урожайности сырья шалфея лекарственного от применения двойной и тройной доз микробиологического удобрения сбор эфирного масла на данных вариантах также оказался выше контроля.

Заключение. Таким образом, некорневая подкормка шалфея лекарственного микробиологическим удобрением «Биогор» служит эффективным приемом, активизирующим ростовые процессы растений и обеспечивающим повышение урожайности сырья. В среднем за два года исследований наибольшую урожайность сырья шалфея обеспечило применение препарата «Биогор» в дозе 3,0 л/га, которая составила 1,17 т/га, оказавшись выше контроля на 0,28 т/га. Обработка растений микробиологическим удобрением в дозе 1,0 л/га способствовала увеличению содержания эфирного масла в сырье до 0,97 %, тогда как на контроле данный показатель составил лишь 0,54 %. Данный вариант опыта обеспечил наибольший сбор эфирного масла с урожаем шалфея лекарственного.

Библиография

1. Влияние микробиологического удобрения «Биогор» серии «КМ» на энергию прорастания и всхожесть семян шалфея лекарственного / О. Ю. Артемова, С. В. Белецкий, В. И. Сидельников, Е. В. Сумина // Инновационное развитие агропромышленного комплекса: новые подходы и актуальные исследования : Материалы Международной научно-практической конференции в рамках мероприятий «Десятилетия науки и технологий в Российской Федерации», 300-летия Российской академии наук, Краснодар, 24–25 апреля 2024 года. – Краснодар : ИП Копыльцова П.И., 2024. – С. 14–17. – DOI 10.33775/conf-2024-14-17. – EDN GQUHDP. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67923335>.
2. Дряева А.Ю. Анализ биологически активных веществ в лекарственном растительном сырье шалфея лекарственного листа, обладающим противовоспалительным средством / А. Ю. Дряева, А. А. Бигулова // Экологическая безопасность и сохранение генетических ресурсов растений и животных России и сопредельных территорий : Материалы XIV Всероссийской научной конференции с международным участием, Владикавказ, 13–18 мая 2023 года. Том 2. – Владикавказ : Северо-Осетинский государственный университет имени К.Л. Хетагурова, 2023. – С. 76–79. – EDN PLADLD. <https://elibrary.ru/item.asp?id=54214899>.
3. Ковалев Н.И. Влияние микроудобрений и регулятора роста на продуктивность лопуха большого (*Arctium lappa* L.) и шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) / Н. И. Ковалев, Г. П. Пушкина // Овощи России. – 2020. – № 4. – С. 79–83. – DOI 10.18619/2072-9146-2020-4-79-83. – EDN GBLNFJ. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43918419>.

4. Ковалев Н.И. Урожайность семян шалфея лекарственного / Н. И. Ковалев // Ароматические и лекарственные растения: интродукция, селекция, агротехника, биологически активные вещества, влияние на человека: тезисы международной научно-практической конференции, Ялта, 21–25 июня 2021 года / Никитский ботанический сад – Национальный научный центр РАН. – Симферополь : Общество с ограниченной ответственностью «Издательство Типография «Ариал», 2021. – С. 15. – EDN QSRMMR. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46350446>.

5. Ковалев Н.И. Эффективность комплексного применения органоминерального удобрения ЭкоФус с биорегулятором Циркон на шалфее лекарственном (*Salvia officinalis* L.) / Н. И. Ковалев, Е. Л. Маланкина // Овощи России. – 2019. – № 6(50). – С. 76–79. – DOI 10.18619/2072-9146-2019-6-76-79. – EDN PKJDHE. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41499105>.

6. Коротких И.Н. Культура шалфея лекарственного (*Salvia officinalis* L.) в условиях Московского региона / И. Н. Коротких, М. В. Топорищева // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. – 2023. – № 5. – С. 43–49. – EDN VHFSSB. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54171481>.

References

1. The influence of the microbiological fertilizer «Biogor» of the «KM» series on the germination energy and viability of sage seeds / O. Yu. Artemova, S. V. Beletsky, V. I. Sidelnikov, E. V. Sumina // Innovative development of the agro-industrial complex: new approaches and relevant research: Proceedings of the International scientific and practical conference within the framework of the events of the «Decade of Science and Technology in the Russian Federation», the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, Krasnodar, April 24–25, 2024. – Krasnodar : IP Kopyltsova P.I, 2024. – P. 14–17. – DOI 10.33775/conf-2024-14-17. – EDN GQUDHP. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=67923335>.

2. Dryaeva A.Yu. Analysis of biologically active substances in medicinal plant materials of sage leaves, which have anti-inflammatory properties / A. Yu. Dryaeva, A. A. Bigulova // Environmental safety and conservation of plant and animal genetic resources of Russia and adjacent territories: Proceedings of the XIV All-Russian scientific conference with international participation, Vladikavkaz, May 13–18, 2023. Volume 2. – Vladikavkaz : North Ossetian State University named after K.L. Khetagurov, 2023. – P. 76–79. – EDN PLADLD. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54214899>.

3. Kovalev N.I. Effect of microfertilizers and growth regulator on the productivity of burdock (*Arctium lappa* L.) and common sage (*Salvia officinalis* L.) / N. I. Kovalev, G. P. Pushkina // Vegetables of Russia. – 2020. – № 4. – P. 79–83. – DOI 10.18619/2072-9146-2020-4-79-83. – EDN GBLNFJ. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=43918419>.

4. Kovalev N.I. Yield of seeds of common sage / N. I. Kovalev // Aromatic and medicinal plants: introduction, selection, agricultural technology, biologically active substances, impact on humans: abstracts of the international scientific and practical conference, Yalta, June 21–25, 2021 / Nikitsky Botanical Garden – National Science Center of the Russian Academy of Sciences. – Simferopol : Limited Liability Company «Publishing House Printing House «Ariал», 2021. – P. 15. – EDN QSRMMR. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46350446>.

5. Kovalev N. I. Efficiency of the complex use of organomineral fertilizer EcoFus with bioregulator Zircon on medicinal sage (*Salvia officinalis* L.) / N. I. Kovalev, E. L. Malankina // Vegetables of Russia. – 2019. – № 6(50). – P. 76–79. – DOI 10.18619/2072-9146-2019-6-76-79. – EDN PKJDHE. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=41499105>.

6. Korotkikh I.N. Culture of common sage (*Salvia officinalis* L.) in the conditions of the Moscow region / I. N. Korotkikh, M. V. Toporishcheva // Bulletin of the Kursk State Agricultural Academy. – 2023. – № 5. – P. 43–49. – EDN VHFSSB. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54171481>.

Сведения об авторах

Сумина Екатерина Владимировна, младший научный сотрудник, Белгородский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, e-mail: belgorod.vilar.nauka@yandex.ru.

Артемова Ольга Юрьевна, кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель агрономического факультета, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, e-mail: kuren.olya@rambler.ru.

Белецкий Сергей Викторович, научный сотрудник, Белгородский филиал федерального государственного бюджетного научного учреждения «Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений», п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, e-mail: belgorod.vilar.nauka@yandex.ru.

Information about authors

Sumina Ekaterina Vladimirovna, Junior Researcher, Belgorod branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants», Maysky, Belgorod District, Belgorod Region, Russia, e-mail: belgorod.vilar.nauka@yandex.ru.

Artemova Olga Yuryevna, PhD in Agricultural Sciences, Senior Lecturer, Agronomy Faculty, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», st. Vavilova, 1, Maysky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, e-mail: kuren.olya@rambler.ru.

Beletsky Sergey Viktorovich, research fellow, Belgorod branch of the Federal State Budgetary Scientific Institution «All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants», Maysky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, e-mail: belgorod.vilar.nauka@yandex.ru.

ИННОВАЦИОННАЯ ЭКОНОМИКА, УПРАВЛЕНИЕ ПРЕДПРИЯТИЯМИ АПК И СОЦИАЛЬНОЕ РАЗВИТИЕ СЕЛА

УДК 658.5:[331.2+331.108.24+658.155]

В.Л. Аничин, Е.В. Мальцева

СОСТОЯНИЕ ТРИАДЫ «ОПЛАТА ТРУДА - ТЕКУЧЕСТЬ КАДРОВ - РЕНТАБЕЛЬНОСТЬ ПРЕДПРИЯТИЯ» КАК УСЛОВИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ

Аннотация. Основной движущей силой современных бизнес-процессов является стремление владельцев физического и человеческого капиталов найти наилучшее применение последним, получая приемлемый доход в течение длительного времени. Материализация этих интересов происходит наиболее эффективно при продуктивном взаимодействии работодателей и работников. Авторы исходят из того, что продуктивность взаимодействия владельцев физического и человеческого капиталов может быть оценена по состоянию триады: оплата труда – текучесть кадров – рентабельность предприятия. Показано, что следует различать валовую и чистую текучесть кадров. Для оценки состояния триады на мезо- и макроуровнях допустимо использовать информацию о валовой текучести кадров. В статье излагаются результаты анализа взаимосвязи между элементами триады. Исходной информацией послужили данные государственной статистики об уровне оплаты труда и валовой текучести кадров в разрезе видов экономической деятельности по полному кругу организаций Белгородской области и в разрезе регионов Центрального федерального округа по виду экономической деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство». Оценены параметры корреляционно-регрессионной связи между валовой текучестью кадров и рентабельностью деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в регионах ЦФО. Сформулированы выводы о необходимости управлять соотношением элементов триады на микроуровне, организуя выполнение бизнес-процессов на взаимовыгодной основе для работодателей и работников.

Ключевые слова: оплата труда, текучесть кадров, рентабельность продукции, бизнес-процессы.

THE STATE OF THE TRIAD «REMUNERATION - STAFF TURNOVER - PROFITABILITY OF THE ENTERPRISE» AS A CONDITION FOR THE EFFECTIVENESS OF BUSINESS PROCESSES

Abstract. The main driving force of modern business processes is the desire of owners of physical and human capital to find the best use of the latter, receiving an acceptable income for a long time. The materialization of these interests occurs most effectively with the productive interaction of employers and employees. The authors proceed from the fact that the productivity of interaction between owners of physical and human capital can be assessed according to the state of the triad: remuneration – staff turnover – profitability of the enterprise. It is shown that gross and net staff turnover should be distinguished. To assess the state of the triad at the meso- and macro-levels, it is acceptable to use information on gross staff turnover. The article presents the results of the analysis of the relationship between the elements of the triad. The initial information was provided by state statistics on the level of wages and gross turnover of personnel in the context of economic activities for the full range of organizations in the Belgorod region and in the context of the regions of the Central Federal District by type of economic activity «Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming». The parameters of the correlation and regression relationship between gross staff turnover and profitability of «Agriculture, forestry, hunting, fishing and fish farming» in the regions of the Central Federal District are estimated. Conclusions are formulated about the need to manage the ratio of the elements of the triad at the micro level, organizing the implementation of business processes on a mutually beneficial basis for employers and employees.

Keywords: remuneration, staff turnover, profitability of products, business processes.

Введение. Связующим элементом в триаде «оплата труда – текучесть кадров – рентабельность предприятия» выступает текучесть кадров. Текучесть кадров – явление характерное для рыночной экономики. Работники, они же владельцы человеческого капитала, ищут для него наилучшее применение, а работодатели стремятся укомплектовать штат ответственными и компетентными исполнителями, замещая выбывших по различным причинам сотрудников. В связи с этим актуальными являются исследования по ряду направлений, начиная с измерения текучести кадров и заканчивая влиянием текучести кадров на результаты производственно-коммерческой деятельности.

Текучесть персонала может быть вызвана различными причинами, начиная от недостаточной оплаты труда и заканчивая неудовлетворительными условиями труда и недостаточным уровнем развития. При этом, отмечает Г.С. Кузьмин, текучесть персонала не только ухудшает общую эффективность работы организации, но и может отрицательно повлиять на ее репутацию [4]. С.В. Васильев, В.В. Грихно и М.В. Симонова полагают, что особую важность вопрос стабильности кадрового состава приобретает в кризисные периоды. Материальная мотивация остаётся одним из основных факторов влияния на текучесть персонала независимо от многих других, даже экстремальных явлений [2]. Л.А. Коптева и И.В. Романова отмечают, что эффективность работы предприятия в основном связана с персоналом и его деятельностью, поэтому как бы оно не было оснащено, какие бы новшества не были внедрены в производственный процесс – все это не будет давать результат, если наряду с физическим капиталом не будет применяться высокопроизводительный человеческий капитал [3]. В связи с этим представляет интерес выяснение того, в какой мере текучесть кадров влияет на экономические результаты предприятий. При том, что преобладает мнение, что текучесть кадров оказывает на них негативное влияние, распространено суждение о неких отраслевых нормах текучести кадров [6, 8].

Но прежде необходимо определиться с тем, каким образом измерять текучесть кадров. В настоящее время сложилась ситуация, когда термин «текучесть кадров» имеет два аспекта. Согласно распространенной в научной и учебной литературе трактовке, под текучестью кадров понимается выбытие работников по двум причинам: по собственному желанию и по инициативе работодателя. И одна, и другая причина обусловлены явным или скрытым конфликтом интересов сторон трудового договора. Таким образом, первый аспект термина «текучесть кадров» представляет ее как негативное явление. Росстат обобщает информацию о неполной занятости и движении работников на основе предоставляемой организациями квартал-

ной формы № П-4(НЗ) «Сведения о неполной занятости и движении работников» (без субъектов малого предпринимательства). Однако эта форма не содержит сведений о численности уволенных по инициативе работодателя, что не позволяет оперативно получать массовые данные о текучести кадров. Кроме того, на практике работнику, не отвечающему требованиям работодателя, зачастую предлагают уволиться по собственному желанию либо по соглашению сторон. Поэтому даже включение в форму № П-4(НЗ) строки «уволено по инициативе работодателя» не повысило бы объективность информации о текучести кадров в соответствии с первым аспектом. В результате, с учетом фактического состояния статистического наблюдения и практики расторжения трудовых договоров, имеет место второй аспект термина «текучесть кадров», в соответствии с которым показатель текучести кадров отождествляется с показателем оборота кадров по выбытию. В связи с этим, предлагаем: 1) использовать два термина: «чистая текучесть кадров» (в соответствии с первым аспектом термина) и «валовая текучесть кадров» (в соответствии со вторым аспектом); 2) на микроуровне следует оценивать чистую текучесть кадров, обусловленную релевантными причинами выбытия, к которым в первую очередь принадлежат собственное желание работника и инициатива работодателя; 3) для целей измерения влияния причин и следствий текучести кадров на мезо- и макро- уровнях допустимо использовать доступные массовые данные о валовой текучести кадров.

О.Н. Кутайцева, Д.Н. Лаптев и В.А. Бахметьев, не уточняя какую текучесть кадров они рассматривают (валовую или чистую), предлагают различать: а) естественный уровень текучести кадров промышленного предприятия в пределах 3-5 % от численности персонала; б) равновесный, при котором потери прибыли от текучести равны затратам на борьбу с текучестью; в) повышенный, фактический, вызывающий недопустимые экономические потери [5]. Есть основания предполагать, что универсальной, в том числе естественной, нормы текучести кадров не существует даже в пределах одной отрасли в силу значительной вариации факторов, влияющих на выбытие работников. С другой стороны, применительно к отдельно взятому предприятию всегда можно предпринять попытку идентифицировать индивидуальный уровень текучести кадров, снижение которого будет экономически нецелесообразным. Такой уровень текучести кадров следует трактовать как экономически приемлемый [1].

Основная часть. Анализ данных Росстата [7, 9] показывает, что между видами экономической деятельности имеют место различия, как по уровню валовой текучести кадров, так и по уровню среднемесячной оплаты труда (таблица 1).

Наименьшая валовая текучесть кадров в Белгородской области в 2023 г. и в среднем за 2017-2023 гг. имела место по видам экономической деятельности «Добыча полезных ископаемых» (13,7 %) и «Образование» (13,7 %), наибольшая по видам экономической деятельности «Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги» (63,8 %) и «Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания» (69,7 %).

Наибольший среднемесячный уровень оплаты труда в 2023 г. и в среднем за 2017-2023 гг. имел место по видам экономической деятельности «Деятельность в области информации и связи» (94,2 тыс. руб.) и «Добыча полезных ископаемых» (79,9 тыс. руб.), наименьший – по видам экономической деятельности «Деятельность административная и сопутствующие дополнительные услуги» (33,0 тыс. руб.) и «Деятельность гостиниц и предприятий общественного питания» (35,9 %).

Таблица 1 – Валовая текучесть кадров и среднемесячная номинальная начисленная заработная плата в Белгородской области за 2017-2023 гг.

Виды экономической деятельности	Валовая текучесть кадров			Среднемесячная оплата труда		
	В среднем, %	Тренд, %	Тренд к среднему уровню	В среднем, тыс. руб.	Тренд, %	Тренд к среднему уровню
Сельское, лесное хозяйство, ...	33,7	0,318	0,009	41,9	4,61	0,110
Добыча полезных ископаемых	11,2	0,579	0,052	59,7	6,39	0,107
Обрабатывающие производства	26,3	-0,086	-0,003	42,1	4,51	0,107
Обеспечение электрической энергией, ...	16,3	0,554	0,034	45,0	3,36	0,075
Водоснабжение; водоотведение, ...	32,3	1,179	0,036	30,1	2,81	0,093
Строительство	39,7	0,825	0,021	35,7	4,33	0,121
Торговля оптовая и розничная; ...	48,9	0,125	0,003	33,0	3,15	0,095
Транспортировка и хранение	31,3	-0,111	-0,004	37,3	4,14	0,111
Деятельность гостиниц ...	62,8	-1,925	-0,031	26,0	2,76	0,106
Деятельность в области информации ...	23,8	1,482	0,062	58,5	8,45	0,144
Деятельность финансовая ...	28,6	0,614	0,021	56,3	3,84	0,068
Деятельность по операциям с недвижимым имуществом	35,0	0,204	0,006	30,0	2,47	0,082
Деятельность профессиональная, научная и техническая	29,5	-0,350	-0,012	48,6	4,70	0,097
Деятельность административная ...	41,7	6,179	0,148	23,4	2,65	0,113
Государственное управление и ...	16,4	0,407	0,025	45,4	4,16	0,092
Образование	11,7	0,407	0,035	32,8	3,69	0,112
Деятельность в области здравоохранения ...	16,1	1,011	0,063	36,5	3,54	0,097
Деятельность в области культуры, ...	20,2	1,171	0,058	33,0	3,09	0,094

За 2017-2023 гг. по большинству видов экономической деятельности имела место тенденция увеличения валовой текучести кадров. Показатель тренда рассчитывался с использованием табличного процессора Excel (функция «Наклон»).

Параметры корреляционно-регрессионной связи между среднемесячной номинальной начисленной заработной платой и уровнем валовой текучести кадров в разрезе видов экономической деятельности в Белгородской области представлены в таблице 2. Полученные результаты свидетельствуют, что между среднемесячной номинальной начисленной заработной платой и уровнем валовой текучести кадров в разрезе видов экономической деятельности в Белгородской области имеет место обратная статистическая зависимость: чем выше уровень оплаты труда, тем ниже валовая текучесть кадров. За 2017-2023 гг. парный коэффициент корреляции находился в интервале - 0,574 ... - 0,436. Это означает, что вариацией уровня оплаты труда по видам экономической деятельности в Белгородской области объясняется 19,0...32,9 % изменчивости уровня валовой текучести кадров. Повышение месячной оплаты труда на 1 тыс. руб. влекло снижение валовой текучести кадров на 0,5...0,8 процентных пунктов.

Таблица 2 – Параметры корреляционно-регрессионной связи между среднемесячной номинальной начисленной заработной платой (тыс. руб.) и уровнем валовой текучести кадров (%) в разрезе видов экономической деятельности в Белгородской области

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Парный коэффициент корреляции	-0,446	-0,442	-0,436	-0,574	-0,450	-0,484	-0,570
Коэффициент детерминации	0,199	0,195	0,190	0,329	0,203	0,234	0,325
Коэффициент регрессии	-0,691	-0,835	-0,762	-0,605	-0,540	-0,504	-0,565
Уровень значимости	0,064	0,066	0,071	0,013	0,061	0,041	0,014

В контексте нашего исследования представляет интерес анализ статистической связи между среднемесячной номинальной начисленной заработной платой и уровнем валовой текучести кадров по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» по совокупности областей Центрального федерального округа.

Информация о валовой текучести кадров и среднемесячной оплате труда по полному кругу организаций по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в областях ЦФО представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Валовая текучесть кадров и среднемесячная номинальная начисленная заработная плата по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в областях ЦФО за 2017-2023 гг.

Области	Валовая текучесть кадров			Среднемесячная оплата труда		
	В среднем, %	Тренд, %	Тренд к среднему уровню	В среднем, тыс. руб.	Тренд, %	Тренд к среднему уровню
Белгородская	33,7	0,318	0,009	41,9	4,61	0,110
Брянская	36,3	-0,607	-0,017	34,6	3,82	0,110
Владимирская	42,4	-1,532	-0,036	33,9	4,17	0,123
Воронежская	41,5	-0,214	-0,005	36,1	4,22	0,117
Ивановская	35,4	-2,307	-0,065	25,9	2,70	0,104
Калужская	48,5	-0,775	-0,016	37,4	4,06	0,109
Костромская	39,2	1,643	0,042	27,3	3,94	0,144
Курская	37,6	0,504	0,013	39,7	5,01	0,126
Липецкая	37,5	-1,261	-0,034	39,7	4,44	0,112
Московская	57,8	0,789	0,014	48,0	4,23	0,088
Орловская	35,7	-0,832	-0,023	36,8	4,85	0,132
Рязанская	36,9	0,568	0,015	35,5	4,26	0,120
Смоленская	31,1	1,332	0,043	27,0	3,85	0,143
Тамбовская	36,2	0,100	0,003	38,6	4,79	0,124
Тверская	38,3	0,957	0,025	32,5	4,45	0,137
Тульская	48,7	-0,243	-0,005	40,2	4,97	0,124
Ярославская	41,1	0,411	0,010	33,5	3,75	0,112

В отличие от предыдущего анализа, где различия в уровне фактора и отклика во многом были обусловлены особенностями видов экономической деятельности, в данном случае значимым фактором выступает региональная специфика. Так, наибольшая валовая текучесть кадров по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» имеет место в Московской области, в которой и самый высокий уровень оплаты труда. Один из самых низких уровней текучести кадров наблюдается в Ивановской области, в которой при этом самый низкий уровень оплаты труда. Очевидно, что многое здесь зависит от того, какими вариантами применения располагают владельцы человеческого капитала. Таких вариантов в Московской области гораздо больше, чем в Ивановской области. Этим можно объяснить факт того, что в Ивановской области и ряде других областей наблюдается отрицательный тренд уровня валовой текучести кадров по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство».

Самые высокие среднегодовые абсолютные приросты оплаты труда (тренды) в анализируемом периоде наблюдались в Курской, Тульской и Тамбовской областях, а относительные (отношение тренда к среднему уровню) – в Тверской, Костромской и Смоленской областях.

Выполненный корреляционно-регрессионный анализ свидетельствует о прямой зависимости между уровнем оплаты труда и валовой текучестью кадров по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» (таблица 4).

Таблица 4 – Параметры корреляционно-регрессионной связи между среднемесячной номинальной начисленной заработной платой (тыс. руб.) и уровнем валовой текучести кадров (%) по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в областях ЦФО

	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Парный коэффициент корреляции	0,632	0,168	0,624	0,580	0,698	0,310	0,343
Коэффициент детерминации	0,400	0,028	0,389	0,336	0,487	0,096	0,118
Коэффициент регрессии	0,914	0,348	1,029	0,685	0,855	0,363	0,354
Уровень значимости	0,006	0,520	0,007	0,038	0,002	0,226	0,178

В связи с представленными в табл. 4 результатами возникают следующие предположения:

- работодатели сельскохозяйственных организаций, стремясь уменьшить текучесть кадров, повышают уровень оплаты «вдогонку» именно в тех условиях места и времени, в которых высокая текучесть кадров негативно сказывается на результатах производственно-коммерческой деятельности;

- уровень и темпы роста оплаты труда по ряду других видов экономической деятельности опережают уровень и темпы роста оплаты труда по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство», что и обуславливает переток рабочей силы из аграрного сектора экономики даже при повышении оплаты в сельскохозяйственных организациях.

Для анализа влияния текучести кадров на экономическое состояние сельскохозяйственных организаций использована информация об уровне рентабельности проданных товаров, продукции, работ, услуг по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в областях ЦФО, % [10].

Принято во внимание то обстоятельство, что между изменением уровня текучести кадров и изменением уровня рентабельности предприятия существует определенный лаг. Поэтому более корректно использовать в корреляционном анализе данные с разницей в один год. Например, текучести кадров в 2017 г. следует противопоставить рентабельность в 2018 г. результаты такого анализа приведены в таблице 5. Полученные результаты свидетельствуют об обратной зависимости между валовой текучестью кадров и рентабельностью. По годам анализируемого периода парный коэффициент корреляции находится в интервале

– 0,449...– 0,139.

Таблица 5 – Параметры корреляционно-регрессионной связи между уровнем валовой текучести кадров (%) и уровнем рентабельности проданных товаров, продукции, работ, услуг (%) по виду деятельности «Сельское, лесное хозяйство, охота, рыболовство и рыбоводство» в областях ЦФО при лаге 1 год

	2017-2018	2018-2019	2019-2020	2020-2021	2021-2022	2022-2023
Парный коэффициент корреляции	-0,261	-0,308	-0,244	-0,278	-0,139	-0,449
Коэффициент детерминации	0,068	0,095	0,059	0,077	0,019	0,202
Коэффициент регрессии	-0,355	-0,243	-0,377	-0,702	-0,182	-0,503
Уровень значимости	0,312	0,229	0,346	0,358	0,595	0,071

Статистическая незначимость годичных связей между текучестью кадров и рентабельностью ($\alpha > 0,05$) преодолевается объединением эмпирической информации за 2017-2023 гг. Парный коэффициент корреляции, рассчитанный по всему массиву данных, составил – 0,277 при уровне значимости 0,006. Уравнение регрессии и корреляционное поле отражены на рисунке 1.

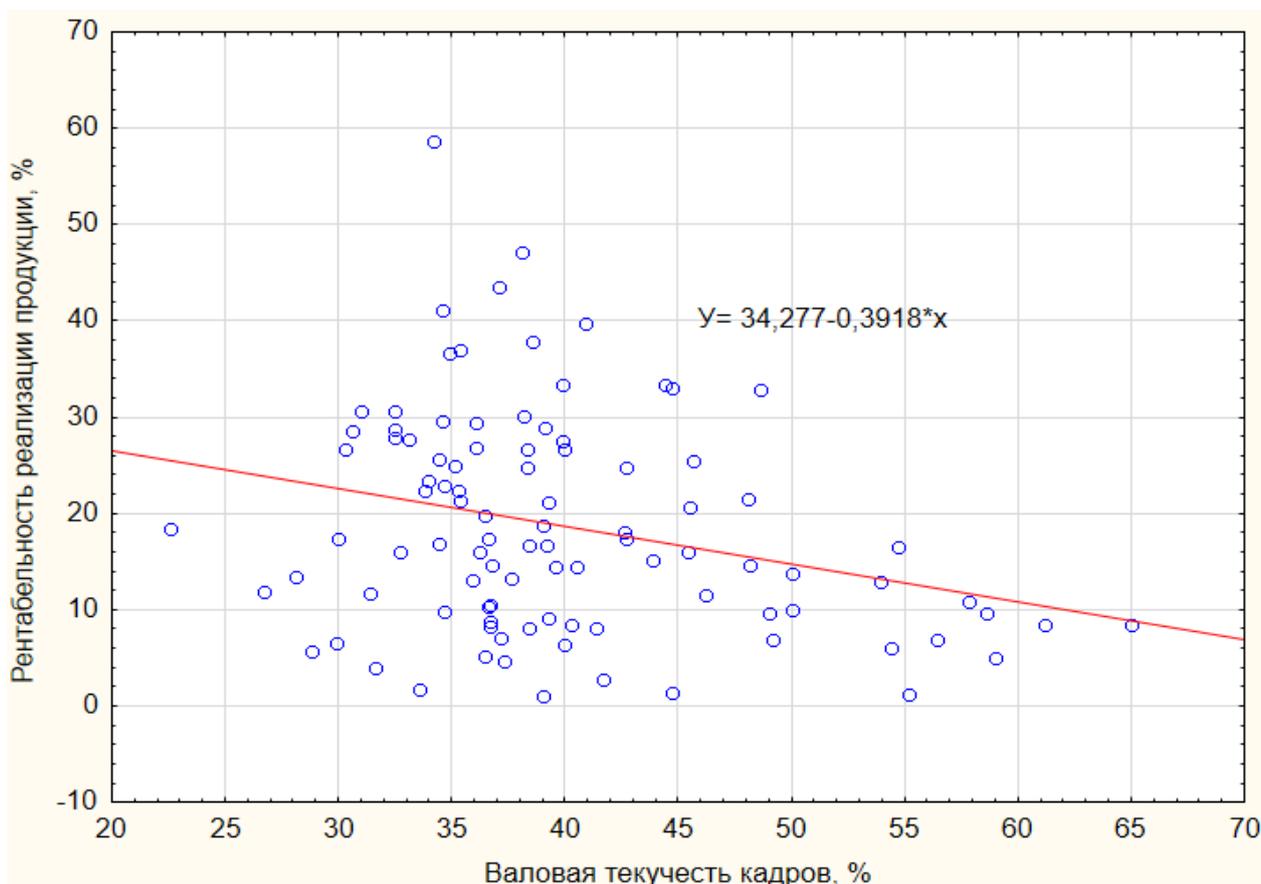


Рис. 1 – Корреляционное поле зависимости между валовой текучестью кадров и рентабельностью реализации продукции при лаге 1 год

Таким образом, повышение уровня текучести кадров на 1 процентный пункт сопровождалось снижением рентабельности реализации продукции в анализируемом периоде на 0,392 процентных пункта.

