

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

№ 3 (79) 2025 ГОД

ВЕСТНИК

Казанского государственного аграрного университета



DOI 10.12737/issn.2073-0462 ISSN 2073-0462

ISSN 2073-0462
DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3

ВЕСТНИК
КАЗАНСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО АГРАРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

VESTNIK
OF KAZAN STATE AGRARIAN UNIVERSITY

QUARTERLY SCIENTIFIC JOURNAL

№ 3 (79)

Казань, 2025

Научный журнал
Вестник Казанского ГАУ, 2025, № 3 (79), ноябрь
Учрежден Казанским государственным аграрным университетом (Казанским институтом сельского хозяйства и лесоводства) в 1925 г.

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Председатель редакционной коллегии, главный научный редактор
Файзрахманов Д.И. – доктор экономических наук, профессор, академик АН РТ

Заместители главного редактора:
Валиев А.Р. – доктор технических наук, профессор, чл.-корр. АН РТ
Зиганшин Б.Г. – доктор технических наук, профессор, профессор РАН

Члены редакционной коллегии:
Мазитов Н.К. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. РАН
Сафин Р.И. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ
Кадырова Ф.З. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, чл.-корр. АН РТ
Сафиоллин Ф.Н. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Низамов Р.М. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Исайчев В.А. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Васин А.В. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор
Замалиева Ф.Ф. – доктор сельскохозяйственных наук, доцент
Пономарева М.Л. – доктор биологических наук, профессор
Лобачевский Я. П. – доктор технических наук, академик РАН
Курдюмов В.И. – доктор технических наук, профессор
Калимуллин М.Н. – доктор технических наук, доцент
Клычова Г.С. – доктор экономических наук, профессор
Мухаметгалиев Ф.Н. – доктор экономических наук, профессор
Шогенов Ю.Х. – доктор технических наук, профессор, академик РАН
Дидманидзе О.Н. – доктор технических наук, профессор, академик РАН
Дозорова Т.А. – доктор экономических наук, профессор
Ерохин М.Н. – доктор технических наук, профессор, академик РАН
Сорокин К.Н. – доктор технических наук

Члены международной редакционной коллегии:
Бухарбаева А.Ж. – доктор, Кызылординский университет имени Коркыт Ата
Панков Д.А. – доктор экономических наук, профессор, Белорусский государственный экономический университет
Сембиева Л. М. – доктор экономических наук, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева
Абуова А.Б. – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Международный инженерно-технологический университет
Акимбекова Г.У. – доктор экономических наук, профессор, Казахский НИИ экономики агропромышленного комплекса и развития сельских территорий
Ли Хунпэн – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник Хэйлунцзянской Академии Сельскохозяйственных наук, Основатель Харбинской сельскохозяйственной научно-технической компании Лэши

EDITORIAL BORD:

Editor-in-Chief
Fayzrakhmanov D.I. – Doctor of Economics, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan

Deputy Editors:
Valiev A.R. – Doctor of Engineering, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan
Ziganshin B.G. – Doctor of Engineering, professor, professor of the Russian Academy of Sciences

Members of the Editorial Board:
Mazitov N.K. – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Russian Academy of Sciences
Safin R.I. – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan
Kadyrova F.Z. – Doctor of Agriculture, professor, corresponding member of the Academy of Sciences of Tatarstan
Safiollin F.N. – Doctor of Agriculture, professor
Nizamov R.M. – Doctor of Agriculture, associate professor
Isaychev V.A. – Doctor of Agriculture, professor
Vasin A.V. – Doctor of Agriculture, professor
Zamalieva F.F. – Doctor of Agricultural Sciences, associate professor
Ponomareva M.L. – Doctor of Biological Sciences, professor
Lobachevskiy Ya. P. – Doctor of Engineering, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences
Kurdyumov V.I. – Doctor of Engineering, professor
Kalimullin M.N. – Doctor of Technical Sciences, associate professor
Klychova G.S. – Doctor of Economics, professor
Mukhametgaliev F.N. – Doctor of Economics, professor
Shogenov Yu.Kh. – Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences
Didmanidze O.N. – Doctor of Technical Sciences, professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences
Dozorova T.A. – Doctor of Economic Sciences, Professor
Erohin M.N. – Doctor of Technical Sciences, Professor, member of the Russian Agricultural Academy of Sciences
Sorokin K.N. – Doctor of Technical Sciences

Members of the International Editorial Board:
Bukharbaeva A.Zh. – Doctor, Kyzylorda University named after Korkyt Ata
Pankov D.A. – Doctor of Economics, professor, Belarusian State Economic University
Sembieva L.M. – Doctor of Economics, professor, Eurasian National University. L.N. Gumilyov
Abuova A.B. – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, International Engineering and Technology University
Akimbekova G.U. – Doctor of Economics, Professor, Kazakh Research Institute of Economics of the Agro-Industrial Complex and Rural Development
Li Hongpeng – Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher at the Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, Founder of Harbin Agricultural Science and Technology Company

Адрес издателя и редакции:
420015, г. Казань
ул. К. Маркса, 65
тел. (843) 598 - 40 -52

www.vestnik-kazgau.ru
e-mail: vestnik@kazgau.com

Подписной индекс в каталоге «Объединенный каталог. Пресса России. Газеты и журналы» на II полугодие 2025 года: **40977**

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Росскомнадзор) - свидетельство о регистрации: ПИ № ФС-77-48189 от 19 января 2012 г.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ)

По решению ВАК России «Вестник Казанского государственного аграрного университета» входит в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых могут быть опубликованы основные научные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата и доктора наук по направлениям:

4.1.1 «Общее земледелие и растениеводство»
4.1.2 «Селекция, семеноводство и биотехнология»
4.1.3 «Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений»
4.3.1 «Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса»
5.2.3 «Региональная и отраслевая экономика»
5.2.6 «Менеджмент»

Журнал «Вестник Казанского государственного аграрного университета» включен в базу Russian Science Citation Index (RSCI)

Публикуется
4 раза в год

За достоверность информации в опубликованных материалах ответственность несут авторы публикаций

©Вестник Казанского ГАУ, 2025
©Научно-издательский центр ИНФРА-М, 2025

СОДЕРЖАНИЕ

СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ стр.

Амиров М. Ф., Сулейманов Р. Р., Сержанов И. М., Шайхутдинов Ф. Ш., Семенов П. Г. Формирование урожая ярового ячменя при использовании минеральных удобрений и гидросорбента на серых лесных почвах Республики Татарстан……5
Вознюк В. П., Аникина О. В, Ким И. В. Оценка хозяйственно полезных признаков гибридов картофеля белорусской селекции в условиях Приморского края……..11
Выборова Т. А., Безмутко С. В. Оценка фитосанитарного состояния соевых агроценозов в Приморском крае……...17
Грязнов М. Ю., Савченко О. М., Копытько Я. Ф. Биологические особенности сорта Златослав в Московском регионе……...22
Каримова Л. З., Валидов Ш. З., Рахманова Г. Ф., Валиев А. Р. Эффективность комплексного использования биологических и химических средств защиты растений томата от фузариозной инфекции……..……31
Сафин Р. И., Зиганшин А. А. Влияние применения жидких органоминеральных удобрений на урожайность и качество зеленой массы кукурузы……..39
Сулейманов С. Р., Низамов Р. М. Влияние доз активированного цеолита ЗЕОЛ на урожайность, качество и фенологию подсолнечника в условиях Среднего Поволжья……...45

ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ

Васильев А. О., Лукаев С. Л., Андреев Р. В., Казаков Ю. Ф. Повышение курсовой устойчивости вышки для навешивания поддержек на хмельниках……...53
Гайфуллин И. Х., Халиуллин Д. Т., Гастон Б. Оптимизация геометрических параметров профиля лопастей микротурбины……59
Гималтдинов И. Х., Садыков М. Р., Адигамов Н. Р., Гриценко А. В. Исследование параметров электролитического проточного осталивания для восстановления коленчатых валов……...68
Помогаев В. М. Выбор объектов для контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин……...78
Шекихачев Ю. А., Мишхожев В. Х., Фиапшев А. Г., Шекихачева Л. З. Выбор системы привода составных частей блочно-модульного агрегата……...85

ЭКОНОМИЧЕСКИЕ НАУКИ

Егоров Е. А., Шадрина Ж. А., Кочьян Г. А. Обоснование оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции с использованием цифровых технологий……...91
Клычова Г. С., Хоружий В. И., Фассахов Б. И. Финансовая устойчивость и прибыльность ведущих предприятий АПК Республики Татарстан в условиях санкционных ограничений……99
Михайлова Л. В., Нуриев И. Г. Современное состояние сельскохозяйственной потребительской кооперации в России……107
Попова Л. В., Досова А. Г., Карпова А. А., Даева Т. В., Смотрова Е. Е. Управление воспроизводством сельскохозяйственной техники в АПК России: анализ структурных дисбалансов и технологической трансформации……113
Толстова М. Л., Корнилова А. Е. Прогнозный анализ производительных сил при возделывании хмеля в Чувашской республике……..121
Тополева Т. Н. Точное земледелие в контексте цифровой трансформации аграрного сектора региона: управленческий аспект……126
Трифонова Е. Н. Оценка влияния межрегиональных различий на развитие пищевой промышленности России……138
Хоружий Л. И., Быков А. А., Сергеев Д. Г. Основные тенденции развития и направления регулирования зернового подкомплекса в Южном федеральном округе……...146

CONTENTS

AGRICULTURAL SCIENCES pages

Amirov M. F., Suleymanov R. R., Serzhanov I. M., Shaykhutdinov F. Sh., Semenov P. G. Spring barley crop formation using mineral fertilizers and hydrosorbent on gray forest soils of the Republic of Tatarstan…...5
Voznyuk V. P., Anikina O. V., Kim I. V. Evaluation of economically important traits of belarusian-bred potato hybrids in Primorskiy Krai.……11
Vyborova T. A., Bezmutko S. V. Assessment of phytosanitary condition of soybean agrocenosis in Primorskiy Krai…….17
Gryaznov M. Yu., Savchenko O. M., Kopytko Ya. F. Biological features of Zlatoslav variety in Moscow region……22
Karimova L. Z., Validov Sh. Z., Rakhmanova G. F., Valiev A. R. Efficiency of integrated use of biological and chemical agents for tomato plant protection against fusarium infection……...……31
Safin R. I., Ziganshin A. A. Effect of liquid organic and mineral fertilizers on productivity and quality of corn green mass…….39
Suleymanov S. R., Nizamov R. M. Effect of ZEOL activated zeolite doses on productivity, quality and phenology of sunflower in Middle Volga region……..……45

TECHNICAL SCIENCES

Vasilev A. O., Lukaev S. L., Andreev R. V., Kazakov Yu. F. Increasing the course stability of a mobile tower for support installation in hop field…….53
Gayfullin I. Kh., Khaliullin D. T., Gaston B. Optimization of geometric parameters of microturbine blade profile……59
Gimaltdinov I. Kh., Sadykov M. R., Adigamov N. R., Gritsenko A. V. Studying parameters of electrolytic flow tinning for crankshaft restoration……..68
Pomogaev V. M. Selection of objects for monitoring technical condition of self-propelled agricultural machinery……..78
Shekihachev Yu. A., Mishkhozhev V. Kh., Fiapshev A. G., Shekihacheva L. Z. Selection of a drive system for components of a block-module unit……....85

ECONOMIC SCIENCES

Egorov E. A., Shadrina Zh. A., Kochyan G. A. Justification of optimal parameters of fruit production efficiency using digital technologies……...91
Klychova G. S., Khoruzhiy V. I., Fassakhov B. I. Financial stability and profitability of leading agribusiness enterprises in the Republic of Tatarstan under sanctions…….....99
Mikhaylova L. V., Nuriev I. G. The current state of agricultural consumer cooperation in Russia……107
Popova L. V., Dosova A. G., Karpova A. A., Daeva T. V., Smotrova E. E. Managing the reproduction of agricultural machinery in the Russian agro-industrial complex: analysis of structural imbalances and technological transformation……...…113
Tolstova M.L., Kornilova A.E. Forecast analysis of productive capacity in hop cultivation in the Chuvash republic……....121
Topoleva T. N. Precision farming in the context of digital transformation of the regional agricultural sector: a management aspect…….126
Trifonova E. N. Assessment of impact of interregional differences on development of the Russian food industry.....138
Khoruzhiy L. I., Bykov A. A., Sergeev D. G. Main development trends and directions for grain subcomplex regulation in Southern Federal District……...…146

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-5-10
УДК 633.11

ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЯ ЯРОВОГО ЯЧМЕНЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ И ГИДРОСОРБЕНТА НА СЕРЫХ ЛЕСНЫХ ПОЧВАХ РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН

М. Ф. Амиров, Р. Р. Сулейманов, И. М. Сержанов, Ф. Ш. Шайхутдинов, П. Г. Семенов

Реферат. В условиях ограниченного водоснабжения повышение эффективности возделывания ярового ячменя остаётся значимой задачей. Цель исследований – анализ воздействия минеральных удобрений и влагосорбента на рост, развитие и урожайность культуры. Работу выполняли на серых лесных почвах в Республике Татарстан в 2022–2024 годах в различных агрометеорологических условиях. Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: без удобрений и гидрогеля (контроль); $N_{37}P_{60}K_{73}$; гидрогеля Аквасин 50 кг/га; $N_{37}P_{60}K_{73}$ + Аквасин 50 кг/га; Аквасин 100 кг/га; $N_{37}P_{60}K_{73}$ + Аквасин 100 кг/га. Яровой ячмень высевали с нормой 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Наблюдения за ростом и развитием растений проводили по методикам Государственного сортоиспытания. Уборку урожая проводили поделяночно прямым обмолотом, учёт урожайности осуществляли с пересчётом на 14%-ную влажность и 100%-ную чистоту зерна. В годы исследований более высокий листовой фотосинтетический потенциал формировали посевы в вариантах с внесением $N_{37}P_{60}K_{73}$ в сочетании с 50 кг/га и 100 кг/га гидрогеля, величина этого показателя возрастала, по сравнению с контролем, соответственно на 41% и 50%. При использовании удобрений суммарное водопотребление оказалось выше, а коэффициенты водопотребления были ниже контроля, особенно при внесении гидрогеля. Применение $N_{37}P_{60}K_{73}$ в среднем за три года обеспечило повышение урожайности зерна ячменя по отношению к контролю на 24,5%. При дополнительном внесении 50 кг/га гидрогеля прибавка составила 31,2%, а 100 кг/га гидрогеля – 36,7%.

Ключевые слова: яровой ячмень (*Hordeum sativum L.*), площадь листьев, минеральные удобрения, гидросорбент, урожайность.

Введение. Ячмень – ценнейшая продовольственная культура, которая используется для различных целей (корма, пивоварение, крупа и др.) и которая в условиях Средневолжского региона может обеспечивать получение высоких урожаев [1, 2, 3]. Огромным преимуществом этой культуры выступает короткий вегетационный период, скороспелость и засухоустойчивость, вследствие чего экономно расходуется влага [4, 5, 6]. Эта культура, особенно двурядный ячмень при достаточном количестве продуктивной влаги на глубине залегания узловых корней хорошо кустится и может образовать несколько продуктивных побегов до наступления засушливой погоды во второй половине лета. Несмотря на перечисленные положительные стороны этой культуры, нужно отметить, что в засушливых условиях урожайность ячменя может быть низкой [7, 8, 9]. В связи с этим сельскохозяйственным товаропроизводителям необходимо уделить внимание технологиям накопления влаги, в том числе применению суперабсорбентов – гидрогелей [10]. Исследования, проведённые по изучению гидрогеля, выявили, что его внесение не только сохраняло влагу в корнеобитаемом слое, но и увеличивало урожайность зерновых, овощных и ягодных культур [11, 12, 13].

Цель исследования – изучить влияние минеральных удобрений и влагосорбента, внесенных в почву, на рост, развитие и урожайность ярового двурядного ячменя для совершенствования технологии возделывания культуры.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2024 годах на серых лесных почвах ООО «Агробиотехнопарк» при ФГБОУ ВО «Казанский ГАУ». Агрохимические показатели участка: содержание гумуса – 3,6%, подвижных фосфора и калия по Кирсанову – соответственно 256…270 и 121…125 мг/кг, кислотность почвы – близкая к нейтральной (pH в солевой вытяжке = 6,2 ед.).

Схема опыта: без удобрений и гидрогеля (контроль); $N_{37}P_{60}K_{73}$; гидрогель Аквасин 50 кг/га; $N_{37}P_{60}K_{73}$ + Аквасин 50 кг/га; Аквасин 100 кг/га; $N_{37}P_{60}K_{73}$ + Аквасин 100 кг/га. Доза минеральных удобрений рассчитана на получение запланированного урожая 5 т/га зерна.

Площадь делянки общая – 26 м^2, учётная – 20 м^2. Повторность опыта – 4-кратная. Предшественник – озимая пшеница. Объектом исследования служил яровой двурядный ячмень сорт Раушан. Посев проводили рядовым способом нормой 4,5 млн всхожих семян на 1 га. Погодные условия в вегетационный период 2022 году были благоприятными для роста и развития ярового ячменя. За май выпала двойная норма осадков, а средняя температура воздуха была на 3,3°С ниже нормы (табл. 1). В июне их было треть месячной нормы, все они отмечены в первой декаде. В июле осадки выпали равные многолетним значениям, а температура воздуха была выше обычной. В августе средняя температура воздуха была выше нормы на 4,5°С при полном отсутствии осадков.

Метеорологические условия 2023 года для вегетации ярового ячменя были неблагоприятными. Сумма осадков в мае превысила климатическую норму, а температура воздуха – многолетние значения на 2,0°С. Июнь был

засушливым, гидротермический коэффициент (ГТК) снизился до 0,12. В июле осадки составили 53% от нормы, ГТК – 0,50. В августе ГТК составил 0,33. В 2024 году май был холодным и влажным, ГТК составил 2,40. В июне ГТК составил 0,24.

Таблица 1 – Погодные условия в период вегетации ярового ячменя

Показатель	Месяц			
	V	VI	VII	VIII
2022 г.				
Осадки, мм	78	19	62	0
Температура воздуха, °С	10,7	18,6	21,3	22,5
Гидротермический коэффициент	3,70	0,35	0,93	0,00
2023 г.				
Осадки, мм	47	6	33	20
Температура воздуха, °С	16,0	16,3	21,5	20,2
Гидротермический коэффициент	2,40	0,12	0,50	0,33
2024 г.				
Осадки, мм	53	16	56	29
Температура воздуха, °С	11,0	21,7	22,1	18,4
Гидротермический коэффициент	2,40	0,24	0,82	0,50
Средние многолетние значения				
Осадки, мм	38	57	62	55
Температура воздуха, °С	14,0	18,3	20,5	18,0

Результаты и обсуждение. Применение минеральных удобрений оказывает положительное влияние на развитие листовой поверхности (табл. 2). Наибольший в опыте рост площади листьев отмечали в период от кущения до конца фазы выхода в трубку. Прекращение фотосинтеза и отмирание листьев начиналось в фазе молочной спелости и происходило до фазы восковой спелости. В среднем за 2022–2024 годы площадь листьев ярового ячменя в варианте с внесением $N_{37}P_{60}K_{73}$ в фазе кущения составила 26,3 тыс. м^2/га, выхода в трубку – 33,3, колошения – 41,2, молочной спелости – 13,7 тыс. м^2/га, тогда как в контрольном варианте соответственно фазам развития – 18,0, 29,0, 35,2 и 9,7 тыс. м^2/га. Использование минеральных удобрений и 50 кг/га гидрогеля способствовало увеличению площади листьев до 27,3 в фазе кущения, 35,0 – выхода в трубку, 42,8 – колошения и 13,8 тыс. м^2/га – молочной спелости. Наибольшая в опыте листовая поверхность выявлена в варианте с совместным использованием $N_{37}P_{60}K_{73}$ и 100 кг/га гидрогеля.

Таблица 2 – Динамика формирования площади листьев ярового ячменя в зависимости от фона питания и гидросорбента, тыс. м^2 /га

Вариант	Фаза вегетации растений			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочная спелость
2022 г.				
Без удобрений (контроль)	18,5	29,6	36,1	10,6
$N_{37}P_{60}K_{73}$	27,0	34,5	43,0	14,5
50 кг/га гидрогеля	19,0	30,3	36,4	11,0
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	29,6	36,6	44,3	14,7
100 кг/га гидрогеля	20,6	30,5	36,8	11,5
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	30,6	37,0	45,8	15,0
$НСР_{05}$	0,6	0,8	0,6	0,3
2023 г.				
Без удобрений (контроль)	17,4	28,3	34,4	9,0
$N_{37}P_{60}K_{73}$	25,5	32,1	38,3	12,9
50 кг/га гидрогеля	17,7	29,0	35,0	9,2
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	25,5	33,1	40,4	12,6
100 кг/га гидрогеля	18,0	29,0	35,5	9,5
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	26,3	34,4	41,4	13,6
$НСР_{05}$	0,5	0,6	0,8	0,3
2024 г.				
Без удобрений (контроль)	18,0	29,0	35,0	9,5
$N_{37}P_{60}K_{73}$	26,4	33,4	42,4	13,8
50 кг/га гидрогеля	18,5	29,5	36,0	9,7
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	26,9	35,2	43,8	14,1
100 кг/га гидрогеля	18,7	31,5	36,7	10,5
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	27,7	36,3	43,9	14,7
$НСР_{05}$	0,5	0,6	0,8	0,3

Учёт продолжительности деятельности листовой поверхности дает более емкое представление, выражаемое как фотосинтетический потенциал посева (табл. 3). В варианте с внесением $N_{37}P_{60}K_{73}$ листовой фотосинтетический потенциал был выше контроля на 34%. Использование 50 кг/га гидрогеля увеличило листовой потенциал на 4,8%, а 100 кг/га – на 9,4%. Сравнительно высокий листовой фотосинтетический потенциал выявлен при использовании $N_{37}P_{60}K_{73}$ и 50 кг/га гидрогеля, превышавший контроль на 41%. При внесении $N_{37}P_{60}K_{73}$ и 100 кг/га гидрогеля он был выше контроля на 50%.

Таблица 3 – Листовой фотосинтетический потенциал за вегетацию ярового ячменя в зависимости от фона минерального питания и гидросорбента, тыс. $м^2$/сут на 1 га

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее
Без удобрений (контроль)	1549,2	1435,6	1502,8	1495,5
$N_{37}P_{60}K_{73}$	2097,5	1887,2	2039,1	2007,7
50 кг/га гидрогеля	1658,7	1496,2	1549,3	1567,3
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	2232,6	1975,0	2138,4	2114,3
100 кг/га гидрогеля	1759,3	1523,3	1629,9	1636,4
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	2375,8	2112,7	2226,8	2237,5
$НСР_{05}$	5,03	4,50	4,78	

При фотосинтезе происходит накопление и увеличение органической массы растения. Соотношение сухой биомассы к листовой поверхности определяют, как чистую продуктивность фотосинтеза (табл. 4). В 2022 году чистая продуктивность фотосинтеза в среднем за вегетационный период оказалась заметно выше, чем в последующие годы. Хотя динамика чистой продуктивности фотосинтеза ярового ячменя различалась по вариантам, существенных различий в средневзвешенных значениях за вегетацию не выявлено. Однако можно отметить, что в вариантах с применением $N_{37}P_{60}K_{73}$ и $N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля продуктивность была выше, по сравнению с контролем.

Таблица 4 – Чистая продуктивность фотосинтеза ярового ячменя в зависимости от фона минерального питания и гидросорбента, г/$м^2$ в сутки

Вариант	Год			Среднее
	2022	2023	2024	
Без удобрений (контроль)	4,50	3,14	3,31	3,65
$N_{37}P_{60}K_{73}$	4,60	3,17	3,34	3,70
50 кг/га гидрогеля	4,44	3,15	3,35	3,65
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	4,53	3,15	3,35	3,68
100 кг/га гидрогеля	4,35	3,15	3,35	3,62
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	4,43	3,08	3,33	3,61
$НСР_{05}$	0,01	0,01	0,01	

Влага служит очень важным фактором, влияющим на рост и развитие ярового ячменя (табл. 5). В 2022 году перед посевом в слое 0…100 см почвы накопилось 183…185 мм доступной растениям влаги. К фазе выхода в трубку ярового ячменя запасы продуктивной влаги оставались хорошими — 121…133 мм. К концу вегетации или к моменту уборки запасы продуктивной влаги снизились до 101…123 мм. В 2023 году количество продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом, в фазе выхода в трубку и к моменту уборки было наименьшим в опыте.

Запасы продуктивной влаги в метровом слое почвы перед посевом в 2024 году составили 171…173 мм, к фазе выхода в трубку ярового ячменя уменьшились до 108…122 мм. Во все годы исследований на всех вариантах к концу вегетации запасы продуктивной влаги уменьшались. Эти изменения обуславливаются помимо гидротермических условий, использованием влаги на создание массы урожая. В удобренных вариантах использованная растениями влага оказалась больше, а соотношение использованной влаги к урожайности – меньше, особенно при использовании гидрогеля. Эффективное использование продуктивной влаги установлено в 2022 году, когда были зафиксированы наименьшие в опыте коэффициенты водопотребления – 418…530 $м^3$/т.

Урожайность ярового ячменя сорта Раушан в 2022 году без применения минеральных удобрений составила 4,23…4,32 т/га, а при внесении расчётной дозы удобрений $N_{37}P_{60}K_{73}$ для получения 5 т/га зерна — 5,34…5,77 т/га. (табл. 6). В среднем за 2022–2024 годы применение минеральных удобрений $N_{37}P_{60}K_{73}$ привело к росту урожайности на 24,5%. При добавлении 50 кг/га гидрогеля к $N_{37}P_{60}K_{73}$ урожайность увеличилась на 31,2%, а при внесении 100 кг/га гидрогеля совместно с $N_{37}P_{60}K_{73}$ – на 36,7%, по отношению к контролю.

Таблица 5 – Запасы продуктивной влаги в слое почвы 0…100 см под посевами ярового ячменя в зависимости от фона минерального питания и гидросорбента, мм

Вариант	Срок определения			Соотношение использованной влаги к урожайности, $м^3$/т	Использованная растениями влага, $м^3$/га
	до посева	выход в трубку	уборка		
2022 г.					
Без удобрений (контроль)	183	130	118	530	2240
$N_{37}P_{60}K_{73}$	184	121	101	453	2420
50 кг/га гидрогеля	184	132	121	517	2220
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	185	128	108	418	2360
100 кг/га гидрогеля	183	133	123	507	2190
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	185	129	110	406	2340
$НСР_{05}$	4	4	2	11	52
2023 г.					
Без удобрений (контроль)	165	110	68	670	1830
$N_{37}P_{60}K_{73}$	166	101	53	592	1990
50 кг/га гидрогеля	166	112	72	623	1800
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	167	107	57	546	1960
100 кг/га гидрогеля	165	114	74	604	1770
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	167	111	60	530	1930
$НСР_{05}$	4	2	2	13	42
2024 г.					
Без удобрений (контроль)	171	118	71	719	2050
$N_{37}P_{60}K_{73}$	172	108	56	628	2210
50 кг/га гидрогеля	173	120	74	694	2040
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	173	115	60	599	2180
100 кг/га гидрогеля	172	122	77	645	2000
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	173	119	63	538	2150
$НСР_{05}$	4	5	2	14	48

Таблица 6 – Урожайность ярового ячменя сорта Раушан в зависимости от фона минерального питания и гидросорбента, т/га

Вариант	Год			Среднее
	2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Без удобрений (контроль)	4,23	2,73	2,85	3,27
$N_{37}P_{60}K_{73}$	5,34	3,36	3,52	4,07
50 кг/га гидрогеля	4,29	2,89	2,94	3,37
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 50 кг/га гидрогеля	5,65	3,59	3,64	4,29
100 кг/га гидрогеля	4,32	2,93	3,10	3,45
$N_{37}P_{60}K_{73}$ + 100 кг/га гидрогеля	5,77	3,64	4,00	4,47
$НСР_{05}$	0,07	0,05	0,05	

Выводы. Использование гидрогеля и минеральных удобрений в дозе $N_{37}P_{60}K_{73}$ способствовало увеличению площади листьев, листового фотосинтетического потенциала ярового ячменя и более эффективному расходованию продуктивной влаги. Максимальная в опыте урожайность 4,47 т/га отмечена при внесении $N_{37}P_{60}K_{73}$ и 100 кг/га гидрогеля, при уменьшении дозы гидрогеля до 50 кг/га величина этого показателя снижалась до 4,29 т/га. Прибавка к варианту с использованием только удобрений составила соответственно 0,40 и 0,22 т/га, к контролю – 1,20 и 1,02 т/га.

Литература

1. Оценка зерновой продуктивности и адаптивности отечественных и зарубежных сортов ярового ячменя в условиях Нечернозёмной зоны РФ / О. В. Левакова, Л. М. Ерошенко, А. Н. Ерошенко и др. // Аграрный научный журнал. 2021. № 3. С. 30–33. doi: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.

2. Шалаева Л. В. Тенденции производства и потребления ячменя в Российской Федерации // Продовольственная политика и безопасность. 2023. Т. 10. № 4. С. 719–734. doi: 10.18334/ppib.10.4.117196.

3. Урожайность ярового ячменя в зависимости от метеорологических факторов и фона питания / П. А. Постников, В. В. Попова, О. В. Васина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2025. Т. 39. № 2. С. 19–24. doi: 10.53859/02352451_2025_39_2_19.

4. Амиров М. Ф., Сулейманов Р. Р., Шаракова Г. И. Отзывчивость многорядного ярового ячменя на различные дозы удобрений в условиях Предкамья Республики // Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия: Научные труды всероссийской (национальной) научно-практической конференции, Казань, 05-06 апреля 2023 года. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 142–149.

5. Отзывчивость сорта ярового ячменя Камашевский на норму высева / В. И. Блохин, И. М. Сержанов, М. А. Ланочкина и др. // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 5. С. 39–44.

6. Анисимова Н. Н., Ионова Е. В. Морфологические критерии оценки продуктивности и засухоустойчивости ярового ячменя // Зернобобовые и крупяные культуры. 2014. № 4 (12). С. 39–42.

7. Амиров М. Ф., Сулейманов Р. Р., Шаракова Г. И. Пути повышения эффективного использования продуктивной влаги на посевах ярового ячменя в условиях Предкамья Республики Татарстан // Роль аграрной науки в решении проблем современного земледелия: Научные труды всероссийской (национальной) научно -практической конференции, Казань, 05-06 апреля 2023 года. Казань: Казанский государственный аграрный университет, 2024. С. 66–74.

8. Зайцева Г. А., Ряскова О. М., Пономарев П. Н. Влияние наименьшей влагоёмкости почвы на урожайность ячменя // Наука и Образование. 2023. Т. 6. № 1. С. 86–91.

9. Семинченко Е. В. Влияние погодных условий на урожайность ярового ячменя в зоне влияния лесной полосы // Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021. Т. 13. № 2. С. 114–127. doi: 10.12731/2658-6649-2021-13-2-114-127.

10. Пулатов Я. Э., Бахриев С. Х., Пулатов Ш. Я. Инновационная влагосберегающая технология: гидрогель и устройство для его внесения в почву // Водные ресурсы, энергетика и экология. 2022. Т. 2. № 3. С. 52–58.

11. Ревенко, В. Ю., Агафонов О. М. Использование гидрогелей в растениеводстве // Международный журнал гуманитарных и естественных наук. 2018. № 11-2. С. 59–65. doi: 10.24411/2500-1000-2018-10193.

12. Цепляев А. Н., Семененко С. Я., Куприянов А. А. Комплексное решение проблемы ресурсосбережения при выращивании картофеля на орошении с использованием гидросорбентов // Мелиорация и гидротехника. 2024. Т. 14. № 3. С. 31–45. doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-31-45.

13. Янченко А. В., Федосов А. Ю., Меньших А. М. Полимерные гели в овощеводстве // Агрофизика. 2023. № 2. С. 52–62. doi: 10.25695/AGRPH.2023.02.08.

Сведения об авторах:

Амиров Марат Фуатович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой растениеводства и плодоовощеводства, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru

Сулейманов Рузаль Разяпович – аспирант, e-mail: ruzal.suleymanov@mail.ru

Сержанов Игорь Михайлович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодоовощеводства, e-mail: igor.serzhanov@mail.ru

Шайхутдинов Фарит Шарипович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры растениеводства и плодоовощеводства, e-mail: faritshay@kazgau.com

Семенов Павел Геннадьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры растениеводства и плодоовощеводства, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

SPRING BARLEY CROP FORMATION USING MINERAL FERTILIZERS AND HYDROSORBENT ON GRAY FOREST SOILS OF THE REPUBLIC OF TATARSTAN

M. F. Amirov, R. R. Suleymanov, I. M. Serzhanov, F. Sh. Shaykhutdinov, P. G. Semenov

Abstract. In conditions of limited water supply, increasing the efficiency of spring barley cultivation remains a significant challenge. The objective of the study was to analyze the impact of mineral fertilizers and a moisture sorbent on growth, development and yield of the crop. The study was carried out on gray forest soils in the Republic of Tatarstan from 2022 to 2024 under various agrometeorological conditions. The experimental design involved studying the following variants: without fertilizers and hydrogel (control); $N_{37}P_{60}K_{73}$; Akvasin hydrogel 50 kg/ha; $N_{37}P_{60}K_{73}$ + Akvasin 50 kg/ha; Akvasin 100 kg/ha; $N_{37}P_{60}K_{73}$ + Akvasin 100 kg/ha. Spring barley was sown at a rate of 4.5 million viable seeds per 1 ha. Observations of plant growth and development were carried out according to the methods of State variety testing. The crop was harvested in plots by direct threshing, the yield was recorded recalculated for 14% moisture content and 100% grain purity. During the research years, higher foliar photosynthetic potential was formed by crops in the variants with the introduction of $N_{37}P_{60}K_{73}$ in combination with 50 kg/ha and 100 kg/ha of hydrogel; the value of this indicator increased, compared to the control, by 41% and 50%, respectively. With fertilizer application, total water consumption was higher and water consumption coefficients were lower than the control, especially with hydrogel application. Application of $N_{37}P_{60}K_{73}$resulted in an average 24.5% increase in barley grain yield over three years compared to the control. With an additional application of 50 kg/ha of hydrogel, the increase was 31.2%, and with 100 kg/ha of hydrogel, 36.7%.

Key words: spring barley (*Hordeum sativum L.*), leaf area, mineral fertilizers, hydrosorbent, yield.

References

1. Levakova OV, Eroshenko LM, Eroshenko AN. [Evaluation of grain productivity and adaptability of domestic and foreign varieties of spring barley in Non-Chernozem zone of the Russian Federation]. Agrarnyy nauchnyy zhurnal. 2021; 3. 30-33 p. doi: 10.28983/asj.y2021i3pp30-33.

2. Shalaeva LV. [Trends in barley production and consumption in the Russian Federation]. Prodovolstvennaya politika i bezopasnost. 2023; Vol.10. 4. 719-734 p. doi: 10.18334/ppib.10.4.117196.

3. Postnikov PA, Popova VV, Vasina OV. [Spring barley yield depending on meteorological factors and nutritional background]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2025; Vol.39. 2. 19-24 p. doi: 10.53859/02352451_2025_39_2_19.

4. Amirov MF, Suleymanov RR, Sharakova GI. [Response of multi-row spring barley to different doses of fertilizers in the conditions of Kama region of the Republic. The role of agricultural science in solving problems of modern agriculture]. Nauchnye trudy vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii, Kazan, 05-06 aprelya 2023 goda. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 142-149 p.

5. Blokhin VI, Serzhanov IM, Lanochkina MA. [Responsiveness of Kamashevskiy spring barley variety to seeding rate]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019; Vol.33. 5. 39-44 p.

6. Anisimova NN, Ionova EV. [Morphological criteria for assessing the productivity and drought resistance of spring barley]. Zernobobovye i krupyanye kultury. 2014; 4 (12). 39-42 p.

7. Amirov MF, Suleymanov RR, Sharakova GI. [Ways to increase the efficient use of productive moisture in spring barley crops in the conditions of Kama region of the Republic of Tatarstan. The role of agricultural science in solving problems of modern agriculture]. Nauchnye trudy vserossiyskoy (natsionalnoy) nauchno-prakticheskoy konferentsii,

Kazan, 05-06 aprelya 2023 goda. Kazan: Kazanskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet. 2024; 66-74 p.

8. Zaytseva GA, Ryaskova OM, Ponomarev PN. [The influence of the least soil moisture capacity on barley yield]. Nauka i Obrazovanie. 2023; Vol.6. 1. 86-91 p.

9. Seminchenko EV. [Influence of weather conditions on spring barley productivity in the zone of influence of the forest belt]. Siberian Journal of Life Sciences and Agriculture. 2021; Vol.13. 2. 114-127 p. doi: 10.12731/2658-6649-2021 -13-2-114-127.

10. Pulatov YaE, Bakhriev SKh, Pulatov ShYa. [Innovative moisture-saving technology: hydrogel and a device for its introduction into the soil]. Vodnye resursy, energetika i ekologiya. 2022; Vol.2. 3. 52-58 p.

11. Revenko VYu, Agafonov OM. [Use of hydrogels in plant growing]. Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i estestvennykh nauk. 2018; 11-2. 59-65 p. doi: 10.24411/2500-1000-2018-10193.

12. Tseplyaev AN, Semenenko SYa, Kupriyanov AA. [Comprehensive solution to resource conservation problem in growing potatoes under irrigation using hydrosorbents]. Melioratsiya i gidrotekhnika. 2024; Vol.14. 3. 31-45 p. doi: 10.31774/2712-9357-2024-14-3-31-45.

13. Yanchenko AV, Fedosov AYu, Menshikh AM. [Polymer gels in vegetable growing]. Agrofizika. 2023; 2. 52-62 p. doi: 10.25695/AGRPH.2023.02.08.

Authors:

Amirov Marat Fuatovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: m.f.amirof@rambler.ru

Suleymanov Ruzal Razyapovich – post-graduate student, e-mail: ruzal.suleymanov@mail.ru

Serzhanov Igor Mikhaylovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: igor.serzhanov@mail.ru

Shaykhutdinov Farit Sharipovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: faritshay@kazgau.com

Semenov Pavel Gennadevich – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior lecturer of Plant Growing and Horticulture Department, e-mail: sem_pavel_97@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-11-16
УДК 635.2:631.52

ОЦЕНКА ХОЗЯЙСТВЕННО ПОЛЕЗНЫХ ПРИЗНАКОВ ГИБРИДОВ КАРТОФЕЛЯ БЕЛОРУССКОЙ СЕЛЕКЦИИ В УСЛОВИЯХ ПРИМОРСКОГО КРАЯ

В. П. Вознюк, О. В Аникина, И. В. Ким

Реферат. Исследования проводили в 2023–2024 годы в Приморском крае с целью оценки хозяйственной ценности белорусских гибридов картофеля по комплексу признаков для выявления перспективных генотипов для селекции. Объектом исследований служили шесть гибридов картофеля белорусской селекции, стандарт – среднепоздний сорт Янтарь. Метеоусловия в 2023–2024 годы характеризовались повышенными среднемесячными температурами и неравномерным выпадением осадков. Агротехника соответствовала принятой в Приморском крае, почва опытного участка – аллювиальная суглинистая. Все исследуемые гибриды отнесены к среднепоздней группе созревания (111…128 сут. от посадки). Урожайность гибридов варьировала в пределах 38,1…43,5 т/га, товарность – 80,4…94,4%. Содержание сухого вещества в клубнях составляло от 19,52 до 24,22%, крахмала – 13,16…17,57%. Изученные гибриды обладали полевой устойчивостью к вирусным и грибным заболеваниям (5,0…8,0 баллов). По результатам органолептической оценки клубней выделены образцы с хорошим и отличным вкусом (6,0…8,0 баллов), разваримостью мякоти (1,0…5,0 баллов), рассыпчатостью (7,0…9,0 баллов). Лучшими показателями урожайности характеризовались гибриды 20653-12, 16П15-1 – 43,5 и 43,2 т/га соответственно, что находится на уровне стандарта Янтарь (43,5 т/га). Комплексом положительных признаков (урожайность – 40,0…43,5 т/га, столовые качества – 7,0…9,0 баллов, устойчивость к грибным заболеваниям – 7,0…9,0 баллов) отличались линии 16П15-1, 54-10-3, 20653-12. Изученные гибриды картофеля представляют особый интерес для селекционной работы в качестве источников ценных признаков.

Ключевые слова: картофель (*Solanum tuberosum L.*), селекция, гибрид, урожайность, биохимический состав, вкусовые качества.

Введение. Картофель как одна из ключевых сельскохозяйственных культур комплексного использования демонстрирует высокую продуктивность, адаптивность и пластичность. Он играет основную роль в обеспечении мировой, в том числе российской, продовольственной безопасности [1]. Ценность картофеля как важнейшего продукта питания обусловлена его выдающимися пищевыми показателями и сбалансированным составом биохимических компонентов в клубнях, таких как клетчатка, белок, жиры и витамины, формирующих основу здорового рациона человека [2].

Ежегодный спрос на продовольственный картофель в Российской Федерации оценивается в 13…14 млн т, что обеспечивает потребление около 90 кг на человека [3].

Современные требования к сортам включают пластичность – способность обеспечивать стабильно высокие урожаи в разнообразных почвенно-климатических регионах при сохранении основных качественных показателей [4, 5]. Условия Дальнего Востока, характеризующиеся муссонным климатом, создают значительные трудности для растениеводства, включая картофелеводство. Частые проливные дожди в период вегетации нередко приводят к наводнениям и переувлажнению почвы, что ухудшает условия произрастания и может вызвать гибель посадок [6, 7]. Следовательно, возникает острая необходимость в создании нового поколения сортов, обладающих высокой адаптивностью к переувлажнению почвы и резким колебаниям температуры [8].

Научно-исследовательскую работу по селекции картофеля в ФГБНУ «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки» проводят с использованием традиционных приемов: подбор исходных родительских пар из мировой коллекции, гибридизация и отбор потомства, оценка селекционного материала. Параллельно ведут агроэкологическое изучение зарубежных сортообразцов для их дальнейшего использования в селекции и производстве. Особый интерес в этом контексте представляют белорусские генотипы [7].

Производство картофеля в Республике Беларусь занимает важное место в растениеводстве и национальном образе жизни. Белорусские сортообразцы востребованы благодаря стабильно высоким показателям урожайности, устойчивости к патогенам и отличным потребительским качествам [9]. Дальнего Востока предъявляют особые требования к новым сортам картофеля, прежде всего, к их способности обеспечивать высокую товарность и урожайность в сочетании с высоким качеством клубней [10].

Учитывая изложенное, проведение совместных исследований по экологическому испытанию новых и перспективных генотипов картофеля в специфических почвенно-климатических условиях Дальнего Востока представляется крайне актуальным. Это позволит выявить образцы, устойчивые к абиотическим и биотическим факторам среды произрастания.

Цель исследования – определение хозяйственной ценности белорусских гибридов картофеля по комплексу признаков для выявления перспективных генотипов для селекции.

Условия, материалы и методы. В рамках совместной научной работы между

Федеральным государственным бюджетным научным учреждением «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки») и Республиканским унитарным предприятием «Научно-практический центр Национальной академии Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству» (РУП «НПЦ НАН Беларуси по картофелеводству и плодоовощеводству») в 2023–2024 годы проводились исследования по испытанию белорусских гибридов картофеля.

Испытания проводили на селекционно-семеноводческом участке ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки» (с. Пуциловка, Приморский край). Объектом исследования служили шесть гибридов белорусской селекции – КСЗуа15-12, 200.25-25, 147Y12-7, 54-10-3, 16П15-1, 20653-12. В качестве стандарта использовали сорт Янтарь, среднепозднего срока созревания, районированный по Дальневосточному региону.

Метеоусловия 2023–2024 годы отличались повышенной среднемесячной температурой воздуха относительно среднемноголетних значений. Так, в апреле 2023 году температура составила 7,1°С, превысив среднемноголетнее значение на 0,7°С, а в 2024 году – 8,7°С, что на 2,3°С выше. Июльские температуры в оба года достигли 22,5°С, превысив среднемноголетнее значение на 1,9°С.

Значительные отклонения наблюдали в режиме осадков. В августе 2023 году выпало 461,7 мм осадков (тайфуны Ханун и Лан), что на 269,4% больше среднемесячного показателя (125,0 мм), вызывая переувлажнение и затопление. В 2024 году избыточное увлажнение отмечалось в мае, когда сумма осадков составила 113,0 мм, превысив среднемноголетнее значение на 59,1%. В то же время, сентябрь 2023 года характеризовался дефицитом влаги: выпало всего 6,2 мм осадков, что на 92,1% ниже среднемноголетнего уровня (79,0 мм). Эти колебания в увлажнении, как избыточные, так и дефицитные, оказывали существенное влияние на рост и развитие растений.

Таблица 1 – Метеорологические условия вегетационного периода картофеля в 2023-2024 годы (по данным АМС «Тимирязевский»)

Месяц	Температура воздуха, °С			Сумма осадков, мм		
	2023 г.	2024 г.	среднемноголетнее	2023 г.	2024 г.	среднемноголетнее
Апрель	7,1	8,7	6,4	53,0	42,0	35,0
Май	13,9	12,5	12,3	24,1	113,0	71,0
Июнь	18,6	17,0	16,7	194,0	102,2	74,0
Июль	22,5	22,5	20,6	147,5	108,0	113,0
Август	22,5	22,9	21,1	461,7	85,6	125,0
Сентябрь	18,1	16,2	15,8	6,2	35,3	79,0

Агротехника картофеля соответствовала принятой в Приморском крае [11]. Посадку образцов осуществляли вручную в I-й декаде мая. Предшественником была соя.

Почва опытного участка – аллювиальная, среднесуглинистая, с содержанием в пахотном слое: органического вещества – 1,91±0,38% (ГОСТ 26213-2021); подвижного фосфора и калия – соответственно 248±50 мг/100 г почвы и 160±24 мг/100 г (ГОСТ 26207-91); легкогидролизуемого азота – 55±6 мг/100 г почвы (ГОСТ 62213-91); pH солевой вытяжки – 4,8±0,1 (ГОСТ 26483-85).