Выводы. Прямая статистическая связь (незначимая по данным за 2018, 2022, 2023 гг. и значимая по данным за 2017, 2019, 2020 и 2021 гг.) между оплатой сельскохозяйственного труда и валовой текучестью кадров в сельскохозяйственных организациях указывает на то, что рост оплаты труда не предотвращает выбытие работников, а лишь уменьшает еще больший потенциальный отток человеческого капитала из аграрной экономики. Вероятно, это обусловлено двумя обстоятельствами: 1) происходящим ростом производительности сельскохозяйственного труда, влекущим и компенсирующим высвобождение человеческого капитала; 2) общим уменьшением численности сельского населения, включая численность экономически активного населения.

Учитывая это, а также статистически значимую обратную связь между текучестью кадров и рентабельностью продукции, необходимо обеспечивать рациональное соотношение элементов триады на микроуровне, планируя и организуя бизнес-процессы на взаимовыгодной основе, как для работодателей, так и для владельцев человеческого капитала.

Библиография

1. Аничин В.Л., Худобина Г.И., Яковенко Н.Ю. Текучесть кадров: измерение и управление // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2021. № 1(29). С. 142–149. EDN: CSMTJN.
2. Васильев С.В., Грихов В.В., Симонова М.В. Особенности выбора инструментов управления текучестью персонала // Актуальные проблемы социальных и трудовых отношений. Материалы X Международной научно-практической конференции, посвященной 300-летию образования Российской академии наук. Махачкала, 2023. С. 163–166. EDN: LGJTBR.
3. Коптева Л.А., Романова И.В. Влияние причин текучести персонала на устойчивость развития компаний // Финансовый бизнес. 2023. № 3(237). С. 43–47. EDN: HVQKAK.
4. Кузьмин Г.С. Современные проявления воздействия внутренних конфликтов на текучесть кадров и экономическую безопасность организации // Отходы и ресурсы. 2023. Т. 10. № 1. EDN: EKIQUD.
5. Кутайцева О.Н., Лаптев Д.Н., Бахметьев В.А. Алгоритм управления текучестью кадров промышленных предприятий // Политика и общество. 2024. № 1. С. 27–44. DOI: 10.7256/2454-0684.2024.1.69060.
6. Норма текучести кадров. URL: <https://www.hr-director.ru/article/67494-norma-tekuchesti-kadrov-19-m10> (дата обращения: 15.10.2024).
7. Среднемесячная номинальная начисленная заработная плата на одного работника по полному кругу организаций с 2017 г. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58701> (дата обращения: 15.10.2024).
8. Текучесть кадров: нормы, причины и последствия. URL: <https://dasreda.ru/media/for-managers/tekuchest-kadrov/> (дата обращения: 15.10.2024).
9. Удельный вес численности выбывших работников в среднесписочной численности с 2017 г. (процент). URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58140> (дата обращения: 15.10.2024).
10. Уровень рентабельности (убыточности) проданных товаров, продукции, работ, услуг с 2017 г. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58036> (дата обращения: 15.10.2024).

References

1. Anichin V.L., Khudobina G.I., Yakovenko N.Yu. Staff turnover: measurement and control // Innovations in agricultural complex: problems and perspectives. 2021. № 1(29). Pp. 142–149. EDN: CSMTJN (in Russian).
2. Vasiliev S.V., Grikhno V.V., Simonova M.V. Features of the choice of staff turnover management tools // Current problems of social and labor relations. Materials of the X International Scientific and Practical Conference dedicated to the 300th anniversary of the formation of the Russian Academy of Sciences. Makhachkala, 2023. Pp. 163–166. EDN: LGJTBR (in Russian).
3. Kopteva L.A., Romanova I.V. The influence of the causes of staff turnover on the sustainability of company development // Innovative business. 2023. № 3(237). Pp. 43–47. EDN: HVQKAK (in Russian).
4. Kuzmin G.S. Modern manifestations of the impact of internal conflicts on staff turnover and economic security of the organization // Waste and resources. 2023. Vol. 10. № 1. EDN: EKIQUD (in Russian).
5. Kutaitseva O.N., Laptev D.N., Bakhmetyev V.A. Algorithm for personnel turnover management of industrial enterprises // Politics and Society. 2024. № 1. Pp. 27–44. DOI: 10.7256/2454-0684.2024.1.69060 (in Russian).
6. Staff turnover rate. URL: <https://www.hr-director.ru/article/67494-norma-tekuchesti-kadrov-19-m10> (in Russian).
7. The average monthly nominal accrued salary per employee for a full range of organizations since 2017. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58701> (in Russian).
8. Staff turnover: norms, causes and consequences. URL: <https://dasreda.ru/media/for-managers/tekuchest-kadrov/> (in Russian).
9. The share of the number of retired employees in the average number since 2017. (percentage) URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58140> (in Russian).
10. The level of profitability (loss-making) of goods, products, works, and services sold since 2017. URL: <https://www.fedstat.ru/indicator/58036> (in Russian).

Сведения об авторах

Аничин Владислав Леонидович, доктор экономических наук, профессор кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+79038860493, e-mail: vladislavanichin@rambler.ru.

Мальцева Елена Витальевна, аспирант кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, e-mail: elena-erem@bk.ru.

Information about authors

Anichin Vladislav Leonidovich, Doctor of Economics, Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy, Belgorod region, Russia, tel. +79038860493, e-mail: vladislavanichin@rambler.ru.

Maltseva Elena Vitalievna, Postgraduate student of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Mayskiy, Belgorod region, Russia, e-mail: elena-erem@bk.ru.

УДК 332.133.23

А.Ф. Дорофеев, Д.А. Масалытина

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО КАПИТАЛА В АГРАРНОЙ СФЕРЕ НА ПРИМЕРЕ БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ

Аннотация. В статье рассмотрены основные тенденции развития человеческого капитала аграрного сектора Белгородской области, актуализированы вопросы разработки теоретико-методологических положений и научно-практических рекомендаций по совершенствованию системы развития человеческого капитала, способствующих повышению эффективности и конкурентоспособности сельскохозяйственных предприятий, переходу на инновационную модель развития аграрного сектора и сельских территорий в современных условиях. Сложившиеся в последнее время тенденции развития аграрного сектора региона характеризуются повышением степени интенсивности труда на сельскохозяйственных предприятиях, укрупнением и концентрации производства. При этом к положительным факторам развития человеческого капитала аграрного сектора можно отнести рост доходов сельского населения, рост заработной платы занятых в сельском хозяйстве, превышение темпов роста среднемесячной заработной платы в сельском хозяйстве по сравнению с другими отраслями. К негативным тенденциям относятся рост естественной убыли сельского населения, старение сельского населения, и, как следствие, снижение общей численности трудоспособных граждан, сокращение обитаемых сельских населённых пунктов. С целью сохранения села, как значимой части государства, необходимо предпринять ряд мер, направленных прежде всего на развитие несельскохозяйственных сфер занятости и сельских территорий в целом.

Ключевые слова: человеческий капитал, трудовые ресурсы, аграрная сфера, производство продукции сельского хозяйства, мотивация, Белгородская область.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF HUMAN CAPITAL IN THE AGRICULTURAL SECTOR ON THE EXAMPLE OF THE BELGOROD REGION

Abstract. The article examines the main trends in the development of human capital in the agricultural sector of the Belgorod region, actualizes the issues of developing theoretical and methodological provisions and scientific and practical recommendations for improving the human capital development system, contributing to improving the efficiency and competitiveness of agricultural enterprises, the transition to an innovative model of development of the agricultural sector and rural areas in modern conditions. The recent trends in the development of the agricultural sector in the region are characterized by an increase in the degree of labor intensity at agricultural enterprises, consolidation and concentration of production. At the same time, the positive factors of the development of human capital in the agricultural sector include an increase in the incomes of the rural population, an increase in wages of those employed in agriculture, and an excess of the growth rate of average monthly wages in agriculture compared with other industries. Negative trends include an increase in the natural decline of the rural population, the aging of the rural population, and, as a result, a decrease in the total number of able-bodied citizens, a decrease in inhabited rural settlements. In order to preserve the village as an important part of the state, it is necessary to take a number of measures aimed primarily at the development of non-agricultural employment and rural areas in general.

Keywords: human capital, human resources, agricultural sector, agricultural production, motivation, Belgorod region.

Курс на самообеспеченность страны продовольствием и продукцией сельского хозяйства [1], намеченный в Доктрине продовольственной безопасности России, в условиях реального времени приобретает особое значение и может быть выдержан исключительно при всестороннем развитии человеческого капитала, формируемого в аграрном секторе экономики. Сложившиеся в последние годы тенденции урбанизации и повышения уровня сложности аграрного труда устанавливают высокие требования к его качественным параметрам.

Функционирование экономики и социальной сферы села создает условия для воспроизводства и развития человеческого капитала АПК. В свою очередь качественные характеристики работников, занятых в отраслях, их квалификация, профессиональные характеристики, уровень их мотивации, величина получаемых доходов и т.д. существенным образом влияют на динамику развития аграрной сферы.

Одним из успешных примеров может служить аграрный сектор Белгородской области. Проводимая администрацией региона политика в данной сфере в последние десятилетия создала условия для динамичного развития отраслей агропромышленного комплекса.

В процессе выполнения работы был использован широкий перечень научных методов и подходов, среди которых необходимо выделить логический, монографический, статистический, аналитический. Обобщение материалов литературных источников позволило сформулировать актуальность поставленной в работе проблематики. Использование логического метода создало условия для построения значимых причинно-следственных связей между социально-экономическими показателями развития аграрного сектора Белгородской области и факторами, оказывающими влияние на развитие человеческого капитала. На базе применения статистического метода осуществляется формирование релевантной информации для проведения ретроспективного анализа развития сельскохозяйственных предприятий. Аналитический метод используется в работе в формате исследования динамики комплекса показателей, генерирующих актуальные тенденции развития человеческого капитала аграрного сектора Белгородской области.

Анализ показателей производства основных видов сельскохозяйственной продукции по категориям хозяйств показывает, что за период с 2010 по 2022 гг. производство зерна в регионе увеличилось в 3,5 раза, сахарной свеклы – в 1,8 раза, подсолнечника – в 1,6 раза, овощей – в 7,4 раза. В сравнении с 2010 г. рост урожайности зерновых составил 254 %, сахарной свеклы 175 %, подсолнечника – 138 %, картофеля – 162 %.

Внедрение современных технологий в животноводческую отрасль привело к повышению его эффективности [2]. Так, весомым примером может служить показатель надоя молока на корову в 2022 г., который превысил в 1,6 раза уровень продуктивности 2010 г.

В результате проведенного анализа мы видим, что существенные изменения произошли в структуре производимой продукции в разрезе категорий хозяйств. Можно проследить, что с 2010 по 2022 г. снизилась доля продукции сельского

хозяйства, которая была произведена в хозяйствах населения с 41,9 до 36,8 %, в то время как доля произведенной сельскохозяйственной продукции в сельскохозяйственных организациях и крестьянских (фермерских) хозяйствах увеличилась соответственно с 53,1 % до 55,7 % и с 4,9 % до 7,5 % (рис. 1).

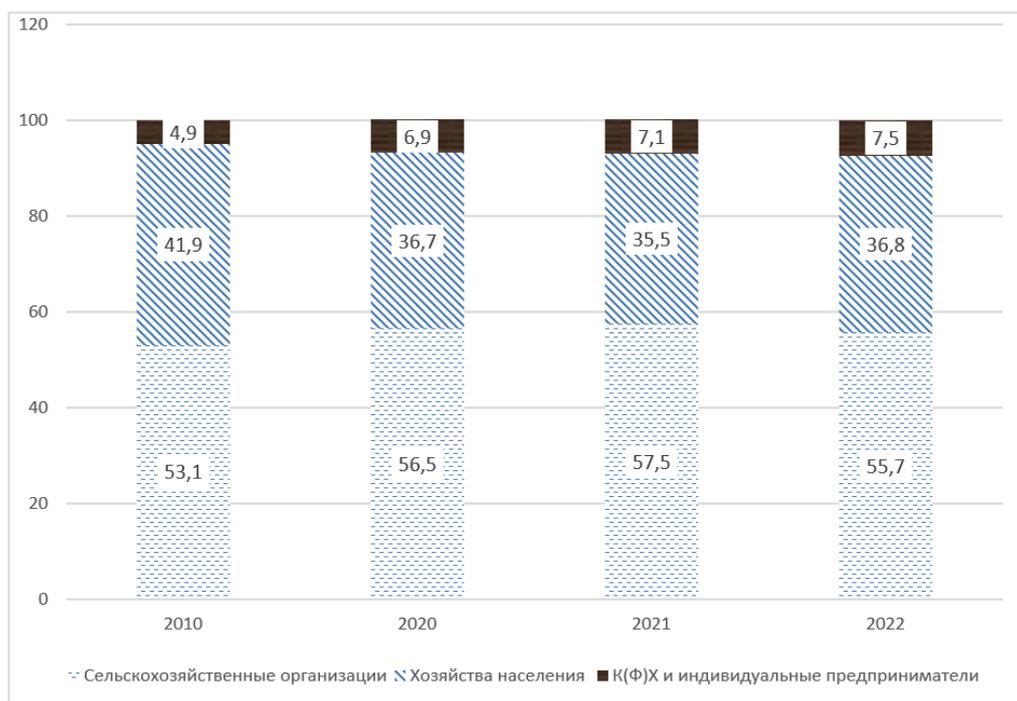


Рис. 1 – Доля сельхозтоваропроизводителей по категориям хозяйств в производстве продукции сельского хозяйства Белгородской области за 2010-2022гг., %. [рассчитано авторами по данным <https://31.rosstat.gov.ru>]

Проведя сравнительный анализ основных показателей ресурсного потенциала сельскохозяйственных предприятий, можно отметить основополагающие тенденции: вследствие увеличения площадей посевов и использования современных техники и технологий произошло значительное повышение нагрузки на единицу сельскохозяйственной техники и возросла интенсивность труда среднегодового работника (табл. 1). Данная тенденция развития является логичным продолжением процессов, происходящих в аграрной экономике региона: внедрение прогрессивных технологий позволило обеспечить снижение трудоемкости производимой продукции и повысить производительность труда [10]. При этом на фоне общего сокращения численности работников предприятий аграрного сектора изменяется структура спроса на рабочую силу, повышаются требования к качеству человеческого капитала.

Таблица 1 – Ресурсный потенциал сельскохозяйственных предприятий Белгородской области за 2010-2022 гг. [рассчитано авторами по данным <https://31.rosstat.gov.ru>]

Показатели	Годы				2022 г. в % к 2010 г
	2010	2015	2021	2022	
Приходится в среднем на среднегодового работника:					
посевной площади, га	9,5	11,1	12,9	12,3	109,5
крупного рогатого скота, гол.	1,9	1,7	2,1	2,0	105,3
в том числе: коров	0,8	0,7	0,8	0,8	100,0
Свиней	16,3	28,3	38,3	36,9	2,3 раз
коз и овец	0,6	0,8	0,6	0,5	83,3
Нагрузка посевных площадей на 1 трактор, га	206,5	288,8	307	317	1,5 раз
Приходится, га:					
зерновых посевов на 1 зерноуборочный комбайн	462,5	661,2	419	486	1,1 раз
посевов сахарной свеклы на 1 свеклоуборочный комбайн	313,4	278,7	459	759	2,4 раз

Анализ ресурсного потенциала сельскохозяйственной отрасли за период с 2010 по 2022 гг. свидетельствует об увеличении показателей, рассчитанных на 1-го среднегодового работника: посевная площадь увеличилась на 9,5 %, поголовье крупного рогатого на 5,3 %, количество свиней в 2,3 раза. Также наблюдается рост нагрузки на сельскохозяйственную технику. Так, нагрузка посевных площадей на 1 трактор возросла с 206,5 до 317 (рост составил 1,5 раза), площадь зерновых

посевов на 1 зерноуборочный комбайн выросла в 1,1 раза, а посевов сахарной свеклы с 313,4 до 759 в 2022 г. (рост в 2,4 раза).

Согласно данным, приведенных в таблице 2, можно проследить повышение среднемесячного уровня заработной платы в сельском хозяйстве в 2022 г. в 3,5 раза в сравнении с 2010 г.

Исходя из анализа данных статистики, можно сделать вывод, что в формировании спроса на рабочую силу в сельской местности наблюдаются смещение спроса в сторону несельскохозяйственной занятости, если в 2010 г. показатель сельского трудоспособного населения, занятых в аграрной сфере, составлял 45 %, то к 2022 г. лишь 31,9 %.

Таблица 2 – Показатели развития человеческого капитала в сельском хозяйстве Белгородской области за 2010-2022 гг. [рассчитано по данным статистического сборника «Белгородская область в цифрах за 2022 год»]

Показатели	Годы				
	2010	2015	2020	2021	2022
Среднемесячная заработная плата в сельском хозяйстве, руб.	14411,0	24855,0	38439,4	43404,6	51086,0
в % к ее уровню по экономике в целом	90,4	104,0	102,7	103,9	107,2
в % к среднемесячной заработной плате в сельском хозяйстве РФ	135,1	140,2	110,6	110,1	109,2
Доля фонда оплаты труда сельскохозяйственных организаций, %:					
в общих затратах	12,6	12,8	11,0	10,5	11,1
Доля сельского населения в общей численности населения, %	33,8	33,1	32,5	34,8	34,7
Структура сельского населения по трудоспособному возрасту, %:					
моложе трудоспособного возраста	15,4	15,9	16,4	16,3	16,3
трудоспособного возраста	56,2	55,0	53,4	53,1	54,6
старше трудоспособного возраста	28,4	29,2	30,2	30,5	29,1
Среднегодовая численность работников сельскохозяйственных организаций, тыс. чел.	131,4	130,2	100,0	95,1	92,7
Доля работников сельскохозяйственных организаций Белгородской области в общей численности сельского населения трудоспособного возраста, %	45,0	46,2	37,2	35,8	31,9

При этом следует отметить, что на общем фоне снижения численности сельского населения в России, в Белгородской области наблюдается обратная тенденция: этот показатель растёт.

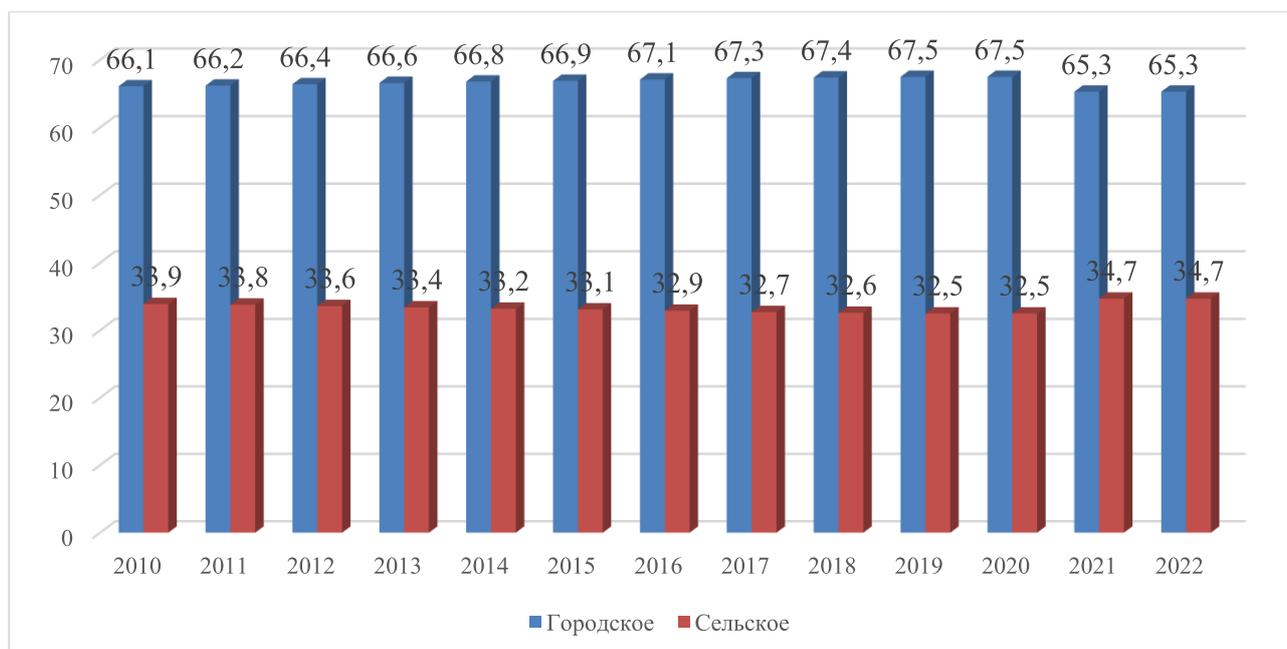


Рис. 2 – Динамика численности городского и сельского населения Белгородской области за 2010-2022 гг., в %. [рассчитано по данным <https://31.rosstat.gov.ru>]

Анализ данных статистики показывает, что в период с 2010 по 2022 гг. в Российской Федерации произошло сокращение численности сельского населения на 1,6 %. В то же время в Белгородской области за аналогичный период произошло увеличение сельского населения с 519,6 тыс. чел до 533,1 тыс. чел. При этом стоит отметить, что рост численности происходил не за счет естественного прироста (рождаемость - смертность), а за счет миграционного прироста.

Таким образом, анализ динамики функционирования человеческого капитала Белгородской области позволяет выделить следующие тенденции:

- увеличение общей численности населения за период с 2010 по 2022 г. на 4 тыс. чел. или на 0,3 %;
- рост численности сельского населения на 13,5 тыс. чел. или на 2,6 %;
- рост доли сельского населения в общей численности всего населения с 33,9 % в 2010 г. до 34,7 % в 2022 г.;
- уменьшение среднегодовой численности работников сельскохозяйственных организаций с 131,4 тыс. чел. в 2010 г. до 92,7 тыс. чел. в 2022 г.;
- снижение доли работников сельскохозяйственных организаций Белгородской области в общей численности сельского населения трудоспособного возраста.

Проведенное исследование позволило выявить основные тенденции развития человеческого капитала аграрного сектора Белгородской области. К положительным тенденциям, исходя из проведенного анализа, следует отнести рост доходов сельского населения, рост заработной платы занятых в сельском хозяйстве, превышение темпов роста среднемесячной заработной платы в сельском хозяйстве по сравнению с другими отраслями. К отрицательным тенденциям относится рост естественной убыли сельского населения, как следствие снижения общей численности трудоспособных граждан. В условиях постоянного внедрения прогрессивных технологий в аграрную сферу сокращение занятости в сельском хозяйстве является закономерным явлением. С целью сохранения села, как значимой части государства, необходимо предпринять ряд мер, направленных прежде всего на развитие несельскохозяйственных сфер занятости и сельских территорий в целом. Несмотря на отмеченный рост уровня заработной платы сельского населения, аграрный бизнес все ещё ориентирован на сокращение затрат за счет уменьшения доли фонда оплаты труда в общих затратах на производство продукции. Так, за период с 2010 по 2022 гг. доля фонда оплаты труда сельскохозяйственных организаций в общих затратах сельскохозяйственных предприятий снизилась в 1,1 раза. Значительную роль играет и нехватка кадров, которая складывается, в первую очередь, из-за отсутствия необходимой квалификации потенциальных работников, старения собственных кадров, отсутствия возможностей для привлечения специалистов из других территорий. На территории Белгородской области крупные агропромышленные предприятия успешно решают вопрос нехватки кадров путем создания условий для закрепления высококвалифицированных специалистов за счет строительства и предоставления жилья.

В связи с этим, представляется целесообразным предложить организационно-экономический механизм обеспечения стратегического развития агропромышленного комплекса, который, в свою очередь, в современных условиях можно разделить на две составляющих:

Во-первых, организационный механизм, включающий в себя совокупность институтов поддержки, нормативно-правовое регулирование, организационную и производственную структуру, государственно-частное партнерство, методы и формы управления, информационно-технологическую поддержку и т.д.;

Во-вторых, экономический механизм, включающий льготное кредитование, субсидирование, льготное налогообложение, целевые программы, бюджетные инвестиции и т.д.

С нашей точки зрения, к числу приоритетных направлений государственной поддержки инновационного развития человеческого капитала агропромышленного комплекса региона в условиях санкций, следует отнести следующие:

- создание условий для использования достижений отечественной генетики и селекции в сельскохозяйственном производстве;
- обеспечение доступа субъектов АПК региона к льготным кредитным ресурсам;
- государственная поддержка развития сельской инфраструктуры;

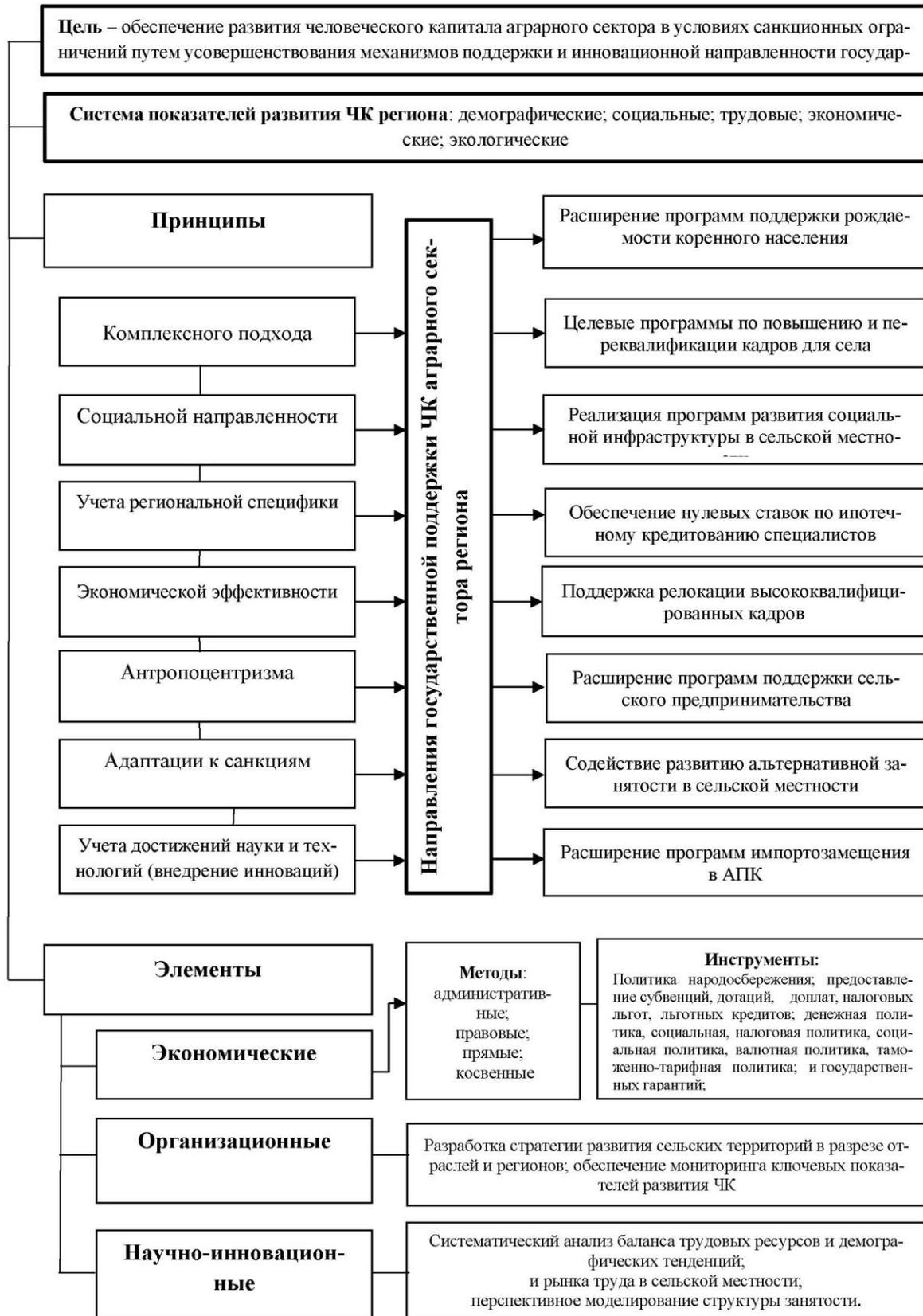


Рис. 3 – Организационно-экономический механизм обеспечения инновационного развития человеческого капитала АПК региона в условиях санкций

- реализация целевых программ развития отраслей АПК, в том числе направленных на замещение санкционного импорта;
- создание и реализация целевых программ по подготовке, переподготовке и повышению квалификации кадров для агропромышленного комплекса (рис. 3).