Гибриды высаживали в трехкратной повторности на делянках (два ряда) по 60 клубней (30 клубней на одном ряду). Площадь делянки составлял 16,2 м², схема посадки растений – 90×30 см. Исследования проводили согласно действующим методикам (Методическое положение (руководство) по оценке продуктивности и столовых качеств картофеля (кулинарный тип) / А. Э. Шабанов, Б. В. Анисимов, А. И. Киселев, и др. М.: ФГБНУ ВНИИКХ, 2017. 20 с.; Киру С. Д., Костина Л. И., Трускинов Э. В. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. СПб.: ВИР, 2010. 30 с.; Симаков Е. А., Склярова Н. П., Яшина И. М. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М.: ВНИИКХ, 2006. 72 с.). Визуальную оценку поражения образцов картофеля грибными и вирусными патогенами проводили по 9-и бальной шкале и в процентах (Киру С. Д. и др., 2010). Учет структуры урожая осуществляли путем взвешивания клубней с одной делянки. Полученные данные подвергали математической обработке методом дисперсионного анализа (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: (с основами статистической обработки результатов исследований). 5-е изд., перераб. и доп. М.: Колос, 1985. 416 с.).

Результаты и обсуждение. Исследуемые гибриды отнесены к среднепоздней группе спелости, созревая в период от 111 до 128 дней после посадки. Образцы продемонстрировали вариативность морфологических признаков. В период цветения большинство гибридов имели венчики соцветия белой окраски; исключением стал генотип КСЗуа15-12, отличившийся красно-фиолетовым цветком. Окраска кожуры клубней была преимущественно желтой. Однако, гибриды КСЗуа15-12 и 20653-12 выделились розовой (111 дней вегетации) и фиолетовой (123 дня вегетации) окраской кожуры соответственно.

Форма клубня у гибридов белорусской селекции колебалась от округло-овальной до удлиненно-овальной, с глубиной глазков от поверхностной до средней. Конкретно, сорт-стандарт Янтарь (123 дня вегетации) и гибриды 200.25-25, 54-10-3, 16П15-1, 20653-12 имели среднюю или мелкую глубину глазков, с формой клубня от округло-овальной до удлиненно-овальной. Самый ранний гибрид КСЗуа15-12 (111 дней вегетации) имел мелкие глазки и удлиненно-овальную форму клубня, в то время как самый поздний 147Y12-7 (128 дней вегетации) обладал средней глубиной глазков и овальной формой клубня (табл. 2).

Таблица 2 – Морфологическая характеристика гибридов белорусской селекции

Гибрид	Продолжительность вегетационного периода, дни	Окраска				Глубина глазков	Форма клубня
		клубней		глазков	венчика соцветия		
		кожура	мякоть				
Янтарь, st	123	желтая	желтая	желтая	белая	средняя	округло-овальная
КСЗуа15-12	111	розовая	белая	розовая	красно-фиолетовая	мелкая	удлиненно-овальная
200.25-25	123	желтая	желтая	желтая	белая	средняя	округло-овальная
147Y12-7	128	желтая	светло-желтая	желтая	белая	средняя	овальная
54-10-3	123	желтая	светло-кремовая	желтая	белая	мелкая	округло-овальная
16П15-1	123	желтая	светло-желтая	розовые	белая	мелкая	удлиненно-овальная
20653-12	123	фиолетовая	фиолетовая с белыми разводами	фиолетовая	белая	мелкая	удлиненно-овальная

Картофель подвержен значительным поражениям вирусными болезнями, приводящим к вырождению культуры и снижению урожайности. В настоящее время насчитывают около 30 наиболее распространенных болезней этой сельскохозяйственной культуры [12].

По результатам визуальной оценки полевой вирусоустойчивости, степень поражения растений патогенами в период изучения варьировала от 15,0% до 100,0%. Единственным сортообразцом, предположительно, свободным от вирусной инфекции, стал КСЗуа15-12.

В ходе исследований устойчивости образцов к фитофторозу, альтернариозу и ризоктониозу выявлены гибриды, демонстрирующие высокую резистентность к этим патогенам, с показателями от 7,0 до 9,0 баллов. Устойчивость к фитофторозу на высоком уровне (8,0 баллов) отмечена у образцов 147Y12-7 и 20653-12, что на уровне стандарта Янтарь, у которого зафиксирована устойчивость к патогену в 8,0 баллов (табл. 3).

Таблица 3 – Оценка белорусских гибридов на вирусные и грибные заболевания в питомнике ОСИ (среднее за 2023-2024 годы)

Гибриды	Поражение вирусными болезни, %				Поражение грибными болезнями, балл		
	морщинистая мозаика	закручивание листьев	крапчатость листьев	курчавость листьев	фитофтороз	альтернариоз	ризоктониоз
Янтарь, st	0,0	0,0	0,8	0,0	8,0	7,0	9,0
КСЗуа15-12	0,0	0,0	0,0	0,0	5,0	7,0	8,0
200.25-25	0,0	15,0	0,0	0,0	5,0	7,0	8,0
147Y12-7	0,0	0,0	0,0	33,3	8,0	7,0	8,0
54-10-3	0,0	0,0	0,0	66,1	7,0	7,0	7,0
16П15-1	0,0	88,3	18,3	80,0	7,0	7,0	9,0
20653-12	0,0	11,7	0,0	100,0	8,0	8,0	9,0

Урожайность выступает ключевым показателем хозяйственной ценности сортов и гибридов картофеля. Этот признак у белорусских гибридов варьировал в пределах 38,1…43,5 т/га. Самый высокий уровень урожайности, достигающий 43,2…43,5 т/га, установлен у образцов 20653-12 и 16П15-1, что на уровне стандарта Янтарь, у которого данный показатель составил 43,5 т/га. Высокая товарность клубней, в диапазоне 92,6…94,4%, зафиксирована у сортообразцов 20653-12, 147Y12-7 и КСЗуа15-12, что, почти, на уровне стандарта Янтарь с показателем – 95,8% (см. рис. 1).

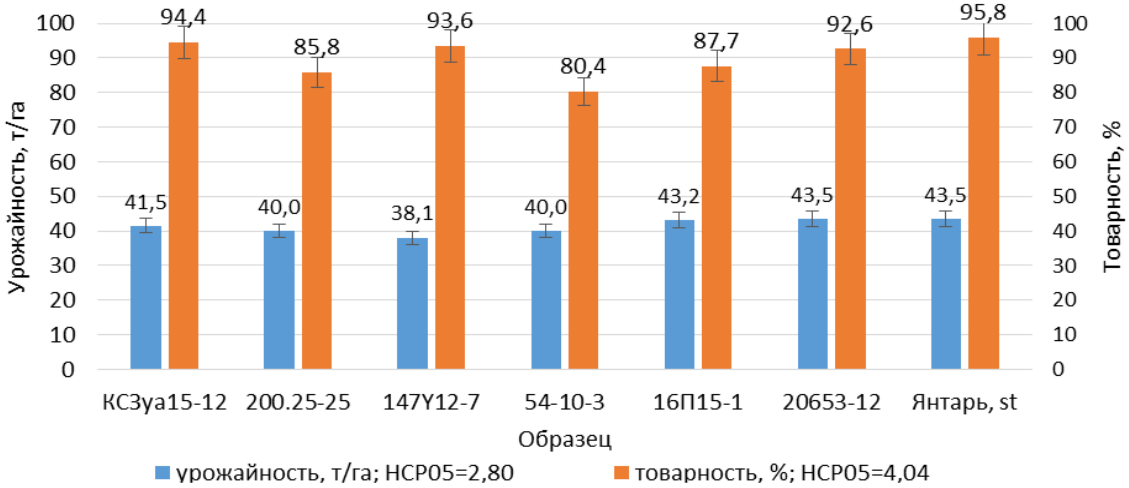


Рис. 1 – Распределение урожайности и товарности гибридов белорусской селекции в питомнике ОСИ (среднее за 2023-2024 годы)

Изучение биохимического состава клубней имеет исключительное значение в селекции картофеля. В результате такой оценки выявлены гибриды с повышенным содержанием сухого вещества (>22,0%) и крахмала (>16,0%), среди которых отмечены образцы 147Y12-7, 54-10-3 и 16П15-1. Генотипы КСЗуа15-12, 200.25-25 и 20653-12 продемонстрировали среднее содержание сухого вещества (19,52…20,15%) и крахмала (13,16…13,75%). Все изученные белорусские гибриды превзошли стандартный сорт Янтарь по содержанию сухого вещества на 3,76…8,46% и крахмала на 3,45…7,96% (табл. 4).

Таблица 4 – Биохимические показатели белорусских гибридов в питомнике ОСИ (среднее за 2023–2024 годы)

Образец	Содержание сухого вещества, %	Содержание крахмала, %
Янтарь, st	15,76 ± 1,23	9,61 ± 0,94
КСЗуа15-12	19,75 ± 1,69	13,37 ± 0,81
200.25.25	19,52 ± 1,74	13,16 ± 0,79
147Y12-7	22,98 ± 1,35	16,42 ± 1,00
54-10-3	22,64 ± 1,34	16,10 ± 0,97
16П15-1	24,22 ± 1,65	17,57 ± 0,92
20653-12	20,15 ± 1,62	13,75 ± 0,81
$НСР_{05}$	2,6	2,1

Дегустационная оценка клубней картофеля, включающая определение степени разваримости, плотности мякоти, мучнистости (рассыпчатости), водянистости, вкуса и запаха, составила один из основных этапов исследования. Результаты оценки показали, что клубни белорусских гибридов характеризуются хорошим и отличным вкусом, с оценками от 7,0 до 9,0 баллов, и рассыпчатой (мучнистой) вареной мякотью (7,0–9,0 баллов). Образцы 147Y12-7 (9,0 баллов) и 16П15-1 (9,0 баллов) продемонстрировали наивысшую рассыпчатость. Запах вареной мякоти также оценивался высоко, от 7,0 до 9,0 баллов. Показатель плотности мякоти варьировал от 3,0 до 7,0 баллов, с наиболее плотными клубнями у образца КСЗуа15-12 (3,0 балла) и 54-10-3 (3,5 балла), и более мягкими у 147Y12-7 (5,0 балла) и 200.25-25 (5,0 балла). Признак водянистости после варки отсутствовал, оцениваясь в 7,0–9,0 баллов. Высокую целостность кожуры (1,0 балл), то есть отсутствие повреждений, продемонстрировали гибриды КСЗуа15-12, 147Y12-7, 54-10-3 и 16П15-1. Образцы 200.25-25 (3,0 балла) и 20653-12 (5,0 балла) характеризовались как слабо и среднеразвариваемые. Анализ белорусских гибридов на потемнение сырых клубней спустя 24 часа выявил интенсивное проявление данного признака у образцов 20653-12 (7,0 баллов) и Янтарь (8,0 баллов), в то время как у гибрида 16П15-1 оно было слабым (3,0 балла). В вареном виде потемнение мякоти было умеренным и слабым, с оценками от 6,0 до 8,0 баллов (табл. 5).

Таблица 5 – Дегустационная оценка белорусских гибридов в питомнике ОСИ (среднее за 2023–2024 годы)

Гибриды	Органолептическиq признак вареной мякоти картофеля, балл						Потемнение, балл	
	развари-мость	рассыпча-тость (мучнисто сть)	водяни стость	вкус	запах	плот-ность мякоти	сырой, через 24 ч	варе-ный, через 24 ч
Янтарь, st	1,0	5,0	7,0	7,0	7,0	5,0	8,0	7,0
КСЗуа15-12	1,0	7,0	7,0	6,0	7,0	3,0	7,0	7,0
200.25.25	3,0	7,0	9,0	7,5	9,0	5,0	6,0	6,0
147Y12-7	1,0	9,0	9,0	7,0	7,0	5,0	6,0	6,0
54-10-3	1,0	8,5	9,0	9,0	7,0	3,5	6,0	8,0
16П15-1	1,0	9,0	7,0	8,5	9,0	4,5	3,0	7,0
20653-12	5,0	9,0	8,5	9,0	7,0	7,0	7,0	7,0

Выводы. Большинство изученных гибридов картофеля продемонстрировали урожайность выше 40 т/га, что находится на уровне стандарта Янтарь (43,5 т/га). Согласно результатам визуальной оценки гибрид КСЗуа15-12 характеризовался отсутствием вирусного поражения. Все изученные генотипы проявили среднюю и высокую резистентность к грибным заболеваниям. Образцы 147Y12-7, 54-10-3 и 16П15-1 отличались относительно высоким содержанием сухого вещества (>22,0%) и крахмала (>16,0%). В ходе дегустационной оценки отличный вкус и высокая мучнистость отмечены у гибридов 54-10-3, 16П15-1 и 20653-12.

По комплексу хозяйственно ценных признаков выделен образец 20653-12. Он обладает высокой урожайностью (43,5 т/га), товарностью клубней (92,6%), полевой устойчивостью к грибным заболеваниям (8,0 баллов), отличными вкусовыми качествами (9,0 баллов) и нетемнеющей мякотью в сыром и вареном виде через 24 ч (7,0 баллов). Форма клубня – овально-удлиненная, кожура – фиолетовая, мякоть с белыми разводами.

Изученные гибриды картофеля представляют значительный интерес для дальнейшей селекционной работы и исследований.

Литература

1. Характеристика перспективных генотипов картофеля селекции ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки в условиях муссонного климата Приморского края / В. П. Вознюк, И. В. Ким, Т. О. Корнилова и др. // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2022. № 3 (223). С. 49–60. doi: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_5.

2. Сравнительный анализ сортов картофеля коллекционного питомника в зависимости от географического происхождения / Е. П. Шанина, Е. М. Клюкина, М. А. Стафеева и др. // Достижения науки и техники АПК. 2020. Т. 34. № 6. С. 75–78. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10614.

3. Анисимов Б. В. В мире картофеля 55 лет. М.: издательство «Грани успеха», 2023. 304 с.

4. Попова Л. А., Головина Л. Н., Шаманин А. А. Экологическая пластичность и стабильность сортообразцов картофеля в условиях Архангельской области // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 4. С. 41–44. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10406.

5. Delayed irrigation: An approach to enhance crop water productivity and to investigate its effects on potato yield and growth parameters / M. S. Waqas, M. J. M. Cheema, S. Hussain, et al. // Agr. Water Management. 2021. Vol. 245. Article106576. https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420321235 (дата обращения: 20.01.2025). doi: 10.1016/j.agwat.2020.106576.

6. Чайка А. К., Клыков А. Г. Приоритетные направления в развитии агропромышленного комплекса Дальнего Востока России // Вестник ДВО РАН. 2016. № 2. С. 24–30.

7. Белорусские сорта картофеля как источники хозяйственно ценных признаков / И. В. Ким, Д. И. Волков, В. Л. Маханько и др. // Вестн. ДВО РАН. 2023. № 3. С. 56–64. doi: 10.37102/0869-7698_2023_229_03_6.

8. Рафальский С. В., Рафальская О. М., Мельникова Т. В. Источники повышенной продуктивности клубней для селекции картофеля на Дальнем Востоке // Овощи России. 2020. № 3. С. 94–97. doi: 10.18619/2072-9146-2020-3-94-97.

9. Чепик Д. А., Демишкевич Г. М. Технико-технологическая модернизация картофелеводства Республики Беларусь: реалии и перспективы // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. №10 (55). С. 56–64.

10. Рафальский С. В., Рафальская О. М., Мельникова Т. В. Биохимические показатели картофеля в Приамурье // Картофель и овощи. 2018. № 6. С. 27–28.

11. Ким И. В., Вознюк В. П., Корнилова Т. О. Новый сорт картофеля Моряк // Дальневосточный аграрный вестник. 2022. Вып. 2 (62). С. 16–23. doi: 10.22450/19996837_2022_2_16.

12. Исследование коллекционных образцов картофеля на наличие генетических маркеров устойчивости к фитопатогенам / А. Б. Сайнакова, М. С. Романова, С. Н. Красников и др. // Вавиловский журнал генетики и селекции. 2018. Т. 22 (1). С. 18–24.

Сведения об авторах:

Вознюк Валентина Петровна – научный сотрудник, отдела картофелеводства и овощеводства, e-mail: voznyuk.57@list.ru

Аникина Оксана Васильевна – младший научный сотрудник, отдела картофелеводства и овощеводства, e-mail: oksanavas1975@mail.ru

Ким Ирина Вячеславовна – доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, лаборатории диагностики болезней картофеля, e-mail: kimira-80@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А.К. Чайки», Приморский край, Россия.

EVALUATION OF ECONOMICALLY IMPORTANT TRAITS OF BELARUSIAN-BRED POTATO HYBRIDS IN PRIMORSKIY KRAI

V. P. Voznyuk, O. V. Anikina, I. V. Kim

Abstract. The research was conducted in 2023-2024 in Primorskiy Krai to assess the economic value of Belarusian-bred potato hybrids based on a set of traits to identify promising genotypes for breeding. The objects of study were six Belarusian-bred potato hybrids, the standard was mid-late Yantar variety. Meteorological conditions in 2023-2024 were characterized by elevated average monthly temperatures and uneven precipitation. Agricultural device was consistent with those adopted in Primorskiy Krai, the experimental plot soil was alluvial loam. All studied hybrids belong to mid-late ripening group (111…128 days after planting). The hybrid yield varied within 38.1…43.5 t/ha, marketability – 80.4…94.4%. The dry matter content in tubers ranged from 19.52 to 24.22%, starch – 13.16…17.57%. The studied hybrids had field resistance to viral and fungal diseases (5.0…8.0 points). Based on the results of organoleptic evaluation of tubers, samples with good and excellent taste (6.0…8.0 points), pulp cooking (1.0…5.0 points), crumbliness (7.0…9.0 points) were selected. Hybrids 20653-12 and 16P15-1 demonstrated the best yields, with yields of 43.5 and 43.2 t/ha, respectively, comparable to Yantar standard (43.5 t/ha). 16P15-1, 54-10-3 and 20653-12 lines demonstrated a combination of positive traits (yield of 40.0-43.5 t/ha, table quality of 7.0-9.0 points and resistance to fungal diseases of 7.0-9.0 points). The studied potato hybrids are of particular interest for breeding as sources of valuable traits.

Key words: potato (*Solanum tuberosum L.*), breeding, hybrid, yield, biochemical composition, taste.

References

1. Voznyuk VP, Kim IV, Kornilova TO. [Characterization of promising potato genotypes of A.K. Chaika Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Far East breeding in the monsoon climate of Primorskiy Kray]. Vestnik Dalnevostochnogo otdeleniya Rossiyskoy akademii nauk. 2022; 3 (223). 49-60 p. doi: 10.37102/0869-7698_2022_223_03_5.

2. Shanina EP, Klyukina EM, Stafeeva MA. [Comparative analysis of potato varieties from a collection nursery depending on their geographical origin]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2020; Vol.34. 6. 75-78 p. doi: 10.24411/0235-2451-2020-10614.

3. Anisimov BV. V mire kartofelya 55 let. [55 years in the world of potato]. Moscow: izdatelstvo Grani uspekha. 2023; 304 p.

4. Popova LA, Golovina LN, Shamanin AA. [Ecological plasticity and stability of potato varieties in Arkhangelsk region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021; Vol.35. 4. 41-44 p. doi: 10.24411/0235-2451-2021-10406.

5. Waqas MS, Cheema MJM, Hussain S. Delayed irrigation: An approach to enhance crop water productivity and to investigate its effects on potato yield and growth parameters. [Internet]. Agr. Water Management. 2021; Vol.245. Article106576. [cited 2025, January 20]. Available from: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378377420321235. doi: 10.1016/j.agwat.2020.106576.

6. Chayka AK, Klykov AG. [Priority areas in the development of agro-industrial complex of the Russian Far East]. Vestnik DVO RAN. 2016; 2. 24-30 p.

7. Kim IV, Volkov DI, Makhanko VL. [Belarusian potato varieties as sources of economically valuable traits]. Vestnik DVO RAN. 2023; 3. 56-64 p. doi: 10.37102/0869-7698_2023_229_03_6.

8. Rafalskiy SV, Rafalskaya OM, Melnikova TV. [Technical and technological modernization of potato growing in the Republic of Belarus: realities and prospects]. Ovoshchi Rossii. 2020; 3. 94-97 p. doi: 10.18619/2072-9146-2020-3-94-97.

9. Chepik DA, Demishkevich GM. [Technical and technological modernization of potato growing in the Republic of Belarus: realities and prospects]. Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve. 2019; 10 (55). 56-64 p.

10. Rafalskiy SV, Rafalskaya OM, Melnikova TV. [Biochemical indicators of potatoes in Amur region]. Kartofel i ovoshchi. 2018; 6. 27-28 p.

11. Kim IV, Voznyuk VP, Kornilova TO. [New potato variety – Moryak]. Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. 2022; 2 (62). 16-23 p. doi: 10.22450/19996837_2022_2_16.

12. Saynakova AB, Romanova MS, Krasnikov SN. [Study of collection potato samples for the presence of genetic markers of resistance to phytopathogens]. Vavilovskiy zhurnal genetiki i selektsii. 2018; Vol.22 (1). 18-24 p.

Authors:

Voznyuk Valentina Petrovna – researcher, Department of Potato Breeding and Horticulture, e-mail: voznyuk.57@list.ru

Anikina Oksana Vasil'evna – junior researcher, Department of Potato Breeding and Horticulture, e-mail: oksanavas1975@mail.ru

Kim Irina Vyacheslavovna – Doctor of Agricultural Sciences, main researcher, Laboratory of Potato Disease Diagnostics, e-mail: kimira-80@mail.ru

Federal Scientific Center for Agricultural Biotechnology of the Far East named after A.K. Chayka, Primorskiy Krai, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-17-21
УДК 633.856.52: 632.4

ОЦЕНКА ФИТОСАНИТАРНОГО СОСТОЯНИЯ СОЕВЫХ АГРОЦЕНОЗОВ В ПРИМОРСКОМ КРАЕ

Т. А. Выборова, С. В. Безмутко

Реферат. Исследования проводили с целью изучения комплекса грибных инфекций сои и контроля динамики их развития на территории Приморского края для совершенствования систем защиты культуры от вредных организмов. Работу выполняли в 2020–2024 годы. Для оценки фитосанитарного состояния посевов культуры были выбраны хозяйства восьми районов (Ханкайский, Хорольский, Пограничный, Уссурийский, Михайловский, Кировский, Черниговский и Дальнереченский) с общей площадью обследования 116,1 тыс. га. В Приморье повсеместно распространены корневые гнили сложной этиологии. Развитие заболевания носит эпифитотийный характер, уровень заражённости растений изменялся в диапазоне от 9,9 до 36,3%. В ходе исследований выявлен комплекс листовых пятнистостей, поражающий культуру: септориоз (*Septoria glycines* Hemmi.), пероноспороз (*Peronospora manshurica* (Naum.) Syd.), церкоспороз (*Cercospora sojina* Hara.), аскохитоз (*Ascochyta sojaecola* Abramov) и пурпурный церкоспороз (*Cercospora kikuchii* (T. Matsu & Tomoyasu) Gardner). Среди всех патогенов септориоз занимал лидирующее положение в регионе с ежегодной интенсивностью развития в посевах от 20,6 до 34,9%, при этом распространение достигало 100 %. Пероноспороз проявлялся с большой вариабельностью от 0,4 до 7,2%. Уровень поражения церкоспорозом составлял от 2,0 до 4,1%. Аскохитоз отмечали в единичных случаях без массового распространения. В 2020 и 2024 годы был зафиксирован карантинный объект – пурпурный церкоспороз с интенсивностью развития 1,5 и 0,4% соответственно. По результатам лабораторной фитопатологической экспертизы 298 партий семян сои, предоставленных контрольно-семенными лабораториями Приморского края, выявлен высокий уровень инфекционной нагрузки семенного материала – фузариозом и бактериозом.

Ключевые слова: соя (*Glycine max*), патоген, интенсивность развития, зараженность, фитосанитарный мониторинг, семенная инфекция.

Введение. В Дальневосточном регионе соя занимает лидирующие позиции среди сельскохозяйственных культур по масштабам выращивания. Согласно данным Росстата, в 2024 году под эту культуру в Приморском крае было отведено почти 100 тыс. га, что составило более 13% всех посевных площадей региона [1].

В то же время, наряду с увеличением объемов возделывания культуры, ежегодно возрастает степень поражения посевов болезнями, которые в конечном итоге приводят к уменьшению или полной потере урожая [2, 3]. Большое распространение на Дальнем Востоке имеют грибковые заболевания сои, что представляет серьезную угрозу для сельскохозяйственного производства [4]. По данным многолетнего изучения видового состава болезней сои в условиях Дальневосточного региона Заостровных В. И. отмечено 20 грибных патогенов культуры [5]. Мягкий влажный климат Приморского края влияет на развитие таких болезней сои, как септориоз, пероноспороз, церкоспороз, фузариоз, аскохитоз и др. [6]. В регионе отмечен завоз из Аргентины и Парагвая бобов сои, зараженных пурпурным церкоспорозом. Ежегодно отмечают вспышки церкоспороза. При поражении растений сои церкоспорозом ухудшается качество зерна и снижается урожайность [7, 8, 9].

Видовое разнообразие фитопатогенов сои обуславливает необходимость внедрения систем мониторинга и контроля, основанных на знании их экологических особенностей.

Цель исследований – изучение комплекса грибных инфекций сои и контроль динамики их развития на территории Приморского края для совершенствования систем защиты культуры от вредных организмов.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в лаборатории фитопатологии Дальневосточного научно-исследовательского института защиты растений – филиала Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный научный центр агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки». Проанализированы пятилетние (2020–2024 годы) данные динамики развития патогенов в производственных посевах сои в Приморском крае. Мониторинг развития и распространения грибных заболеваний культуры осуществляли в соответствии с общепринятыми методиками в следующих районах Приморского края: Ханкайском, Хорольском, Пограничном, Уссурийском, Михайловском, Кировском, Черниговском и Дальнереченском. Диагностику заболеваний проводили на основе характерных признаков поражения растений. Учитывая возможность комплексного поражения посевов различными патогенами, было организовано трехкратное обследование посевов культуры в ключевые фазы развития: при появлении полных всходов, в начале цветения и в период формирования бобов. В лабораторных условиях выполняли фитопатологическую экспертизу семян сои для оценки инфекционной нагрузки в партиях образцов, предоставленных контрольно-семенными лабораториями Приморья (ГОСТ 12044-39; Корсаков Н. И., Овчинникова А. Н., Мизева В. И. Изучение устойчивости сои к грибным болезням: Метод. указания. Л.: ВИР, 1979. 46 с.;

Чумаков А. Е. Основные методы фитопатологических исследований. Л.: Колос, 1974. 190 с.; Sinclair J. B. Compendium of Soubean Diseases. American Phytopathological Society. 1982. 104 p.).

Результаты и обсуждение. Метеостанции обследованных районов Приморского края зафиксировали, что в течение всего периода наблюдений (с июня по сентябрь) температура воздуха стабильно держалась в диапазоне 19,0…20,3°С, что соответствовало, либо превышало климатическую норму (19°С). Все годы исследований характеризовались повышенным количеством влаги, за исключением 2021 года. Средняя сумма осадков в эти годы превышала климатическую норму (395,5 мм) в 1,5 раза (рис. 1) [10].

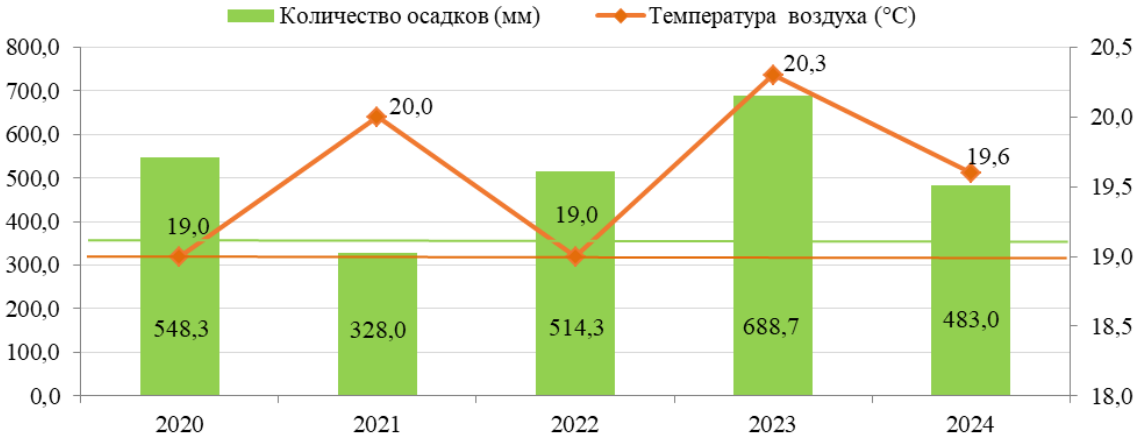


Рис. 1 – Основные метеорологические параметры в обследуемых районах Приморского края, 2020–2024 годы

Тёплый и влажный климат региона способствует формированию группы вредоносных для культуры заболеваний. Поражение растений патогенами носит системный характер, затрагивая как надземные органы, так и корневую систему. В ходе мониторинговых исследований, проведённых в производственных посевах сои Приморского края (2020–2024 года) зарегистрированы корневые гнили сложной этиологии, которые встречаются ежегодно и повсеместно. Уровень заболеваемости на всходах сои колебался от 9,9 до 36,3% в среднем по годам, что в 2…7 раз превышает порог вредоносности (5%) (рис. 2).

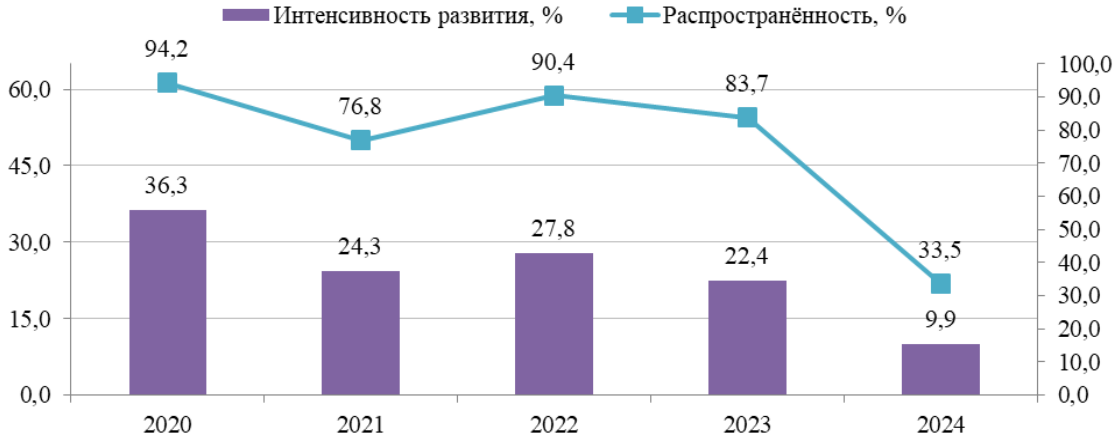


Рис. 2 – Динамика развития корневых гнилей в Приморском крае, %

Помимо заболеваний корневой системы определен набор преобладающих в регионе листостебельных патогенов культуры, включающий в себя септориоз (*Septoria glycines* Hemmi.), пероноспороз (*Peronospora manshurica* (Naum.) Syd.), церкоспороз (*Cercospora sojina* Hara.), аскохитоз (*Ascochyta sojaecola* Abramov) и пурпурный церкоспороз (*Cercospora kikuchii* (T. Matsu & Tomoyasu) Gardner) (рис. 3).

Септориоз выступает преобладающим патогеном в регионе, демонстрируя стабильно высокий уровень поражения с усреднённым показателем 27,1%, что выше порога вредоносности (25%), при этом распространение достигало 100% (рис. 4). Симптомы заболевания были наиболее выражены на листьях, расположенных в нижней и средней части растения.



а б в г д

Рис. 3 – Листья сои, пораженные пятнистостями (а – пероноспороз, б – септориоз, в – церкоспороз, г – аскохитоз, д – пурпурный церкоспороз) (ориг.)

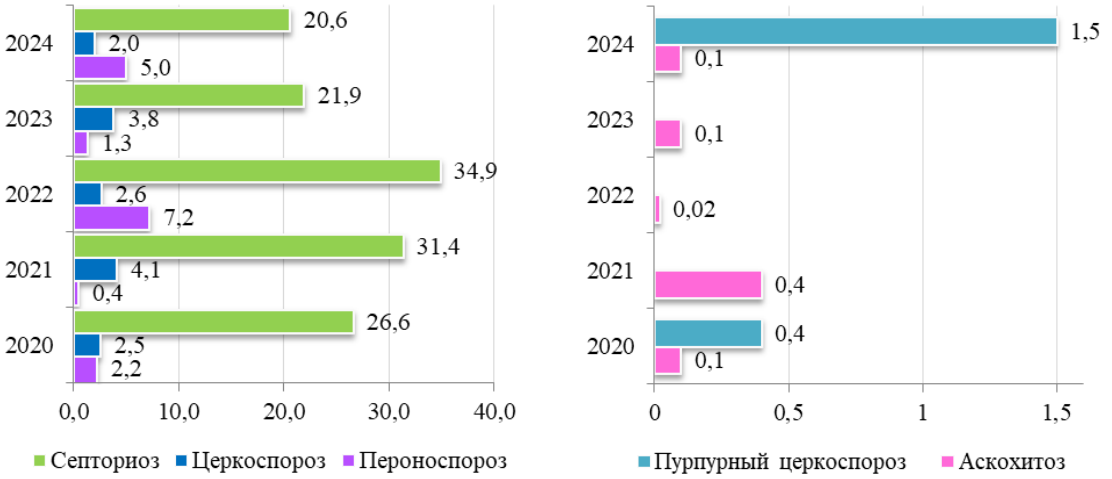


Рис. 4 – Динамика интенсивности развития листостебельных болезней сои в Приморском крае, (2020–2024 годы), %

Большинство патологических состояний не достигало эпидемиологического порога. Однако болезнь, вызванная пероноспорозом, проявлялась с разной интенсивностью: от незначительных 0,4% до заметных 7,2%, при распространенности в диапазоне 2,4…40,5%. Степень поражения церкоспорозом находилась в узком интервале значений с небольшими отклонениями по годам: минимальное значение составило 2,0%, максимальное – 4,1%. Аскохитоз встречался в виде отдельных случаев поражения, не образуя массовых очагов. В 2020 и 2024 годы зафиксирован карантинный объект – пурпурный церкоспороз с распространенностью 1,1 и 13,6% соответственно (рис. 5). Развитие заболевания в эти годы было на уровне 0,4 и 1,5% (рис. 4).

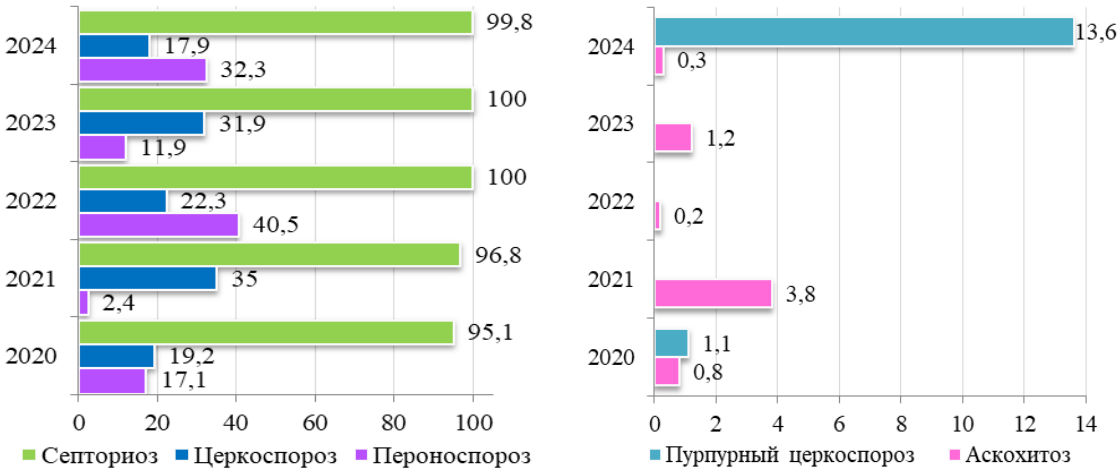


Рис. 5 – Динамика распространенности листостебельных болезней сои в Приморском крае, (2020–2024 годы), %

Качество семян определяет фитосанитарное состояние будущих посевов. Зараженный семенной материал служит источником первичной инфекции, способствуя развитию болезней на растущих растениях и формированию инфекционных очагов в поле. Фитопатологический анализ семян выступает ключевым компонентом системы мониторинга фитосанитарной обстановки.

Фитопатологическая экспертиза 298 образцов семян сои выявила высокую инфекционную нагрузку семенного материала (см. табл. 1). Свободных от патогенной микрофлоры партий семян сои не обнаружено, отмечена высокая степень зараженности образцов возбудителями корневых гнилей. Доминировали фузариоз (*Fusarium spp*.) и бактериоз (*Pseudomonas solanacearum* E.F. Sm. syn. Ps. Sojae Stapp). В виде единичных пятен зарегистрирован церкоспороз семядолей (*Cercospora sojaena* Hara) (рис. 6). За последние 2 года (2023–2024 годы) отмечена тенденция к снижению общей заражённости семян с 26,1 до 5,3%.

Таблица 1 – Результаты лабораторной оценки инфекционного фона семян сои Приморского края

Год	Зараженность, %			
	общая	в том числе:		
		фузариоз	бактериоз	церкоспороз
2020	13,3	12,2	1,1	0
2021	13,9	10,7	3,1	0,1
2022	26,1	13	12,7	0,4
2023	8,7	6,2	2,4	0,1
2024	5,3	4,3	0,9	0,1
Среднее	13,5	9,3	4,0	0,1



а б

Рис. 6 – Образцы растений сои, пораженные семенными инфекциями (а – семядоли, б – корневая система) (ориг.)

Выводы. В Приморском крае выявлена масштабная проблема поражения сои различными фитопатогенами. Наибольшую опасность представляют корневые гнили, поражение которыми ежегодно достигает эпидемических масштабов, существенно превышая порог вредности в 2…7 раз. Уровень заболеваемости всходов варьирует от 9,9% до 36,3%. Среди листовых заболеваний доминирует септориоз, усредненное поражение которым достигает 27,1%, а распространенность – 100%. Семенной материал характеризуется высоким уровнем инфекционной нагрузки. Доминирующие патогены – фузариоз (в среднем 9,3%) и бактериоз (4,0%). Положительная динамика наблюдается в снижении общей зараженности семян с 2023 по 2024 год (с 26,1% до 5,3%), что свидетельствует о возможном улучшении фитосанитарной ситуации. Климатические условия Приморского края способствуют развитию грибных заболеваний сои, что требует постоянного мониторинга фитосанитарного состояния посевов и усиления мер защиты посевов культуры.

Литература

1. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2024.xlsx (дата обращения: 11.02.2025).

2. Основные болезни на посевах сои / Т. Х. Резвицкий, Р. А. Тикиджан, А. В. Позднякова и др. // The Scientific Heritage. 2021. № 59-2 (59). С. 6–8. doi 10.24412/9215-0365-2021-59-2-6-8.

3. Campbell M.A., Li Z., W. Buck J. Development of southern stem canker disease on soybean seedlings in the greenhouse using a modified toothpick inoculation assay // Crop protection. 2017. Vol. 100. P. 57–64.

4. Влияние грибковых болезней на биохимический состав семян сои / О. Н. Тарасова, С. И. Лаврентьева, Г. А. Кодирова и др. // Достижения науки и техники АПК. 2021. Т. 35. № 8. С. 9–13. doi 10.53859/02352451_2021_35_8_9.

5. Мониторинг видового состава болезней сои в различных зонах соесеяния / В. И. Заостровных, А. А. Кадуров, Л. К. Дубовицкая и др. // Дальневосточный аграрный вестник. 2018. № 4 (48). С. 51–67. doi 10.24411/1999-6837-2018-14081.

6. Саенко Г. М. Фитосанитарный мониторинг сои на Дальнем Востоке // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2022. № 4 (68). С. 120–133.

7. Бударина Г. А. Биологическая и хозяйственная эффективность применения фунгицидов и биопрепаратов в борьбе с болезнями сои // Зернобобовые и крупяные культуры. 2018. № 3 (27). С. 47–52. doi 10.24411/2309-348X-2018-11031.

8. Karlekara A., Sealb A. SoyNet: Soybean leaf diseases classification // Computers and Electronics in Agriculture. 2020. Vol. 172. Art. 105342. URL: https://www.sciencedirect.com (дата обращения: 15.01.2025). doi: 10.1016/j.compag.2020.105342.

9. Саенко Г. М., Мустафина М. А. Фитосанитарное обследование сои в Центральном Черноземье // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2021. № 2 (62). С. 175–185. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-19.

10. Справочно-информационный портал «Погода и климат». URL: http://www.pogodaiklimat.ru/history.php (дата обращения: 15.01.2025).

Сведения об авторах:

Выборова Татьяна Алексеевна – младший научный сотрудник лаборатории фитопатологии, e-mail: dalniizr@mail.ru; tataop18@gmail.com

Безмутко Светлана Владимировна – научный сотрудник лаборатории фитопатологии, e-mail: dalniizr@mail.ru; gsv709@mail.ru

Дальневосточный научно-исследовательский институт защиты растений – филиал Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки, Камень-Рыболов, Приморский край, Россия.

ASSESSMENT OF PHYTOSANITARY CONDITION OF SOYBEAN AGROCENOSIS IN PRIMORSKIY KRAI

T. A. Vyborova, S. V. Bezmutko

Abstract. The study was conducted to understand the complex of fungal infections affecting soybeans and monitor their development dynamics in Primorsky Krai to improve pest control systems. The work was conducted from 2020 to 2024. Farms in eight districts (Khankayskiy, Khorolskiy, Pogranichnyy, Ussuriyskiy, Mikhaylovskiy, Kirovskiy, Chernigovskiy and Dalnerechenskiy) were selected to assess the phytosanitary condition of crops, covering a total survey area of 116.1 thousand hectares. Root rots of complex etiology are widespread in Primorskiy Krai. The disease develops epiphytotically, with plant infestation rates ranging from 9.9% to 36.3%. During the research, a complex of leaf spots affecting the crop was identified: septoria leaf spot (*Septoria glycines* Hemmi.), downy mildew (*Peronospora manshurica* (Naum.) Syd.), cercospora leaf spot (*Cercospora sojina* Hara.), ascochyta leaf spot (*Ascochyta sojaecola* Abramov) and purple cercospora leaf spot (*Cercospora kikuchii* (T. Matsu & Tomoyasu) Gardner). Among all the pathogens, septoria leaf spot occupied a leading position in the region with an annual development intensity in crops from 20.6 to 34.9%, while the distribution reached 100%. Downy mildew manifested itself with great variability from 0.4 to 7.2%. The level of cercospora leaf spot damage ranged from 2.0 to 4.1%. Ascochyta leaf spot was noted in isolated cases without mass distribution. In 2020 and 2024 the quarantine pathogen purple cercospora leaf spot was recorded with a development rate of 1.5% and 0.4%, respectively. Laboratory phytopathological testing of 298 batches of soybean seeds provided by seed testing laboratories in Primorskiy Krai revealed a high infection load of fusarium and bacterial blight in the seed material.

Key words: soybean (*Glycine max*), pathogen, development degree, infestation, phytosanitary monitoring, seed infection.

References

1. Federal State Statistics Service. [Internet]. [cited 2025, February 11]. Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Posev_2024.xlsx.

2. Rezvitskiy TKh, Tikidzhan RA, Pozdnyakova AV. [Main diseases on soybean crops]. The Scientific Heritage. 2021; 59-2(59). 6-8 p. doi 10.24412/9215-0365-2021-59-2-6-8

3. Campbell MA, Li Z, W. Buck J. Development of southern stem canker disease on soybean seedlings in the greenhouse using a modified toothpick inoculation assay. Crop protection. 2017; Vol.100. 57-64 p.

4. Tarasova ON, Lavrenteva SI, Kodirova GA, Blinova AA. [Influence of fungal diseases on the biochemical composition of soybean seeds]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2021; Vol.35. 8. 9-13 p. doi 10.53859/02352451_2021_35_8_9.

5. Zaostrovnyh VI, Kadurov AA, Dubovitskaya LK. [Monitoring the species composition of soybean diseases in different soybean-growing zones]. Dalnevostochnyy agrarnyy vestnik. 2018; 4(48). 51-67 p. doi 10.24411/1999-6837-2018-14081.

6. Saenko GM. [Phytosanitary monitoring of soybean in the Far East]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2022; 4 (68). 120-133 p.

7. Budarina GA. [Biological and economic efficiency of using fungicides and biological products in the fight against soybean diseases]. Zernobobovye i krupyanye kultury. 2018; 3(27). 47-52 p. doi 10.24411/2309-348X-2018-11031.

8. Karlekara A, Sealb A. SoyNet: Soybean leaf diseases classification. [Internet]. Computers and Electronics in Agriculture. 2020; Vol.172. Art.105342. [cited 2025, January 15]. Avaialble from: https://www.sciencedirect.com. doi: 10.1016/j.compag.2020.105342.

9. Saenko GM, Mustafina MA. [Phytosanitary survey of soybean in the central Black Earth region]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2021; 2(62). 175-185 p. doi: 10.32786/2071-9485-2021-02-19.

10. Reference and information portal Weather and climate. [Internet]. [cited 2025, January 15]. Available from: http://www.pogodaiklimat.ru/history.php.