В современных условиях, когда мировая экономика становится все более глобализированной, особую важность приобретает развитие сельского хозяйства и повышение качества образования в этой отрасли. Санкции, наложенные на нашу

страну, создают дополнительные трудности для развития АПК и его главной сферы – сельского хозяйства, однако взаимодействие всех элементов – государственного регулирования, поддержки сельского хозяйства и повышения качества жизни в сельской местности – позволит справиться с этими вызовами и обеспечить стабильное развитие регионального агропромышленного комплекса.

Государственное регулирование и поддержка АПК региона в условиях санкций являются необходимыми элементами для успешного развития отрасли. Одним из главных инструментов государственного регулирования является разработка и реализация целевых программ, направленных на поддержку АПК региона. Эти программы должны предусматривать меры по содействию развитию аграрных предприятий, обеспечению доступа к кредитам, субсидированию затрат на производство и повышению конкурентоспособности отечественных товаропроизводителей.

На федеральном уровне необходимо на законодательной основе обеспечить приоритетность развития сельских территорий, включающее в себя широкомасштабное использование программ субсидирования строительства жилья в сельской местности, нулевые ставки ипотечного кредита, выплаты «подъемных» переезжающих в сельскую местность квалифицированных специалистов, в том числе, неаграрных профессий, представителей так называемой «сельской интеллигенции», все это должно стать неотъемлемыми условиями для инновационного развития отраслей АПК, как на федеральном, так и на региональном уровнях.

Одним из важнейших приоритетов развития человеческого капитала аграрного сектора в современных условиях должна являться система аграрного образования, в основе которой должны лежать принципы практикоориентированности, учета перспектив развития АПК на основе инновационных подходов, которая должна предоставлять студентам широкие возможности для получения не только специальных знаний, но и для развития компетенций, необходимых для успешной работы в динамично развивающихся секторах. Обучение должно быть ориентировано на практику, включать в себя курсы по интеграции знаний из разных областей, а также предоставлять возможности для стажировок на современных сельскохозяйственных предприятиях.

Библиография

1. Указ Президента Российской Федерации от 21 января 2020 г. № 20 «Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации».
2. Дорوفеев А.Ф. Развитие человеческого капитала в аграрном секторе России: диссертация доктора эконом. наук: 08.00.05 / Дорوفеев Андрей Федорович. – Воронеж, 2018. – 404 с.
3. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2010. Стат. Сб. / Росстат. – Москва, 2010. – 990 с.
4. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2015. Стат. Сб. / Росстат. – Москва, 2015. – 981 с.
5. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2020. Стат. Сб. / Росстат. – Москва, 2020. – 1226 с.
6. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2021. Стат. Сб. / Росстат. – Москва, 2021. – 1231 с.
7. Регионы России. Социально-экономические показатели. 2022. Стат. Сб. / Росстат. – Москва, 2022. – 1128 с.
8. Сельское хозяйство Белгородской области. 2022. Стат. Сборник / Белгородстат. – Белгород, 2022. – 504 с.
9. Российский статистический ежегодник. 2023. Стат. Сб. / Росстат. – Москва, 2023. – 704 с.
10. Тюпаков К.Э. Формы и источники финансирования воспроизводства материально-технической базы отечественных сельхозтоваропроизводителей / К. Э. Тюпаков, И. А. Папахчян // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия : Экономика. – 2012. – № 2. – С. 142–150.

References

1. Decree of the President of the Russian Federation dated January 21, 2020 «On Approval of the Food Security Doctrine of the Russian Federation».
2. Dorofeev A.F. Development of human capital in the agricultural sector of Russia: dissertation of the Doctor of Economics. Sciences: 08.00.05 / Dorofeev Andrey Fedorovich. – Voronezh, 2018. – 404 p.
3. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2010. Stat. Sat. / Rosstat. – Moscow, 2010. – 990 p.
4. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2015. Stat. Sat. / Rosstat. – Moscow, 2015. – 981 p.
5. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2020. Stat. Sat. / Rosstat. – Moscow., 2020. – 1226 p.
6. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2021. Stat. Sat. / Rosstat. – Moscow, 2021. – 1231 p.
7. Regions of Russia. Socio-economic indicators. 2022. Stat. Sat. / Rosstat. – Moscow, 2022. – 1128 p.
8. Agriculture of the Belgorod region. 2022. Stat. Collection / Belgorodstat. – Belgorod, 2022. – 504 p.
9. Russian Statistical Yearbook. 2023. Stat. Sat. / Rosstat. – Moscow, 2023. – 704 p.
10. Tyupakov K.E. Forms and sources of financing the reproduction of the material and technical base of domestic agricultural producers / K. E. Tyupakov, I. A. Papakhchyan // Bulletin of the Adygea State University. Series : Economics. 2012. № 2. Pp. 142–150.

Сведения об авторах

Дорوفеев Андрей Федорович, доктор экономических наук, профессор кафедры профессионального обучения и социально-педагогических дисциплин, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. 8(920)580-35-99.

Масалытина Дарья Александровна, аспирант, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел. +7(905)676-49-05.

Information about authors

Dorofeev Andrey Fedorovich, Doctor hab. in Economics, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod Region, Russia, 308503, tel. 8(920)580-35-99.

Masalytina Darya Alexandrovna, graduate student, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7(905)676-49-05.

УДК 657.2:658.155

О.И. Золотарёва, С.Н. Золотарёв, А.Н. Простенко

ВЛИЯНИЕ ДЕНЕЖНЫХ ПОТОКОВ НА ФИНАНСОВУЮ УСТОЙЧИВОСТЬ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

Аннотация. В настоящее время, когда у многих предприятий имеются финансовые проблемы, одним из основных объектов анализа и управления становятся денежные потоки. Создание механизма эффективного управления ими является важным для любого предприятия. Целью такого механизма должно быть поддержание оптимального остатка денежных средств путем обеспечения сбалансированности поступления и расходования. Цель анализа денежных потоков – это, прежде всего, анализ финансовой устойчивости и доходности предприятия. Его исходным моментом является расчет денежных потоков, в первую очередь от текущей деятельности. Данный показатель характеризует степень самофинансирования предприятия, его финансовую силу, доходность. Ведение хозяйственной деятельности предполагает максимальную мобильность (движение) денежных средств – создание денежных потоков, как по расходованию, так и по поступлению.

Денежные средства – это вид ликвидных активов, хранящихся в виде наличных денег, расчетов в банках, валюты, на специальных счетах, аккредитивов, чековых книжек, транзитных переводов и денежных документов. Поскольку это особые ликвидные активы, обладающие абсолютной ликвидностью, именно их количество определяет платежеспособность организации в конкретный момент времени. Оценка платежеспособности, с другой стороны, основана на расчете и сравнении денежных потоков организации, то есть притоков и оттоков денежных средств и финансовой устойчивости предприятия.

Ключевые слова: денежные потоки, финансовая устойчивость, ликвидность, управление денежными потоками, эффективность денежных потоков, оборачиваемость активов, сельскохозяйственное предприятие.

THE IMPACT OF CASH FLOWS ON FINANCIAL SUSTAINABILITY OF AN AGRICULTURAL ENTERPRISE

Abstract. Nowadays, when many enterprises have financial problems, cash flows become one of the main objects of analysis and management. Creating a mechanism for effective management of them is important for any enterprise. The purpose of such a mechanism should be to maintain an optimal balance of funds by ensuring a balance of income and expenditure. The purpose of cash flow analysis is, first of all, the analysis of the financial stability and profitability of the enterprise. Its starting point is the calculation of cash flows, primarily from current activities. This indicator characterizes the degree of self-financing of an enterprise, its financial strength, and profitability. Conducting business involves maximum mobility (movement) of funds – the creation of cash flows, both in terms of expenditure and receipt.

Cash is a type of liquid assets stored in the form of cash, bank settlements, currency, special accounts, letters of credit, checkbooks, transit transfers and monetary documents. Since these are special liquid assets with absolute liquidity, it is their number that determines the solvency of an organization at a particular time. The assessment of solvency, on the other hand, is based on the calculation and comparison of the organization's cash flows, that is, inflows and outflows of funds and the financial stability of the enterprise.

Keywords: cash flows, financial stability, liquidity, cash flow management, cash flow efficiency, asset turnover, agricultural enterprise.

Необходимость управления денежными потоками вытекает из получаемых выгод: рациональное использование денежных средств, что в целом повышает эффективность деятельности организации; продуманное и своевременное привлечение заемных источников финансирования, позволяющее получить дополнительную прибыль; своевременность расчетов по возникшим ранее обязательствам, что положительно отражается на деловой репутации организации. Финансовые денежные потоки формируют и используют собственный капитал предприятия, а также привлекают и погашают заемные средства [5].

Исследование проводилось на базе сельскохозяйственного предприятия ООО «Русь-молоко» Корочанского района. На предприятии производят молоко, сливки и другие молочные продукты в твердой форме. За 2021-2023 гг., выручка от реализации продукции увеличилась на 119237 тыс. руб. или на 80,8 %, однако показатели прибыли от продажи имеет тенденцию к уменьшению на 23650 тыс. руб. Заметим, целью деятельности ООО «Русь-молоко» является получение прибыли от хозяйственной и финансовой деятельности. Считаем, что от эффективности использования денежных активов, своевременного и грамотного управления их потоками зависит доходность деятельности всей организации. Источниками информации о движении денежных средств послужили данные годовой бухгалтерской отчетности предприятия за 2021-2023 гг.

Основными задачами управления денежными потоками являются:

1. Рост финансовой устойчивости и платежеспособности организации.
2. Определение направлений притоков и оттоков денежных средств и обеспечение их сбалансированности.
3. Получение дополнительной прибыли организации за счет оптимального использования денежных средств.
4. Повышение уровня эффективности управления финансами организации в результате внедрения процесса прогнозирования денежных потоков [4].

В управлении денежными потоками реализуется несколько этапов рисунок 1:

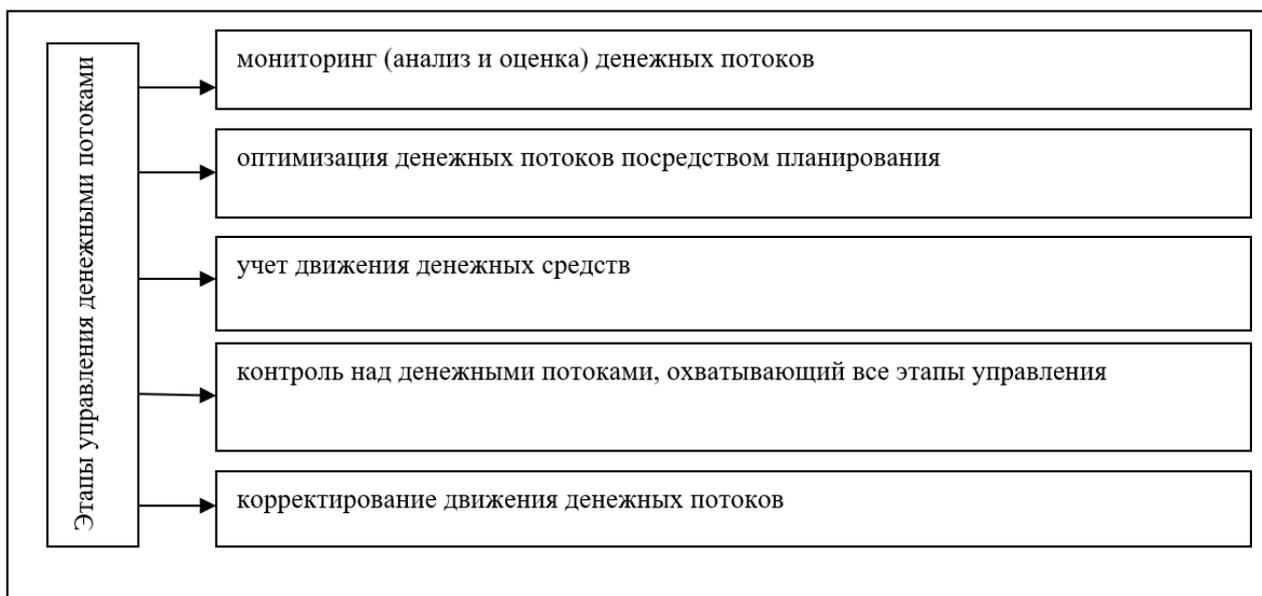


Рис. 1 – Этапы управления денежными потоками

Движение денежных средств на предприятии осуществляется по трем видам деятельности: текущей, инвестиционной и финансовой.

Так, например, по текущей деятельности в отчетном году в ООО «Русь-молоко» поступило 274088 тыс. руб., большая часть поступлений составили средства, полученные от покупателей, заказчиков 264135 тыс. руб. или 96,4 %. Финансовая деятельность характеризовалась поступлениями от займов и кредитов в 2022 г. – 10000 тыс. руб., а в 2021 г. 10256 тыс. руб., а выбытие с погашением займов и кредитов 9154 тыс. руб. в 2023 году, что на 3611 тыс. руб. больше 2021 года. Таким образом, всего поступлений в 2023 году составило 274088 тыс. руб., а выбытие – 274288 тыс. руб. С учетом этого чистое изменение денежных средств в 2023 году (- 200 тыс. руб.), хотя в 2021 году этот показатель был положительным +1610 тыс. руб.

Первым этапом анализа является расчет коэффициентов ликвидности и платежеспособности, представленный в табл. 1.

Проанализировав значения коэффициентов в таблице 1, можно сделать выводы о том, что за 2021-2023 гг. коэффициент ликвидности денежного потока был ниже нормы (>1), а в 2023 г. итого снизился до 0,001. Коэффициент ликвидности денежных потоков характеризует отношение положительного денежного потока к отрицательному денежному потоку.

Согласно значению коэффициента абсолютной платежеспособности, организация в 2021 году в состоянии погасить только 2 % краткосрочных обязательств за счет денежных средств и краткосрочных обязательств. Это произошло из-за значительного увеличения суммы краткосрочных обязательств в 2023 году. С учетом расчетов с дебиторами может покрыть 98 % своих обязательств в 2021 году.

Таблица 1 – Динамика коэффициентов ликвидности и платежеспособности ООО «Русь-Молоко»

Показатели	Норм. значение	Годы			Откл. 2023 г. от 2021 г.	
		2021	2022	2023	(+;-)	%
Коэффициент ликвидности денежного потока предприятия	≤ 1	0,009	0,003	0,001	-0,008	11,1
Коэффициент абсолютной платежеспособности	0,2-0,5	0,022	0,018	0,017	-0,005	77,3
Коэффициент промежуточной платежеспособности	0,7-1,5	0,62	0,17	0,16	-0,46	25,8
Коэффициент текущей платежеспособности	$>2,5$	1,4	0,69	0,67	-0,7	47,9
Общий коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности	0,9-1,1	0,88	0,19	0,17	-0,7	19,3

Коэффициент соотношения дебиторской и кредиторской задолженности имеет различные значения, в 2021 г. на 1 рубль кредиторской задолженности приходится 0,88 руб. дебиторской задолженности. Оптимальным значением считается то, что кредиторская задолженность должна не более чем на 10 % превышать дебиторскую, поэтому предприятию необходимо поработать над управлением дебиторской задолженностью. Следующей группой коэффициентов, подлежащих анализу, будут показатели, характеризующие оборачиваемость отдельных активов в процессе денежного оборота предприятия [3]. Значения и динамика коэффициентов, представлена в табл. 2.

Таблица 2 – Динамика коэффициентов оборачиваемости активов ООО «Русь-Молоко»

Показатели	Годы			Откл. 2023г. от 2021г	
	2021	2022	2023	(+;-)	%
Коэффициент оборачиваемости денежных активов и их эквивалентов (раз)	65	93	129	64	198,5
Период оборота денежных активов и их эквивалентов (дн)	5,6	3,9	2,8	-2,8	50,0
Коэффициент оборачиваемости запасов (раз)	1,6	2,8	4,3	2,7	268,8
Период оборота запасов (дн)	228	131	85	-143	37,3
Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности (раз)	1,8	4,8	15,5	13,7	в 8,6 раз
Период оборота дебиторской задолженности (дн)	203	76	24	-179	11,8
Коэффициент оборачиваемости всех используемых активов (раз)	0,8	1,7	3,3	2,5	412,5
Период оборота всех используемых активов (дн)	457	215	111	-346	24,3

Согласно данным таблицы 2, коэффициент оборачиваемости денежных активов и их эквивалентов имеет тенденцию к уменьшению за анализируемый период, что является неблагоприятным моментом. В 2023 году показатель значительно уменьшился – в 2 раз из-за сокращения средней суммы денежных средств. В 2023 году средняя величина денежных средств и их эквивалентов возобновляется 129 раз в год и через 2,8 дня, если говорить о 2021 году, то денежные активы и их эквиваленты возобновлялись, в среднем, через 65 дней. Оборачиваемость запасов имеет тенденцию к снижению. В 2023 году обновления средней величины запасов происходит 4,3 раза в год через 85 дней. Высокая оборачиваемость свидетельствует о быстром высвобождения денежных средств. Коэффициент оборачиваемости дебиторской задолженности имеет маленькую величину, несмотря на рост за анализируемый период. В 2023 году общество возмещает свои денежные средства 15,5 раз в год через 24 дня. Также, стоит заметить, что динамика оборачиваемости в сравнении с 2021 годом значительно изменилась, сокращение периода оборачиваемости за год – 179 дней.

Коэффициент оборачиваемости всех используемых активов за анализируемый период равен 3, с периодом оборота в 2021 году – 457 дней, в 2023 году – 111 дня. Это говорит о том, что за год всеми активами совершается 3 оборота. Оборачиваемость активов очень низкая, а полученные доходы не покрывают расходы на приобретение запасов.

Используя графический метод, представим динамику оборотных активов ООО «Русь-Молоко» за 2021–2023 гг. на рисунке 2.

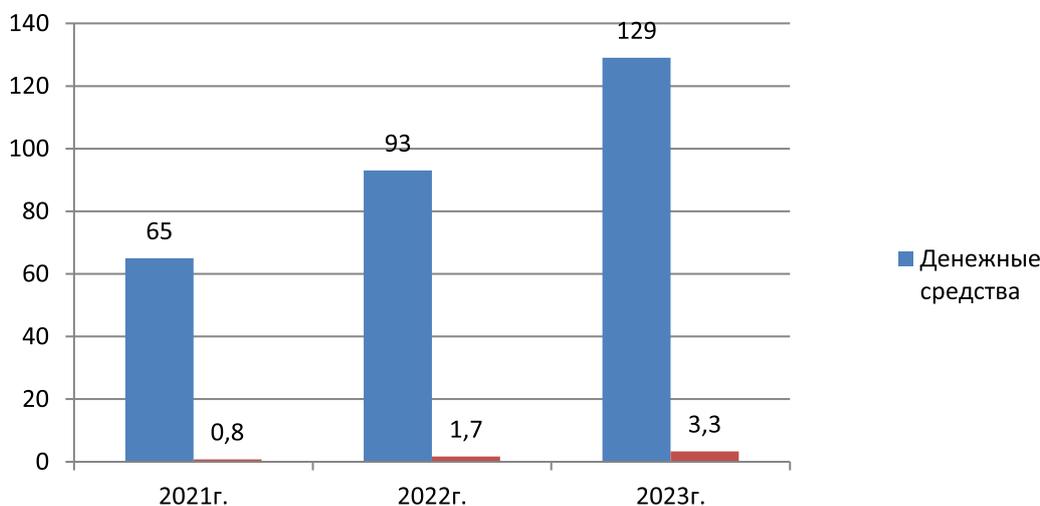


Рис. 2 – Динамика оборачиваемости оборотных активов и денежных средств ООО «Русь-Молоко» (раз)

Третьей группой анализируемых показателей являются коэффициенты эффективности денежных потоков. Расчетные значения приведены в таблице 3.

По данным таблицы 3 можно сделать некоторые выводы по эффективности управления денежными потоками ООО «Русь-Молоко» за 2021–2023 годы.

Необходимо отметить, что отрицательный чистый денежный поток в 2021 и 2023 годах не позволяет с достаточной степенью точности интерпретировать значительную часть коэффициентов. Коэффициент эффективности и достаточности чистого денежного потока за весь анализируемый период очень низкий, это демонстрирует невозможность организации за счет собственных средств погашать обязательства, отвечать по долговым обязательствам, выплачивать дивиденды и обеспечивать себя материально-производственными запасами. Все показатели рентабельности имеют тенденцию к снижению за каждый год анализируемого периода. В 2023 году на 1 руб. положительного денежного потока ООО «Русь-Молоко» пришлось 0,4 копейки чистой прибыли. Сокращение рентабельности среднего остатка денежных средств произошло в 2023 году за счет уменьшения средней величины денежных средств предприятия. Коэффициент обеспеченности денежными средствами снизился в 2021 г и 2023 г на 0,063, соответственно.

Таблица 3 – Динамика коэффициентов эффективности денежных потоков ООО «Русь-Молоко»

Показатели	Годы			Откл. 2023г. от 2021г	
	2021	2022	2023	(+;-)	%
Коэффициент эффективности денежного потока	0,02	0,01	0,07	0,05	350,0
Коэффициент достаточности чистого денежного потока	1,01	1,0	1,0	-0,01	99,0
Коэффициент рентабельности положительного денежного потока	0,012	-0,009	0,004	-0,008	33,3
Коэффициент рентабельности среднего остатка денежных средств	0,94	-0,92	0,48	-0,46	51,1
Коэффициент рентабельности отрицательного денежного потока	0,012	-0,009	0,004	-0,008	33,3
Коэффициент рентабельности положительного денежного потока по текущей деятельности	0,076	-0,006	-0,039	-0,115	-
Коэффициент обеспеченности денежными средствами	1,017	1,008	1,007	-0,063	99,0
Показатель интервала самофинансирования (Ис)	174,7	27,07	24,15	-150,6	13,8

Таким образом, согласно проведенному анализу, можно сделать выводы, что предприятие не имеет достаточно денежных средств и краткосрочных вложений, чтобы покрыть краткосрочные обязательства, чистый денежный поток отрицателен за последние два года. У предприятия очень низкая оборачиваемость запасов и дебиторской задолженности, поэтому стоит обратить внимание на высвобождение денежных средств из данных оборотных активов [2].

Способность генерировать денежные потоки сельскохозяйственной организации – важнейший показатель финансового состояния [7]. Для уровня генерирования денежных потоков в процессе хозяйственной деятельности организации используется показатель удельного веса денежного оборота на единицу используемых активов.

Расчёт уровня генерирования денежных потоков сельскохозяйственного предприятия ООО «Русь-Молоко» за 2021-2023 гг. рассмотрим в таблице 4.

Таблица 4 – Оценка уровня генерирования денежных потоков сельскохозяйственного предприятия ООО «Русь-Молоко»

Показатели	Годы			Откл. 2023г. от 2021г	
	2021	2022	2023	(+;-)	%
Поступления (приток) денежных средств	181063	275556	274088	93025	151,4
Расход (отток) денежных средств	179453	276456	274288	94835	152,8
Сумма денежного оборота	147559	242495	266796	119237	180,8
Среднегодовая величина активов	287316	273750	235985	-51331	82,1
Удельный объем денежного оборота на единицу активов	0,5	0,9	1,1	0,6	220,0

Рост объёмов денежной массы исследуемой организации сопровождается уменьшением величины активов, то есть величина активов в результате оптимизации своей структуры и роста скорости оборота оказалась способной увеличить денежные потоки. На этапе проведения динамики денежных потоков особое внимание должно быть уделено рассмотрению динамики общего объёма денежного оборота по текущей деятельности, которая занимает преобладающую позицию в общем объёме денежного оборота. Исследование показало, что удельный объём денежного оборота на единицу активов возрос почти в 2 раза, в связи увеличением суммы денежного оборота на 119237 тыс. руб. или 180 % в 2023 году по сравнению с 2021 годом.

Оценка уровня генерирования денежных потоков анализируемой организации в целом показала, что использование денежных средств, в текущей или инвестиционной его деятельности потенциально способно формировать положительный экономический эффект при рациональном их использовании. Необходимо отметить, что при современных условиях хозяйствования сельскохозяйственных организаций и повышении конкуренции, средний уровень чистого денежного потока имеет тенденцию к снижению, за счёт убывающей производительности капитала [6].

Таким образом, на основании проведенного анализа необходимо сформировать следующие рекомендации для исследуемого предприятия, в частности, и для предприятий АПК в целом:

- необходимо организовать рациональное управление денежными потоками;
- проводить оперативное прогнозирование денежных потоков предприятия, основанное на оценке влияния на них возможных управленческих решений и факторов, определяющими денежные потоки;
- обеспечивать более полную сбалансированность положительных и отрицательных денежных потоков во времени и по объемам;
- обеспечивать более тесную взаимосвязь денежных потоков по видам хозяйственной деятельности предприятия;
- стремиться к повышению суммы и качества чистого денежного потока, генерируемого хозяйственной деятельностью предприятия [1].

Эффективное управление денежными потоками является неотъемлемой частью управления организации для достижения ее главной цели – получения прибыли.

Библиография

1. Золотарёва О.И., Золотарев С.Н. Мероприятия, направленные на повышение финансовой устойчивости сельскохозяйственной организации // Инновационные решения в аграрной науке – взгляд в будущее. Материалы XXIII международной научно-производственной конференции. 2019. С. 203–205.

2. Золотарёва О.И., Золотарев С.Н. Мероприятия по повышению эффективности использования денежных средств // Современные проблемы экономики АПК и их решение. Материалы национальной конференции. 2019. С. 65–70.
3. Золотарев С.Н., Золотарёва О.И. Оценка платежеспособности на основе изучения денежных потоков // Современные проблемы экономики АПК и их решение. Материалы национальной конференции. 2019. С. 127–131.
4. Золотарёв С.Н., Золотарёва О.И. К вопросу по повышению эффективности использования денежных средств хозяйствующими субъектами в аграрном секторе экономики // Российский экономический интернет-журнал. 2019. № 4. С. 61.
5. Золотарёва О.И., Здоровец Ю.И., Золотарев С.Н. Оценка ресурсного потенциала сельскохозяйственного предприятия. Белгород, 2020.
6. Наседкина Т.И., Черных А.И. Кооперативная модель экономического развития в условиях глобализации: секторальный аспект // Конкурентоспособность в глобальном мире: экономика, наука, технологии. 2017. № 9-6(56). С. 75–80.
7. Простенко А.Н., Добрунова А.И., Золотарёва О.И. Современное состояние и перспективы развития малого инновационного бизнеса региона // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. 2020. № 4(28). С. 288–295.

References

1. Zolotareva O.I., Zolotarev S.N. Measures aimed at improving the financial stability of an agricultural organization // Innovative solutions in agricultural science – a look into the future. Materials of the XXIII International Scientific and industrial conference. 2019. Pp. 203–205.
2. Zolotareva O.I., Zolotarev S.N. Measures to improve the efficiency of using funds // Modern problems of the agro-industrial complex economy and their solution. Materials of the national conference. 2019. Pp. 65–70.
3. Zolotarev S.N., Zolotareva O.I. Assessment of solvency based on the study of cash flows // Modern problems of the agro-industrial complex economy and their solution. Materials of the national conference. 2019. Pp. 127–131.
4. Zolotarev S.N., Zolotareva O.I. On the issue of improving the efficiency of the use of funds by business entities in the agricultural sector of the economy // Russian Economic Internet magazine. 2019. № 4. P. 61.
5. Zolotareva O.I., Zdorovets Yu.I., Zolotarev S.N. Assessment of the resource potential of an agricultural enterprise. Belgorod, 2020.
6. Nasedkina T.I., Chernykh A.I. The cooperative model of economic development in the context of globalization: a sectoral aspect // Competitiveness in the global world: economics, science, technology. 2017. № 9-6(56). Pp. 75–80.
7. Prostenko A.N., Dobrunova A.I., Zolotareva O.I. The current state and prospects for the development of small innovative businesses in the region // Innovations in agriculture: problems and prospects. 2020. № 4(28). Pp. 288–295.

Сведения об авторах

Золотарёва Оксана Ивановна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, 89056752256, savateevaoksana@mail.ru.

Золотарёв Сергей Николаевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, 89103647126, s.n.zolotarev@mail.ru.

Простенко Александр Николаевич, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел.+79103231549, e-mail: prostenko_an@bsaa.edu.ru.

Information about authors

Zolotareva Oksana Ivanovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, 89056752256, savateevaoksana@mail.ru.

Zolotarev Sergey Nikolaevich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, 89103647126, s.n.zolotarev@mail.ru.

Prostenko Alexander Nikolaevich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova str., 1, Maysky village, Belgorod region, Belgorod region, Russia, 308503, tel.+79103231549, e-mail: prostenko_an@bsaa.edu.ru.

ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ КРЕСТЬЯНСКИХ (ФЕРМЕРСКИХ) ХОЗЯЙСТВ В ЦЕНТРАЛЬНО-ЧЕРНОЗЕМНОМ РЕГИОНЕ

Аннотация. Продовольственная безопасность является одним из важнейших постулатов для любого государства. Вопрос обеспечения продовольствием включен в глобальную повестку дня и является предметом для обсуждения на уровне международных организаций. Несмотря на увеличение мирового объема производства продовольствия, проблема голода не теряет своей актуальности. По данным Продовольственной и сельскохозяйственной организации ООН (ФАО), в 2022 году с голодом в той или иной форме столкнулось 735 млн человек (9,59 %) населения, что на 122 млн человек (1,63 %) больше в сравнении с 2019 годом, до пандемии, когда эта цифра составила 613 млн человек. Расширение доступа к здоровому питанию является еще одной задачей мирового масштаба. Для России, которая входит в первую десятку стран по численности населения, эта проблема не является исключением. Пережив продовольственный кризис в советский и постсоветский периоды, вынужденная закупать продукты питания за рубежом, за последние 20 лет наша страна постепенно укрепляет позиции экспортера, претендуя на роль крупного поставщика на мировой рынок. Обеспечение продовольственной независимости теперь является национальным приоритетом. Обладая обширными, но не равномерно развитыми, отдаленными территориями, со сложными климатическими условиями, необходимо делать ставку на основные сельскохозяйственные кластеры. Регионы, которые кормят всю страну, являются стратегическими и требуют пристального внимания со стороны властей. Одним из таких кластеров можно назвать Центрально-Черноземный район. Занимая всего 1 % территории России, он традиционно является ведущим поставщиком сельскохозяйственной продукции. Плодородные почвы, удачное географическое расположение, развитая инфраструктура, транспортная доступность, мягкий климат способствуют развитию аграриев. Роль ЦЧР возрастает в условиях развития внутреннего рынка. Запрос на сбалансированное питание повышается с каждым годом под влиянием популяризации здорового образа жизни, потребления достаточного количества овощей и фруктов вне зависимости от времени года, увеличения объемов фермерской продукции, выращенной без применения пестицидов и ядохимикатов. Сохранение здоровья населения, увеличение продолжительности жизни, за счет возможности потребления качественных продуктов, соответствия медицинским нормам питания, являются основными индикаторами эффективности реализуемой политики.

Ключевые слова: продовольственная независимость, фермерская продукция, кластер, крестьянские (фермерские) хозяйства, здоровое питание, Центральное Черноземье.

TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF PEASANT (FARM) HOLDINGS IN THE CENTRAL BLACK EARTH REGION

Abstract. Food security is one of the most important postulates for any state. The issue of food supply is included in the global agenda and is a subject for discussion at the level of international organizations. Despite the increase in global food production, the problem of hunger does not lose its relevance. According to the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), in 2022, 735 million people (9.59 %) of the population faced hunger in one form or another, which is 122 million people (1.63 %) more than in 2019, before the pandemic, when this figure was 613 million people. Expanding access to healthy nutrition is another global challenge. For Russia, which is among the top ten countries in terms of population, this problem is no exception. Having survived the food crisis in the Soviet and post-Soviet periods, forced to buy food abroad, over the past 20 years our country has gradually strengthened its position as an exporter, claiming to be a major supplier to the world market. Ensuring food independence is now a national priority. Having vast, but not uniformly developed, remote territories with difficult climatic conditions, it is necessary to rely on the main agricultural clusters. The regions that feed the whole country are strategic and require close attention from the authorities. One of these clusters can be called the Central Chernozem region. Occupying only 1 % of the territory of Russia, it is traditionally a leading supplier of agricultural products. Fertile soils, good geographical location, developed infrastructure, transport accessibility, mild climate contribute to the development of farmers. The role of the Central Bank is increasing in the context of the development of the domestic market. The demand for a balanced diet increases every year under the influence of the popularization of a healthy lifestyle, the consumption of sufficient amounts of vegetables and fruits, regardless of the time of year, an increase in the volume of farm products grown without the use of pesticides and pesticides. Maintaining the health of the population, increasing life expectancy, due to the possibility of consuming high-quality products, compliance with medical nutrition standards, are the main indicators of the effectiveness of the implemented policy.

Keywords: food independence, farm products, cluster, peasant (farm) farms, healthy nutrition, Central Chernozem region.

Уровень жизни населения зависит от многих факторов, в первую очередь, от продовольственной обеспеченности. При нехватке средств можно ограничить приобретение ряда товаров и услуг, но расходы на продукты питания являются обязательным пунктом в списке ежедневных потребностей каждой семьи. Вместе с тем, с ростом материального благосостояния повышаются и требования к качеству потребляемых продуктов. На правительственном уровне затронут вопрос неразрывной связи между питанием и состоянием здоровья. Перед государством стоят задачи не только стимулирования роста объемов сельскохозяйственной продукции в стране, но и обеспечения полноценного, сбалансированного рациона жителю каждого субъекта РФ, вне зависимости от климатических условий и места проживания.

Поддержка и развитие внутреннего рынка продовольствия является важным направлением аграрной политики. Особое внимание должно уделяться флагманским регионам по производству продукции сельского хозяйства.

Анализ статистических данных показывает уверенное развитие аграрной отрасли как по России в целом, так и в областях Центрально-Черноземного района. Однако наблюдается неравномерное развитие крупных холдингов и малых форм хозяйствования, которые вызваны объективными причинами, как ограниченность производственных мощностей, персонала. При проведении исследования, считаем необходимым выявить возможности для развития потенциала развития малых форм хозяйствования в черноземных областях России.

Центрально-Черноземный район, включающий в себя пять крупных областей, – Белгородскую, Воронежскую, Курскую, Липецкую и Тамбовскую, является одним из ключевых производителей продовольствия в РФ. По официальным ста-

статистическим данным за 2022 год на территории макрорегиона произведено 16,02 % зерна, 20,33 % подсолнечника, 47,84 % сахарной свеклы, 26,75 % мяса (в убойном весе), 8,22 % молока, 7,95 % яиц, от общего объема сельскохозяйственной продукции в стране (рис. 1). Данные цифры свидетельствуют о высоком уровне организации сельскохозяйственного производства на анализируемых территориях.

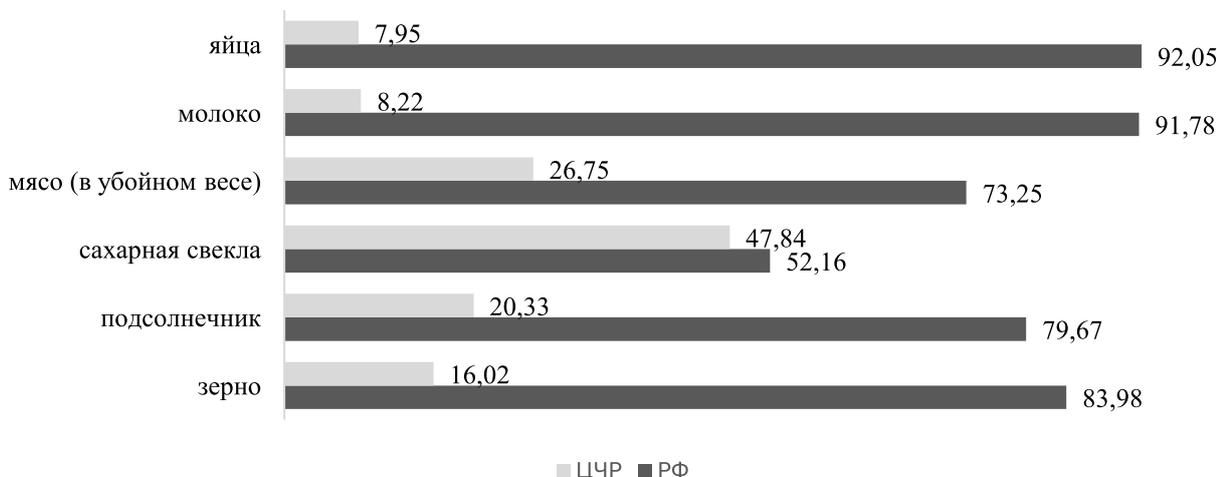


Рис. 1 – Удельный вес Центрально-Черноземного района в производстве сельхозпродукции РФ в 2022 г., % [5]

Обратившись к структуре производства сельхозпродукции в ЦЧР по категориям хозяйств за анализируемый период, отметим несколько тенденций.

Прежде всего – это развитие крестьянских (фермерских) хозяйств, которые увеличили свою долю в общем объеме производства в 2,2 раза, от 4,9 % в 2010 году до 11,0 % к 2022 году. Такая положительная динамика вполне объяснима. Появившись как самостоятельная организационно-правовая форма ведения предпринимательской деятельности чуть более 30 лет назад, они продолжают набирать популярность. Простота создания, возможность выбора специального налогового режима, самостоятельное определение вида деятельности К(Ф)Х, относительно простая отчетность, доступ к субсидиям и льготам, независимость от найма, делают привлекательной работу на земле. Кроме того, объединение родством дает дополнительную возможность развития преемственности, передачи накопленного опыта, сплочения семей, занятых в одном деле.

Исследуя малые формы хозяйствования, нельзя не отметить их роль в укреплении сельских территорий. В последнее время много говорят о необходимости развития внутреннего туризма в России. Деятельность семейных экоферм, возможность использования имущественного комплекса К(Ф)Х для размещения туристов, позволит стать дополнительным источником дохода для фермеров [1].

Интересным является тот факт, что только К(Ф)Х в отличие от хозяйств населения и сельскохозяйственных организаций, удалось увеличить посевные площади до 26,3 млн га к 2022 году [10].

На законодательном уровне задумались о пересмотре подхода к сбыту аграрной продукции. С одной стороны, агрегаторы должны снять с фермеров задачи как реализовать свою продукцию, дав им возможность уделить больше внимания производству. С другой, расширить ассортимент продовольствия, а также доступ рядового потребителя к фермерским продуктам через торговые сети [2].

Согласно мировой статистике, городское население чаще обращается к нездоровой пище (уличной еде). Деятельность фермерских хозяйств позволит решить проблему нехватки свежих продуктов.

Учитывая современные тенденции, доля К(Ф)Х в общей структуре продолжит расти.

Преимущества К(Ф)Х стимулируют граждан, ведущих личное подсобное хозяйство, к приобретению официального статуса юридического лица. Это одна из причин сокращения участия хозяйств населения в общей структуре производства (рис. 2).

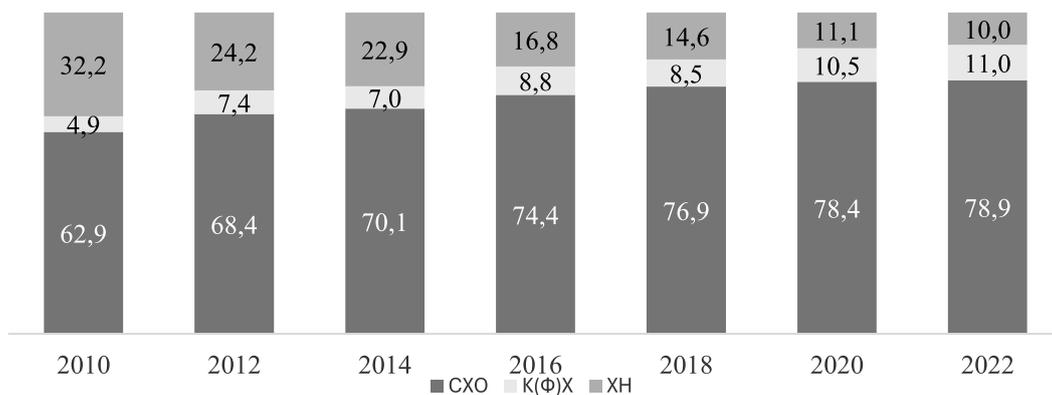


Рис. 2 – Динамика структуры производства продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств в Центрально-Черноземном районе в 2010-2022 гг., % [7].

Отток сельских жителей также оказывает влияние на снижение доли участия хозяйств населения в общей структуре. По прогнозам мировых экспертов в ближайшие 20-30 лет, семь из десяти человек будут проживать в городах [4].

Проблема сохранения числа сельских жителей является общегосударственной. В целях сокращения разрыва между сельским и городским населением, реализуются региональные программы развития сельской местности.

Сельскохозяйственные организации по-прежнему занимают большую часть в структуре производства продукции сельского хозяйства. Однако, в сравнении с К(Ф)Х, их темп развития значительно ниже. Сократив за последние 12 лет посевные площади с 56,1 млн га в 2010 году до 53,3 млн га к 2010 году, им всё-таки удалось сохранить положительную динамику [9].

Участие сельхозорганизаций в общей структуре составило 78,9 % в 2022 году, что на 16% больше, чем в 2010 году [7].

Невысокая гибкость и способность к изменениям, закрепитованность, не позволяют крупным объединениям развиваться более динамично. А учитывая современные политические и экономические риски, сохранение объемов на одном уровне в условиях зависимости от зарубежных поставщиков, нестабильного валютного курса, является успехом.

Кадровый дефицит, который по данным Министерства сельского хозяйства РФ достиг 200 000 человек, оказывает существенное влияние на деятельность крупных холдингов. Заработная плата работников, задействованных в аграрной отрасли, остается по-прежнему ниже средней по субъектам РФ. Привлечение молодых специалистов в отрасль является приоритетной задачей на ближайшие годы [5].

При анализе исследуемой ниши в Белгородской области видно, что для региона характерны общероссийские тенденции развития малых форм хозяйствования. Крестьянские (фермерские) хозяйства демонстрируют положительную динамику. Их участие в структуре производства сельскохозяйственной продукции выше, чем по Черноземью, в 2010 году составило 2,1 %, а к 2022 году уже 6,2 % (рис. 3).

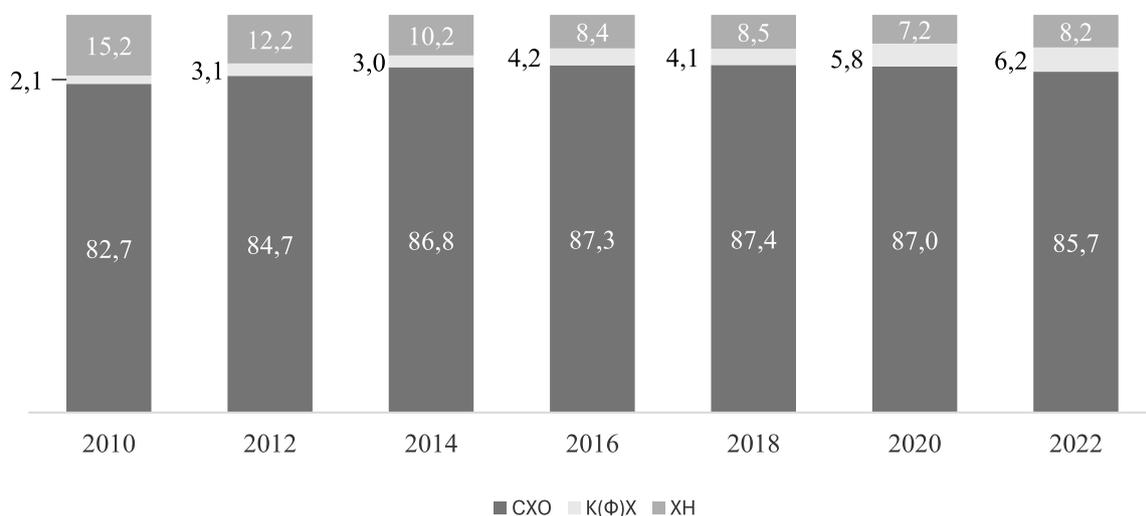


Рис. 3 – Динамика структуры производства продукции сельского хозяйства по категориям хозяйств в Белгородской области в 2010-2022 гг., % [7]

Доля сельскохозяйственных организаций в регионе по итогам 2022 года на 6,8 % выше, чем в ЦЧР и составляет 85,7 %. Это объясняется присутствием крупнейших предприятий, таких как «Русагро», «Эфко», «МИРАТОРГ», «Агро-Белогорье». В регионе активно задействованы сельскохозяйственные угодья, которые насчитывают 2 713,4 тыс. га в 2022 году, что составляет 78,62 % от общей земельной площади региона. На территории области проживает 494,5 тыс. чел. сельского населения, что составляет 32,3 % от общей численности [11].

Темпы участия хозяйств населения в Белгородской области в сравнении с К(Ф)Х выше на 2,0 % и составляют 8,2 % по итогам 2022 года. В Черноземье же, участие хозяйств населения за последние годы неуклонно снижается.

Проанализировав динамику производства продукции сельского хозяйства субъектами предпринимательской деятельности, отметим, что роль малых форм хозяйствования в совокупной валовой аграрной продукции как в Белгородской области, так и в Черноземье растет [7].

В продолжение исследования остановимся на деятельности К(Ф)Х на территории Черноземья более подробно.

В тройку лидеров по производству фермерской продукции входят Воронежская, Курская и Тамбовская области (рис. 4).

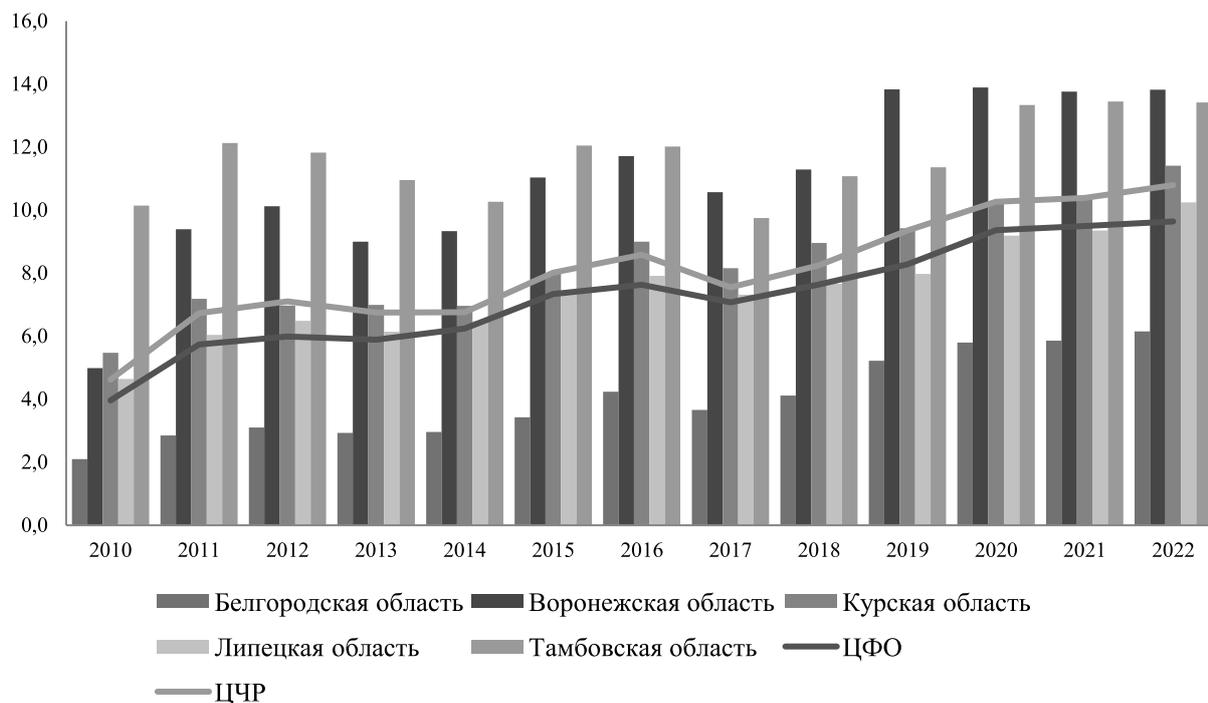


Рис. 4 – Динамика доли продукции сельского хозяйства, произведенной в крестьянских (фермерских) хозяйствах Центрально-Черноземного региона в 2010-2022 гг., %

Безусловным лидером Черноземья выступает Воронежская область, на территории которой силами К(Ф)Х производится 13,8 % продукции сельского хозяйства. Этот регион является самым крупным по площади и населению.

Причем, интересной является динамика развития К(Ф)Х в этой области. Резкий скачок роста наблюдается с 2011 года, когда доля продукции выросла почти вдвойне, с 5 % в 2010 году до 11,0 % в 2015 году и далее темп только ускорялся.

Еще одним флагманом выступает Тамбовская область, начиная с 2011 года доля продукции, произведенной силами К(Ф)Х, выше среднего по ЦФО и ЦЧР, а к 2022 году достигла 13,4 % от общего объема [7].

Регион характеризуется аграрным укладом, доля сельского населения выше, чем в Белгородской области, по итогам 2022 года составила 38,3 % [12].

В Белгородской области, напротив, силами К(Ф)Х в сравнении с соседними областями производится значительно ниже сельскохозяйственной продукции, всего 6,2 %. Но здесь развито крупное промышленное производство, которое представлено известными холдингами, озвученными ранее.

И в Курской, и в Липецкой областях доля продукции К(Ф)Х соответствует среднему уровню по ЦФО и ЦЧР.

Анализируя деятельность малых форм хозяйствования, мы неоднократно подчеркивали, что их преимуществом является компактность и гибкость. Они не могут конкурировать с крупным производством, а их развитие должно происходить в самостоятельном русле.

Наблюдая за динамикой производства продукции сельского хозяйства в расчете на душу населения среди субъектов ЦЧР, отметим Белгородскую область. С 2010 г. только в Белгородской области, в которой АПК активно развивается на базе агропромышленных холдингов, производство продукции на душу населения выше среднего по ЦЧР. Темпы роста очень высоки, в 2010 году этот показатель составлял 63,8 тыс. руб. в расчете на душу населения, а к 2022 году достиг 227,4 тыс. руб. Соседние Курская и Тамбовская области только с 2020 года благодаря экспансии холдингов как «Мираторг», «Агропромкомплектация», «Черкизово», «Тамбовский Бекон» и др., приблизились к показателям Белгородчины в 220,5 тыс. руб. и 213,3 тыс. руб. на душу населения соответственно в 2022 году.

Несмотря на владение территориями и населением, численностью больше соседских областей, Воронежская область, наоборот – единственный регион, который не дотягивает до среднего по ЦЧР. В 2022 году, область демонстрирует более, чем скромные показатели в 148,6 тыс. руб. на душу населения (рис. 5).

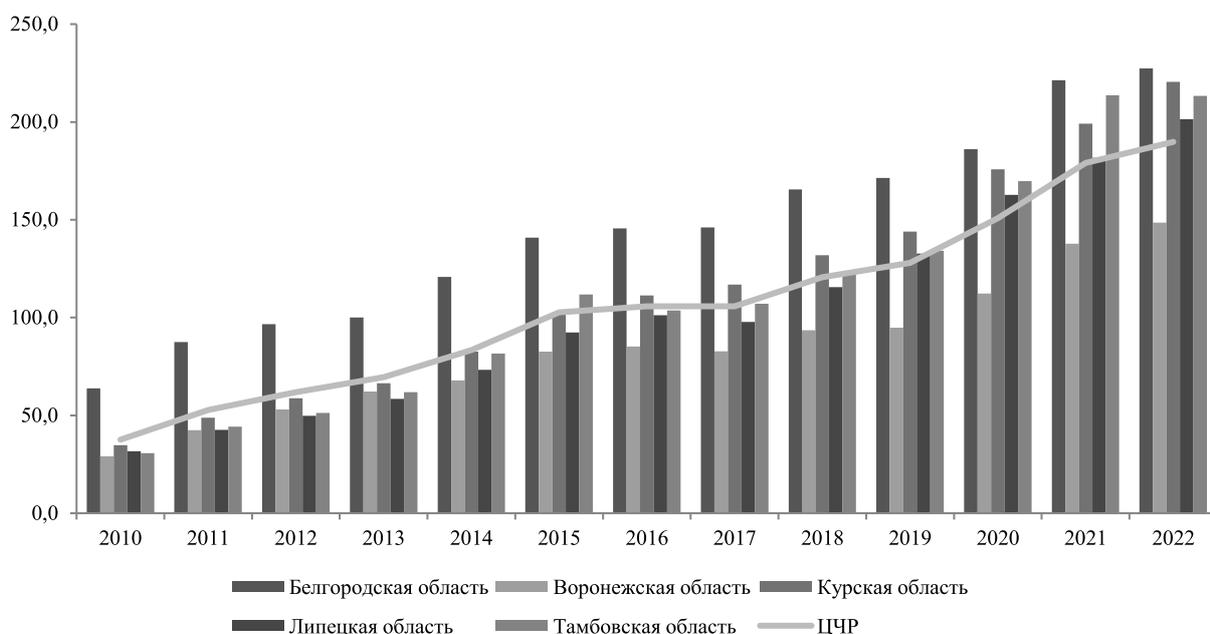


Рис. 5 – Динамика производства продукции сельского хозяйства в расчете на душу населения в 2010-2022 гг., тыс. руб.

Затрагивая связь между долей продукции сельского хозяйства, производимой в К(Ф)Х, и объемом производства продукции сельского хозяйства в расчете на душу населения, отметим тесную, прямую связь практически во всех областях, где коэффициент аппроксимации близок или выше 0,9. Значит, вектор развития КФХ соответствует вектору среднелюдиного производства (табл. 1).

Таблица 1 – Теснота связи между долей продукции сельского хозяйства, производимой в К(Ф)Х и объемом производства продукции сельского хозяйства в расчете на душу населения

Макрорегион/субъект	Коэффициент корреляции
ЦФР	0,95
Белгородская область	0,96
Воронежская область	-0,41
Курская область	0,97
Липецкая область	0,88
Тамбовская область	0,86

Только в Воронежской области коэффициент имеет отрицательное значение, то есть связь обратная. Иными словами – с ростом доли производства продукции в КФХ, среднелюдиного объема производства продукции снижается.

Проведенное исследование позволяет сделать оптимистичные прогнозы по деятельности малых форм хозяйствования в ЦФР. Положительная динамика их развития свидетельствует об уверенном положении на рынке. К(Ф)Х вносят весомый вклад в общий аграрный рынок макрорегиона. Благодаря компактности и гибкости они легче встраиваются в изменения со стороны рынка. Темпы развития в сравнении с крупным производством у К(Ф)Х быстрее. Сам ЦФР представляет особую значимость, играя немаловажную роль в обеспечения продовольственной независимости России. Положительный опыт Воронежской области, лидирующей по доли продукции сельского хозяйства, произведенной в крестьянских (фермерских) хозяйствах Центрально-Черноземного региона, стоит тиражировать в соседних областях.

Библиография

1. Федеральный закон от 22.06.2024 N 160-ФЗ «О внесении изменений в статью 19 Федерального закона «О крестьянском (фермерском) хозяйстве» и Федеральный закон «О развитии сельского хозяйства» // Официальный интернет-портал правовой информации. <http://pravo.gov.ru>, 22.06.2024.
2. Федеральный закон от 08.08.2024 № 297-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «О развитии сельского хозяйства» и статью 2 Федерального закона «О внесении изменения в статью 7 Федерального закона «Об органической продукции и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» // Официальный интернет-портал правовой информации. <http://pravo.gov.ru>, 08.08.2024.
3. Бочарникова В.Н., Китаёв Ю.А., Роль крестьянских (фермерских) хозяйств в обеспечении продовольственной безопасности РФ // Современная экономика: обеспечение продовольственной безопасности: сборник научных трудов. Кнелль : ИБЦ Самарского ГАУ, 2024.
4. Глобальные вопросы повестки дня. Питание [Электронный ресурс] / Официальный сайт Продовольственной и сельскохозяйственной организации Объединенных Наций. Режим доступа: <https://www.un.org/ru/global-issues/food> (дата обращения: 15.10.2024).