Authors:

Vyborova Tatyana Alekseevna – junior researcher of Phytopathology Laboratory, e-mail: dalniizr@mail.ru; tataop18@gmail.com

Bezmutko Svetlana Vladimirovna – researcher of Phytopathology Laboratory, e-mail: dalniizr@mail.ru; gsv709@mail.ru

Far Eastern Research Institute of Plant Protection – Branch of Federal Scientific Center for Agrobiotechnology of the Far East named after A.K.Chayka, Kamen-Rybolov village, Primorskiy Krai, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-22-30
УДК 631.529:633.88:470.31

БИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ СОРТА ЗЛАТОСЛАВ В МОСКОВСКОМ РЕГИОНЕ

М. Ю. Грязнов, О. М. Савченко, Я. Ф. Копытько

Реферат. Исследования проводили с целью определения содержания биологически активных соединений в тысячелистнике тавол говом сорта Златослав в разные фенологические фазы для совершенствования технологий его возделывания. Объектом исследования служили средневозрастные растения тысячелистника тавол гового сорта Златослав, культивируемые в полевом севообороте. Работу выполняли в 2022–2024 годы в Московской области. Полевые опыты и биометрические измерения проводили согласно методикам, принятым в лекарственном растениеводстве. Содержание эфирного масла определяли методом гидродистилляции в воздушно сухом сырье. Для оценки состава и содержания полифенольных соединений в траве тысячелистника тавол гового в фазы бутонизации и цветения использовали методы тонкослойной хроматографии и спектрофотометрии. Для количественного определения фенольных соединений использовали метод спектрофотометрии. Содержание суммы флавоноидов оценивали после реакции комплексообразования с алюминия хлоридом. Тысячелистник тавол говый можно отнести к летнецветущим видам. Период от начала вегетации до массового плодоношения составляет 130…145 дней. Урожайность травы, соцветий и семян незначительно варьировала с тенденцией к увеличению по годам, достигая максимальных значений на четвертый год жизни (11,9±1,10 т/га, 2,5±0,21 т/га и 221±20,8 кг/га соответственно). Содержание эфирного масла в соцветиях тысячелистника тавол гового оставалось стабильным, независимо от возраста растений и условий года наблюдения. В фазе массовой бутонизации оно составляло 0,48…0,51%, в фазе массового цветения – 0,66…0,68% воздушно-сухого сырья. Соцветия тысячелистника тавол гового характеризовались высоким содержанием фенольных веществ (до 4,52%) и флавоноидов (до 1,83%). Возделывание тысячелистника тавол гового имеет ряд неоспоримых преимуществ. В условиях Нечерноземной зоны РФ он формирует значительную биомассу, отличается одновременным переходом к бутонизации и цветению, содержание эфирного масла в сырье стабильно по годам. При рациональном землепользовании *A. filipendulina* может быть востребован в качестве лекарственного растительного сырья для получения полифенолов.

Ключевые слова: тысячелистник тавол голистный (*Achillea filipendulina Lam.*), урожайность, фенольные соединения, флавоноиды, эфирное масло.

Введение. Тысячелистник тавол говый (*Achillea filipendulina Lam.*) – вид рода *Achillea L.* (тысячелистник) семейства *Asteraceae*, произрастающий в Центральной и Юго-Западной Азии (Афганистан, Ирак, Пакистан, Иран, Турция, Казахстан) [1, 2]. Часто встречается в Таджикистане [3]. *A. filipendulina Lam.* – травянистое многолетнее корневищное растение высотой до 120 см. Листва ажурная, серо-зеленого цвета. Желтые цветочные корзинки собраны в плоские щитки диаметром до 13 см. Краевые цветки имеют золотистый оттенок. Цветение от месяца и дольше. Эфиромасличное, лекарственное и декоративное растение, хороший медонос. Иногда используется в качестве пряности, запах слабоароматный, вкус слабо-пряный и терпкий, но в больших количествах может вызвать отравление. В диком виде на территории России *A. filipendulina Lam.* встречается на Кавказе: от низменности до среднего горного пояса, редко в верхнем горном поясе. Растет среди полупустынной растительности у дорог в предгорьях, на галечниках, по краям посевов, на горных лугах. *A. filipendulina Lam.* – летне-цветущий вид, гемикриптофит, ксеромезофит, относится к пустынному географическому типу и туранскому классу [4].

Вид натурализован и культивируется в Северной Америке, Новой Зеландии, Европе и на Ближнем Востоке. Выращивается также на срезку, в том числе для составления зимних букетов. В странах Западной Европы и США активно ведется селекция *A. filipendulina Lam.* на декоративные свойства. Gold Plate, Cloth of Gold, Coronation Gold, Moonshine, Hella Glashoff, Schwellenburg, Feuerland – наиболее известные сорта, которые характеризуются яркой окраской соцветий преимущественно в золотисто-желтой гамме [5].

В России этот вид успешно интродуцирован в ботанических садах, однако в условиях агроценоза в Нечерноземной зоне до последнего времени не возделывался [6]. В 2021 году впервые в России создан сорт тысячелистника тавол гового Златослав, оригинатором которого выступает ФГБНУ ВИЛАР [7].

Растения рода *Achillea* занимают важное место как источник биологически активных веществ, среди которых заметную роль играют полифенольные соединения, поскольку они обладают доказанным антиоксидантным, противовоспалительным, антивозрастным, противомикробным, противоаллергическим, противоопухолевым, антигипертензивным действием [8, 9, 10].

В связи с необходимостью поиска новых сильнодействующих противомикробных препаратов вследствие резистентности микробов, препараты на основе сырья тысячелистника тавол гового могут служить в качестве дополнения к антибиотикотерапии [8, 11].

Экстракты *A. filipendulina* обладают ингибирующей активностью в отношении большинства патогенных микроорганизмов [11, 12].

В эфирном масле тысячелистника таволгового из Сербии идентифицировано 59 соединений, доминировали 1,8-цинеол в сочетании с цис-туйоном [9]. В образцах травы из Ирана в стеблях, листьях и цветках обнаружено 16, 53 и 35 соединений соответственно. Основными компонентами эфирного масла выступают у первого хемотипа: сантолиновый спирт, карвакрол, спатуленол, нерилацетат, транс-кариофилленоксид (стебли); у второго – 1,8-цинеол, камфора, аскаридол, транс-изоаскаридол, оксид пиперитона (листья); транс-изоаскаридол, аскаридол, камфора 1,8-цинеол, п-цимен (цветки).

В условиях Черноземья РФ преобладающими из 39 обнаруженных веществ в составе эфирного масла *A. filipendulina Lam.* выступают монотерпеновые спирты (неоментогликол – 33,5%, борнеол – 6,6%, вербенол – 5,5%), монотерпены (о-цимен – 3,5%, сантолина триен – 2,21%) и монотерпеновые сложные эфиры (борнил ацетат – 1,88%) [12].

Установлено, что эфирное масло обладает антибактериальными свойствами как в отношении грамположительных, так и грамотрицательных бактерий [11]. Эфирное масло тысячелистника таволгового может рассматриваться как более активный в подавлении размножения бактерий антимикробный компонент [12].

В экстракте *A. filipendulina* из Ирана были идентифицированы полифенолы, основными из которых были хлорогеновая кислота, лютеолин, кверцетин и кофейная кислота. Выявлен выраженный антигликативный, антиоксидантный и противомикробный потенциал этого вида благодаря высокому содержанию полифенолов [13].

Надземная часть тысячелистника таволгового используется в народной медицине при заболеваниях сердца, желудочно-кишечного тракта, при геморрое [1, 14]. Сесквитерпеноиды, эфирное масло проявляют антифунгальную, антибактериальную, противоопухолевую и антиоксидантую активности [14]. Настой из соцветий и листьев, а также сумма флавоноидов в эксперименте оказывают диуретическое действие, отвар из соцветий – болеутоляющее при головных болях. Эфирное масло может быть использовано в качестве ароматизатора пищевых и парфюмерно-косметических изделий [12, 15].

Тысячелистник имеет важное экологическое значение. Культивирование *A. filipendulina* на почвах, загрязненных нефтяными углеводородами, приводит к их деградации, что может объясняться способностью корней растения разлагать нефтяные углеводороды в загрязненной почве [16].

В проведенных нами ранее исследованиях были установлены фенологические фазы, когда содержание суммы фенольных соединений, флавоноидов и эфирного масла в сырье лекарственных растений семейства *Asteraceae* достигало максимальных значений [17].

По литературным данным известно, что выход и состав эфирного масла, содержание полифенолов у растений тысячелистника таволгового изменялись в зависимости от фенологической фазы. Так, выход эфирного масла составлял от 0,22% (в начале отрастания) до 0,78% на стадии массового цветения. Извлечения из надземной части тысячелистника таволгового, собранного в начале цветения, проявляли наибольшую антиоксидантную активность [18].

Определение зависимости накопления вторичных метаболитов от фазы вегетации в НЧЗ РФ даст возможность прогнозировать сроки заготовки сырья с требуемым содержанием биологически активных веществ.

Цель исследований – определить содержание эфирного масла и фенольных соединений в тысячелистнике таволговом сорта Златослав в разные фенологические фазы для совершенствования технологий его возделывания.

Условия, материалы и методы. Объектом исследования служили средневозрастные растения тысячелистника таволгового сорта Златослав селекции ВИЛАР, культивируемые в полевом севообороте.

Работу выполняли в полевых условиях ФГБНУ ВИЛАР в 2022–2024 годы. Почва опытного участка ВИЛАР дерново-подзолистая тяжелосуглинистая, имела следующие агрохимические показатели: содержание гумуса – 2,9% (по Тюрину); подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 24 и 72 мг/кг. Реакция среды слабокислая (pH KCl 5,3 ед.); Нг – 2,9 мг-экв/100 г. Опыт проводили в питомнике *A. filipendulina Lam.*, заложенном в 2021 году. Норма высева – 4 кг/га.

Фенологические наблюдения, биометрические измерения и полевые опыты проводили согласно методикам, принятым в лекарственном растениеводстве [19, 20, 21].

Определение коэффициентов корреляции, вычисление достоверности различий по вариантам опыта проводили с применением дисперсионного анализа и расчетом доверительного интервала на основе t-коэффициента Стьюдента при уровне значимости $P \leq 0,05$. Для каждого изучаемого признака определяли его среднее значение (M), ошибку среднего (m) и коэффициент вариации (Cv %).

Погодные условия Московской области в ходе проведения опытов уточняли на интернет-ресурсе «Климатический монитор» [22].

Эфиромасличным и лекарственным сырьем у тысячелистника таволгового служат соцветия [4]. Содержание эфирного масла в соцветиях определяли в фазе бутонизации и в фазе массового цветения. Сырье высушивали в затемненном помещении при температуре 22…25°C [23].

Содержание эфирного масла в соцветиях определяли по ОФС.1.5.2.0001 методом гидродистилляции воздушно сухого сырья, время отгонки – 2 часа [24].

В собранном в фазы бутонизации и цветения сырье *A. filipendulina Lam.* (соцветия) определяли состав и содержание полифенольных соединений методами тонкослойной хроматографии (ТСХ) и спектрофотометрии. Содержание суммы флавоноидов оценивали после реакции комплексообразования с алюминия хлоридом.

Содержание суммы фенольных веществ в пересчете на хлорогеновую кислоту в лекарственном растительном сырье (ЛРС) в % (Х,%) вычисляли по формуле:

$$X = \frac{A \cdot a_0 \cdot 50 \cdot 1 \cdot 25 \cdot P \cdot 100 \cdot 100}{A_0 \cdot a \cdot 25 \cdot 25 \cdot 1 \cdot (100 - W)},$$

где: A_0 – оптическая плотность раствора стандартного образца (СО) (раствор Б) хлорогеновой кислоты; А – оптическая плотность испытуемого раствора; a_0 – навеска СО хлорогеновой кислоты, г; а – навеска сырья, г; *P* – содержание основного вещества в СО хлорогеновой кислоты, %.

Содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин в ЛРС в % (Х, %) вычисляли по той же формуле, где; A_0 – оптическая плотность раствора Б СО рутина; А – оптическая плотность испытуемого раствора; a_0 – навеска СО рутина, г; а – навеска сырья, г; *P* – содержание основного вещества в СО рутина, %.

Результаты и обсуждение. Зимние периоды 2022–2024 годы можно считать достаточно теплыми: температура зимних месяцем была выше средних многолетних значений на 2…4%, а сумма выпавших осадков с ноября по март не превышала среднюю многолетнюю более, чем на 16% (2023 год). Снеготаяние отмечали с конца III декады марта по начало I декады апреля. Даты наступления основных фенологических фаз у растений тысячелистника таволгового существенно варьировали (табл. 1).

Таблица 1 – Начало наступления основных фенологических фаз (2022–24 годы)

Фаза	Начало наступления
Отрастание	11…18 апреля
Начало бутонизации – массовая бутонизация	25…30 мая – 5…9 июня
Начало цветения – массовое цветение	25…29 июня – 3…8 июля
Начало плодоношения – массовое плодоношение	16…20 августа – 2…9 сентября

Продолжительность периода от начала вегетации до массового плодоношения сорта Златослав составляет 130…145 дней, что вполне вписывается в вегетационный период Нечерноземной зоны.

Изменчивость морфологических признаков растений тысячелистника таволгового характеризовалась различной степенью выраженности (табл. 2).

Таблица 2 – Изменчивость морфологических признаков растений *A. filipendulina Lam.* сорта Златослав

Признак	Среднее значение	CV%
Высота, см	70,1±2,2	7,9
Число генеративных побегов, шт./растение	19,4±2,0	19,2
Масса 1000 семян, г	0,115±0,033	6,7
Диаметр соцветия, см	9,3±0,6	8,4
Число корзинок в одном соцветии, шт.	90,2±9,4	16,7
Длина листа, см	16,0±1,3	14,9
Ширина листа, см	6,2±0,6	15,6

Средняя фенотипическая изменчивость отмечена по числу генеративных побегов (19,2%), числу корзинок в одном соцветии (16,7%), ширине листа (15,6%) и длине листа (14,9%). Наименьшая в опыте изменчивость отмечена по диаметру соцветия (18,4%) и высоте (7,9%).

Урожайность травы (11,9 т/га), соцветий (2,5 т/га) и семян (221 кг/га) незначительно колебалась с тенденцией к увеличению по годам, достигая максимальных в опыте значений на четвертый год жизни (табл. 3).

Таблица 3 – Урожайность семян и сухого сырья *A. filipendulina Lam.* сорта Златослав

Урожайность	2 г.ж. / 2022	3 г.ж. / 2023	4 г.ж. / 2024
Трава, т/га	10,1±1,0	10,5±1,0	11,9±1,1
Соцветия, т/га	2,0±0,2	2,2±0,2	2,5±0,2
Семена, кг/га	193±15	205±19	221±21

Содержание эфирного масла в соцветиях тысячелистника таволгового оставалось стабильным, независимо от возраста растений и условий года наблюдения: в фазе массовой бутонизации величина этого показателя составляла 0,48…0,51%, а в фазе массового цветения – 0,66…0,68% (рис. 1).

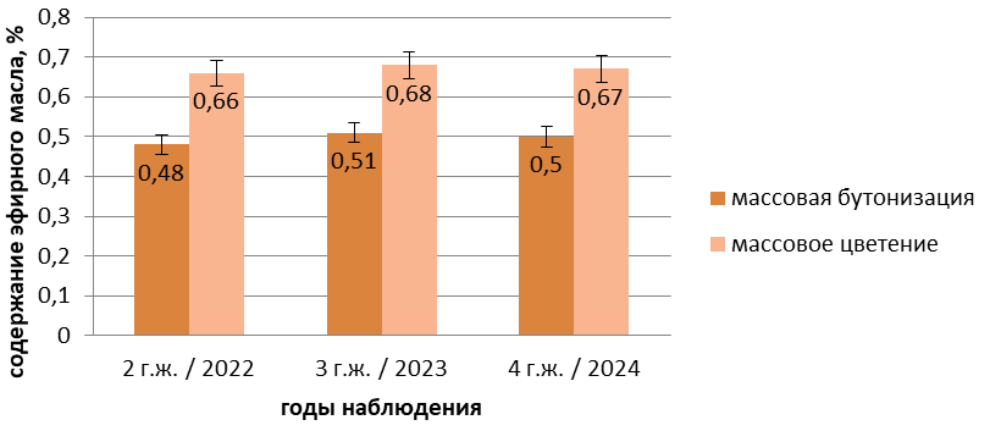


Рис. 1 – Содержание эфирного масла в зависимости от возраста растения и фазы вегетации, %

В среднем за три года исследований содержание эфирного масла в соцветиях тысячелистника таволгового в фазе массового цветения было выше в 1,3…1,4 раза, чем в фазе массовой бутонизации. Следует отметить отсутствие существенной разницы по этому показателю в годы исследований, что объясняется сходными температурными условиями и низкой требовательностью тысячелистника таволгового к влажности [7].

Содержание фенольных веществ в образцах высокое, причем величина этого показателя биопродуктивности была выше в сырье, заготовленном в фазе бутонизации, чем в фазе цветения: общее количество фенольных веществ в пересчете на хлорогеновую кислоту – выше в 3 раза, сумма флавоноидов в пересчете на рутин – также в 3 раза. Следовательно, фенольных кислот во время бутонизации накапливается в растении больше, затем, во время цветения, их количество заметно снижается.

При сравнении хроматограмм извлечений экстрактивных веществ из двух проб сырья, выявлено, что по количеству зон адсорбции и положению их на хроматограмме они совпадают, но имеется существенная разница в интенсивности зон, которая свидетельствует о том, что в извлечении экстрактивных веществ из сырья, заготовленного во время бутонизации фенолкарбоновых кислот и рутина значительно больше, также обнаружено больше хлорофилла (рис. 2).

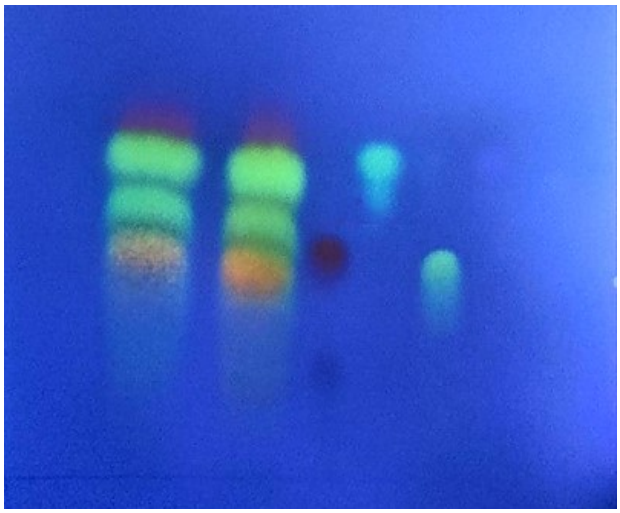


Рис. 2 – Хроматограма извлечения из двух проб сырья *A. filipendulina*

На хроматограмме раствора на рисунке 3 показаны активные зоны адсорбции с флуоресценцией синего цвета на уровне зоны СО кофейной кислоты и оранжевого цвета – на уровне зоны СО рутина. Выделены зоны адсорбции с флуоресценцией голубого цвета ниже зоны рутина (хлорогеновая кислота), между зоной рутина и кофейной кислоты, которые можно отнести к фенолкарбоновым кислотам. Зоны адсорбции красноватого цвета с Rf около 0,7 относятся к хлорофиллу.

Изучение спектров поглощения в области 200…400 нм показало максимум при 330±1 нм и плечо при 302 нм. Такой диапазон типичен для поглощения соединений фенольной природы – фенолкарбоновых кислот, флавоноидов и дубильных веществ (рис. 3).

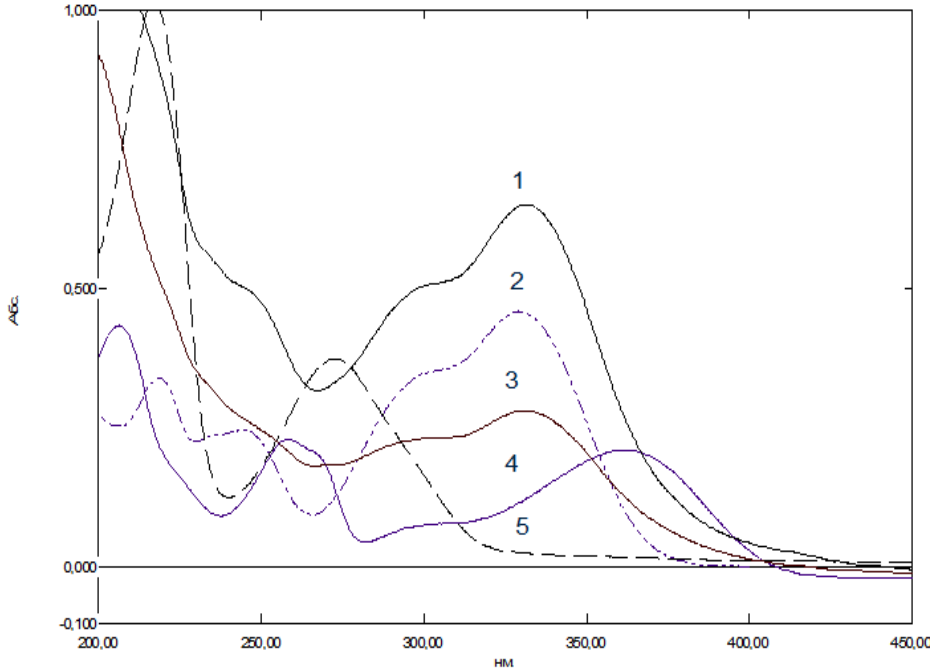


Рис. 3 – Спектры поглощения: 1 – тысячелистник бутонизация; 2 – хлорогеновая кислота СО; 3 – тысячелистник цветение; 4 – рутин СО ; 5 – галловая кислота СО

Учитывая данные ТСХ и спектры поглощения представляется возможным полагать, что среди фенольных веществ превалируют фенолкарбоновые кислоты. Из этого следует, что в поглощении имеется вклад всех указанных групп веществ. В этой связи целесообразно оценивать суммарное содержание фенольных веществ в пересчете на хлорогеновую кислоту. Спектр извлечения из тысячелистника и УФ-спектр хлорогеновой кислоты обладают схожими спектральными характеристиками. Поэтому при длине волны 330 нм хлорогеновую кислоту выбрали в качестве стандарта (рис. 4).

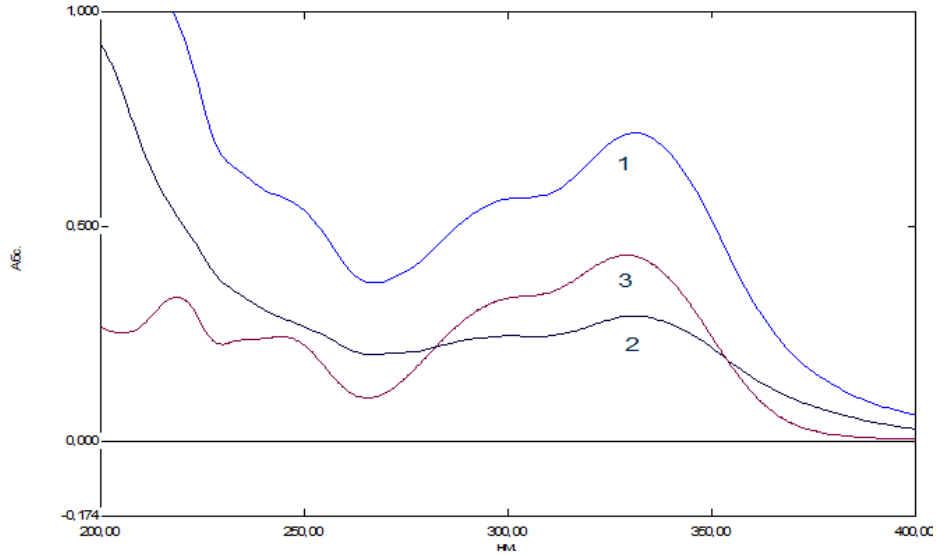


Рис. 4 – Спектры поглощения: 1 – тысячелистник бутонизация; 2 – тысячелистник цветение; 3 – хлорогеновая кислота СО

Изучение хроматографических профилей извлечений из соцветий тысячелистника таволгового в разные фенологические фазы показало, что в фазе массовой бутонизации содержится наибольшее количество фенольных соединений (качественно и количественно). Также было установлено, что фенолкарбоновые кислоты выступают одними из доминирующих метаболитов соцветий исследуемого растения.

По результатам анализов в экстрактах из соцветий растений *A. filipendulina* были отмечены значительные различия между количественным содержанием суммы флавоноидов в разные фазы вегетации. В соцветиях максимальное количество флавоноидов накапливается в фазе массовой бутонизации (1,83%) (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание суммы фенольных веществ и флавоноидов в соцветиях *A. filipendulina* в зависимости от фазы вегетации (среднее за 2022–2024 годы)

Вариант	Навеска, г.	Влажность, %	Содержание фенольных веществ		Содержание суммы флавоноидов в пересчете на рутин, %
			в пересчете на хлорогеновую кислоту, %	в пересчете на кофейную кислоту, %	
Фаза массовой бутонизации	0,991	5,77	4,52±0,67	4,55±0,59	1,83±0,12
Фаза массового цветения	1,224	5,99	1,48±0,11	1,32±0,10	0,87±0,09

Снижение содержания биологически активных соединений к началу цветения характерно для большинства лекарственных культур. В период массового цветения, отличающегося значительным темпом аккумулирования биомассы, происходит снижение содержания суммы флавоноидов, в связи с активизацией белкового и фенольного синтезов, приводящей к ослаблению биосинтеза флавоноидов [17, 25]. Содержание флавоноидов в сырье *A. filipendulina* к началу массового цветения снижается в 2 раза (табл. 4, рис. 5).

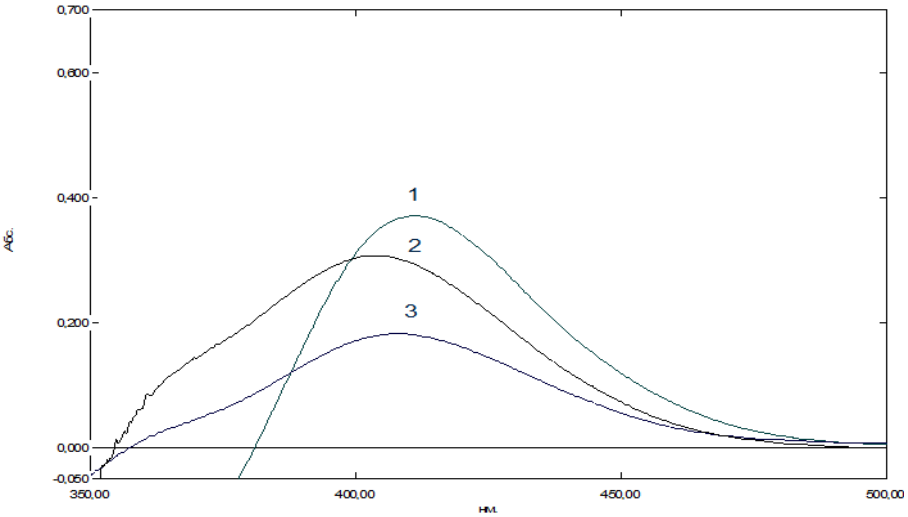


Рис. 5 – Спектры поглощения: 1 – тысячелистник фаза бутонизации; 2 – комплекс рутина с $AlCl_3$; 3 – тысячелистник фаза цветения

Соцветия тысячелистника таволгового характеризуются высоким содержанием фенольных веществ и флавоноидов (4,522% и 1,826% соответственно). Полученные данные незначительно превышают содержание этих биологически активных соединений в пижме обыкновенной в сходных условиях произрастания [17]. Однако, в отличие от пижмы, возделывание тысячелистника таволгового имеет ряд неоспоримых преимуществ. В условиях Нечерноземной зоны РФ он формирует значительную биомассу, отличается одновременным переходом к бутонизации и цветению, не поражается мучнистой росой [7], не засоряет самосевом поля, а содержание эфирного масла в сырье стабильно по годам. При рациональном землепользовании *A. filipendulina* может быть востребован в качестве лекарственного растительного сырья для получения полифенолов.

Выводы. Соцветия *A. filipendulina* сорта Златослав отличаются высоким содержанием фенольных соединений (до 4,5%) и флавоноидов (до 1,8%) в фазе бутонизации. К мажорным соединениям можно отнести кофейную и хлорогеновую кислоты, а также рутин. Выращивание *A. filipendulina Lam.* возможно на сырьё (сухие соцветия) в качестве источника флавоноидов и фенолкарбоновых кислот. Дальнейшее фитохимическое изучение сырья тысячелистника таволгового перспективно с целью определения возможности его использования в качестве источника для производства полифенолов.

Сведения о финансировании. Работа выполнена в рамках НИР «Сохранение, развитие и изучение биоколлекций различного направления с целью проведения приоритетных фундаментальных и прикладных исследований» (№ FGUU-2025-0001).

Литература

1. Bioactivity assays and phytochemical analysis upon Achillea filipendulina, focusing on xanthine oxidase inhibitory and antimalarial properties / S. Asnaashari, S. Marefat, A. M. Vatankhah, et al. // Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2023. Vol. 12. No. 1. Article: 46. URL: https://bjbas.springeropen.com/articles/10.1186/s43088-023-00385-6 (дата обращения: 25.09.2025). doi: 10.1186/s43088-023-00385-6.

2. Куприянов А. Н., Кулемин Ю. Е. Конспект рода Achillea L. (Asteraceae) Казахстана // Turczaninowia. 2023. Т. 26. № 2. С. 190–201. doi: 10.14258/turczaninowia.26.2.15.

3. Саттаров Д. С., Вышегуров С. Х. Биоразнообразие дикорастущих лекарственных растений ущелья Гажне (Гиссарский хребет, Таджикистан) // Достижения науки и техники АПК. 2017. Т. 31. № 11. С. 31–34.

4. Гаджиев В. Д., Эфендиев П. М. Флора и растительность скальных обнажений Бабадагского массива // Проблемы ботаники. Т. XIII: Флора и растительность высокогорий СССР и их хозяйственное использование. Баку, 1977. С. 49–55.

5. Hurrel J. A., Delucchi G. Tribu Anthemideae Cass. // Editorial Hemisferio Sur. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. 2017. 95 p.

6. Гладышева О. В., Олейникова Е. М. Особенности онтоморфогенеза и семенная продуктивность Achillea filipendulina (Asteraceae) при интродукции в условиях ЦЧР // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 56. С. 96–100.

7. Грязнов М. Ю., Тоцкая С. А., Савченко О. М. Первый отечественный сорт Achillea filipendulina Lam. Златослав // Аграрная Россия. 2021. № 7. С. 23–26. doi: 10.30906/1999-5636-2021-7-23-26.

8. Gonulalan E. M, Nemutlu E, Demirezer L. O. A new perspective on evaluation of medicinal plant biological activities: The correlation between phytomics and matrix metalloproteinases activities of some medicinal plants // Saudi Pharmaceutical Journal. 2019. Vol. 27. No. 3. P. 446-452. doi: 10.1016/j.jsps.2019.01.006.

9. Headspace volatile profiles of Achillea species: A. aspleniifolia, A. crithmifolia, A. filipendulina, and A. virescens / M. Aćimović, L. Vujisić, B. Lončar, et al. // Chemistry & Biodiversity. 2024. Vol. 18. Article: e202401876. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39552433/ (дата обращения: 25.09.2025). doi: 10.1002/cbdv.202401876.

10. Vojoudi S., Sefidkon F., Salehi Shanjani P. Essential oil variation of Achillea filipendulina populations in farm condition // Journal of Essential Oil Research. 2024. Vol. 36. No. 2. P. 164–172. doi: 10.1080/10412905.2024.2320347.

11. Aminkhani A., Sharifi S., Ekhtiyari S. Achillea filipendulina Lam.: Chemical constituents and antimicrobial activities of essential oil of stem, leaf, and flower // Chemistry and Biodiversity. 2020. Vol. 17. No. 5. Article: e2000133. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cbdv.202000133 (дата обращения: 25.09.2025). doi: 10.1002/cbdv.202000133.

12. Антибактериальная активность эфирных масел Achillea filipendulina Lam. и Athamanta macrophylla / О. Г. Шаповал, М. М. Истамкулова, Т. Х. Дусов и др. // Мат. V Международной научно-практ. конф. Проектирование здоровья: стратегии и практики инноваций. Саратов. 2024. С. 130–132.

13. Afshari M., Rahimmalek M., Miroliaei M. Variation in polyphenolic profiles, antioxidant and antimicrobial activity of different Achillea species as natural sources of antiglycative compounds // Chemistry and Biodiversity. 2018. Vol. 15. No. 8. Article: e1800075. URL: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.201800075 (дата обращения: 25.09.2025). doi: 10.1002/cbdv.201800075.

14. Antioxidant, antimicrobial, and anticancer effects of Achillea filipendulina Lam. against colon cancer / T. Tunç, Ş. Akın, O. Aykaç, et al. // Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2024. Vol. 14. No. 12. P. 540–550. doi: 10.4103/apjtb.apjtb_515_24.

15. Паштецкий В. С., Невкрытая Н. В. Использование эфирных масел в медицине, ароматерапии, ветеринарии и растениеводстве (обзор) // Таврический вестник аграрной науки. 2018. № 1 (13). С.18–40.

16. Petroleum hydrocarbons degradation in contaminated soil using the plants of the Aster family / R. Prematuri, N. F. Mardatin, R. Irdiastuti, et al. // Environmental Science and Pollution Research International. 2020. Vol. 27. No. 4. P. 4460–4467. doi: 10.1007/s11356-019-07097-4.

17. Грязнов М. Ю., Копытько Я. Ф., Савченко О. М. Влияние некорневых обработок на накопление фенольных веществ и эфирного масла в сырье Tanacetum vulgare L. // Аграрная Россия. 2023. № 9. С. 25–30. doi: 10.30906/1999-5636-2023-9-25-30.

18. Afshari M., Rahimmalek M. Variation in essential oil composition, anatomical, and antioxidant characteristics of Achillea filipendulina Lam. as affected by different phenological stages // Journal of Essential Oil Research. 2021. Vol. 33. No. 3. P. 283–298. doi: 10.1080/10412905.2021.1885510.

19. Методика ведения фенологических наблюдений / Д. Р. Владимиров, А. А. Гладилин, А. Е. Гнеденко и др. М.: Альпина Про, 2023. 208 с.

20. Методика проведения полевых опытов с лекарственными и эфирно-масличными культурами / Н. И. Ковалёв, Е. Ю. Бабаева, А. Н. Цицилин и др. Изд. 2-е, доп. и перераб. М.: ФГБНУ ВИЛАР, 2023. 112 с.

21. Методика исследований при интродукции лекарственных и эфирномасличных растений / А. Н. Цицилин, Н. И. Ковалев, И. Н. Коротких и др. // М.: ФГБНУ ВИЛАР. 2022. 64 с.

22. Погода и климат. Климатический монитор г. Москва URL: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php (дата обращения: 02.02.2025).

23. Лекарственные и эфирномасличные культуры: особенности возделывания на территории Российской Федерации / А. Ю. Аникина, И. В. Басалаева, Л. М. Бушковская и др. М.: Наука, 2021. 256 с.

24. Государственная фармакопея Российской Федерации XV издания. 1.5.2. Масла для производства и изготовления лекарственных препаратов. Общая фармакопейная статья (ОФС) ОФС.1.5.2.0001 URL: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-3/efirnye-masla/ (дата обращения: 14.12.2024).

25. Магомедова Л. И. Динамика накопления фенольных соединений в траве хризантемы увенчанной (Glebionis coronaria (L.) Cass. ex Spach.) // Перспективы внедрения инновационных технологий в медицине и фармации: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием. Электрогорск. 2025. С. 108–110.

Сведения об авторах:

Грязнов Михаил Юрьевич – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии, e-mail: selectionvilar@yandex.ru

Савченко Ольга Михайловна – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории агробиологии, e-mail: nordfenugreek@yandex.ru

Копытько Янина Федоровна – кандидат фармацевтических наук, ведущий научный сотрудник отдела химии природных соединений, e-mail: yanina@kopytko.ru

Всероссийский научно-исследовательский институт лекарственных и ароматических растений, Москва, Россия.

BIOLOGICAL FEATURES OF ZLATOSLAV VARIETY IN MOSCOW REGION

M. Yu. Gryaznov, O. M. Savchenko, Ya. F. Kopytko

Abstract. The study was conducted to determine the content of biologically active compounds in Zlatoslav variety of meadowsweet yarrow during different phenological stages to improve its cultivation technologies. The study subjects were mid-aged Zlatoslav meadowsweet yarrow plants cultivated in a field crop rotation. The work was carried out from 2022 to 2024 in Moscow region. Field experiments and biometric measurements were conducted according to methods accepted in medicinal plant growing. Essential oil content was determined by hydrodistillation in air-dried raw materials. Thin-layer chromatography and spectrophotometry were used to evaluate the composition and content of polyphenolic compounds in the meadowsweet yarrow herb during the budding and flowering phases. Spectrophotometry was used to quantify phenolic compounds. The total flavonoid content was estimated after a complexation reaction with aluminum chloride. Meadowsweet yarrow can be classified as a summer-flowering species. The period from onset of vegetation to mass fruiting is 130...145 days. The yield of herb, inflorescences and seeds varied slightly with a tendency to increase over the years, reaching maximum values in the fourth year of life (11.9±1.10 t/ha, 2.5±0.21 t/ha, and 221±20.8 kg/ha, respectively). The content of essential oil in the meadowsweet yarrow inflorescences remained stable, regardless of the age of plants and conditions of the year of observation. During the mass budding phase, it comprised 0.48-0.51% of the air-dried raw material and during the mass flowering phase, 0.66-0.68%. Meadowsweet yarrow inflorescences were characterized by a high content of phenolic compounds (up to 4.52%) and flavonoids (up to 1.83%). Cultivation of meadowsweet yarrow has several undeniable advantages. In Non-Chernozem zone of the Russian Federation, it produces significant biomass, is characterized by a simultaneous transition to budding and flowering and the essential oil content in the raw material is stable over the years. With rational land management, *A. filipendulina* may be in demand as a medicinal plant material for the production of polyphenols.

Key words: meadowsweet yarrow (*Achillea filipendulina Lam.*), yield, phenolic compounds, flavonoids, essential oil.

References

1. Asnaashari S, Marefat S, Vatankhah AM. Bioactivity assays and phytochemical analysis upon Achillea filipendulina, focusing on xanthine oxidase inhibitory and antimalarial properties. [Internet]. Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences. 2023; Vol.12. No.1. Article: 46. [cited 2025, September 25]. Available from: https://bjbas.springeropen.com/articles/10.1186/s43088-023-00385-6. doi: 10.1186/s43088-023-00385-6.

2. Kupriyanov AN, Kulemin YuE. [Abstract of Achillea L. (Asteraceae) genus of Kazakhstan]. Turczaninowia. 2023; Vol.26. 2. 190-201 p. doi: 10.14258/turczaninowia.26.2.15.

3. Sattarov DS, Vyshegurov SKh. [Biodiversity of wild medicinal plants of Gazhne gorge (Gissar Range, Tajikistan)]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2017; Vol.31. 11. 31-34 p.

4. Gadzhiev VD, Efendiev PM. Flora i rastitelnost skalnykh obnazheniy Babadagskogo massiva. Problemy botaniki. T.XIII: Flora i rastitelnost vysokogoriy SSSR i ikh khozyaystvennoe ispolzovanie. [Flora and vegetation of rocky outcrops of Babadag massif. Problems of botany. Vol. XIII: Flora and vegetation of highlands of the USSR and their economic use]. Baku. 1977; 49-55 p.

5. Hurrel JA, Delucchi G. Tribu Anthemideae Cass. Editorial Hemisferio Sur. Ciudad Autonoma de Buenos Aires. 2017; 95 p.

6. Gladysheva OV, Oleynikova EM. [Features of ontomorphogenesis and seed productivity of Achillea filipendulina (Asteraceae) during introduction in the conditions of Central Black Earth region]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; 56. 96-100 p.

7. Gryaznov MYu, Totskaya SA, Savchenko OM. [The first domestic variety of Achillea filipendulina Lam. Zlatoslav]. Agrarnaya Rossiya. 2021; 7. 23-26 p. doi: 10.30906/1999-5636-2021-7-23-26.

8. Gonulalan EM, Nemutlu E, Demirezer LO. A new perspective on evaluation of medicinal plant biological activities: The correlation between phytomics and matrix metalloproteinases activities of some medicinal plants. Saudi Pharmaceutical Journal. 2019; Vol.27. No.3. 446-452 p. doi: 10.1016/j.jsps.2019.01.006.

9. Acimovic M, Vujisic L, Loncar B. Headspace volatile profiles of Achillea species: A. aspleniifolia, A. crithmifolia, A. filipendulina and A. virescens. Chemistry & Biodiversity. 2024; Vol.18. Article: e202401876. [cited 2025, September 25]. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39552433/. doi: 10.1002/cbdv.202401876.

10. Vojoudi S, Sefidkon F, Salehi Shanjani P. Essential oil variation of Achillea filipendulina populations in farm condition. Journal of Essential Oil Research. 2024; Vol.36. No.2. 164-172 p. doi: 10.1080/10412905.2024.2320347.

11. Aminkhani A, Sharifi S, Ekhtiyari S. Achillea filipendulina Lam.: Chemical constituents and antimicrobial activities of essential oil of stem, leaf, and flower. [Internet]. Chemistry and Biodiversity. 2020; Vol.17. No.5. Article: e2000133. [cited 2025, September 25]. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1002/cbdv.202000133. doi: 10.1002/cbdv.202000133.

12. Shapoval OG, Istamkulova MM, Dusov TKh. [Antibacterial activity of essential oils of Achillea filipendulina Lam. and Athamanta macrophylla]. Mat. V Mezhdunarodnoy nauchno-prakt. konf. Proektirovanie zdorovya: strategii i praktiki innovatsii. Saratov. 2024; 130-132 p.

13. Afshari M, Rahimmalek M, Miroliaei M. Variation in polyphenolic profiles, antioxidant and antimicrobial activity of different Achillea species as natural sources of antiglycative compounds. [Internet]. Chemistry and Biodiversity. 2018; Vol.15. No.8. Article: e1800075. [cited 2025, September 25]. Available from: https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cbdv.201800075. doi: 10.1002/cbdv.201800075.

14. Tunc T, Akın S, Aykac O. Antioxidant, antimicrobial, and anticancer effects of Achillea filipendulina Lam. against colon cancer. Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine. 2024; Vol.14. No.12. 540-550 p. doi: 10.4103/apjtb.apjtb_515_24.

15. Pashtetskiy VS, Nevkrytaya NV. [Use of essential oils in medicine, aromatherapy, veterinary medicine, and plant growing (review)]. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki. 2018; 1 (13). 18-40 p.

16. Prematuri R, Mardatin NF, Irdiastuti R. Petroleum hydrocarbons degradation in contaminated soil using the plants of the Aster family. Environmental Science and Pollution Research International. 2020; Vol.27. No.4. 4460-4467 p. doi: 10.1007/s11356-019-07097-4.

17. Gryaznov MYu, Kopytko YaF, Savchenko OM. [Effect of foliar treatments on accumulation of phenolic substances and essential oil raw materials of Tanacetum vulgare L.]. Agrarnaya Rossiya. 2023; 9. 25-30 p. doi: 10.30906/1999-5636-2023-9-25-30.

18. Afshari M, Rahimmalek M. Variation in essential oil composition, anatomical, and antioxidant characteristics of Achillea filipendulina Lam. as affected by different phenological stages. Journal of Essential Oil Research. 2021; Vol.33. No.3. 283-298 p. doi: 10.1080/10412905.2021.1885510.

19. Vladimirov DR, Gladilin AA, Gnedenko AE. Metodika vedeniya fenologicheskikh nablyudeniy. [Methodology for conducting phenological observations]. Moscow: Alpina Pro. 2023; 208 p.

20. Kovalev NI, Babaeva EYu, Tsitsilin AN. Metodika provedeniya polevykh opytov s lekarstvennymi i efirnomaslichnymi kulturami. [Methodology for conducting field experiments with medicinal and essential oil crops]. 2nd edition, added and revised. Moscow: FGBNU VILAR. 2023; 112 p.

21. Tsitsilin AN, Kovalev NI, Korotkikh IN. Metodika issledovaniy pri introduktsii lekarstvennykh i efirnomaslichnykh rasteniy. [Research methodology for introduction of medicinal and essential oil plants]. Moscow: FGBNU VILAR. 2022; 64 p.

22. Weather and climate. Moscow climate monitor. [Internet]. [cited 2025, February 02]. Available from: http://www.pogodaiklimat.ru/monitor.php.

23. Anikina AYu, Basalaeva IV, Bushkovskaya LM. Lekarstvennye i efirnomaslichnye kultury: osobennosti vozdelyvaniya na territorii Rossiiskoy Federatsii. [Medicinal and essential oil crops: cultivation features in the Russian Federation]. Moscow: Nauka. 2021; 256 p.

24. State pharmacopoeia of the Russian Federation, 15th edition. 1.5.2. Oils for drugs production and manufacture. General pharmacopoeial article (GP) GPM.1.5.2.0001 [Internet]. [cited 2024, December 14]. Available from: https://pharmacopoeia.regmed.ru/pharmacopoeia/izdanie-15/1/1-5/1-5-3/efirnye-masla/.

25. Magomedova LI. [Dynamics of phenolic compound accumulation in crowned Chrysanthemum (Glebionis coronaria (L.) Cass. ex Spach.) Grass. Prospects of innovative technologies implementation in Medicine and Pharmaceutics]. Sbornik materialov XI Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem. Elektrogorsk. 2025; 108-110 p.