5. Коряковская О. АПК. Где набраться рабочей силы? // *Агровестник Сибири*. Новосибирск. 29.02.2024 [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://agrovestniksib.ru/tpost/em5hnee9n1-apk-gde-nabratsya-rabochei-sili> (дата обращения: 18.10.2024).
6. Крутских О.А., Худякова Т.М. Повышение эффективности функционирования продовольственного комплекса Центрального Черноземья // *Известия ВГПУ*. 2013. – № 2(261). – С. 238–242.
7. Продукция сельского хозяйства в фактически действовавших ценах (окончательные данные). Единая межведомственная информационно-статистическая система (ЕМИСС) [Электронный ресурс] // Режим доступа: <https://www.fedstat.ru/indicator/43337> (дата обращения: 11.10.2024).
8. Российский статистический ежегодник. 2023: Стат. сб. / Росстат. – М., 2023. – С. 401.
9. Россия в цифрах. 2020: Крат. стат. сб. / Росстат. – М., 2020. – С. 358.
10. Сельское хозяйство в России. 2023: Стат. сб. / Росстат. – М., 2023. – С. 28–29.
11. Статистический ежегодник. Белгородская область. 2022: Стат. сб. / Белгородстат. – Белгород, 2022. – 504 с.

References

1. Federal Law № 160-FZ dated 06/22/2024 «On Amendments to Article 19 of the Federal Law «On Peasant (Farmer) Farming» and the Federal Law «On Agricultural Development» // Official Internet Portal of Legal Information. <http://pravo.gov.ru>. 06/22/2024.
2. Federal Law № 297-FZ dated 08.08.2024 «On Amendments to the Federal Law «On the Development of Agriculture» and Article 2 of the Federal Law «On Amendments to Article 7 of the Federal Law «On Organic Products and on Amendments to Certain Legislative Acts of the Russian Federation» // Official Internet Portal of Legal Information. <http://pravo.gov.ru>. 08.08.2024.
3. Bocharnikova V.N., Kitaev Yu.A., The role of peasant (farm) farms in ensuring food security of the Russian Federation // *Modern economics: ensuring food security: a collection of scientific papers*. Kinel : IBC Samara State University, 2024.
4. Global issues on the agenda. Nutrition [Electronic resource] / Official website of the Food and Agriculture Organization of the United Nations. Access mode: <https://www.un.org/ru/global-issues/food> (date of reference: 10/15/2024).
5. Koryakovskaya O. AПК. Where can I get a workforce? // *Agrovestnik of Siberia*. Novosibirsk. 02/29/2024 [Electronic resource] // Access mode: <https://agrovestniksib.ru/tpost/em5hnee9n1-apk-gde-nabratsya-rabochei-sili> (date of application: 10/18/2024).
6. Krutskikh O.A., Khudyakova T.M. Improving the efficiency of the functioning of the food complex of the Central Chernozem region. // *VSPU News*. – 2013. – № 2(261). – Pp. 238–242.
7. Agricultural products in actual prices (final data). Unified Interdepartmental Information and Statistical System (EMISS) [Electronic resource] // Access mode: <https://www.fedstat.ru/indicator/43337> (date of application: 11.10.2024).
8. Russian Statistical Yearbook. 2023: Stat. sat. / Rosstat. – М., 2023. – P. 401.
9. Russia in numbers. 2020: Short stat. sat. / Rosstat. – М., 2020. – P. 358.
10. Agriculture in Russia. 2023: Stat. sat. / Rosstat. – 2023. – P. 28–29.
11. Statistical Yearbook. Belgorod region. 2022: Stat. sat. / Belgorodstat. – Belgorod, 2022. – 504 p.

Сведения об авторах

Китаёв Юрий Александрович, доктор экономических наук, профессор кафедры организации аграрного производства и менеджмента, федеральное государственное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный аграрный университет», 196601, Россия, г. Санкт-Петербург, г. Пушкин, Петербургское шоссе, дом 2, 1, e-mail: kitaev_ya@bsaa.edu.ru.

Бочарникова Виктория Николаевна, старший преподаватель кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, 308503, Россия, Белгородская область, Белгородский район, п. Майский, ул. Вавилова, 1, e-mail: viktory-843@mail.ru.

Information about authors

Kitaev Yuri Alexandrovich, Doctor of Economics, Professor of the Department of Organization of Agricultural Production and Management, Federal State Educational Institution of Higher Education «Saint Petersburg State Agrarian University», 196601, Russia, Saint Petersburg, Pushkin, Peterburgskoe shosse, 2, 1, e-mail: kitaev_ya@bsaa.edu.ru.

Bocharnikova Victoria Nikolaevna, Senior Lecturer of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», 308503, Russia, Belgorod Region, Belgorod District, Maysky settlement, Vavilov Street, 1, e-mail: viktory-843@mail.ru.

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРУКТУРЫ ПОСЕВНЫХ ПЛОЩАДЕЙ КАК ОДНО ИЗ НАПРАВЛЕНИЙ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Аннотация. Сельское хозяйство играет огромную роль в экономике России. Оно занимает центральное место в обеспечении продовольственной безопасности региона и страны в целом и при этом не только обеспечивает государство и его население продовольствием, но также формирует сельскохозяйственное сырье для отраслей обрабатывающей промышленности. Уровень его развития предопределяет экономическую безопасность страны.

На основе проекта «Цифровое сельское хозяйство» Министерства сельского хозяйства России, внедрение инновационных цифровых технологий в агропромышленный комплекс страны позволит использовать экономико-математические методы для существенного повышения эффективности аграрного производства.

В работе построена экономико-математическая модель и решена задача нахождения оптимальной отраслевой структуры производства в сельскохозяйственном предприятии, при которой целевая функция, соответствующая размеру прибыли, принимает максимальное значение при определенных ограничивающих условиях.

В результате решения в оптимальном варианте определены площади посева сельскохозяйственных культур и отраслевая структура производства, позволяющая получить максимальную сумму прибыли на примере ООО «АгроСервис» Белгородского района. Кроме этого, проведен экономико-математический анализ полученного решения оптимизационной задачи с помощью двойственных оценок.

Ключевые слова: сельское хозяйство, растениеводство, экономико-математическая модель, оптимизация, структура посевных площадей, переменные, ограничения, двойственные оценки.

OPTIMIZATION OF THE STRUCTURE OF ACREAGE AS ONE OF THE DIRECTIONS OF INTENSIFICATION OF PRODUCTION

Abstract. Agriculture plays a huge role in the Russian economy. It occupies a central place in ensuring the food security of the region and the country as a whole, and at the same time, not only provides the state and its population with food, but also forms agricultural raw materials for manufacturing industries. The level of its development determines the economic security of the country.

Based on the Digital Agriculture project of the Ministry of Agriculture of Russia, the introduction of innovative digital technologies into the agro-industrial complex of the country will allow the use of economic and mathematical methods to significantly increase the efficiency of agricultural production.

The paper builds an economic and mathematical model and solves the problem of finding the optimal sectoral structure of production in an agricultural enterprise, in which the objective function corresponding to the amount of profit takes on the maximum value under certain limiting conditions.

As a result of the decision, the areas of sowing crops and the sectoral structure of production were determined in the optimal variant, which allows to obtain the maximum amount of profit at the expense of LLC «Agroservice» of the Belgorod region. In addition, an economic and mathematical analysis of the obtained solution of the optimization problem using dual estimates was carried out.

Keywords: agriculture, crop production, economic and mathematical model, optimization, structure of sown areas, variables, restrictions, dual estimates.

Введение. Российское сельское хозяйство, и в целом агропромышленный комплекс страны, несмотря на сложные геополитические условия, в отчетном году также продолжает успешно развиваться.

Растениеводство является основой сельскохозяйственного производства, что в значительной степени влияет на конечные результаты деятельности всего агропромышленного комплекса страны.

Под рациональной отраслевой структурой сельскохозяйственного предприятия понимается закономерная, устойчивая связь и оптимальное соотношение всех отраслей и элементов производства. Отраслевую структуру предприятия характеризует структура его валовой продукции.

Цифровизация и современные информационные технологии прочно вплетаются в аграрную культуру, начиная от планирования посевов, автоматизации поливов и цифрового моделирования урожая и заканчивая расчетом рационов кормов для крупного рогатого скота и других животных [4, 9].

Одним из способов решения таких задач может служить математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве. Применение экономико-математического моделирования позволяет определить оптимальный вариант с точки зрения выбранного критерия, который при этом удовлетворяет необходимым требованиям и условиям.

В системе моделей оптимального планирования сельского хозяйства на уровне предприятия центральное место занимает модель оптимизации производственно-отраслевой структуры. Она дает возможность определять основные параметры развития производства для текущего и перспективного планирования, может использоваться для анализа сложившейся структуры производства, позволяющего выявить более целесообразные пути использования ресурсов и возможности увеличения объемов производства продукции, опираясь на фактические данные за предшествующие годы.

Целью исследования в данной работе служит поиск и обоснование предложений по повышению эффективности хозяйствования за счет оптимизации структуры производства отрасли растениеводства в ООО «Агро-Сервис» Белгородского района.

Результаты исследования. Любая социально-экономическая система, любой производственный процесс, в том числе и в аграрной сфере, представляет собой сложную систему, в которой одновременно взаимодействуют десятки и сотни экономических, технических, технологических и социальных процессов, постоянно изменяющихся под воздействием внутренних и внешних условий, в том числе и научно-технического процесса, а в настоящее время ещё и всесторонней цифровой трансформации.

В таких сложных условиях управление социально-экономическими системами и производственно-технологическими процессами превращается в сложнейшую задачу, требующую специальных средств и методов решения.

Моделирование относится к процессу построения, изучения и применения моделей. Оно тесно связано с такими категориями, как абстракция, аналогия, гипотеза и др. Процесс моделирования обязательно включает в себя построение абстракций, умозаключения по аналогии и построение научных гипотез [2, 7].

В хозяйственно-плановой работе предприятий и организаций используются различные типы моделей, различающиеся по назначению, характеру задач, степени охвата явлений, математическому аппарату и т. д.

Математическая модель – это описание происходящего с помощью математических зависимостей и соответствующих операций. Это может быть уравнение или система уравнений, неравенство, а чаще дифференциальное уравнение. Моделирование производится для изучения и анализа окружающих предметов, природных явлений, технических процессов и социально-экономических отношений. При этом модель рассматривается как самостоятельная система, имеющая схожие черты с объектом – оригиналом [3, 8].

Математическое моделирование, как вариант цифровой трансформации, дает возможность нахождения оптимальных решений в различных задачах. Они позволяют находить варианты решения с учетом различных факторов, при условии наибольшего, наименьшего или фиксированного значений целевой функции [5, 9].

В экономике широко используются экономико-статистические и экономико-математические модели.

Экономико-математическое моделирование дает возможность находить истину не методом дорогостоящих «проб и ошибок», а формулировать рекомендации по управлению экономикой, опираясь на прочный фундамент научного предвидения. Работа с моделью, а не с объектом, оборачивается оперативным получением подробной и наглядной информации, вскрывающей его внутренние связи, количественные характеристики и качественные параметры. Многократно уменьшаются материальные и трудовые затраты, присущие экспериментальным подходам, дающим, как правило, лишь крупницы нужной информации [8].

В научной литературе и учебных материалах наиболее часто употребляется и используется определение академика Немчинова В.С., что... экономико-математическая модель – это концентрированное выражение наиболее существенных экономических взаимосвязей исследуемых процессов с помощью системы математических уравнений и неравенств.

По мнению профессора А.М. Гатаулина, к основным элементам экономико-математической модели относятся: объёмы производственных ресурсов предприятий, неизвестные переменные величины, которые необходимо найти в процессе оптимизации, коэффициенты при переменных, характеризующие взаимосвязи имеющихся ресурсов и переменных величин, а также целевая функция [8].

В зависимости от поставленных задач существует множество вариантов построения экономико-математических моделей, но имеются основные этапы и стадии, которые обязательно используются при создании любых моделей и осуществляются в определённой последовательности.

В экономико-математической модели параметры обычно задаются в виде таблицы чисел, связанных в систему функциональных уравнений различного типа.

В системе моделей оптимального сельскохозяйственного планирования на уровне предприятия центральное место занимает модель оптимизации производственно-отраслевой структуры. Она дает возможность определить основные параметры развития производства для текущего и перспективного планирования, а также может быть использован для анализа текущей структуры производства, позволяя выявить более целесообразные пути использования ресурсов и возможности увеличения объёмов производства, исходя из фактических данных за предыдущие годы.

М. Е. Браславец предлагает две возможные постановки экономико-математической задачи оптимизации специализации сельского хозяйства [2].

В первой постановке задача компилируется и решается с использованием фактических данных. Целью решения такой задачи является экономический анализ фактического расположения и специализации данного объекта. Результаты решения задачи позволяют оценить фактическое развитие, размещение и специализацию сельского хозяйства с точки зрения наилучшего использования имеющихся природно-климатических и экономических условий для обеспечения максимально возможного уровня производства.

Вторая постановка предполагает решение экономико-математической задачи прогнозирования или планирования на основе соответствующей исходной информации.

В задачу вводятся переменные, которые необходимо определить в результате решения задачи. Существуют переменные в растениеводстве, животноводстве и переменные, отражающие состав и объём используемых ресурсов.

Фундаментальной задачей совершенствования производственных отношений в АПК является повышение эффективности производства, создание предпосылок для функционирования всех видов предприятий в условиях самокупаемости и самофинансирования [6].

На экономические процессы влияет большое количество различных, порой малозаметных факторов. Искусство планирования заключается в том, чтобы учесть эти факторы с наибольшей эффективностью для достижения поставленной цели [4, 10]. При этом нельзя не учитывать тот факт, что факторы с наибольшей эффективностью производства взаимосвязаны и взаимозависимы, в результате чего преимущественное использование какого-либо одного ресурса непременно отразится на использовании всех остальных ресурсов.

Экономико-математические методы, являясь одной из многочисленных составляющих цифровизации, оказывают неоценимую помощь экономистам в определении оптимального варианта для заданных условий [9].

В современной России Белгородская область – эффективно развивающийся регион не только в центральной России, но и во всей стране, который является одним из лидеров по производству продукции агропромышленного комплекса.

Анализируя показатели ресурсной базы сельскохозяйственного производства области, надо отметить, что посевные площади в последние годы увеличиваются, с 1425,2 тысяч гектаров в 2020 году до 1464,3 гектаров в 2022 году, этот факт свидетельствует о более интенсивном использовании пахотных земель и освоении заброшенных земель. Однако в 2023 году посевные площади сельскохозяйственных культур сократились до 1404,2 тысяч гектаров.

Обеспеченность аграрного производства трудовыми ресурсами ежегодно снижается с 535,6 тысяч человек в 2020 году до 520,4 тысяч человек в 2023 году, что в структуре занятости области составляет 34,7 % [1].

По предварительным итогам работы сельскохозяйственной сферы в 2024 году во всех категориях хозяйств Белгородской области урожай зерновых и зернобобовых культур составил 2319,3 тысяч тонн (в весе после доработки) со средней

урожаем 39,6 ц/га, в 2023 году – 3495,3 тысяч тонн при урожайности 58,8 ц/га. Масличные культуры занимают важное место в АПК региона – валовой сбор подсолнечника и сои соответственно составил только 356,8 тысяч тонн и 530,8 тысяч тонн при урожайности 16,2 ц/га и 23,3 ц/га соответственно, в 2023 году было собрано свыше 500,0 тысяч тонн семян подсолнечника и более 750,0 тысяч тонн соевых бобов, при урожайности 28,2 ц/га и 26,4 ц/га соответственно [1].

Общество с ограниченной ответственностью «АгроСервис» Белгородского района было создано и зарегистрировано второго сентября 2003 года. Административно-производственный центр сельскохозяйственного предприятия расположен по адресу: Белгородская область, Белгородский район, поселок Октябрьский, площадь Островского, дом 18.

Основными видами деятельности общества является выращивание зерновых, зернобобовых культур и семян масличных культур, выращивание сахарной свёклы, ремонт автотранспортных средств и сельскохозяйственной техники.

Уставный капитал ООО «АгроСервис» составляет 64,3 млн. рублей.

Общая земельная площадь в хозяйстве в 2023 году уменьшилась по сравнению с 2021 годом на 1748,0 гектаров и составила 4761,7 гектара.

Среднесписочная численность работников организации в 2023 году по сравнению с 2021 годом уменьшилась на 22 человека и составила 75 человек, при этом занятых в сельскохозяйственном производстве было только 47 человек, что в структуре кадров составляет только 62,7 %.

В 2023 году по сравнению с 2021 годом в ООО «АгроСервис» Белгородского района происходит уменьшение производства валовой продукции на 30,9 %, до 177023 тысяч рублей. В результате производительность труда в хозяйстве уменьшилась за отчетный период на 626,82 тысяч рублей и составила в 2023 году 2360,31 тысяч рублей. Данный факт указывает на снижение эффективности использования трудовых ресурсов в ООО «АгроСервис».

В ООО «АгроСервис» Белгородского района за отчетный период среднегодовая стоимость основных средств постоянно увеличивается, и в 2023 году она составила 399981 тысяч рублей.

Изучение состава и структуры денежной выручки в процессе реализации продукции в организации за анализируемые годы показывает, что суммарная выручка от всех видов деятельности предприятия в отчетном году по сравнению с базисным годом уменьшилась на 42,8 % и составила 462815 тысяч рублей, что по сравнению 2021 годом меньше на 319448 тысяч рублей.

В ООО «АгроСервис» Белгородского района в среднем за 2021–2023 гг. наибольшую выручку для предприятия приносит реализация корнеплодов сахарной свёклы на сумму свыше 347712,3 тысяч рублей, что в структуре доходов занимает 53,7 %. Второе место по сумме выручки от реализации продукции принадлежит сое, на долю которой в структуре доходов приходится 17,4 %. А третью позицию среди реализации культур растениеводства с долей 16,0 % занимает зерно озимой и яровой пшеницы.

В отчетный период стоимость валовой продукции в ООО «АгроСервис» уменьшилась на 38,9 % и составила 177023 тысячи рублей, а выручка от продажи продукции упала 42,8 % и составила лишь 426815 тысяч рублей.

В результате в 2023 году по сравнению с 2021 годом происходит снижение валовой прибыли более чем на половину, до 211824 тысячи рублей, против 466325 тысяч рублей.

Вследствие этого уменьшения уровень рентабельности продаж снизился на 6,35 п.п. и составил 49,63 %. Уровень рентабельности производства уменьшился до 77,0 % по сравнению со 156,36 % в 2021 году.

При анализе структуры посевных площадей видим, что в 2023 году площадь посевов в ООО «АгроСервис» уменьшилась по сравнению с 2021 годом в 2,2 раза и составила 2814,0 гектаров.

В 2023 году в структуре посевов в хозяйстве наибольшая доля 46,0 % принадлежит группе зерновых культур, хотя в 2021 году они занимали только 26,3 %. Посевы сахарной свёклы в 2023 году в структуре посевов стали занимать 30,0 %, а в предыдущие годы под эту культуру выделялось до 38,5 %.

Масличные культуры в 2023 году в ООО «АгроСервис» Белгородского района стали занимать только 24,0 % в общей структуре посевов, но в 2021 году под эти культуры было выделено 37,5 % пашни.

Более наглядно изменение посевных площадей по зерновым, масличным культурам и сахарной свёкле за отчетный период в ООО «АгроСервис» представлены на рисунке 1.



Рис. 1 – Посевные площади сельскохозяйственных культур

Результативными показателями при выращивании сельскохозяйственных культур являются урожайность и валовой сбор, которые характеризуют влияние финансово-экономических и природно-климатических условий, а также качество организации производственно-технологического процесса [10].

Следует отметить, что в 2023 году в хозяйстве произошло снижение урожайности зерновых культур по сравнению с 2021 годом на 6,1 ц/га до 45,8 ц/га, кроме этого также наблюдается и уменьшение посевной площади, в результате валовой сбор составил только 54599,7 ц, что меньше уровня 2021 года на 28148,2 ц.

Урожайность масличных культур в хозяйстве в отчетный период выросла – сои до 26,4 ц/га и до 26,8 ц/га подсолнечника. Уменьшение площади посева сои в 2023 году по сравнению с 2021 годом в 4,1 раза привело к снижению валового сбора до 13616,1 ц. Наоборот, подсолнечника на семена в 2023 году в ООО «АгроСервис» намолочено 4262,7 ц, что на 391,9 ц больше, чем в 2021 году.

Несмотря на увеличение урожайности сахарной свёклы в хозяйстве до 626,0 ц/га (+168,6 ц/га к уровню отчетного периода), в 2023 году было накопано только 529232,2 ц корнеплодов, а в 2021 году их урожай превысил 1,0 млн ц.

Экономическая эффективность производства и реализации зерновых культур в ООО «АгроСервис» Белгородского района за анализируемый период имеет тенденцию снижения.

Суммарная выручка от реализации зерновых уменьшилась в 2,5 раза и составила 63894 тысячи рублей, прибыль – в 3,1 раза – до 27955 тысяч рублей против 86370 тысяч рублей в 2021 году.

В результате уровень рентабельности продаж и производства по итогам 2023 году в хозяйстве уменьшились и соответственно составили 48,3 % и 77,8 %. С каждого гектара посевной площади зерновых культур в 2023 году в ООО «АгроСервис» было получено 21,6 тысяч рублей прибыли, что на 32,5 тысяч рублей меньше, чем в 2021 году.

В 2023 году выручка от реализации сои и семян подсолнечника уменьшилась по сравнению с 2021 годом на 158349 тысяч рублей, или в 3,5 раза и составила 64417 тысяч рублей.

При этом прибыль, получаемая за счет масличных культур, уменьшилась в 6,1 раза и составила 28973 тысячи рублей (174181 тысяча рублей в 2021 году).

Рентабельность продаж и производства в отчетный период соответственно уменьшилась до 45,0 % и 81,7 %, а на 1 гектар посевов было получено 42,9 тысяч рублей прибыли, против 76,5 тысяч рублей в 2021 году.

Данные анализа эффективности производства и реализации сахарной свёклы свидетельствуют о снижении объёма реализации корнеплодов. Также снижается и сумма выручки в 2023 году по сравнению с 2021 годом на 99631 тысячу рублей.

В результате этого прибыль от производства сахарной свёклы в хозяйстве уменьшилась на 6220 тысяч рублей или на 22,3 % и составила в 2023 году – 136869 тысяч рублей. В итоге происходит снижение уровня рентабельности продаж до 54,7 %, а уровня -производства до – 121,0 %.

Положительным моментом является увеличение полученной прибыли на один гектар посева сахарной свёклы с 90,4 тысяч рублей в 2021 году до 161,9 тысяч рублей в 2023 году.

Сравнение экономической эффективности выращивания и реализации сельскохозяйственных культур в ООО «АгроСервис» за 2021-2023 годы показывает, что сумма прибыли по сахарной свёкле, получаемая в хозяйстве с каждого гектара, превышает в 2021 году зерновые культуры на 36,2 тысяч рублей, масличные – на 13,9 тысяч рублей, а в 2023 году – уже на 140,3 тысяч рублей и 119,0 тысяч рублей соответственно.

Для наглядности эта информация представлена на рисунке 2.

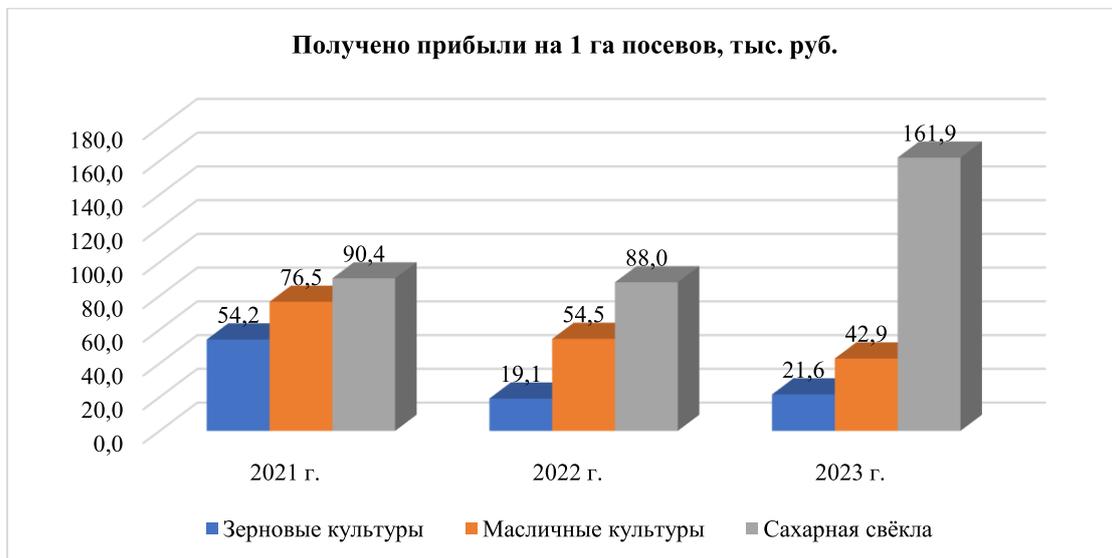


Рис. 2 – Получено прибыли с 1 гектара посевов

В структуре посевов различных культур за анализируемый период наблюдаются значительные изменения. В 2023 году в структуре посевов в хозяйстве наибольшая доля принадлежит группе зерновых культур, хотя в 2021 году они занимали только 26,3 %. Посевы сахарной свёклы в 2023 году в структуре стали занимать 30,0 %, а в предыдущие годы под эту культуру выделялось свыше 36,3 % (в 2021 году), в 2022 году – 38,5 %. Масличные культуры в 2023 году в ООО «АгроСервис» стали занимать только 24,0 % в общей структуре посевов, но в 2021 году под эти культуры было выделено 37,5 % пашни.

В итоге мы видим, что структура посевов за последние годы претерпела значительные изменения, максимальная часть – 46,0 % отводится в 2023 году под зерновые, масличные культуры занимают 37,5 %, а сахарная свёкла – 30 %.

Структура посевных площадей сельскохозяйственных культур в хозяйстве, по нашему мнению, не является оптимальной и требует корректировки.

Площади посева сельхозкультур на предприятии в отчетные годы имеют различные размеры, что свидетельствует о поиске наилучших вариантов в структуре посевных площадей для получения максимальной выгоды с каждого гектара пашни.

Производственные затраты при выращивании отдельных культур в ООО «АгроСервис» в различные годы существенно изменяются, производственные результаты – урожайность и валовой сбор – имеют значительную колеблемость, следовательно, эффективность выращивания отдельных культур также значительно отличаются. А при учете изменяющейся рыночной конъюнктуры и цен на реализацию растениеводческой продукции сложно определить наилучшие объемы посевов сельскохозяйственных культур и их структуру обычными аналитическими методами.

Р.Г. Кравченко подчеркивает, что... «решение сложной и многогранной задачи изменения и перераспределения пахотных земель в хозяйстве требуют применение экономико-математического моделирования» [7].

Применение экономико-математических методов и экономико-математического моделирования для определения рациональной отраслевой структуры позволяет определить и обосновать объемы валового производства продукции по отдельным подразделениям хозяйства и направлениям отрасли при минимуме затрат труда и материально-денежных средств на основе имеющихся ресурсов, опираясь на фактические данные предыдущего периода.

Оптимизация структуры производства, в том числе, и оптимизация площади посевов сельскохозяйственных культур и их структуры в хозяйстве начинается с постановки задачи, определения цели задачи и подготовки исходной информации.

С финансово-экономической точки зрения, для повышения прибыльности растениеводческой отрасли в хозяйстве необходимо наращивать посевы более прибыльных и высокопродуктивных культур, при этом уменьшая площади экономически менее выгодных культур. Но такая позиция требует обоснования и научного подхода.

Задача может быть сформулирована следующим образом: определить оптимальную структуру посевных площадей, исходя из производственных ресурсов (наличия площади земель, трудовых ресурсов и материально – денежных средств), которая обеспечила бы выполнение плана по продаже всех видов сельскохозяйственной продукции и внутривозрастные потребности при максимальном экономическом эффекте (максимизации прибыли).

Для разработки экономико-математической модели оптимизации структуры посевов и производства сельскохозяйственных культур в ООО «АгроСервис» была произведена оценка выращиваемых в хозяйстве культур и применяемых севооборотов, технология их возделывания и подготовлена следующая информация:

- размер площади пашни;
- сельскохозяйственные культуры, выращиваемые на предприятии, их урожайность, валовое производство, полученно прибыли с 1 га;
- обеспеченность растениеводства трудовыми ресурсами всего, а также затраты труда на 1 га по каждой культуре;
- затраты материально-денежных средств на 1 га по каждой культуре;
- плановое задание на производство и реализацию продукции;
- затраты, выручка и прибыль от реализации 1 ц продукции каждого вида;
- агротехнические и агротехнологические требования и возможные пределы (min, max) занимаемой доли отдельных культур в структуре севооборота (или отдельных групп культур).

Основные расчеты по имеющимся ресурсам и коэффициенты при переменных в экономико-математической модели получены на основе данных годовых бухгалтерских отчетов за 2017-2023 годы ООО «АгроСервис» Белгородского района.

Разработку экономико-математической модели оптимизации размеров и структуры посевных площадей, выращиваемых в ООО «АгроСервис» Белгородского района на перспективу, производили на основе расчетных средних данных за 3-5 лет, а также предполагаемых плановых заданий по производству и реализации сельскохозяйственной продукции.

Для построения экономико-математической модели были использованы следующие виды и объемы ресурсов.

Площадь пашни в хозяйстве в 2023 году по сравнению с 2021 годом уменьшилась на 29,3 % и составила 4339,4 га, при этом в 2023 году в ООО «АгроСервис» Белгородского района использовалось в производстве только 2817,9 га общей площади, а сельскохозяйственные угодья и пашня занимали 2815,3 га.

Надо заметить, что в ООО «АгроСервис» Белгородского района в структуре севооборотов отсутствуют площади пахотных земель, отводимые под чистые пары. В итоге у нас при разработке экономико-математической модели оптимизации площадей посева сельскохозяйственных культур площадь пашни составила 2815 га. Затраты материально-денежных средств на перспективу в хозяйстве мы приняли на основе используемых данных в 2023 году с увеличением на уровень инфляции (8 %), а затраты труда мы определим, как среднее значение за ряд лет, с учетом построения линии тренда и полученного уравнения зависимости.

Расчеты других показателей (прогнозируемую урожайность по каждой культуре, затраты труда и материально-денежных средств на один гектар посевной площади по каждой культуре, а также реализационные затраты, выручку и соответственно прибыль с гектара по каждой культуре), включаемых в оптимизационную модель в качестве коэффициентов основных и дополнительных переменных и ограничений, производили на основе средних значений данных за ряд лет с учетом полученных значений в корреляционной модели по формуле

$$y_i^x = y_i + \frac{\lg y_o}{\lg y_i} \cdot a_1 x$$

В данной формуле обозначены:

y_i^x – расчетная урожайность культур на перспективу, ц/га;

y_i – средняя фактическая урожайность по хозяйству на начало планового периода, ц/га;

x – номер текущего года,

a_1 – коэффициент регрессии, характеризующий возможное среднегодовое приращение урожайности в хозяйстве.

На основании средних данных по урожайности культур были построены графики (линии тренда) и выведены уравнения зависимости и величина достоверности аппроксимации (R^2) на диаграмме. Примеры расчета урожайности по озимой пшенице, сое и сахарной свёкле на перспективу приведены на рисунке 3.

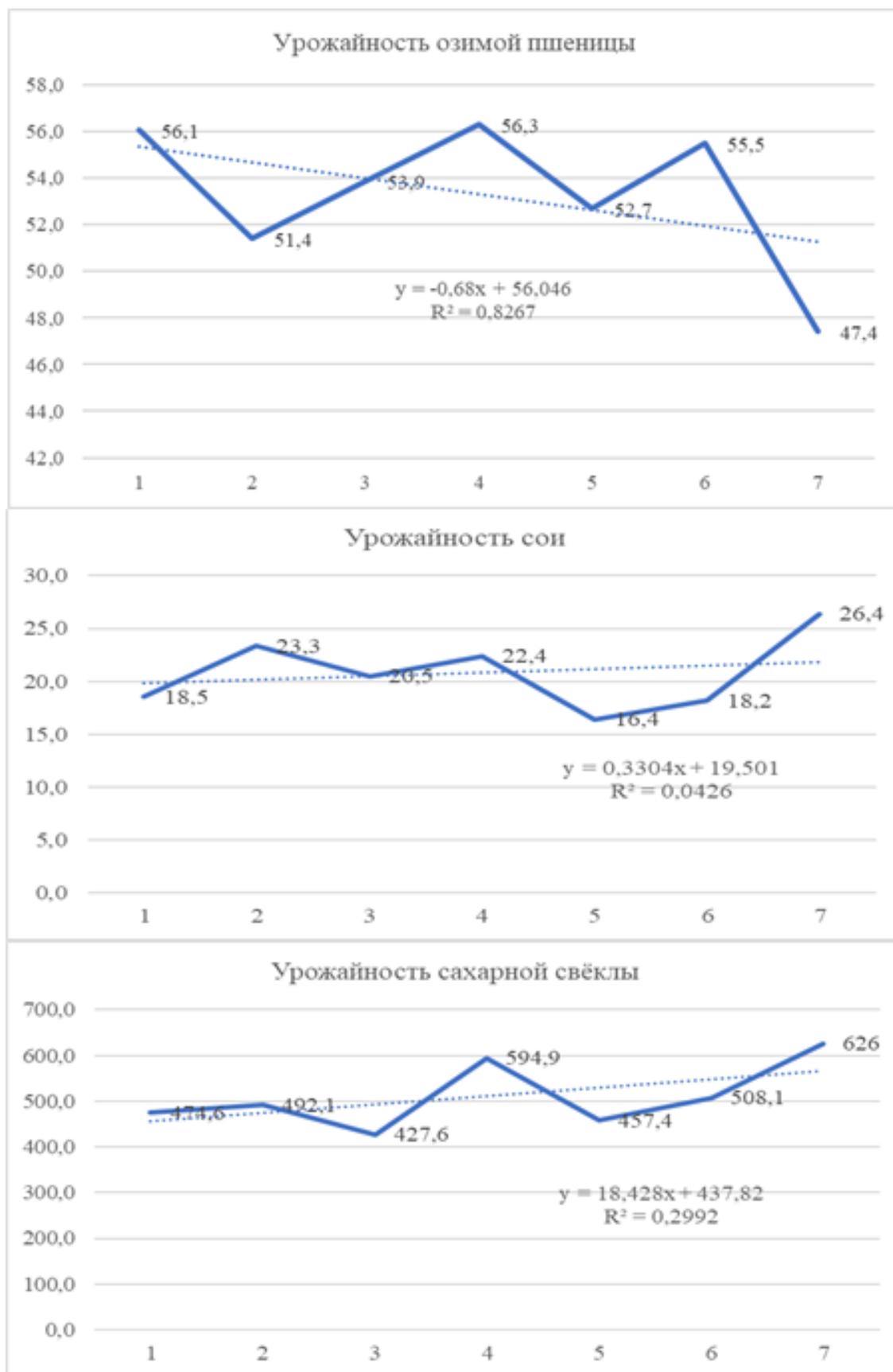


Рис. 3 – Примеры графиков и расчетных уравнений урожайности озимой пшеницы, сои и сахарной свёклы в ООО «АгроСервис» за 2017-2023 гг.

Например, урожайность озимой пшеницы за последние годы соответственно составила 56,1 ц/га, 51,4 ц/га, 53,9 ц/га, 56,3 ц/га, 52,7 ц/га, 55,5 ц/га, 47,4 ц/га, тогда уравнение корреляционной модели по этой культуре за ряд лет имеет вид:

$Y = - 0,68 * X + 56,046$, при этом $a_0 = 56,046$ ц/га – средняя выровненная урожайность по хозяйству на начало планового периода, $a_1 = - 0,68$ ц/га – среднегодовое снижение урожайности в хозяйстве.

Согласно корреляционной модели (выравнивания динамического ряда урожайности за 7 лет), урожайность озимой пшеницы в хозяйстве снижается ежегодно на 0,68 ц/га. Но при этом необходимо учитывать уровень достоверности 0,8267. Поэтому урожайность пшеницы для экономико-математической модели приняли на уровне 51,3 ц/га ($- 0,68 * 7 + 56,046$).

Аналогичным образом были рассчитаны остальные показатели по урожайности сельскохозяйственных культур на предприятии.

Исходные данные для построения экономико-математической модели и решения задачи по оптимизации площади и структуры посевов в ООО «АгроСервис» на перспективу представлены в таблице 1.

Таблица 1 – Исходные данные для построения экономико-математической модели в ООО «АгроСервис»

Наименование культур	Объёмы продаж, ц	Затраты труда на 1 га, чел-час	Затраты материально-денежных средств на 1 га, тыс. руб.	Урожайность, ц/га	Выручка на 1 га, тыс. руб.
Пшеница озимая	32500	9,29	45,64	51,3	49,21
Пшеница яровая	11850	7,76	26,97	48,1	28,88
Ячмень	2900	9,42	43,58	41,9	46,60
Соя	11250	11,74	59,40	20,8	61,77
Подсолнечник	4500	11,56	41,05	29,4	59,36
Сахарная свёкла	525000	23,1	19,16	522,8	143,44
Чистые пары	-	0,01	1,58	-	-

В экономико-математической модели под выращивание растениеводческих культур в хозяйстве было выделено:

- 2815 га пашни, с учетом выделения площади пашни под чистые пары;
- 42 тысячи человеко-часов трудовых ресурсов;
- 98000 тысяч рублей материально-денежных средств.

После определения исходных данных для оптимизации размеров и структуры посевных площадей выращиваемых в хозяйстве культур, перешли к построению экономико-математической модели решаемой задачи.

Решение начинается с постановки задачи и обозначения неизвестных величин. За неизвестные величины принимаем площади посева сельскохозяйственных культур.

Пусть X_1 (га) – будет обозначена площадь посева озимой пшеницы в хозяйстве на перспективу, аналогичным образом – X_2 – посева яровой пшеницы т.д. для всех культур, включаемых в модель, эту информацию более удобно представить в виде таблицы.

Таблица 2 – Обозначение площади посева основных культур в ООО «АгроСервис» для построения экономико-математической модели

№ п.п.	Наименование культур	Обозначение неизвестных
1	Пшеница озимая	X_1
2	Пшеница яровая	X_2
3	Ячмень	X_3
4	Соя	X_4
5	Подсолнечник	X_5
6	Сахарная свёкла	X_6
7	Чистые пары	X_7

Для соблюдения в модели, при решении задачи, агротехнических условий возделывания сельскохозяйственных культур были произведены ограничения (минимум, максимум) по выращиванию и реализации отдельных видов культур или их групп, что в итоге позволило обеспечить выбор множество вариантов полученного решения.

Целью решения задачи было определение площади и структуры посевных площадей основных сельскохозяйственных культур в ООО «АгроСервис», которая при выполнении основных ограничений по использованию производственных ресурсов и дополнительных – по производству продукции для её реализации, обеспечила бы максимальную прибыль.

Далее записывались ограничения по выделенным в хозяйстве производственным ресурсам: площади пашни, наличию трудовых ресурсов и материально денежных средств.

1. Сначала записываем ограничения по площади используемой пашни:

$$X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 \leq 2815$$

2. Использование трудовых ресурсов в хозяйстве (max) представлено во следующей строке, чел.-час.:

$$9,29 * X_1 + 7,76 * X_2 + 9,42 * X_3 + 11,74 * X_4 + 11,56 * X_5 + 23,1 * X_6 + 0,01 * X_7 \leq 42000$$

Таким же образом определяем затраты материально денежных средств.

3. Далее приведены ограничения по наличию и использованию материально денежных средств, тыс. руб.:

$$45,64 * X_1 + 26,97 * X_2 + 46,76 * X_3 + 44,28 * X_4 + 43,58 * X_5 + 39,89 * X_6 + 1,58 * X_7 \leq 98000$$

Потом перешли к записи ограничений, которые характеризуют минимальные и максимальные пределы посева сельскохозяйственных культур и чистых паров, а также других параметров задачи, которые можно увидеть в таблице (рисунок 4).

Цель задачи – максимизация прибыли, которая определяется как разница между выручкой и затратами на производство и реализацию продукции.

Фрагмент ввода информации и составления экономико-математической модели приведен на рисунке 4.

Оптимизация производственно-отраслевой структуры ООО "АгроСервис"												
№	Ограничения	Озимая пшеница	Яровая пшеница	Ячмень	Соя	Подсолнечник	Сахарная свёкла	Чистые пары	Тип ограничений	Объем ограничений	План	
	Обозначение неизвестных	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇				
1	Площадь посева, га	1	1	1	1	1	1	1	<=	2815	0,0	
2	Затраты труда на 1 га, чел-час	9,29	7,76	9,42	11,74	11,56	23,1	0,01	<=	42 000	0,0	
3	Затраты материально-денежных средств на 1 га, тыс. руб.	45,64	26,97	43,58	59,4	41,05	19,16	1,58	<=	98000	0,0	
4	Озимая пшеница	51,3							>=	32500	0,0	
5	Яровая пшеница		48,1						>=	11850	0,0	
8	Ячмень			41,9					>=	2900	0,0	
9	Соя				20,8				>=	11250	0,0	
10	Подсолнечник					29,4			>=	4500	0,0	
11	Сахарная свёкла						522,8		>=	525000	0,0	
12	Площадь посева зерновых MAX(70 %), га	1	1	1					<=	2100	0,0	
13	Площадь посева озимых зерновых в группе зерновых MIN(50 %), га	1	1						>=	500	0,0	
14	Площадь посева подсолнечника MAX(12,5 %), га					1			<=	250	0,0	
15	Площадь посева подсолнечника MIN(8 %), га					1			>=	100	0,0	
16	Пары MAX(15 %), га							1	<=	300	0,0	
17	Пары MIN(7 %), га							1	>=	90	0,0	
18	Производственные затраты на 1 га, тыс. руб.	45,64	26,97	43,58	59,4	41,05	19,16	1,58				
19	Выручка на 1 га, тыс. руб.	67,91	39,85	64,31	97,60	81,92	197,95	0,00				
20	Плановая площадь посева, га											
21	Всего затрат, тыс. руб.	0,00										
22	Выручка всего, тыс.руб.	0,00										
23	Ожидаемая прибыль, тыс. руб.	0,00										
24	Уровень рентабельности производства, %	#ДЕЛ/0!										
25	Уровень рентабельности продаж, %	#ДЕЛ/0!										

Рис. 4 – Фрагмент ввода информации и составления экономико-математической модели в MS Excel

В данной экономико-математической модели введено 7 переменных, обозначающих соответствующие сельскохозяйственные культуры, которые выращиваются в ООО «АгроСервис» в отчетные годы.

Группа ограничений включает 18 основных и дополнительных ограничений, которые отражают производственно-экономические и агрономические условия решения задачи.

После обозначения переменных – сельскохозяйственных культур (строка 4 и 5 в таблице), записываем различные ограничения (строки 6-20), а в правой части таблицы – указывается тип и объем ограничений (в столбцах **К** и **L**), а в столбике **М** записываем расчетные формулы вычислений в перспективном проекте.

Для определения эффективности производства и реализации сельскохозяйственных культур необходимо было найти прибыль, которая определяется вычитанием из выручки при продаже по каждой культуре на один гектар, производственных затрат также на каждый гектар выращиваемой культуры. Эти вычисления были рассчитаны на основе данных и формул, записанных в строках 21-25.

При этом в строке 23 (строка значений переменных от X₁ до X₇) записаны площади посевов сельскохозяйственных культур, определяемых в результате решения оптимизационной задачи, а также площадь пашни, выделяемая под чистые пары.

Целевая функция (цель решения задачи оптимизации) в ячейке **D26** показывает величину ожидаемой прибыли в перспективном варианте.

После ввода всех исходных данных и соответствующих формул в матрицу экономико-математической модели перешли к следующему этапу решения задачи – вводу данных в соответствующие поля диалогового окна «Параметры поиска решения» надстройки MS Excel.

Модуль «Поиск решения» в табличном процессоре Microsoft Excel, используемый для решения оптимизационных задач, позволяет получить не только само оптимальное решение, но и информацию относительно ценности каждого ресурса, чувствительности оптимального решения к изменению запасов ресурсов, вариациям коэффициентов целевой функции и оценить вклад каждого из ресурсов в доходность.

Для этого в поле *Оптимизировать целевую функцию* указываем адрес ячейки **\$D\$33** (в ней записана формула нахождения максимального значения прибыли), далее устанавливаем цель задачи – *До: Максимум*, затем в поле *Изменяя ячейки переменных* указываем адреса ячеек переменных – **\$D\$30:\$P\$30** – для вывода значений переменных – результатов решения задачи.

Далее следует заполнить поле *В соответствии с ограничениями*: – для ввода всех ограничений при решении задачи, как ограничений по использованию производственных ресурсов, так и по выполнению производственного задания по выращиванию сельскохозяйственных культур.

После завершения ввода всех данных и параметров для решения задачи в диалоговом окне выполняем команду *Найти решение* и при правильном вводе всех параметров и данных, а также ограничений, появляется окно результатов по-

иска решения с сообщением *Решение найдено*, которое указывает на выполнение всех условий и ограничений оптимизации и оптимальное решение найдено (рисунок 5). В диалоговом окне *Результатов поиска решения* необходимо выбрать соответствующие Отчеты и MS Excel их создаёт, выводит на отдельном листе, сохраняя полученное решение при нажатии на кнопку **Ок**.

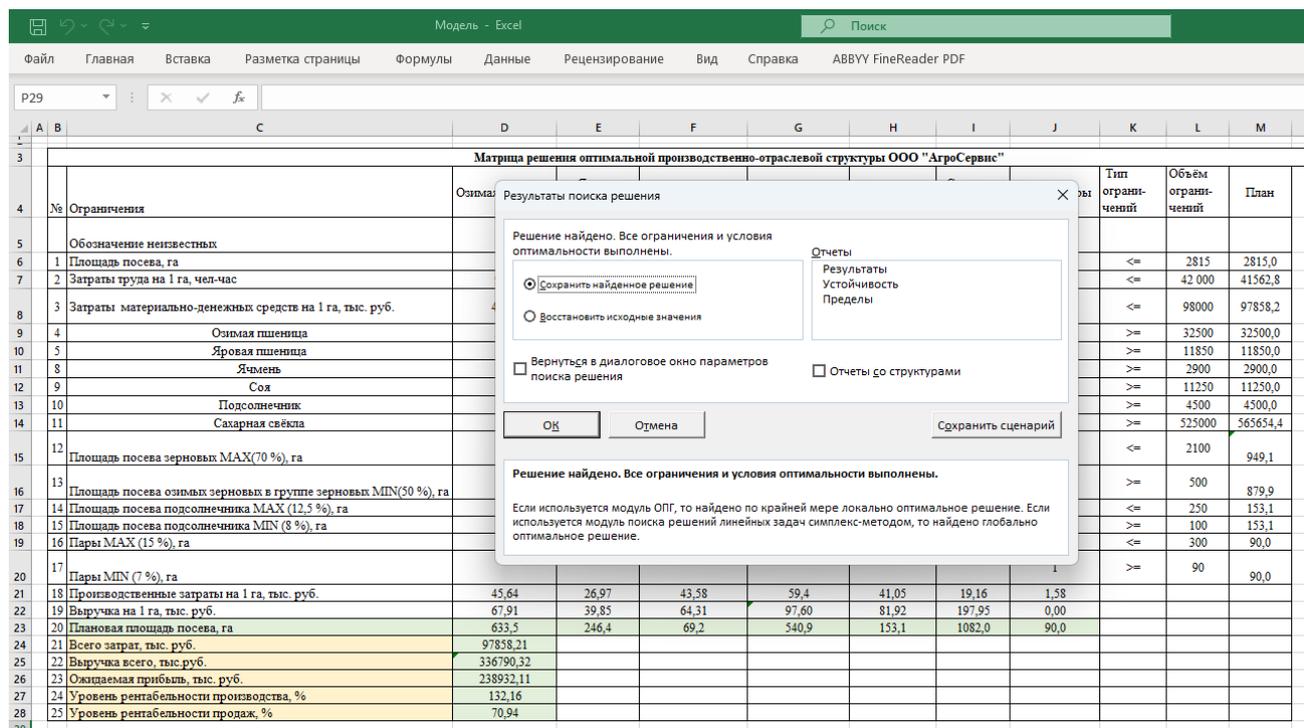


Рис. 5 – Результат решения оптимизационной задачи – *Решение найдено*

Далее размер посевных площадей (строка 23 таблицы) в ООО «АгроСервис» на перспективу, согласно оптимальному плану, представим в таблице 3.

Таблица 3 – Размер и структура посевных площадей основных культур на перспективу

№ п.п.	Наименование культур	Обозначение неизвестных (переменных)	Плановая площадь посева, га	Структура посевов, %
1	Пшеница озимая	X ₁	633,5	22,5
2	Пшеница яровая	X ₂	246,4	8,8
3	Ячмень	X ₃	69,2	2,5
4	Соя	X ₄	540,9	19,2
5	Подсолнечник	X ₅	153,1	5,4
6	Сахарная свёкла	X ₆	1082,0	38,4
7	Чистые пары	X ₇	90,0	3,2
8	Всего посевов		2815	

Плановая посевная площадь сельскохозяйственных культур для производства товарной продукции в запланированном объёме выведена в строке 23, ячейки – **D23:J23**. При этом сумма всех затрат материально-денежных средств в прогнозируемом варианте составит 97858,21 тысяч рублей (ячейка **D24**). Суммарная выручка при реализации продукции растениеводства в хозяйстве на перспективу в ценах 2023 года составит 336790,32 тысяч рублей (ячейка **D25**).

На основании полученного решения в оптимальном варианте, целевая функция, которая показывает сумму прибыли, составит 238932,11 тысяч рублей – содержимое ячейки **D26**, при этом уровень рентабельности производства составит 132,2 %, а уровень рентабельности продаж – 70,9 %.

В проектном варианте, согласно полученному решению (рисунок 5, таблица 4), площади посевов сельскохозяйственных культур на перспективу могут составлять: озимая пшеница – 633,5 га, что занимает в структуре посевов 22,5 %, яровая пшеница – 246,4 га (8,8 %), ячмень – 69,2 га (2,5 %), соя – 540,9 га (19,2 %), подсолнечник на семена – 151,3 га (5,4 %), сахарная свёкла – 1082,0 га (38,4 %), площадь пашни, выделенная под чистые пары, составит 90,0 га, что в структуре посевов будет занимать 3,2 %.

Таблица 4 – Размер и структура посевных площадей основных культур

Наименование культур	Среднее значение за 3 года		2023 год		По решению на ПК		Отклонение по решению на ПК - ср. значение	Отклонение по решению на ПК - значение 2023 г.
	га	%	га	%	га	%		
Озимая пшеница	1286,4	25,5	667,3	23,7	633,5	22,5	-652,8	-33,8
Яровая пшеница	277,1	5,5	626,3	22,3	246,4	8,8	-30,8	-379,9
Ячмень	0,0	0,0	0	0,0	69,2	2,5	69,2	69,2
Соя	1410,7	27,9	516	18,3	540,9	19,2	-869,8	24,9
Подсолнечник	251,1	5,0	159	5,7	153,1	5,4	-98,0	-5,9
Сахарная свёкла	1824,3	36,1	845,4	30,0	1082,0	38,4	-742,3	236,6
Чистые пары	0,0	0,0	0	0,0	90,0	3,2	90,0	90,0
Итого	5049,5	100,0	2814	100,0	2815,0	100,0	-2234,5	1,0

В проектном варианте по сравнению с 2023 годом в ООО «АгроСервис» площади посева озимей пшеницы уменьшаются на 33,3 га, яровой пшеницы – на 379,9 га, подсолнечника – на 5,9 га. Площади пашни будут выделены под ячмень 69,2 га и чистые пары – 90 га, кроме этого, будут увеличены посевы сои на 24,9 га и сахарной свёклы на 236,6 га.

Экономико-математический анализ полученных оптимальных решений может осуществляться в двух направлениях: в виде вариантных расчетов по моделям с сопоставлением различных вариантов плана и в виде анализа каждого из полученных решений с помощью двойственных оценок.

Использование двойственных оценок оптимального плана является одним из эффективных средств экономико-математического анализа, которые, в том числе, могут выступать:

- как мера дефицитности ресурсов и продукции;
- как мера влияния ограничений на целевую функцию;
- как инструмент определения эффективности отдельных вариантов;
- как инструмент балансирования затрат и результатов.

Двойственные оценки оптимального решения в новых экономических условиях, условиях цифровизации экономики приобретают особое значение как инструмент определения истинной стоимости производственных ресурсов, занятых в сельскохозяйственном производстве, оценки различных экономических ситуаций. С помощью двойственной оценки можно определить степень влияния изменения ограничений на значение целевой функции.

При изучении информации и анализа данных, выведенных в *Отчете по результатам* (рисунок 6), мы установили:

- ожидаемая прибыль (значение целевой функции) составит 238932,11 тысяч рублей;
- во втором блоке информации (*Ячейки переменных*) представлены результаты переменных, то есть оптимальные площади посевов;
- в нижней части (*блок ограничений*) – строки с 21 по 37 содержат информацию о состоянии соответствующего ограничения.

Microsoft Excel 16.0 Отчет о результатах
 Лист: [Модель.xlsx]02 06 2024 (2)
 Отчет создан: 10.11.2024 0:47:53
 Результат: Решение найдено. Все ограничения и условия оптимальности выполнены.

Ячейка целевой функции (Максимум)

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение
\$D\$26	Ожидаемая прибыль, тыс. руб. X1	238932,11	238932,11

Ячейки переменных

Ячейка	Имя	Исходное значение	Окончательное значение	Целочисленное
\$D\$23	Плановая площадь посева, га X1	633,5	633,5	Продолжить
\$E\$23	Плановая площадь посева, га X2	246,4	246,4	Продолжить
\$F\$23	Плановая площадь посева, га X3	69,2	69,2	Продолжить
\$G\$23	Плановая площадь посева, га X4	540,9	540,9	Продолжить
\$H\$23	Плановая площадь посева, га X5	153,1	153,1	Продолжить
\$I\$23	Плановая площадь посева, га X6	1082,0	1082,0	Продолжить
\$J\$23	Плановая площадь посева, га X7	90,0	90,0	Продолжить

Ограничения

Ячейка	Имя	Значение ячейки	Формула	Состояние	Допуск
\$M\$12	>= План	11250,0	\$M\$12>=\$L\$12	Привязка	0,0
\$M\$11	>= План	2900,0	\$M\$11>=\$L\$11	Привязка	0,0
\$M\$15	<= План	949,1	\$M\$15<=\$L\$15	Без привязки	1150,89758
\$M\$10	>= План	11850,0	\$M\$10>=\$L\$10	Привязка	0,0
\$M\$8	<= План	97858,2	\$M\$8<=\$L\$8	Без привязки	141,785955
\$M\$8	<= План	97858,2	\$M\$8<=\$L\$8	Без привязки	141,785955
\$M\$16	>= План	879,9	\$M\$16>=\$L\$16	Без привязки	379,9
\$M\$14	>= План	565654,4	\$M\$14>=\$L\$14	Без привязки	40654,4
\$M\$20	>= План	90,0	\$M\$20>=\$L\$20	Привязка	0,0
\$M\$19	<= План	90,0	\$M\$19<=\$L\$19	Без привязки	210
\$M\$9	>= План	32500,0	\$M\$9>=\$L\$9	Привязка	0,0
\$M\$17	<= План	153,1	\$M\$17<=\$L\$17	Без привязки	96,9387755
\$M\$18	>= План	153,1	\$M\$18>=\$L\$18	Без привязки	53,1
\$M\$13	>= План	4500,0	\$M\$13>=\$L\$13	Привязка	0,0
\$M\$7	<= План	41562,8	\$M\$7<=\$L\$7	Без привязки	437,197606
\$M\$6	<= План	2815,0	\$M\$6<=\$L\$6	Привязка	0
\$M\$7	<= План	41562,8	\$M\$7<=\$L\$7	Без привязки	437,197606

Рис. 6 – Отчет о результатах

Так, строка 29 характеризует ограничение строки 10 в матрице, указывающей, что суммарные затраты материально-денежных средств всех культур в хозяйстве в прогнозном варианте могут составить 97858,2 тысяч рублей, при этом 141,8 тысяч рублей можно использовать в перспективе (*Допуск*).

В строке 41 выведена информация, что посевные площади 2815 га, как производственный ресурс, используются полностью – состояние «*Привязка*».