Authors:

Gryaznov Mikhail Yurevich – Ph.D. of Biological Sciences, leading researcher of Agrobiology Laboratory, e-mail: selectionvilar@yandex.ru

Savchenko Olga Mikhaylovna– Ph.D. of Agricultural Sciences, leading researcher of Agrobiology Laboratory, e-mail: nordfenugreek@yandex.ru

Kopytko Yanina Fedorovna – Ph.D. of Pharmaceutical Sciences, leading researcher, Department of Chemistry of Natural Compounds, e-mail: yanina@kopytko.ru

All-Russian Research Institute of Medicinal and Aromatic Plants, Moscow, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-31-38
УДК 579.64

ЭФФЕКТИВНОСТЬ КОМПЛЕКСНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ БИОЛОГИЧЕСКИХ И ХИМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ ТОМАТА ОТ ФУЗАРИОЗНОЙ ИНФЕКЦИИ

Л. З. Каримова, Ш. З. Валидов, Г. Ф. Рахманова, А. Р. Валиев

Реферат. Совместимость химических и биологических средств защиты растений – важный фактор эффективности биопрепаратов. Исследования проводили с целью изучения совместимости штаммов микроорганизмов *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Pseudomonas fluorescens* WCS 365, *Trichoderma asperellum* T302 и *Pseudomonas putida* PCL 1760 с химическими пестицидами мандипропамид и дифеноконазол, а также оценки их совместного действия на патогенный гриб *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* ZUM2407. Работу выполняли в лабораторных условиях в 2025 году. Эксперименты проводили с использованием двухсекционных чашек Петри для оценки биологической активности летучих соединений. В первой секции культивировали штаммы микроорганизмов, во второй – размещали питательную среду с конидиями патогена или семенами томата для оценки ростостимулирующего эффекта. Концентрации пестицидов использовали в сниженных дозах (в 2 раза ниже рекомендуемых производителем). Даже при низких концентрациях пестицидов в комбинации с микроорганизмами-антагонистами достигается синергетический эффект, обеспечивающий эффективное подавление патогена. Летучие соединения исследуемых штаммов снижали прорастание конидий фитопатогенного гриба с 70,1% в контроле до 10,8…14,2% в опытных вариантах. Выявлены оптимальные комбинации: мандипропамид (2 мл/5 л) + *P. putida* PCL 1760 для стимуляции роста вегетативной части растений – увеличивала длину стебля на 69% и дифеноконазол (2,5 мл/5 л) + *P. aureofaciens* BS 1393 для развития корневой системы – повышала длину корня на 108,9%. Наибольшую в опыте устойчивость к химическим компонентам проявил штамм *P. aureofaciens* BS 1393. Полученные результаты имеют значение для разработки экологически безопасных стратегий защиты растений.

Ключевые слова: *Fusarium oxysporum*, биосовместимость, микроорганизмы-антагонисты, пестициды, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, летучие соединения, интегрированная защита растений, фунгицидное действие, росторегуляторная активность.

Введение. Современное сельское хозяйство сталкивается с серьезными вызовами, среди которых особое место занимают фитопатогенные микроорганизмы, наносящие значительный экономический ущерб агропромышленному комплексу. Одним из наиболее распространенных и вредоносных фитопатогенов выступает гриб *Fusarium oxysporum*, вызывающий фузариозное увядание многих сельскохозяйственных культур и приводящий к потере до 30…40% урожая в различных регионах мира [1]. Патоген обладает широким кругом растений-хозяев, включая томаты, перцы, бахчевые, зерновые и многие другие экономически значимые культуры.

Традиционный подход к защите растений от фитопатогенов основан преимущественно на применении химических пестицидов. Однако их систематическое использование сопряжено с рядом серьезных экологических и агрономических проблем. Формирование резистентности у патогенов к действующим веществам пестицидов значительно снижает эффективность химической защиты, а накопление их остаточных количеств в почве, водных ресурсах и сельскохозяйственной продукции представляет угрозу для здоровья человека и биоразнообразия экосистем [2]. Более того, многие химические пестициды оказывают негативное влияние на полезную почвенную микрофлору, что приводит к нарушению биологического равновесия агроценозов.

В контексте современных требований к экологической безопасности все большее значение приобретают альтернативные подходы к защите растений. Биологический контроль фитопатогенов с использованием микроорганизмов-антагонистов рассматривается как перспективное направление, способное обеспечить эффективную защиту сельскохозяйственных культур при минимальном воздействии на окружающую среду [3]. Микроорганизмы-антагонисты обладают разнообразными механизмами действия против фитопатогенов, включая конкуренцию за питательные вещества и экологические ниши, продукцию антибиотических веществ и литических ферментов, а также индукцию системной устойчивости растений. Исследования последних лет демонстрируют значительный потенциал интегрированного подхода к защите растений, основанного на комбинированном применении биологических и химических средств. В работе [4] показано, что совместное использование *Trichoderma spp.* с фунгицидами в сниженных дозах обеспечивает эффективный контроль фитопатогенов при уменьшении экологической нагрузки. Подобный синергетический эффект происходит при комбинировании ризобактерий, стимулирующих рост растений (PGPR), с химическими пестицидами. *S. Compant* и соавторы установили, что метаболиты *Pseudomonas fluorescens* способны усиливать фунгицидное действие триазолов против *Fusarium spp.* при сниженных концентрациях последних [5].

Цель исследования – изучение биосовместимости различных штаммов микроорганизмов с химическими действующими веществами пестицидов и определение их совместной

эффективности против патогенного гриба *Fusarium oxysporum* для разработки экологически безопасных и эффективных стратегий защиты растений.

Задачи исследования:

- оценить биосовместимость штаммов микроорганизмов-антагонистов (*P. aureofaciens* BS 1393, *P. fluorescens* WCS 365, *T. asperellum* T302, *P. putida* PCL 1760) с химическими действующими веществами фунгицидов (мандипропамид, дифеноконазол) и определить их комплексную эффективность против патогенного гриба *Fusarium oxysporum*;

- исследовать фунгицидное действие и росторегуляторную активность летучих соединений, продуцируемых штаммами микроорганизмов, на прорастание конидий и рост мицелия фитопатогенных грибов в условиях *in vitro*;

- определить оптимальные комбинации и концентрации химических пестицидов и биоагентов для разработки комплексных биопестицидных композиций, обеспечивающих эффективную защиту растений при сниженных дозах химических компонентов.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов на базе ФИЦ КазНЦ РАН (г. Казань, Россия) в 2025 году.

Использовали перспективные штаммы микроорганизмов с различными механизмами антагонизма к фитопатогенам:

- *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393 активно колонизирует корни растений и продуцирует феназиновые антибиотики, действует как агент биологической защиты растений, используя механизм антибиозиса [6];

- *Pseudomonas fluorescens* WCS 365 также активно колонизирует корневую систему растений и служит агентом их биологической защиты, использует механизм действия через индукцию системной устойчивости растений [7];

- *Trichoderma asperellum* T302 функционирует как агент биологической защиты растений, применяя механизмы паразитизма и хищничества по отношению к фитопатогенам [8];

- *Pseudomonas putid*a PCL 1760 активно колонизирует корни растений и защищает их, используя механизм конкуренции за экологические ниши [9].

В качестве модельного фитопатогена использовали *Fusarium oxysporum f.sp. radicis-lycopersici* ZUM 2407 (*Forl* ZUM 2407), который вызывает корневые гнили томата [10].

В эксперименте применяли два химических фунгицида: мандипропамид – представитель класса манделамидов, и дифеноконазол – триазольный компонент системного действия.

Концентрации пестицидов использовали в сниженных дозах (в 2 раза ниже рекомендуемых производителем): дифеноконазол – 2 мл на 5 л воды (вместо 4 мл/5 л), мандипропамид – 2,5…3,0 мл на 5 л воды (вместо 5…6 мл/5 л).

В качестве тест-культуры использовали томат (*Solanum lycopersicum*) сорта Хурма – среднеранний детерминантный сорт с плоско-округлыми желто-оранжевыми плодами (урожайность 4…5 кг с 1 растения). Сорт включен в Государственный реестр РФ и отличается восприимчивостью к фитофторозу и макроспориозу, что делает его подходящим для оценки эффективности защитных мероприятий.

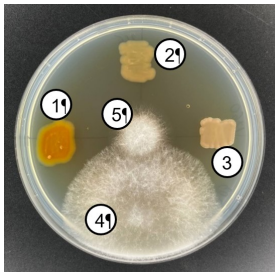
При оценке биосовместимости микроорганизмов и пестицидов штаммы микроорганизмов и патогенный гриб *Forl* ZUM2407 культивировали на питательной среде Кинга Б следующего состава (г/л): пептон – 10, глицерин – 10, K_2HPO_4 – 1,5, $MgSO_4$ – 1,5, агар микробиологический – 20. В остывшие стерильные среды добавляли исследуемые химические действующие вещества в различных концентрациях. Чашки Петри с культурами инкубировали при температуре +28°С в течение 24…36 часов.

Для оценки биологической активности летучих соединений использовали двухсекционные чашки Петри. В одну секцию разливали смесь питательной среды Кинга Б с культурой исследуемого штамма. Во вторую секцию при определении фунгицидного действия помещали питательную среду Чапека с нанесенными на поверхность конидиями *Forl* ZUM2407, а при оценке росторегуляторной активности – ту же среду с выложенными на поверхность двумя проросшими стерильными семенами томата. Контролем в обоих случаях служила среда Чапека без внесения биопрепаратов. Чашки герметично закрывали парафильмом и инкубировали при +25°С. Для фунгицидного теста инкубацию проводили в течение 3 суток с последующим микроскопическим учетом проросших, непроросших и аномальных конидий, а для оценки росторегуляторной активности – в течение 7 суток в условиях 16/8-часового светового дня, измеряя изменение длины корня и стебля в сравнении с контролем.

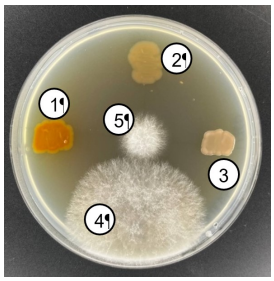
Изучали активность штаммов микроорганизмов как в чистом виде, так и в сочетании с химическими действующими веществами. В качестве контроля во всех вариантах использовали воду. При исследовании эффективности сочетаний изучали варианты с применением химических веществ мандипропамид и дифеноконазол в качестве фонов, на которых оценивали действие каждого из исследуемых штаммов микроорганизмов.

В ходе эксперимента определяли следующие параметры: влияние летучих соединений штаммов на прорастание конидий *Forl* ZUM2407; влияние летучих соединений на развитие проростков томата; биометрические показатели растений томата при патогенной нагрузке.

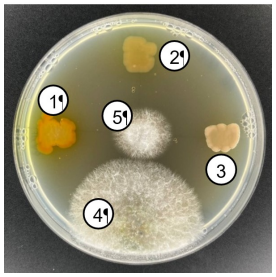
Результаты и обсуждение. Биосовместимость микроорганизмов с пестицидами существенно зависит как от типа действующего вещества, так и от его концентрации (рис. 1). В контрольном варианте все исследуемые штаммы демонстрировали нормальный рост, а патогенный гриб *Forl* ZUM2407 формировал характерный воздушный мицелий.



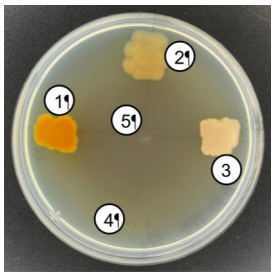
Вода (контроль)



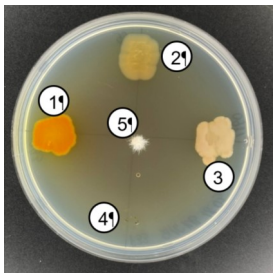
Мандипропамид 4 мл/5 л H_2O



Мандипропамид 2 мл/5 л H_2O



Дифеноконазол 5 мл/5 л H_2O



Дифеноконазол 2,5 мл/5 л H_2O

Рис. 1 – Определение совместимости химических действующих веществ различной концентрации с биологическими объектами защиты растений: 1 – *P. aureofaciens BS 1393*; 2 – *P. fluorescens* WCS 365; 3 – *P. putida* PCL 1760; 4. – *T. asperellum* T302; 5 – *Forl* ZUM2407

Стандартная концентрация мандипропамида (4 мл/5 л) позволяет всем четырем тестируемым штаммам сохранять жизнеспособность, однако размер колоний несколько уменьшается, в сравнении с контролем. В случае использования сниженной концентрации (2 мл/5 л) морфология колоний практически не отличается от контрольных образцов. Фунгицидное действие на патоген *Forl* ZUM2407 отмечено в обоих случаях, хотя сниженная концентрация демонстрирует менее выраженный эффект.

Механизм действия мандипропамида основан на ингибировании биосинтеза фосфолипидов и нарушении целостности клеточной стенки грибов, что объясняет его селективное действие против патогена при минимальном воздействии на бактериальные штаммы. Мандипропамид действует на специфические ферменты грибов, отсутствующие у бактерий, обуславливая его высокую биосовместимость с микроорганизмами-антагонистами [5].

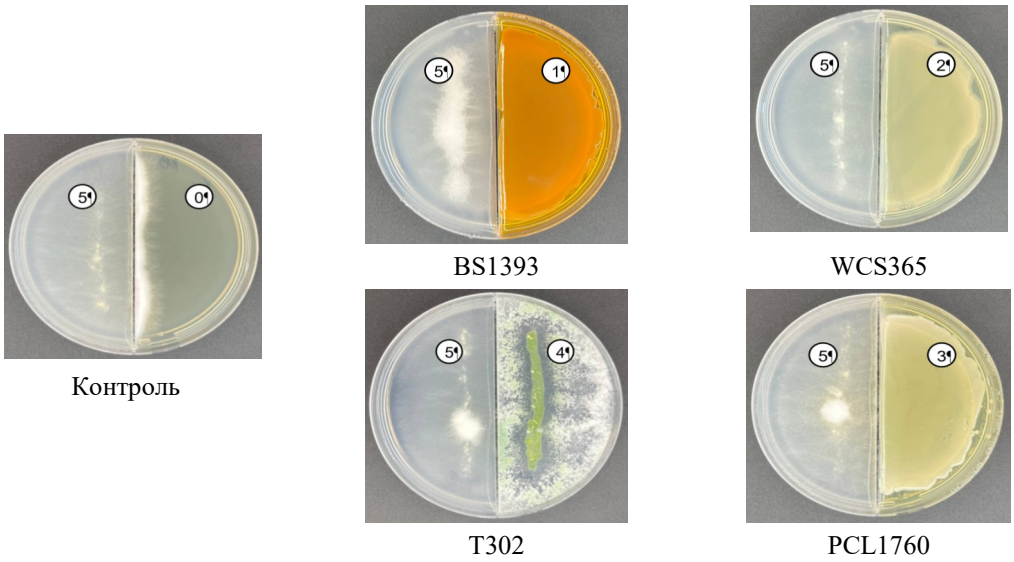
Результаты совместимости с дифеноконазолом показали более выраженное воздействие на микроорганизмы. Стандартная концентрация (5 мл/5 л) существенно угнетала рост как патогена, так и биологических агентов. При этом сниженная концентрация (2,5 мл/5 л) улучшала выживаемость тестируемых штаммов, сохраняя при этом фунгицидное действие против патогена.

Дифеноконазол как триазольный фунгицид действует через ингибирование фермента С14-деметилазы, участвующего в биосинтезе эргостерола – важного компонента клеточных мембран грибов. Как показали исследования [11], триазольные фунгициды могут оказывать неспецифическое воздействие на метаболические процессы микроорганизмов даже при отсутствии у них целевого фермента, что объясняет более низкую биосовместимость дифеноконазола с микробными агентами в наших опытах.

Наилучшую в эксперименте биосовместимость продемонстрировал мандипропамид в сниженной концентрации (2 мл/5 л), при которой все штаммы сохраняли морфологические характеристики, близкие к контролю, при сохранении умеренного фунгицидного действия. Среди исследуемых микроорганизмов наиболее стабильным ростом во всех вариантах отличался штамм *P. aureofaciens* BS 1393, что указывает на его высокую устойчивость к химическим компонентам. Этот феномен может объясняться наличием у этого штамма эффективных систем детоксикации ксенобиотиков, включая ферменты оксидоредуктазы и трансферазы, а также специфических транспортных белков, обеспечивающих выведение токсичных соединений из клетки [3].

Наименьшая в эксперименте биосовместимость отмечена у дифеноконазола в стандартной концентрации, который существенно угнетал рост всех микроорганизмов. Штамм *T. asperellum* T302 показал наименьшую устойчивость к пестицидам, особенно к дифеноконазолу, что объясняется его принадлежностью к грибам, против которых направлено действие триазольных фунгицидов.

Результаты исследования фунгицидного действия летучих соединений микроорганизмов (рис. 2.) демонстрируют их высокую эффективность в ингибировании роста *Forl* ZUM2407. В контрольном варианте проросло 70,1% конидий, тогда как под влиянием летучих метаболитов исследуемых штаммов прорастание значительно снижалось (табл. 1). Наибольшее ингибирование показал штамм WCS 365, при воздействии которого проросло лишь 10,8% конидий.



Контроль BS1393 WCS365 T302 PCL1760

Рис. 2 – Фунгицидное действие летучих соединений штаммов на прорастание конидий и рост мицелия фитопатогенных грибов (без химических действующих веществ): 0 – чистая питательная среда; 1 – *P. aureofaciens* BS 1393; 2 – *P. fluorescens* WCS 365; 3 – *P. putida* PCL 1760; 4. – *T. asperellum* T302; 5 – *Forl* ZUM2407

Таблица 1 – Интенсивность нарастания конидий *Forl* ZUM2407 при взаимодействии с вариантами химических и биологических средств защиты растений

Вид конидий	Количество конидий, %				
	контроль	BS1393	WCS365	T302	PCL1760
Проросшие	70,1	12,5	10,8	14,2	11,3
Не проросшие	29,9	87,5	89,2	85,8	88,7

Механизмы фунгицидного действия летучих соединений микроорганизмов весьма разнообразны. *P. fluorescens* WCS 365, проявивший наибольшую в опыте активность, продуцирует целый комплекс летучих антимикробных соединений, включая цианистый водород, 2,4-диацетилфлороглюцинол, пиолютеорин и пирролнитрин. Эти вещества взаимодействуют с ключевыми ферментами дыхательной цепи грибов (в частности, с цитохром-с-оксидазой), нарушают целостность клеточных мембран и ингибируют синтез хитина – основного компонента клеточной стенки грибов [12].

Данные таблицы 2, демонстрируют ростостимулирующую активность летучих соединений, продуцируемых исследуемыми штаммами. Обработка томатов микроорганизмами способствовала увеличению длины корня на 2,2…11,5 мм (17,6…92,0%), а стебля – на 14,5…18,5 мм (58,9…75,2%), по сравнению с контролем. Максимальные в опыте значения зафиксированы в варианте с применением штамма *P. fluorescens* WCS 365: длина корня увеличилась на 92,0%, а длина стебля – на 75,2%.

Таблица 2 – Действие летучих веществ изучаемых штаммов на развитие проростков томата

Вариант	Длина корня, мм	Длина стебля, мм
Контроль	12,5	24,6
WCS365	24,0	43,1
PCL1760	15,1	41,1
T302	17,7	39,1
BS1393	14,7	42,1
$НСР_{05}$	1,7	2,9

Летучие соединения микроорганизмов оказывают ростостимулирующий эффект на растения благодаря нескольким взаимосвязанным механизмам. Они содержат предшественники ауксинов, цитокининов и гиббереллинов, которые растения преобразуют в активные фитогормоны, стимулирующие клеточное деление и рост [13]. Бактериальные метаболиты, такие

как АЦК-деаминаза, регулируют уровень этилена в растениях, предотвращая его ингибирующее воздействие на корневую систему [14]. Микробные летучие соединения также запускают системную устойчивость растений, улучшая их общее физиологическое состояние. Кроме того, они способствуют мобилизации питательных элементов в почве, делая их более доступными для растений – например, сидерофоры *Pseudomonas* повышают доступность железа, что положительно влияет на фотосинтез и жизнеспособность растений в целом [3].

Таблица 3 – Влияние мандипропамида на биометрические показатели томата при фузариозной инфекции

Вариант	Длина корня, мм	Длина стебля, мм
Контроль	39,5	24,5
Мандипропамид	42,0	23,5
Мандипропамид + WCS365	47,5	36,1
Мандипропамид + PCL1760	73,5	41,4
Мандипропамид + T302	63,0	39,2
Мандипропамид + BS1393	63,5	40,0
$НСР_{05}$	3,9	2,7

Таблица 4 – Влияние дифеноконазола на биометрические показатели томата при фузариозной инфекции

Вариант	Длина корня, мм	Длина стебля, мм
Контроль	39,5	24,5
Дифеноконазол	49,1	24,1
Дифеноконазол + WCS365	47,0	35,7
Дифеноконазол + PCL1760	63,5	38,0
Дифеноконазол + T302	65,3	38,5
Дифеноконазол + BS1393	82,5	36,3
$НСР_{05}$	2,9	3,6

Совместное применение химических пестицидов и микроорганизмов оказывает выраженное положительное влияние на биометрические показатели растений томата при патогенной нагрузке *Forl* ZUM2407 (табл. 3, 4).

Применение мандипропамида и штаммов микроорганизмов способствовало увеличению длины корня на 8,0…34,0 мм (20,3…86,1%), стебля – на 11,6…16,9 мм (47,3…69,0%), по сравнению с контролем. Наибольший эффект отмечен в варианте мандипропамид + PCL1760.

Синергетический эффект мандипропамида и микроорганизмов основан на комплексном взаимодействии, при котором мандипропамид, нарушающий целостность клеточной стенки грибов, усиливается антимикробными метаболитами микроорганизмов (антибиотиками, ферментами и сидерофорами), что позволяет эффективнее подавлять патогены при меньших дозах химического препарата [5]. Некоторые штаммы *Pseudomonas* способны метаболизировать пестициды, снижая их фитотоксичность через ферменты деградации ксенобиотиков [4]. Кроме того, микроорганизмы-антагонисты модифицируют физико-химические свойства ризосферы, улучшая поглощение и распределение пестицида в растении, что повышает его эффективность [15].

Дифеноконазол как отдельно, так и в комбинации с микроорганизмами также оказал значительное влияние на рост растений. Длина корня увеличилась на 9,6…43 мм (18,9…108,9%), длина стебля – на 11,2…14,0 мм (45,7…57,1%), по отношению к контролю. Наилучшие в опыте результаты показали комбинации дифеноконазол + BS1393 (по длине корня) и дифеноконазол + T302 (по длине стебля).

Синергетическое действие дифеноконазола и микроорганизмов проявляется через два ключевых механизма. Дифеноконазол активирует защитные гены растений, что усиливается микроорганизмами-антагонистами через индукцию системной устойчивости, обеспечивая комплексную защиту от патогенов. Одновременно происходит модуляция гормонального баланса – триазольные фунгициды ингибируют биосинтез гиббереллинов, а микроорганизмы компенсируют этот дисбаланс, продуцируя фитогормоны, что поддерживает нормальный рост растений [16, 17].

Следует отметить, что мандипропамид в сочетании со всеми изучаемыми штаммами лучше влиял на рост и развитие вегетативной части растений, чем комбинации с дифеноконазолом. Это может быть связано с различными механизмами действия пестицидов и их влиянием на метаболизм растений и активность микроорганизмов.

Мандипропамид, выступая ингибитором синтеза фосфолипидов, имеет более узкий спектр действия, направленный преимущественно против оомицетов, и оказывает меньшее влияние на общий метаболизм растения. В сочетании с ростостимулирующими бактериями это приводит к усиленному росту вегетативных органов благодаря синергетическому эффекту метаболитов микроорганизмов и отсутствию ингибирующего

действия пестицида на синтез фитогормонов растения [1].