Окончательное								Приведенн.	Целевая функция	Допустимое	Допустимое
Ячейка	Имя	Значение	Стоимость	Коэффициент	Увеличение	Уменьшение					
\$D\$23	Плановая площадь посева, га X1	633,5282651	0	22,2698	156,5174	1E+30					
\$E\$23	Плановая площадь посева, га X2	246,3617464	0	12,8844	165,9028	1E+30					
\$F\$23	Плановая площадь посева, га X3	69,2124105	0	20,728	158,0592	1E+30					
\$G\$23	Плановая площадь посева, га X4	540,8653846	0	38,1966	140,5906	1E+30					
\$H\$23	Плановая площадь посева, га X5	153,0612245	0	40,8668	137,9204	1E+30					
\$I\$23	Плановая площадь посева, га X6	1081,970969	0	178,7872	1E+30	137,9204					
\$J\$23	Плановая площадь посева, га X7	90	0	-1,58	180,3672	1E+30					

Ограничения							
Ячейка	Имя	Окончательное	Тень	Ограничение	Допустимое	Допустимое	
		Значение	Цена	Правая сторона	Увеличение	Уменьшение	
\$M\$12	>= План	11250	-6,759163462	11250	73,28896305	800,5026585	
\$M\$11	>= План	2900	-3,772295943	2900	243,2772945	1339,077462	
\$M\$15	<= План	949,102422	0	2100	1E+30	1150,897578	
\$M\$10	>= План	11850	-3,449122661	11850	873,2272031	1370,873849	
\$M\$8	<= План	97858,21404	0	98000	1E+30	141,7859554	
\$M\$8	<= План	97858,21404	0	98000	1E+30	141,7859554	
\$M\$16	>= План	879,8900115	0	500	379,8900115	1E+30	
\$M\$14	>= План	565654,4226	0	525000	40654,42255	1E+30	
\$M\$20	>= План	90	-180,3672	90	77,76285875	8,065185178	
\$M\$19	<= План	90	0	300	1E+30	210	
\$M\$9	>= План	32500	-3,051021442	32500	274,6835164	1624,057725	
\$M\$17	<= План	153,0612245	0	250	1E+30	96,93877551	
\$M\$18	>= План	153,0612245	0	100	53,06122449	1E+30	
\$M\$13	>= План	4500	-4,691170068	4500	190,4297437	1113,830989	
\$M\$7	<= План	41562,80239	0	42000	1E+30	437,1976058	
\$M\$6	<= План	2815	178,7872	2815	7,400102058	77,76285875	
\$M\$7	<= План	41562,80239	0	42000	1E+30	437,1976058	

Рис. 7 – Отчет об устойчивости

Рассматривая отчет об устойчивом развитии (*Отчет об устойчивости*), в котором теневая цена (*Тень Цена*) показывает величину увеличения прибыли при увеличении конкретного показателя (дефицитного ресурса) на единицу (рисунок 7).

Например, теневая цена по общей площади посева (строка 32) показывает, что при увеличении площади посевов в хозяйстве на один гектар, прибыль при реализации может увеличиться на 178,8 тысяч рублей.

Но надо заметить, что в представленном отчете многие показатели имеют отрицательное значение, что свидетельствует о не рациональном наращивании данного показателя, а в результате можно будет получить убытки. Например, вторая строка ограничений (18 строка отчета) свидетельствует, что при увеличении производства ячменя на один центнер, целевая функция уменьшится на 3,77 тысяч рублей, то есть в хозяйстве будет получен убыток на эту сумму.

В графе *Допустимое уменьшение (увеличение)* показано, на сколько можно уменьшить (устранить излишек) или увеличить (повысить минимально необходимое требование) ресурс, сохранив при этом оптимальное решение. Применительно к 18 строке *Допустимое увеличение* показывает, что можно дополнительно произвести 243,3 ц ячменя, но при этом оптимальное решение сохранится.

Значение 32 строки *Допустимое увеличение*, равное 7,4 гектара, означает, что общая посевная площадь (площадь пашни – дефицитного ресурса – строка 41 на рисунке 6) может быть увеличена только на 7,4 га, сохранив оптимальное решение. Это связано с тем, что при увеличении площади пашни увеличиваются и затраты других ресурсов – трудовых и материально-денежных, которые не являются дефицитными и не в полном объеме используются в оптимальном плане (строка 40 *Допуск* на рисунке 6 имеет значение 437,2 чел-часа). Аналогичная информация по использованию трудовых ресурсов представлена на рисунке 6 в строке 31. *Теневая цена* равна 0, свидетельствует, что этот ресурс не является дефицитным и используется неполностью – *Допустимое уменьшение* 437,2 чел-часа.

Отчет о пределах показывает объем полученной прибыли при реализации оптимального плана на перспективу (рисунок 8).

Целевая функция							
Ячейка	Имя	Значение					
\$D\$26	Ожидаемая п	238932,11					

Переменная			Нижний предел	Целевая функция Результат	Верхний предел	Целевая функция Результат
Ячейка	Имя	Значение	Предел	Результат	Предел	Результат
\$D\$23	Плановая плс	633,5	633,5	238932,1	633,5	238932,1
\$E\$23	Плановая плс	246,4	246,4	238932,1	246,4	238932,1
\$F\$23	Плановая плс	69,2	69,2	238932,1	69,2	238932,1
\$G\$23	Плановая плс	540,9	540,9	238932,1	540,9	238932,1
\$H\$23	Плановая плс	153,1	153,1	238932,1	153,1	238932,1
\$I\$23	Плановая плс	1082,0	1004,2	225029,1	1082,0	238932,1
\$J\$23	Плановая плс	90,0	90,0	238932,1	90,0	238932,1

Рис. 8 – Отчет о пределах

В перспективе при оптимальном варианте решения задачи целевая функция (прибыль при реализации сельскохозяйственной продукции в ООО «АгроСервис» Белгородского района) составит 238932,11 тысяч рублей, что превышает уровень 2023 года на 27108,11 тысяч рублей.

Во второй таблице указывается нижний и верхний предел посевных площадей по каждой культуре. Если уменьшить площадь посева сахарной свёклы до 1004,2 гектара (нижний предел – строка 18 таблицы), то целевая функция – прибыль уменьшится и составит 225029,1 тысяч рублей, что на 13903,0 тысяч рублей меньше максимального значения. Такой вариант позволит уменьшить площадь сахарной свёклы и её долю в структуре посевов, и при этом будет выполнено ограничение сбора сахарных корнеплодов в объёме 525000 ц.

Заключение. Согласно решению оптимизационной задачи посевные площади сельскохозяйственных культур в ООО «АгроСервис» Белгородского района в перспективе могут составлять: озимая пшеница – 633,5 га, яровая пшеница – 246,4 га, ячмень – 69,2 га, соя – 540,9 га, подсолнечник на семена – 151,3 га, сахарная свёкла – 1082,0 га, площадь пашни, выделенная под чистые пары – 90,0 га. При этом в планируемом варианте полученная сумма прибыли может составить 238932,11 тысяч рублей, а уровень рентабельности производства составит 132,2 %, уровень рентабельности продаж – 70,9 %.

Решение задачи улучшения производственно-отраслевой структуры в целом и экономико-математический анализ полученного оптимального решения позволяет выявить недоиспользуемые в хозяйстве ресурсы, определить направление их эффективного использования, осуществить оптимизацию структуры посевных площадей, определить структурные сдвиги и перспективы развития предприятия.

Применение экономико-математического моделирования является важнейшим инструментом планово-аналитической работы сельскохозяйственного предприятия, его информационной службы. Сельский товаропроизводитель, владеющий этим инструментом цифровых технологий, сможет занять выгодное место на рынке и достичь эффективности сельскохозяйственного производства.

Библиография

1. Белгородская область в цифрах. 2024: Краткий статистический сборник / Белгородстат. – 2024. – 224 с.
2. Браславец М.Е. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве: для фак. и отд. ний экон. кибернетики / М. Е. Браславец, Р. Г. Кравченко. – М. : Колос, 1972. – 589 с.
3. Гунченко А.В. Экономико-математическое обоснование оптимальной структуры землепользования сельскохозяйственных предприятий / А. В. Гунченко // Молодой ученый. – 2014. – № 2(61). – С. 431–436. – URL: <https://moluch.ru/archive/61/9065/> (дата обращения: 11.01.2024).
4. Инновационное развитие предприятий агропромышленного сектора: монография / Д. П. Кравченко, З. Ч. Пак, Н. И. Човган, И. А. Демешева, Л. А. Молчанова. – Белгород, 2021. – 197 с.

5. Кравченко Д.П., Пак З.Ч., Кухарь В.С. Формирование инновационной модели аграрного сектора экономики России // Аграрный вестник Урала. – № 10(225). – С. 68–77.
6. Кравченко Д.П., Акупиан О.С. Стимулирование инновационной активности в аграрном секторе России // Инновации в АПК: проблемы и перспективы. – 2022. – № 3(35). – С. 192–202.
7. Кравченко Р.Г. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве: учебное пособие. – М. : Колос, 1978. – 424 с.
8. Математическое моделирование экономических процессов в сельском хозяйстве: учебник по экономической специальности / А. М. Гатаулин, Г. В. Гаврилов, Т. М. Сорокина и др.; под ред. А. М. Гатаулина. – Москва : Агропромиздат, 1990. – 431.
9. Пак З.Ч., Кравченко Д.П. Влияние цифровых технологий на аграрное производство: методический аспект / З. Ч. Пак, Д. П. Кравченко // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. – 2020. – № 11. – С. 40–45.
10. Продовольственная безопасность в современных условиях глобальной экономики: монография / О. С. Акупиан, Ю. А. Китаёв, В. А. Ломазов, А. И. Добрунова, В. Л. Аничин, Н. И. Човган, Д. П. Кравченко, А. Н. Акупиан. – Белгород, 2023. – 222 с.

References

1. Belgorod region in numbers. 2024: A short statistical collection / Belgorodstat. – 2024. – 224 p.
2. Braslavets M.E. Mathematical modeling of economic processes in agriculture: for facts. and the economy department. Cybernetics / M. E. Braslavets, R. G. Kravchenko. – М. : Kolos, 1972. – 589 p.
3. Gunchenko A.V. Economic and mathematical substantiation of the optimal structure of land use of agricultural enterprises / A. V. Gunchenko // Young scientist. – 2014. – № 2(61). – Pp. 431–436. – URL: <https://moluch.ru/archive/61/9065/> (date of publication: 11.01.2024).
4. Innovative development of enterprises in the agro-industrial sector: monograph / D. P. Kravchenko, Z. Ch. Pak, N. I. Chovgan, I. A. Demesheva, L. A. Molchanova. – Belgorod, 2021. – 197 p.
5. Kravchenko D.P., Pak Z.Ch., Kukhar V.C. Formation of an innovative model of the agricultural sector of the Russian economy // Agrarian Bulletin of the Urals. – № 10(225). – Pp. 68–77.
6. Kravchenko D.P., Akupiyana O.S. Stimulating innovative activity in the agricultural sector of Russia // Innovations in agriculture: problems and prospects. – 2022. – № 3(35). – Pp. 192–202.
7. Kravchenko R.G. Mathematical modeling of economic processes in agriculture: textbook. – М. : Kolos, 1978. – 424 p.
8. Mathematical modeling of economic processes in agriculture: textbook on economic specialty / A. M. Gataulin, G. V. Gavrilov, T. M. Sorokina, etc.; edited by A. M. Gataulin. – Moscow : Agropromizdat, 1990. – 431.
9. Pak Z.Ch., Kravchenko D.P. The influence of digital technologies on agricultural production: a methodological aspect / Z. Ch. Pak, D. P. Kravchenko // The economics of agricultural and processing enterprises. – 2020. – № 11. – Pp. 40–45.
10. Food security in modern conditions of the global economy: monograph / O. S. Akupiyana, Yu. A. Kitaev, V. A. Lomazov, A. I. Dobrunova, V. L. Anichin, N. I. Chovgan, D. P. Kravchenko, A. N. Akupiyana. – Belgorod, 2023. – 222 p.

Сведения об авторах

Кравченко Дмитрий Павлович, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-26-97, e-mail: kravchenko_dp@bsaa.edu.ru.

Акупиан Ольга Станиславовна, кандидат экономических наук, доцент, доцент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-26-97, e-mail: akupijan_os@bsaa.edu.ru.

Бобрышева Наталья Владимировна, ассистент кафедры экономики, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д. 1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская обл., Россия, 308503, тел. +7 4722 39-26-97, e-mail: bobrysheva_nv@bsaa.edu.ru.

Information about authors

Kravchenko Dmitry Pavlovich, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maysky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-26-97, e-mail: kravchenko_dp@bsaa.edu.ru.

Akupiyana Olga Stanislavovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, Maysky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-26-97, e-mail: akupijan_os@bsaa.edu.ru.

Bobrysheva Natalya Vladimirovna, Assistant of the Department of Economics, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agrarian University named after V. Gorin», Vavilova st., 1, Maysky settlement, Belgorodsky district, Belgorod region, Russia, 308503, tel. +7 4722 39-26-97, e-mail: bobrysheva_nv@bsaa.edu.ru.

УДК 338.432

А.Л. Маркова, Н.В. Леонова

РЕАЛИЗАЦИЯ ПОТЕНЦИАЛА АГРАРНОГО ПРОИЗВОДСТВА В УСТОЙЧИВОМ РАЗВИТИИ СЕЛЬСКИХ ТЕРРИТОРИЙ

Аннотация. В последние годы развитие сельских территорий Российской Федерации рассматривается как одно из приоритетных направлений, важность которого стремительно растет в условиях усиления процессов глобализации при одновременном увеличении значения межотраслевого и территориального взаимодействия. Практика показывает, что снижение бедности сельского населения, рост уровня и качества жизни в сельской местности и выполнение селом традиционных экономических и социальных функций возможны лишь при использовании внутренних резервов сельского хозяйства. При этом каждый регион обладает своей индивидуальностью в связи с неоднородностью экономического пространства, особенностей природно-климатических и географических условий производства и проживания населения. В статье рассмотрен анализ аграрной сферы Липецкой области, который показал, что она является одной из ведущих системообразующих отраслей экономики региона. Однако вклад региона в национальное производство далеко не соответствует имеющемуся природно-экономическому и научно-инновационному потенциалу. Так, за период с 2000-2022 гг. в области наблюдалось увеличение стоимости валовой продукции сельского хозяйства, темп роста которой достиг около 10 %. Наблюдается рост производства основных ведущих культур (зерновых, сахарной свеклы, подсолнечника). Кроме того, следует отметить существенную роль региона по импортозамещению овощей, их удельный вес производства от общероссийского объема составил в 2022 г. 2,2 % (11 место в РФ). Наряду с положительными моментами увеличения производства продукции, урожайности в последние годы, нами были выделены и имеющие место недостатки: использование в основном импортных гибридных семян, разрушение сети семеноводческих хозяйств, занимающихся производством семян для региона.

Таким образом, анализ социально-экономического развития региона позволяет сделать вывод о его большом потенциале, имеющем реальные перспективы дальнейшего роста во всех сферах.

Ключевые слова: аграрная сфера, валовая продукция, сельские территории, устойчивое развитие, приоритетные направления.

REALIZING THE POTENTIAL OF AGRICULTURAL PRODUCTION IN SUSTAINABLE DEVELOPMENT OF RURAL AREAS

Abstract. In recent years, the development of rural areas of the Russian Federation is considered as one of the priority areas, the importance of which is rapidly growing in the context of intensifying globalization processes while simultaneously increasing the importance of intersectoral and territorial interaction. Practice shows that reducing rural poverty, increasing the level and quality of life in rural areas and fulfilling traditional economic and social functions by the village are possible only with the use of internal reserves of agriculture. At the same time, each region has its own individuality due to the heterogeneity of the economic space, the peculiarities of natural, climatic and geographical conditions of production and residence of the population. The article considers the analysis of the agricultural sector of the Lipetsk region, which showed that it is one of the leading system-forming sectors of the region's economy. However, the region's contribution to national production does not correspond to the existing natural, economic, scientific and innovative potential. Thus, over the period from 2000-2022, an increase in the value of gross agricultural output was observed in the region, the growth rate of which reached about 10 %. There is an increase in the production of major crops (cereals, sugar beet, sunflower). In addition, it should be noted the significant role of the region in the import substitution of vegetables, their share of production from the national volume amounted to 2.2 % in 2022 (11th place in the Russian Federation). Along with the positive aspects of increasing production and yield in recent years, we have highlighted the disadvantages that exist: the use of imported hybrid seeds mainly, the destruction of the network of seed farms engaged in seed production for the region. Thus, the analysis of the socio-economic development of the region allows us to draw conclusions about its great potential, which has real prospects for further growth in all spheres.

Keywords: agricultural sector, gross output, rural areas, sustainable development, priority areas.

В последние годы одним из приоритетных направлений политики Российской Федерации является устойчивое развитие сельских территорий. Практика показывает, что снижение бедности сельского населения, рост уровня и качества жизни в сельской местности и выполнение селом традиционных экономических и социальных функций возможны лишь при использовании внутренних резервов сельского хозяйства. При этом каждый регион обладает своей индивидуальностью в связи с неоднородностью экономического пространства, особенностей природно-климатических и географических условий производства и проживания населения.

Анализ аграрной сферы Липецкой области показал, что она является одной из ведущих системообразующих отраслей экономики региона. Однако вклад региона в национальное производство далеко не соответствует имеющемуся природно-экономическому и научно-инновационному потенциалу.

Валовой региональный продукт (ВРП) Липецкой области в текущих ценах в 2021 г. составил 844 млрд руб. ВРП, при этом лишь 8,6 % (72584 млн руб.) от общего объема составляет ВРП произведенный в сельском хозяйстве, охоте и рыболовстве. За последние 16 лет он увеличился в 7 раз, тогда как в целом по РФ – 4,7 %, а по ЦФО – 3,2 %.

Увеличение производства аграрной продукции стало возможным за счет:

- создания холдингов на основе активизации интеграционных процессов;
- формирования благоприятного климата для привлечения инвестиций с помощью совершенствования институциональной среды и экономических стимулов;
- роста санкций и государственных мер, направленных на импортозамещение.

За период с 2000 по 2022 г. в области наблюдалось увеличение стоимости валовой продукции сельского хозяйства, темп роста которой достиг около 10 % (табл. 1). В 2010 и 2021 г. в связи с аномальными погодными условиями темп роста валовой продукции существенно замедлился, что характерно не только для анализируемого региона, но и для всего Центрального Черноземья.

Таблица 1 – Темпы роста валовой продукции сельского хозяйства (в % к предыдущему году)

Регионы	2000 г.	2005 г.	2010 г.	2015 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	2022 г.
РФ	106,2	101,6	88,7	102,6	104,3	101,3	99,3	111,3
ЦФО	112,3	102,9	84,5	105,0	107,0	103,9	96,1	109,3
Липецкая область	108,2	109,6	78,3	107,4	111,4	106,4	88,9	114,9

Источники: 1, 7

На фоне общероссийских показателей развитие агропромышленного комплекса Липецкой области выглядит более динамичным и эффективным. Этому, в определенной степени, способствуют агроклиматический потенциал и наличие качественных земельных ресурсов.

Состояние земельных ресурсов оказывает значительное влияние на развитие растениеводства, а опосредованно и на животноводство. Снижение удельного веса производства продукции по отдельным позициям в 90-е годы прошлого столетия было обусловлено более резким проявлением кризисных явлений в аграрном секторе экономики области по сравнению с общероссийским уровнем. Роль региона была, в основном, восстановлена в начале 2000-х гг. (табл. 2). Опережающими темпами идет наращивание производства сахарной свеклы и подсолнечника, что обусловлено сформировавшейся рыночной средой (через механизм спроса и предложения), в частности, высокие рыночные цены на корнеплоды сахарной свеклы и семена подсолнечника, обеспечивающие сельхозпроизводителям высокую рентабельность. Кроме того, следует отметить существенную роль региона по импортозамещению овощей, их удельный вес производства от общероссийского объема составил в 2022 г. 2,2 % (11 место в РФ). Иная ситуация сложилась с производством молока. Устойчивое падение производства молока, связанное с сокращением поголовья коров, которое не компенсируется ростом продуктивности, не позволяет региону выйти даже на уровень 2000 г.

Таблица 2 – Удельный вес Липецкой области в общероссийском производстве основных видов сельскохозяйственной продукции, %

Виды продукции	Годы										Место, занимаемое в РФ в 2022 г.
	1990	1995	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022	
Зерно (в весе после доработки)	1,8	1,4	1,4	2,4	2,0	2,3	2,8	3,2	2,5	2,5	14
Сахарная свекла	5,6	5,4	6,7	7,9	5,7	10,4	10,8	10,4	9,8	10,8	3
Подсолнечник	0,5	0,5	0,9	0,7	1,6	3,8	3,2	4,1	3,1	2,7	14
Картофель	1,5	1,7	1,6	1,8	1,6	2,3	2,1	2,0	1,8	2,0	16
Овощи	1,3	1,5	1,1	1,0	0,9	1,1	1,6	1,8	2,1	2,2	11
Фруктов и ягод	1,4	1,7	2,7	2,4	1,8	2,1		2,4	2,4	2,1	12
Мясо (в убойном весе)	1,4	1,2	1,3	2,2	1,9	2,5	2,7	2,7	2,5	2,5	12
Молоко	1,3	1,3	1,2	1,1	0,7	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	38
Яйца	1,0	1,1	1,1	1,3	1,3	1,3	1,7	1,7	1,8	1,9	24

Источники: 1, 7

Основными производителями продукции сельского хозяйства, особенно по продукции растениеводства, в области являются сельскохозяйственные предприятия (рис. 1). Удельный вес продукции животноводства в последние годы, в связи со строительством крупных комплексов, также увеличивается на сельскохозяйственных предприятиях. Следует отметить значительное снижение удельного веса производства продукции сельского хозяйства в личных подсобных хозяйствах, в частности за период с 2000 г. по 2022 г. он снизился в регионе на 30,3 п.п. и составил 12,7 % [1, 7].

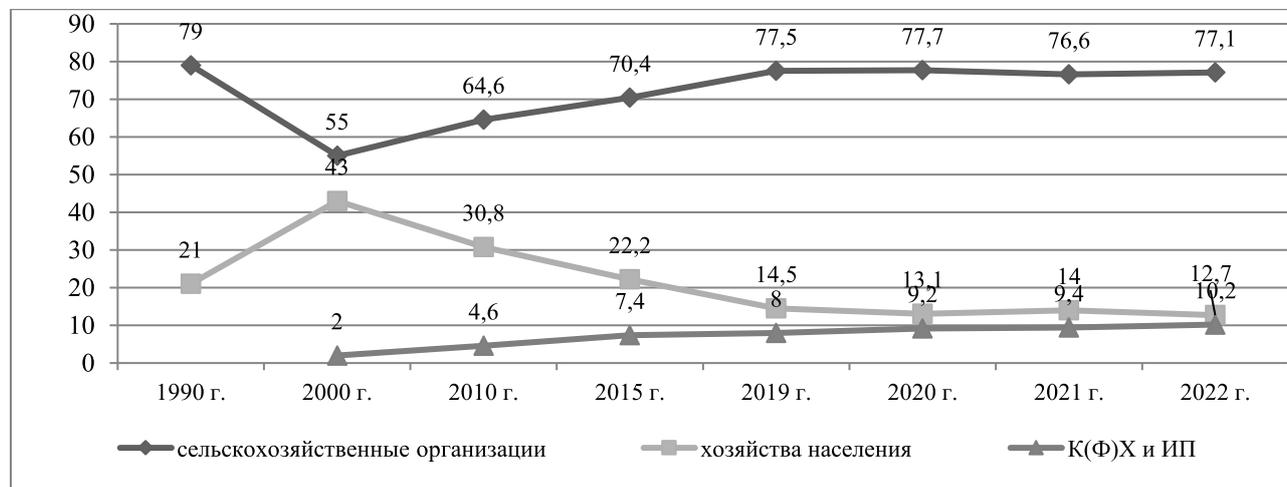


Рис. 1. – Структура продукции сельского хозяйства Липецкой области по категориям хозяйств, % к итогу

Источник: 7

Динамика производства продукции растениеводства в регионе представлена в таблице 3.

Таблица 3 – Производство продукции растениеводства в Липецкой области

Виды продукции	Годы								
	1990	1995	2000	2005	2010	2019	2020	2021	2022
Производство продукции, тыс. т									
Зерно	2047,6	892,6	921,6	1907,9	1214,5	3344,4	4278,5	2986,3	4001,1
Подсолнечник	15,6	22,5	37,5	42,4	86,1	491,9	549,7	492,2	437,2
Сахарная свекла	1813,3	1022,7	953,2	1666,4	1259,5	5891,2	3527,7	4035,7	5279,7
Картофель	461,1	663,7	465,9	451,7	347,8	470,1	393,9	330,2	383,9
Овощи	137,2	170,4	117,5	118,8	111,1	224,1	256,8	279,5	300,8
Плоды и ягоды	32,2	38,6	65,1	57,9	38,1	25,4	88,7	98,3	89,6
Урожайность, ц/га									
Зерно	24,7	13,0	16,2	33,2	19,6	42,8	51,3	36,9	49,1
Подсолнечник	12,2	10,2	8,8	13,9	11,9	26,7	25,6	22,4	23,3
Сахарная свекла	230	151	188	374	218	455	365	372	472
Картофель	95	100	89	96	72	170	155	132	170
Овощи	166	137	112	108	113	195	194	200	219

Источники: 1, 7

Определяющие растениеводческую специализацию сельского хозяйства региона зерновые культуры и сахарная свекла в течение первых десяти лет после реформ переживали значительный спад. В 2000 г. производство зерна к уровню 1990 г. составляло всего 45 %, сахарной свеклы 53 %. За последние двадцать лет производство основных возделываемых в регионе культур увеличилось, по сравнению с 90-ми годами, более чем в два раза, в большей степени за счет устойчивого роста урожайности культур. Причины оживления производства связаны с определенным улучшением в обеспеченности материальными ресурсами (стабильно растут дозы вносимых удобрений, начинает использоваться более производительная техника), импортозамещением.

Зерна в регионе в последние годы производится порядка 3000–4000 тыс. т., он занимает 14 место среди производителей зерна в Российской Федерации. Средняя максимальная урожайность зерновых культур была достигнута в 2020 г. и составила 51,3 ц/га.

Свеклосахарное производство в течение 90-х годов прошлого века оказалось в более глубоком кризисе. Валовые сборы сахарной свеклы в 2000 г. снизились более чем на 50 % к базовому уровню. Причины столь значительного падения объемов производства связаны с недостатком производственных мощностей сахарных заводов области и несовершенством взаимоотношений их с сельхозтоваропроизводителями, что приводило к опережающему сокращению площадей возделывания, которое составило в 2000 г по сравнению 1990 г. почти 50 тыс. га. К 2022 г. площадь посева сахарной свеклы составила 5279,7 тыс. га, а урожайность при внедрении принципиально новых технологий, обеспечивающих возделывание культуры без затрат ручного труда, достигает 372, 472 ц/га. В результате за период с 2000 г. по 2022 г. ее производство увеличилось более чем в 5,5 раза.

Высокий уровень доходности подсолнечника стимулировал общий рост производства маслосемян, главным фактором которого явилось расширение площадей возделывания с 14,3 тыс. га в 1990 г. до 43,2 тыс. га в 2000 г. и до 198,2 тыс. га в 2022 г. Урожайность подсолнечника увеличилась более чем в два раза и составила в 2022 г. 23,3 ц/га.

Производство овощей за анализируемый период в Липецкой области увеличилось в 2 раза и составило в 2022 г. 300,8 тыс. т., что стало возможным за счет прихода в регион АПХ «ЭКО-культура», в составе которого функционирует один из самых больших тепличных комплексов ТК «Овощи Черноземья» (Усманский район), производящего 50 тыс. т овощей в год, а также ГК «Рост», включающая в себя первые в России тепличные комбинаты пятого поколения, применяющие технологию Ultra Clima, ООО ТК «ЛипецкАгро» (Данковский район), ООО ТК «Елецкие Овощи», производящие более 60 тыс. т овощей в год, и ООО «АгроАльянсЛипецк» мощность которого достигает более 20 тыс. т овощей [3, 7].

Наряду с положительными моментами увеличения производства продукции, урожайности в последние годы, следует отметить и имеющиеся место недостатки. Так, в регионе в основном используются импортные гибридные семена. Разрушена сеть семеноводческих хозяйств, которые занимались производством семян для региона, а вместе с импортными семенами в регион завезены болезни, вредители, ранее отсутствующие на полях. И хотя в последние годы в регионе пытаются восстановить системы семеноводства, пока применяемых мер недостаточно. Не всегда соблюдаются севообороты, в том числе и по причине отсутствия в них кормовых культур. Наблюдается злоупотребление в использовании средств защиты от сорняков и болезней, что приводит к большому содержанию пестицидов в продукции [4, 9, 10].

В Липецкой области издавна занимались молочно-мясным скотоводством. В 90-х годах прошлого столетия производилось более 700 тыс. тонн молока. Спад производства молока обусловлен значительным сокращением поголовья скота за последние 30 лет не только на сельскохозяйственных предприятиях, но и в личных подсобных хозяйствах. В 2022 г. поголовье коров по области составило 44,0 тыс. голов против 250,8 тыс. голов в 1990 г., то есть снизилось в 5,7 раз (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели развития отрасли животноводства в хозяйствах всех категорий Липецкой области

Показатели	Годы								
	1990	2000	2005	2010	2015	2019	2020	2021	2022
Поголовье, тыс. гол									
Крупный рогатый скот	671,7	332,3	219,5	145,9	123,7	114,8	115,0	113,3	115,9
в том числе коровы	250,8	141,1	85,1	55,8	49,0	43,4	43,4	44,3	44,0
Свиньи	654,4	230,8	145,3	402,4	537,5	796,0	723,0	705,8	619,1
Овцы и козы	325,3	40,5	32	55,2	87,3	73,7	74,3	71,3	70,1
Птица	8593,2	6120,4	7186,8	9639,5	12773,3	13452,5	11377,1	13378,8	13202
Произведено продукции, тыс. т									
Молоко, тыс. т	716,3	390,1	337,8	274,5	254,6	287	300,7	301,0	308,1
Мясо КРС, тыс. т	96,3	38,9	39,8	26,8	12,2	12,0	11,6	11,2	18,2
Мясо свиньи, тыс. т	73,3	24,1	15,4	72,1	81,3	123,7	128,4	110,9	147,7
Мясо овец и коз, тыс. т	3,8	0,3	0,4	0,7	0,8	1,0	1,0	0,8	1,6
Мясо птиц, тыс. т	40,1	21,5	49,1	98,0	147,2	156,3	161,3	158,3	207,1
Яйца, млн шт.	468,1	364,1	489,2	535,9	557,9	752,4	756,4	808,2	861,5
Шерсть, т	895	73	67	76	117	119	115	111	105
Продуктивность									
Надой молока на 1 корову, кг	2856	2765	3969	4919	6113	7436	8028	8143	8977
Среднесуточный прирост КРС, г	392,8	320,7	496,8	503,3	447,5	460,5	443,9	444,7	693,5
Среднесуточный прирост свиней, г	307	286	290	491	414,4	425,8	486,6	430,5	653,6
Среднесуточный прирост овец и коз, г	32	20	34	38	25,1	37,2	36,9	30,7	62,5
Яйценоскость, шт.	248	216	280	291	283	281	274	286	295

Источники: 7, 8, 12

Производство молока к уровню 1990 г. снизилось в 2022 г. в 2,3 раза и составило 308,1 тыс. т. В личных подсобных хозяйствах производится 15,2 % молока или 47,0 тыс. т, оно снизилось с 1990 г. на 108,7 тыс. т. Крестьянские (фермерские) хозяйства в последние годы увеличили объемы производства молока в абсолютном выражении с 1 до 21,8 тыс. т, но это составляет всего 7,1 % общего производства.

Гарантированную продовольственную безопасность населения региона по производству продукции птицеводства обеспечивают такие предприятия как «Правильная корзинка», «Задонская», «Экоптица», «Деревня Индюшкино», «Липецкптицепродукт», «Липецкптица», «Куриное Царство», «Кривец-Птица» и другие, которыми в 2021 г произведено 158,3 тыс. т мяса птицы. Следует отметить, что Липецкая область сейчас является полностью импортонезависимой в обеспечении птицеводческих предприятий инкубационным яйцом и суточным молодняком птицы, что обеспечивают построенные репродукторы по производству инкубационных яиц кур мясных кроссов АО «Куриное Царство» и ООО ПХ «Рудничное».

Липецкая область входит в число восьми регионов, которые участвуют в госпрограмме «Развитие мясного скотоводства». Она использует новый для России подход, разработанный специалистами предприятия «Албиф», который заключается в том, что на непригодных для выращивания зерна территориях пасут крупный рогатый скот. Животные круглый год пасутся на воле, отдыхают здесь же, пьют из реки, то есть находятся в естественных природных условиях. В последующем они идут на производство «мраморного» мяса, известного даже за пределами Липецкой области – в Москве и Санкт-Петербурге.

Пока стада в диких условиях пасутся только в Хлевенском, Тербунском и Задонском районах, но в ближайшем будущем планируется начать выращивание бычков в оврагах и под открытым небом в Усманском, Данковском и Краснинском районах [5, 6]. Такое содержание животных наименее затратное, что позволяет комплексно использовать земли, дает территориям новые рабочие места, заработную плату и, соответственно, поступление налогов в бюджет.

Поголовье свиней к 2022 г. в регионе составило 619,1 тыс. гол., производство мяса – 147,7 тыс. т, основная доля которого приходится на ООО «Черкизово-Свиноводство» (Добровский, Долгоруковский, Тербунский, Хлевенский районы), ООО «Отрада-Фармз» (Добринский, Усманский районы), ООО СПХ «Мокрое» (Лебедянский район), ООО «Современные технологии и системы» (Усманский район) [8, 11].

Таким образом, можно сделать вывод, что аграрное производство Липецкой области демонстрирует относительно высокие темпы развития и инвестиционной активности на основе уникального сочетания выгодного географического положения, природно-климатических и почвенных ресурсов, применяемых передовых технологий производства и уровня развития инфраструктуры и институциональной сферы. Однако проведенные исследования показали, что потенциал отрасли далеко не исчерпан. Приоритетами в реализации экономического роста аграрной сферы региона, на наш взгляд, должны стать углубление специализации с акцентом на внедрении научно-обоснованных агротехнологий, активная политика цифровизации аграрной сферы и сельских территорий, увеличение конкурентоспособности экологичного сельского хозяйства, т. к. все это способствует повышению занятости, росту доходов сельского населения, снижению социальной напряженности на селе.

Библиография

1. Агропромышленный комплекс России в 2018 году: стат. сб. / Росстат. – М., 2019. – 536 с.
2. Агропромышленный комплекс «Эко-культура» [Электронный ресурс]. URL: <https://aph-ecoculture.ru/> (дата обращения 23.06.2024).
3. ГК «Рост» [Электронный ресурс]. URL: <https://rostgroup.ru/> (дата обращения 23.04.2024).

4. Демчева Н.В., Петров Н.А. Миграция населения из сельской местности // Аграрные реформы и развитие многоукладной экономики в России. Материалы межрегиональной науч.-практ. конф. преподавателей, аспирантов и магистрантов, посвященной 150-летию со дня рождения П.А. Столыпина. – 2012. – С. 204–206.
5. Китаев Ю.А. Роль Центрально-Черноземного региона в аграрной экономике России // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2020. – Т. 15. – № 4(60). – С. 108–112.
6. О состоянии сельских территорий в Российской Федерации в 2018 году. Ежегодный доклад по результатам мониторинга: науч. изд. – М. : ФГБНУ «Росинформагротех», 2020. – Вып. 6. – 224 с.
7. Регионы России. Социально-экономические показатели. – Москва, 2023. – 1126 с. [Электронный ресурс]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (дата обращения 23.04.2024).
8. Управление сельского хозяйства Липецкой области [Электронный ресурс]. URL: (ush48.ru) (дата обращения 23.06.2024).
9. Терновых К.С., Маркова А.Л., Леонова Н.В. Доходы сельского населения // Современные проблемы АПК и их решение. Материалы VI Нац. конф. – 2023. – С. 296–300.
10. Терновых К.С., Маркова А.Л. Социализация развития сельских территорий как фактор повышения качества жизни // Вестник Воронежского ГАУ. – 2012. – № 3(34). – С. 102–108.
11. Терновых К.С., Маркова А.Л., Леонова Н.В. Оценка основных параметров инвестиционной активности сельских территорий Липецкой области // Политэкономические проблемы развития современных агроэкономических систем. Материалы международной науч.-практ. конф. – Воронеж, 2023. – С. 168–176.
12. Официальный портал администрации Липецкой области. [Электронный ресурс]. URL: <https://Липецкаяобласть.рф> (дата обращения 05.09.2024 г.).

References

1. The agro-industrial complex of Russia in 2018: statistical collection / Rosstat. – М., 2019. – 536 p.
2. Agro-industrial complex «Eco-culture» [Electronic resource]. URL: <https://aph-ecoculture.ru/> (accessed 06.23.2024).
3. GC «Rost» [Electronic resource]. URL: <https://rostgroup.ru/> (date of address 04.23.2024).
4. Demcheva N.V., Petrov N.A. Migration of the population from rural areas rural areas // Agrarian reforms and the development of a multicultural economy in Russia. Materials of the interregional scientific and practical conference of teachers, graduate students and undergraduates dedicated to the 150th anniversary of the birth of P.A. Stolypin. – 2012. – Pp. 204–206.
5. Kitaev Yu.A. The role of the Central Black Earth region in the agricultural economy of Russia // Bulletin of the Kazan State Agrarian University. – 2020. – Т. 15. – № 4(60). – Pp. 108–112.
6. On the state of rural areas in the Russian Federation in 2018. Annual report on the results of monitoring: scientific publishing House. – М. : FSBI «Rosinformagrotech», 2020. – Issue 6. – 224 p.
7. Regions of Russia. Socio-economic indicators. – Moscow. – 2023. – 1126 p. [Electronic resource]. URL: <https://rosstat.gov.ru/> (accessed 04/23/2024).
8. Department of Agriculture of the Lipetsk region [Electronic resource]. URL: (ush48.ru) (accessed 06/23/2024).
9. Ternov K.S., Markova A.L., Leonova N.V. Incomes of the rural population // Modern problems of the agro-industrial complex and their solution. Materials of the fifth National Conference. – 2023. – Pp. 296–300.
10. Ternov K.S., Markova A.L. Socialization of rural development as a factor in improving the quality of life // Bulletin of the Voronezh State University. – 2012. – № 3(34). – Pp. 102–108.
11. Ternov K.S., Markova A.L., Leonova N.V. Assessment of the main parameters of investment activity in rural areas of the Lipetsk region // Political and economic problems of the development of modern agro-economic systems. Materials of the international scientific and practical conference. – Voronezh, 2023. – Pp. 168–176.
12. The official portal of the Lipetsk region administration [Electronic resource]. URL: <https://Липецкаяобласть.рф> (accessed 05.09.2024).

Сведения об авторах

Маркова Алена Леонидовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры организации производства и предпринимательской деятельности в АПК, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж, e-mail: malena1411@mail.ru.

Леонова Наталья Викторовна, кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики АПК, ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», г. Воронеж, e-mail: natalya-demcheva@yandex.ru.

Information about authors

Markova Alena L., Candidate of Economic Sciences, Docent, the Dept. of Farm Production Management and Entrepreneurial Business in Agro-Industrial Complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, e-mail: malena1411@mail.ru.

Leonova Natalia V., Candidate of Economic Sciences, Docent, the Dept. of Economics in Agro-Industrial Complex, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, e-mail: natalya-demcheva@yandex.ru.

Руководство для авторов

В журнале публикуются результаты открытых научных исследований в области сельскохозяйственной науки и техники, материалы о результатах инновационных разработок и проектов предприятий и фирм различных форм собственности, изобретениях; материалы конференций, выставок, конкурсов.

Содержание статей рецензируется (в соответствии с профилем журнала) на предмет актуальности темы, четкости и логичности изложения, научно-практической значимости рассматриваемой проблемы и новизны предлагаемых авторских решений.

Общий объем публикации определяется количеством печатных знаков с пробелами. Рекомендуемый диапазон значений составляет от 12 тыс. до 40 тыс. печатных знаков с пробелами (0,3-1,0 печатного листа). Материалы, объем которых превышает 40 тыс. знаков, могут быть также приняты к публикации после предварительного согласования с редакцией. При невозможности размещения таких материалов в рамках одной статьи, они могут публиковаться (с согласия автора) по частям, в каждом последующем (очередном) номере журнала.

Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, кеглем (размером) – 12 пт, для оформления названий таблиц, рисунков, диаграмм, структурных схем и других иллюстраций: Times New Roman, обычный, кегль 10 пт; для примечаний и сносок: Times New Roman, обычный, кегль 10 пт. Для оформления библиографии, сведений об авторах, аннотаций и ключевых слов используется кегль 10 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля сверху и снизу, справа и слева – 2 см, абзац – 1,25 см, формат – книжный. Разделять текст на колонки не следует. Если статья была или будет опубликована в другое издание, необходимо сообщить об этом редакции.

При подготовке материалов не допускается использовать средства автоматизации документов (колонтитулы, автоматически заполняемые формы и поля, даты), которые могут повлиять на изменение форматов данных и исходных значений.

Оформление статьи

Слева в верхнем углу с абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского института научной и технической информации – ВИНИТИ либо в сотрудничестве с библиографом учредителя журнала по тел. +7 4722 39-27-05).

Ниже, через пробел, слева с абзаца – инициалы и фамилии автора(ов), полужирным курсивом. Далее, через пробел, по центру строки – название статьи (должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом заглавными буквами.

Затем с красной строки приводится аннотация, оформленная в соответствии с требованиями, предъявляемыми к рефератам и аннотациям ГОСТ 7.9-95, ГОСТ 7.5-98, ГОСТ Р 7.0.4-2006, объемом 200-250 слов (не более 2000 знаков), с нового абзаца – ключевые слова.

Далее необходимо разместить на английском языке: название статьи, аннотацию (Abstract), ключевые слова (Keywords).

После этого через пробел – текст статьи, библиография (библиографическое описание приводится в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5-2008 «Библиографическая ссылка») и ее вариант на английском языке (References). При составлении описаний на английском языке рекомендуется использовать международный стандарт Harvard, с учетом того, что фамилии и инициалы авторов русскоязычных источников, название статьи транслитерируются (согласно правилам Системы Библиотеки Конгресса США – LC), затем в квадратных скобках приводится перевод названия публикации, далее – ее выходные данные (на английском языке либо в транслитерации, без сокращений и аббревиатур).

Далее размещаются сведения об авторах, которые включают фамилию, имя и отчество, ученую степень, ученое звание (при наличии), занимаемую должность или профессию, место работы (учебы) – полное наименование учреждения или организации, включая структурное подразделение (кафедра, факультет, отдел, управление, департамент и пр.), и его полный почтовый адрес, контактную информацию – телефон и(или) адрес электронной почты, а также другие данные по усмотрению автора, которые будут использованы для размещения в статье журнала и на информационном сайте издательства. В коллективных работах (статьях, обзорах, исследованиях) сведения авторов приводятся в принятой ими последовательности. Затем следует англоязычный вариант информации об авторах (Information about authors).

Основной текст публикуемого материала (статьи) приводится на русском или английском языках. Текст публикуемой работы должен содержать введение, основную часть и заключение. Объем каждой из частей определяется автором. Вводная часть служит для обоснования автором цели выбранной темы, актуальности. Затем необходимо подробно изложить суть проблемы, провести анализ, обосновать выбранное решение, отразить, а также привести достаточные основания и доказательства, подтверждающие их достоверность. В заключительной части автор формулирует обобщенные выводы, основные рекомендации или предложения; прогнозы и (или) перспективы, возможности и области их использования. Для выделения наиболее важных понятий, выводов допускается полужирный шрифт и курсив. Не допускается применять подчеркивание основного текста, ссылок и примечаний, а также выделение его (окраска, затенение, подсветка) цветным маркером.

Авторский текст может сопровождаться монохромными рисунками, таблицами, схемами, фотографиями, графиками, диаграммами и другими наглядными объектами. В этом случае в тексте приводятся соответствующие ссылки на иллюстрации. Подписи к рисункам и заголовки таблиц обязательны.

Иллюстрации в виде схем, диаграмм, графиков, фотографий и иных (кроме таблиц) изображений считаются рисунками. Подпись к рисунку располагается под ним посередине строки. Например: «Рис. 1 – Получение гибридных клеток».

При подготовке таблиц разрешается только книжная ориентация таблицы. Подпись таблицы располагается над ней, по центру. Например: «Таблица 3 – Стандарт породы по живой массе племенных телок».

Иллюстрации, используемые в тексте, дополнительно предоставляются в редакцию в виде отдельных файлов хорошего качества, формата TIFF (с разрешением 300 dpi) или EPS, все шрифты должны быть переведены в кривые. Исключения составляют графики, схемы и диаграммы, выполненные непосредственно в программе Word, в которой предоставляется текстовый файл, или Excel. Их дополнительно предоставлять в виде отдельных файлов не требуется.

Математические формулы следует набирать в формульном редакторе Microsoft Equation или Microsoft MathType. Формулы, набранные в других редакторах, а также выполненные в виде рисунков, не принимаются. Все обозначения величин в формулах и таблицах должны быть раскрыты в тексте.

При цитировании или использовании каких-либо положений из других работ даются ссылки на автора и источник, из которого заимствуется материал в виде отсылок, заключенных в квадратные скобки [1]. Все ссылки должны быть сведены

автором в общий список (библиография), оформленный в виде затекстовых библиографических ссылок в конце статьи, где приводится полный перечень использованных источников. Использовать в статьях внутритекстовые и подстрочные библиографические ссылки не допускается.

Порядок представления материалов

Авторы предоставляют в редакцию (ответственным секретарям соответствующих тематических разделов) следующие материалы:

- статью в печатном виде, без рукописных вставок, на одной стороне стандартного листа, подписанную на последнем листе всеми авторами,
- статью в электронном виде, каждая статья должна быть в отдельном файле, в имени файла указывается фамилия первого автора,
- сведения об авторах (в печатном и электронном виде) – анкету автора,
- рецензию на статью, подписанную (доктором наук) и заверенную печатью,
- аспиранты предоставляют справку, подтверждающую место учебы.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию предоставленная автором рукопись статьи рецензируется согласно установленному порядку рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлекгией в целом. Автору не принятой к публикации рукописи редколлегия направляет мотивированный отказ.

Плата с аспирантов за публикацию рукописей не взимается.

Адреса электронной почты ответственных секретарей тематических разделов приведены ниже.

Тематический раздел «Агроинженерия и энергоэффективность»:

Пастухов Александр Геннадиевич, д. т. н., профессор – ответственный редактор,
Колесников Александр Станиславович, к. т. н., доцент – ответственный секретарь,
e-mail: a.c.kolesnikov@mail.ru
тел. +7 908 783-88-92.

Тематический раздел «Инновационные технологии в агрономии»:

Азаров Владимир Борисович, д. с.-х. н., профессор – ответственный редактор,
Муравьев Александр Александрович, к. с.-х. н., доцент – ответственный секретарь,
e-mail: Aleksandr16_1988@mail.ru
тел. +7 951 142-75-77.

Тематический раздел «Инновационная экономика, управление предприятиями АПК и социальное развитие села»:

Наседкина Татьяна Ивановна, д. э. н., профессор – ответственный редактор,
Демешева Ирина Алексеевна, к. э. н., доцент – ответственный секретарь,
e-mail: demesheva_ia@bsaa.edu.ru
тел. +7 920 208-73-49.

Пример оформления статьи

УДК 633.11(470.325)

В.В. Смирнова, Н.А. Сидельникова, И.В. Кулишова

**ФОРМИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ КАЧЕСТВ ЗЕРНА ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ
В БЕЛГОРОДСКОЙ ОБЛАСТИ**

Аннотация. Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации
Текст аннотации Текст аннотации Текст аннотации (не менее 250 слов, 2000 знаков).

Ключевые слова: ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова, ключевые слова (не менее 5)

**FORMATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN OF THE WINTER WHEAT
IN THE BELGOROD REGION**

Abstract. Text annotation
Text annotation Text annotation.

Keywords: keywords, keywords, keywords, keywords, keywords.

Далее излагается текст научной статьи.....
(текст).....
(текст).....
(текст).....

Таблица 1 – Урожайность зерна сортов озимой пшеницы, т/га (2016-2017 г.г.)

Библиография

Приводится список использованных литературных и других источников на русском

References

и на английском языках.

Сведения об авторах

Смирнова Виктория Викторовна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул.Вавилова, д.1, п.Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-14-26, e-mail: svic.belgorod@mail.ru

Сидельникова Наталья Анатольевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул.Вавилова, д.1, п.Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503, тел.+74722 39-14-26

Кулишова Ирина Владимировна, аспирант второго года обучения кафедры земледелия, агрохимии и экологии, ФГБОУ ВО Белгородский ГАУ, ул. Вавилова, д.1, п. Майский, Белгородский район, Белгородская область, Россия, 308503.

Information about authors

Smirnova Victoria Viktorovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26, e-mail: svic.belgorod@mail.ru

Sidelnikova Natalya Anatolyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26

Kulishova Irina Vladimirovna, graduate student of the second year of training of department of agriculture, agrochemistry and ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V.Gorin» , ul.Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia.

Guidelines for authors

Results of open scientific researches in the field of agricultural science and equipment, materials about results of innovative development and projects of the enterprises and firms of various forms of ownership, inventions, materials of conferences, exhibitions and competitions are published in the Journal.

The contents of articles are reviewed (according to Journal's content) for topic relevance, clearness and statement logicity, the scientific and practical importance of the considered problem and novelty of the proposed author's solutions.

The total amount of the publication is decided by the amount of typographical units with interspaces. The recommended range of values makes from 12 thousand to 40 thousand typographical units with interspaces (0,3-1,0 printed pages). Materials which volume exceeds 40 thousand typographical units may be also accepted to the publication after preliminary agreement with editorial body. In case of impossibility of such materials replacement within one article, they may be published (with the author consent) in parts, in each subsequent (next) issue of the Journal.

Articles must be issued on sheets A4, printed type must be Times New Roman, size must be 9 pt, a line spacing is 1,0. Edges above and below, right and left are 2 cm, the paragraph is 0,7 cm (without interspaces), a format is a book. If article was or will be sent to another edition it is necessary to report to our editions.

During materials preparation you may not to use an automation equipment of documents (headlines, automatically filled forms and fields, dates) which can influence change of formats of data and reference values.

Article registration

In the left top corner from the paragraph article UDC is printed (check a correctness of the chosen UDC on the site of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information or in cooperation with the bibliographer of the founder of Journal by tel. +7 4722 39-27-05).

Below, after interspaces, at the left from the paragraph are full name of the author(s), semi boldface italics. Further, after interspaces, in the center of a line is article title (the name of article has to reflect the main idea of the executed research and should be as short as possible) and it prints with capital letters.

Then with a new paragraph one places a summary (issued according to requirements imposed to papers and summaries of GOST 7.9-95, GOST 7.5-98, GOST P 7.0.4-2006 of 200-250 words (no more than 2000 signs), from the new paragraph one provides keywords.

Further it is necessary to place in English: article title, summary (Abstract), keywords.

Next after interspaces is the text of article, the bibliography (the bibliographic description is provided according to GOST P 7.0.5-2008 "Bibliographic reference") and its option in English (References). By drawing up descriptions in English it is recommended to use the international Harvard standard taking into account that authors full name of Russian-speaking sources, article titles are transliterated (according to rules of System of Library of the Congress of the USA – LC), after that in square brackets is translation of publication title, further is given its output data (in English or transliteration, without reductions and abbreviations).

Further there are data about authors, which include a surname, a name and a middle name; academic degree, academic status (now); post or profession; a place of work (study) – full name of organization, including structural division (chair, faculty, department, management, department, etc.), and their full postal address, contact information – telephone and (or) the e-mail address, and also other data on the author's discretion which will be used for article's replacement in the Journal and on the informational website of publishing house. In collective works (articles, reviews, researches) of data of authors are brought in the sequence accepted by them. Further information about authors in English.

The main text of the published material (article) is provided in Russian or English. The text of the published work has to contain: introduction, main part and conclusion. The volume of each of parts is defined by the author. Then it is necessary to detail a problem, carry out the analysis, prove the chosen decision, and give the sufficient bases and proofs confirming ones reliability. In conclusion the author formulates the generalized conclusions, the main recommendations or offers; forecasts and(or) prospects, opportunities and their application area.

For highlighting of the most important concepts, conclusions is used the bold-face type and italics. It is not allowed to apply underlining of the main text, references and notes, and also its allocation (coloring, illumination) a color marker.

The author's text can be accompanied by monochrome drawings, tables, schemes, photos, schedules, charts and other graphic objects. In this case the corresponding references to illustrations are given in the text. Drawings titles and headings of tables are obligatory.

Illustrations in the form of schemes, charts, schedules, photos and others (except tables) images are considered as drawings. Drawing title is under it in the middle of a line. For example: "Fig. 1 – Obtaining hybrid cells".

During tables preparation you can use only book orientation of the table. Table title is over it, in the center. For example: "Table 3 – The breed standard in live weight of breeding heifers".

The illustrations used in the text in addition are provided in edition in the form of separate files of high quality, the TIFF format (with the resolution of 300 dpi) or EPS, all fonts have to be transferred to curves. The exception is made by the schedules, schemes and charts executed directly in the Word program in which the text file or Excel is provided. It is not required to provide them in the form of different files.

Mathematical formulas should be written in the formular Microsoft Equation or Microsoft MathType editor. The formulas, which are written in other editors and in the form of drawings, are not accepted. All designations of sizes in formulas and tables must be explained in the text.

In case of citing or using any provisions from other works one should give references to the author and a source from which material in the form of the sending concluded in square brackets [1]. All references must be listed by the author in the general list (bibliography) issued in the form of endnote bibliographic references in the end of article where the full list of the used sources is provided. Do not use intra text and interlinear bibliographic references in articles.

Order of materials representation

Authors provide the following materials in edition (responsible secretaries of the appropriate thematic sections):

- article in printed form, without hand-written inserts, on one party of a standard sheet, signed on the last sheet by all authors,
- article in electronic form, each article has to be in the different file, the surname of the original author titles the file,
- data about authors (in a printing and electronic versions) – the questionnaire of the author,

- the review of article signed (doctor of science) and certified by the press
- graduate students provide the reference confirming a study place.

On condition of implementation of formal requirements to materials for the publication the article manuscript provided by the author is reviewed according to an established order of reviewing of the manuscripts, which are coming to editorial office of the Journal. The decision on expediency of the publication after reviewing is made by the editor-in-chief (deputy chief editors), and if it is necessary by an editorial board in general. The editorial board sent to the author of the unaccepted manuscript a motivated refusal.

The payment for the manuscripts publication is not charged from graduate students.

E-mail addresses of responsible secretaries of thematic sections are given below:

Thematic section “**Agricultural Engineering and Energy Efficiency**”:

Pastukhov Alexander Gennadievich, Dr. of Tech. Sci., Professor – the editor-in-chief,

Kolesnikov Alexander Stanislavovich, Cand. Tech. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,

e-mail: a.c.kolesnikov@mail.ru

Tel. +7 908 783-88-92.

Thematic section “**Innovative Technologies in Agronomy**”:

Azarov Vladimir Borisovich., Dr. Agric. Sci., Professor – the editor-in-chief,

Muravyov Alexander Alexandrovich, Cand. Agri. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,

e-mail: Aleksandr16_1988@mail.ru

Tel. +7 952 142-75-77.

Thematic section “**Innovative Economics, Management of Agricultural Enterprises and Social Development of the Village**”:

Nasedkina Tatyana Ivanovna, Dr. Econ. Sci., Professor – the editor-in-chief,

Demesheva Irina Alekseevna, Cand. Econ. Sci., the Associate professor – the responsible secretary,

e-mail: demesheva_ia@bsaa.edu.ru

Tel. +7 920 208-73-49.

Example of registration of article

UDC 633.11(470.325)

V.V. Smirnova, N.A. Sidelnikova, I.V. Kulishova

FORMATION OF TECHNOLOGICAL QUALITIES OF GRAIN OF THE WINTER WHEAT IN THE BELGOROD REGION

Abstract. Text annotation (not less than 250 words).

Keywords: keywords, keywords, keywords, keywords, keywords (not less than 5 keywords).

Text.....

Table 1 – The breed standard in live weight of breeding sows

Table with 5 columns and 3 rows, representing a breed standard for live weight of breeding sows.

References

1. Smirnova V.V. Vliyanie predshestvennikov na urozhajnost' sortov ozimoy pshenicy, tekhnologicheskie kachestva zerna i ih izmenenie pri hranenii: avtoreferat dis. ... kand.s.-h. nauk: 06.01.09 / Smirnova V.V.; BelGSKHA. – Belgorod, 2007. – 19 s.
2. Sidel'nikova N.A. Sovershenstvovanie intensivnyh tekhnologij vozdeleyvaniya zemnykh kul'tur v CCHZ / N.A. Sidel'nikova, L.G. Gavrilenko // Sbornik nauchnykh trudov SKHI.-Belgorod, 1988.-111s.
3. GOST R 52554 – 2006. Pshenica. Tekhnicheskie usloviya. – Vved. 2007-07-01. – M.: Standartinform, 2006. – 13 s.

Information about authors

Smirnova Victoria Viktorovna, candidate of agricultural sciences, associate professor of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26, e-mail: svc.belgorod@mail.ru

Sidelnikova Natalya Anatolyevna, candidate of agricultural sciences, associate professor, head of the department of the production technology and processing of agricultural production, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia, , tel. +74722 39-14-26

Kulishova Irina Vladimirovna, graduate student of the second year of training of department of agriculture, agrochemistry and ecology, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education «Belgorod State Agricultural University named after V. Gorin», ul. Vavilova, 1, 308503, Maiskiy, Belgorod region, Russia.