Дифеноконазол, напротив, как триазольный фунгицид влияет на метаболизм стеролов, что может опосредованно воздействовать на синтез гиббереллинов в растениях и замедлять рост вегетативных органов. Однако его комбинация с микроорганизмами-антагонистами обеспечивает более эффективную защиту от патогенов, что особенно важно для развития корневой системы в условиях патогенной нагрузки [3].

Можно также отметить несколько важных механизмов взаимодействия химических и биологических компонентов защиты растений. Химические пестициды и микроорганизмы-антагонисты воздействуют на разные молекулярные мишени в клетках патогена – мандипропамид нарушает целостность клеточной стенки гриба, тогда как метаболиты микроорганизмов ингибируют дыхательные ферменты, что снижает риск формирования резистентности. Микроорганизмы способны детоксифицировать химические пестициды через специфические ферментные системы, уменьшая их негативное влияние на растения. При этом биологические агенты индуцируют системную устойчивость растений через активацию сигнальных путей, а пестициды в малых дозах усиливают этот эффект. Комбинированное применение также положительно влияет на структуру микробиома ризосферы и оптимизирует гормональный баланс растений, компенсируя нарушения, вызванные пестицидами.

Выводы. Подтверждена эффективность совместного применения биологических агентов и химических пестицидов в сниженных концентрациях для защиты томата от фузариозной инфекции. Мандипропамид демонстрировал лучшую совместимость с исследуемыми штаммами микроорганизмов, по сравнению с дифеноконазолом, особенно в сниженной концентрации 2 мл/5 л, при которой все штаммы сохраняли морфологические характеристики, близкие к контролю. Наибольшую в опыте устойчивость к химическим компонентам проявил штамм *P. aureofaciens* BS 1393, что объясняется наличием у него эффективных систем детоксикации ксенобиотиков. Летучие соединения исследуемых штаммов продемонстрировали выраженное ингибирующее действие на прорастание конидий патогенного гриба, снижая их количество с 70,1% в контроле до 10,8…14,2% в экспериментальных вариантах, при этом максимальную в опыте активность продемонстрировал штамм *P. fluorescens* WCS 365. Оптимальные комбинации пестицидов и биоагентов: мандипропамид (2 мл/5 л) + *P. putida* PCL 1760 для стимуляции роста вегетативной части растений – способствовала увеличению длины стебля на 69% и дифеноконазол (2,5 мл/5л) + *P. aureofaciens* BS 1993 для развития корневой системы – обеспечивала повышение длины корня на 108,9%.

Сведения о финансировании. Работа выполнена в рамках Государственного задания ФИЦ КазНЦ РАН № 124050300050-4.

Литература

1.Arie T. Fusarium diseases of cultivated plants, control, diagnosis, and molecular and genetic studies // Journal of pesticide science. 2019. Vol. 44. No. 4. P. 275–281. doi: 10.1584/jpestics.J19-03.

2.Helepciuc F.-E., Todor A. EU microbial pest control: A revolution in waiting // Pest Management Science. 2022. Vol. 78. No. 4: P.1314–325. doi: 10.1002/ps.6721.

3.Köhl J., Kolnaar R., Ravensberg W. J. Mode of Action of Microbial Biological Control Agents Against Plant Diseases: Relevance Beyond Efficacy // Frontiers in Plant Science. 2019. Vol. 10. P. 845. URL: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.00845/full (дата обращения: 04.06.2025). doi: 10.3389/fpls.2019.00845.

4.The Combination of a Biocontrol Agent Trichoderma asperellum SC012 and Hymexazol Reduces the Effective Fungicide Dose to Control Fusarium Wilt in Cowpea / C. Zhang, W. Wang, M. Xue, et. al. // Journal of fungi. 2021.Vol. 7 (9). P. 685. URL: https://www.mdpi.com/2309-608X/7/9/685. (дата обращения: 10.06.2025). doi: 10.3390/jof7090685.

5.Use of Plant Growth-Promoting Bacteria for Biocontrol of Plant Diseases: Principles, Mechanisms of Action, and Future Prospects / S. Compant, B. Duffy, J. Nowak, et. al. // Applied and Environmental Microbiology. 2005. Vol. 71. No. 9. P. 4951. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16151072. (дата обращения: 04.06.2025). doi: 10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005.

6.Сизова О. И. Кочетков В. В., Боронин А. М. Ризосферные бактерии Pseudomonas aureofaciens и Pseudomonas chlororaphis, окисляющие нафталин в присутствии мышьяка // Прикладная биохимия и микробиология. 2010. Т. 46. № 1. С. 45–50.

7.The two-component colR/S system of Pseudomonas fluorescens WCS365 plays a role in rhizosphere competence through maintaining the structure and function of the outer membrane / S. de Weert, L. C. Dekkers, W. Bitter, et. al. // FEMS microbiology ecology. 2006. Vol. 58. No. 2. P. 205–213. doi: 10.1111/j.1574-6941.2006.00158.x.

8.Выделение, очистка и биологическая активность вторичных метаболитов Trichoderma asperellum F-1087 / Л. М. Залялютдинова, А. Г. Бикмуллин, Р. И. Тухбатова и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2018. Т. 54. № 2. С. 201–205. DOI 10.7868/S0555109918020101.

9.Persistence as a constituent of a biocontrol mechanism (competition for nutrients and niches) in Pseudomonas putida PCL1760 / A. K. Miftakhov, R. G. C. Diabankana, M. Frolov, et. al. // Microorganisms. 2022. Vol. 11. No. 1. P. 19. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36677311. (дата обращения: 04.06.2025). doi: 10.3390/microorganisms11010019.

10.Genomic differences between two fusarium oxysporum formae speciales causing root rot in cucumber / E. N. Komissarov, R. G. C. Diabankana, I. Abdeeva, et. al. // J Fungi (Basel). 2025. Vol. 11. No. 2. P. 140. URL: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39997434. (дата обращения: 02.06.2025). doi: 10.3390/jof11020140.

11.Физиологические эффекты действия на растения фунгицидов триазольной природы / Т. П. Побежимова, А. В. Корсукова, Н. В. Дорофеев и др. // Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология. 2019. Т. 9. № 3. С. 461–476. doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476.

12.Механизмы контроля Pseudomonas fluorescens корневой гнили ячменя, вызываемой Fusarium culmorum / В. Ю. Шахназарова, Д. С. Сырова, М. И. Лебединский и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2023. Т. 59. № 5. С. 494–501. doi: 10.31857/S0555109923050161.

13.Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR) / G. Santoyo, C. A. Urtis-Flores, P. D. Loeza-Lara, et. al. // Biology. 2021. Vol. 10. No. 6. P. 475. URL: https://www.mdpi.com/2079-7737/10/6/475. (дата обращения: 10.06.2025). doi: 10.3390/biology10060475.

14.Роль бактерий рода Pseudomonas в устойчивом развитии агросистем и защите окружающей среды / Т. Ю. Коршунова, М. Д. Бакаева, Е. В. Кузина и др. // Прикладная биохимия и микробиология. 2021. Т. 57. № 3. С. 211–227. doi: 10.31857/S0555109921030089.

15.Характеристика бактерий-антагонистов Rhizoctonia solani, выделенных из ризосферы растений перца / В. Ж. Нгуен, Т. О. Дао, Т. Х. Нгуен и др. // Вестник РГАТУ. 2019. № 3 (43). С. 28–35.

16.Сидорова Т. М., Асатурова А. М., Хомяк А. И. Биологически активные метаболиты Bacillus subtilis и их роль в контроле фитопатогенных микроорганизмов // Сельскохозяйственная биология. 2018. Т. 53. № 1. С. 29–37. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.29rus.

17.Effects of pesticides on environment / I. Mahmood, S. R. Imadi, K. Shazadi, et. al. // Plant, Soil and Microbes. 2016. Vol. 1. P. 253–269. doi: 10.1007/978-3-319-27455-3_13.

Сведения об авторах:

Каримова Лилия Зяудатовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: Karimova-lcd@mail.ru

Валидов Шамиль Завдатович – кандидат биологических наук, заведующий лабораторией молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: sh.validov@knc.ru

Рахманова Гульнара Фанисовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории молекулярно-генетических и микробиологических методов, e-mail: gulnara_rakhmanova@mail.ru

Федеральный исследовательский центр «Казанский научный центр Российской академии наук», Казань, Россия.

Валиев Айрат Расимович – доктор технических наук, профессор, первый проректор, чл.-корр. АН РТ, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

EFFICIENCY OF INTEGRATED USE OF BIOLOGICAL AND CHEMICAL AGENTS FOR TOMATO PLANT PROTECTION AGAINST FUSARIUM INFECTION

L. Z. Karimova, Sh. Z. Validov, G. F. Rakhmanova, A. R.Valiev

Abstract. Compatibility of chemical and biological plant protection agents is an important factor in the effectiveness of biologicals. The study was conducted to investigate the compatibility of the microbial strains *Pseudomonas aureofaciens* BS 1393, *Pseudomonas fluorescens* WCS 365, *Trichoderma asperellum* T302 and *Pseudomonas putida* PCL 1760 with chemical pesticides mandipropamid and difenoconazole, as well as to evaluate their combined effect on the pathogenic fungus *Fusarium oxysporum f. sp. radicis-lycopersici* ZUM2407. The work was carried out at the laboratory in 2025. Experiments were conducted using two-section Petri dishes to assess the biological activity of volatile compounds. Microbial strains were cultivated in the first section, while a nutrient medium containing pathogen conidia or tomato seeds was placed in the second section to evaluate the growth- stimulating effect. Pesticide concentrations were used at reduced doses (2 times lower than those recommended by the manufacturer). Even at low pesticide concentrations, a synergistic effect was achieved in combination with antagonist microorganisms, ensuring effective pathogen suppression. Volatile compounds of the studied strains reduced germination of conidia of phytopathogenic fungus from 70.1% in the control to 10.8–14.2% in the experimental variants. Optimal combinations were identified: mandipropamid (2 ml/5 l) + *P. putida* PCL 1760 for stimulating vegetative growth, increasing stem length by 69%; and difenoconazole (2.5 ml/5 l) + *P. aureofaciens* BS 1393 for root development, increasing root length by 108.9%. *P. aureofaciens* BS 1393 demonstrated the highest resistance to the chemical components in the experiment. The obtained results are important for the development of environmentally friendly plant protection strategies.

Key words: *Fusarium oxysporum*, biocompatibility, antagonist microorganisms, pesticides, *Pseudomonas*, *Trichoderma*, volatile compounds, integrated plant protection, fungicidal action, growth-regulating activity.

References

1. Arie T. Fusarium diseases of cultivated plants, control, diagnosis, and molecular and genetic studies. Journal of pesticide science. 2019; Vol.44. No.4. 275-281 p. doi: 10.1584/jpestics.J19-03.

2. Helepciuc FE, Todor A. EU microbial pest control: a revolution in waiting. Pest Management Science. 2022; Vol.78. No.4. 1314-325 p. doi: 10.1002/ps.6721.

3. Kohl J, Kolnaar R, Ravensberg WJ. Mode of action of microbial biological control agents against plant diseases: relevance beyond efficacy. [Internet]. Frontiers in Plant Science. 2019; Vol.10. 845 p. [cited 2025, June 04]. Available from: https://www.frontiersin.org/journals/plant-science/articles/10.3389/fpls.2019.00845/full. doi: 10.3389/fpls.2019.00845.

4. Zhang C, Wang W, Xue M. The combination of a biocontrol agent Trichoderma asperellum SC012 and hymexazol reduces the effective fungicide dose to control fusarium wilt in cowpea. [Internet]. Journal of fungi. 2021; Vol.7 (9). 685 p. [cited 2025, June 10]. Available from: https://www.mdpi.com/2309-608X/7/9/685. doi: 10.3390/jof7090685.

5. Compant S, Duffy B, Nowak J. Use of plant growth-promoting bacteria for biocontrol of plant diseases: principles, mechanisms of action, and future prospects. [Internet]. Applied and Environmental Microbiology. 2005; Vol.71. No. 9. 4951 p. [cited 2025, June 04]. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/16151072.. doi: 10.1128/AEM.71.9.4951-4959.2005.

6. Sizova OI, Kochetkov VV, Boronin AM. [Rhizosphere bacteria Pseudomonas aureofaciens and Pseudomonas chlororaphis oxidizing naphthalene in the presence of arsenic]. Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. 2010; Vol.46. 1. 45-50 p.

7. S. de Weert S, Dekkers LC, Bitter W. The two-component colR/S system of Pseudomonas fluorescens WCS365 plays a role in rhizosphere competence through maintaining the structure and function of the outer membrane. FEMS microbiology ecology. 2006; Vol.58. No.2. 205-213 p. doi: 10.1111/j.1574-6941.2006.00158.x.

8. Zalyalyutdinova LM, Bikmullin AG, Tukhbatova RI. [Isolation, purification and biological activity of secondary metabolites of Trichoderma asperellum F-1087]. Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. 2018; Vol.54. 2. 201-205 p. DOI 10.7868/S0555109918020101.

9. Miftakhov AK, Diabankana RGC, Frolov M. Persistence as a constituent of a biocontrol mechanism (competition for nutrients and niches) in Pseudomonas putida PCL1760. [Internet]. Microorganisms. 2022; Vol.11. No.1. 19 p. [cited 2025, June 04]. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36677311. doi: 10.3390/microorganisms11010019.

10. Komissarov EN, Diabankana RGC, Abdeeva I. Genomic differences between two fusarium oxysporum formae speciales causing root rot in cucumber. [Internet]. J Fungi (Basel). 2025; Vol.11. No.2. 140 p. [cited 2025, June 02]. Available from: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39997434. doi: 10.3390/jof11020140.

11. Pobezhimova TP, Korsukova AV, Dorofeev NV. [Physiological effects of triazole fungicides on plants]. Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya. 2019; Vol.9. 3. 461-476 p. doi: 10.21285/2227-2925-2019-9-3-461-476.

12. Shakhnazarova VYu, Syrova DS, Lebedinskiy MI. [Mechanisms of Pseudomonas fluorescens control of barley root rot caused by Fusarium culmorum]. Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. 2023; Vol.59. 5. 494-501 p. doi: 10.31857/S0555109923050161.

13. Santoyo G, Urtis-Flores CA, Loeza-Lara PD. Rhizosphere colonization determinants by plant growth-promoting rhizobacteria (PGPR). [Internet]. Biology. 2021; Vol.10. No.6. 475 p. [cited 2025, June 10]. Available from: https://www.mdpi.com/2079-7737/10/6/475. doi: 10.3390/biology10060475.

14. Korshunova TYu, Bakaeva MD, Kuzina EV. [Role of Pseudomonas genus bacteria in the sustainable development of agricultural systems and environmental protection]. Prikladnaya biokhimiya i mikrobiologiya. 2021; Vol.57. 3. 211-227 p. doi: 10.31857/S0555109921030089.

15. Nguen VZh, Dao TO, Nguen TKh. [Characteristics of Rhizoctonia solani antagonist bacteria isolated from rhizosphere of pepper plants]. Vestnik RGATU. 2019; 3 (43). 28-35 p.

16. Sidorova TM, Asaturova AM, Khomyak AI. [Biologically active metabolites of Bacillus subtilis and their role in the control of phytopathogenic microorganisms]. Selskokhozyaystvennaya biologiya. 2018; Vol.53. 1. 29-37 p. doi: 10.15389/agrobiology.2018.1.29rus.

17. Mahmood I, Imadi SR, Shazadi K. Effects of pesticides on environment. Plant, Soil and Microbes. 2016; Vol.1. 253-269 p. doi: 10.1007/978-3-319-27455-3_13.

Authors:

Karimova Liliya Zyaudatovna – Ph.D of Agricultural Sciences, senior researcher of Laboratory of Molecular-genetic and Microbiological Methods, e-mail: karimova-lcd@mail.ru

Validov Shamil Zavdatovich – Ph.D. of Biological Sciences, Head of Laboratory of Molecular-genetic and Microbiological Methods, e-mail: sh.validov@knc.ru

Rakhmanova Gulnara Fanisovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, senior researcher of Laboratory of Molecular-genetic and Microbiological Methods, e-mail: gulnara_rakhmanova@mail.ru

Federal Research Center Kazan Scientific Center of the Russian Academy of Sciences, Kazan, Russia.

Valiev Ayrat Rasimovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, First Vice-Rector, corresponding member of the Academy of Sciences of the Republic of Tatarstan, e-mail: ayratvaliev@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-39-44
УДК 631.816.355:633.15

ВЛИЯНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ ЖИДКИХ ОРГАНОМИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ НА УРОЖАЙНОСТЬ И КАЧЕСТВО ЗЕЛЕНОЙ МАССЫ КУКУРУЗЫ

Р. И. Сафин, А. А. Зиганшин

Реферат. Исследования проводили с целью изучения влияния жидких органоминеральных удобрений на продуктивность и качество зеленой массы кукурузы для совершенствования системы удобрений культуры. Работу выполняли в 2022–2024 годы в Предкамской зоне Республики Татарстан на серой лесной почве. Схема опыта предусматривала изучение следующих вариантов: без удобрений (контроль); удобрение BATR 40N 4 л/га в фазе шести настоящих листьев культуры; баковая смесь BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га в фазе шести настоящих листьев культуры. Объект исследования – гибрид кукурузы ДКС 3006. Агрометеорологические условия вегетационных периодов в годы проведения опыта существенно различались: в 2022 году ГТК был равен 0,9, в 2023 году – 0,4, в 2024 году – 0,6 ед. Некорневая подкормка способствовала увеличению урожайности зеленой массы в среднем за годы исследований на 2,6…4,5 т/га, початков – на 1,6…3,2 т/га, сбора сухого вещества – на 1,15…1,86 т/га, крахмала – на 0,6…1,1 т/га. Одновременно содержание сырого протеина возрастало на 0,6…1,0%, его выход – на 0,15…0,25 т/га, выход обменной энергии с 1 га – на 11,52…18,71 ГДж/га. Наибольший в опыте эффект отмечен при применении баковой смеси удобрений BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га. В среднем за годы исследований в этом варианте прибавка урожая зеленой массы составила 4,5 т/га, сбора сухого вещества – 13,37, крахмала – 4,45, сырого протеина – 1,08 т/га. Максимальная в опыте прибавка сбора обменной энергии составила 18,71 ГДж/га.

Ключевые слова: азот, цинк, органоминеральные удобрения, зеленая масса, кукуруза (*Zea Mays*).

Введение. Уникальные свойства кукурузы – высокий уровень питательной ценности для животных и человека, возможность производства биотоплива, газа, различных концентрированных кормов, а также многие другие, делают эту культуру одной из самых популярных в мировом сельском хозяйстве [1, 2, 3].

Кукурузу выращивают практически во всех сельскохозяйственных регионах России. Однако ее распространению мешает недостаток тепла в более северных широтах. В условиях пониженных температур растения постоянно находятся в стрессовых условиях и неспособны реализовать свой потенциал [3, 4].

Для получения максимальных урожаев кукурузы необходимо строго соблюдать весь комплекс агротехнических мероприятий, в том числе внесение минеральных удобрений [5].

В последние годы, набирает популярность применение минеральных и органоминеральных удобрений некорневым способом [6, 7, 8].

Эффективность применения удобрений некорневым способом подтверждается многочисленными исследованиями в различных природно-климатических зонах России и зарубежных стран [9, 10, 11].

Этот приём эффективен для выращивания кукурузы как на зерно, так и на силос.

При выращивании кукурузы на силос некорневые подкормки, проведенные в период формирования початков, позволяют существенно увеличить их массу, и, соответственно, выход крахмала с единицы площади, поскольку кормовая ценность кукурузы заключена прежде всего в питательности зерна [12, 13].

Удобрения служат основным фактором, способствующим увеличению питательности зеленой массы кукурузы [14].

Вследствие этого технология выращивания кукурузы на силос должна быть ориентирована на максимальный выход зерна с гектара, чему способствуют, в том числе, некорневые подкормки.

Основным питательным элементом, применяющимся в посевах кукурузы в виде некорневой подкормки, выступает цинк, так как кукуруза наиболее чувствительна к недостатку этого элемента питания и хорошо отзывается на его применение [15, 16].

На территории Республики Татарстан находится предприятие по производству жидких органоминеральных удобрений марки BATR, эффективность которых доказана в посевах кукурузы и других сельскохозяйственных культур.

В условиях Поволжья, в частности в Республике Татарстан, проведено недостаточное количество исследований влияния препаратов марки BATR на различные показатели продуктивности кукурузы. В связи с этим, актуальна необходимость проведения таких исследований в течение нескольких лет для определения зависимости продуктивности кукурузы от применения удобрений некорневым способом.

Цель исследования – изучить влияние некорневых подкормок жидкими органоминеральными удобрениями на урожайность зеленой массы, початков кукурузы, содержание и выход с единицы площади сухого вещества, крахмала, сырого протеина и обменной энергии.

Условия, материалы и методы. Работу выполняли в 2022–2024 годы на территории Агробиотехнопарка Казанского государственного аграрного университета (КГАУ) в Лаишевском районе Республики Татарстан. Основные агрохимические характеристики серой лесной легкосуглинистой почвы опытного

участка: содержание гумуса по Тюрину в пахотном слое (0…22 см) составляло 3,5…4,7%, подвижных форм фосфора и калия по Кирсанову – соответственно 140…155 и 112…120 мг/кг, реакция среды слабокислая – pH солевой вытяжки – 5,3…6,5 ед. Обеспеченность почвы микроэлементами (по Пейве-Ринкису): цинком и молибденом – низкая; марганцем, медью и бором – высокая.

Схема полевого опыта предусматривала изучение следующих вариантов: без удобрений (контроль); BATR 40N 4 л/га в фазе шести настоящих листьев культуры; баковая смесь BATR 40 4 л/га + BATR Zn 1 л/га в фазе шести настоящих листьев культуры.

Общая площадь опытных делянок составляла 126 м^2, учетная – 20 м^2. Повторность трехкратная, размещение делянок систематическое. Полевой опыт и статистическая обработка данных проведены в соответствии с методикой Доспехова Б. А. (Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Колос, 1973. 336 с.).

Биохимические анализы проведены в соответствии с принятыми ГОСТами: содержание сухого вещества – по ГОСТ 31640–2012; содержание крахмала – по ГОСТ Р 57543-2017; содержание сырого протеина – по ГОСТ 32044.1-2012; обменной энергии – по ГОСТ 23638-90. Посев кукурузы проводили пропашной сеялкой с нормой высева 80 тыс. всхожих семян на 1 га. Общим фоном в опыте вносили минеральные удобрения из расчета по 70 кг/га диаммофоски и 50 кг/га аммиачной селитры (по физической массе) под предпосевную культивацию. Для борьбы с сорняками в опыте также общим фоном применяли гербициды: до всходов культуры – Симба, КЭ 1,5л/га; в фазе четвертого настоящего листа – Дублон, СК 1 л/га + Балерина, СЭ 0,3 л/га. Норма расхода рабочей жидкости – 200 л/га. Объект исследования – гибрид кукурузы ДКС 3006 (ФАО 190), характеризующийся зубовидным типом зерна и повышенной отзывчивостью на факторы интенсификации.

Состав изучаемых удобрений: BATR 40N – N (411 г/л), SO3 (53,3 г/л), MgO (5 г/л), B (0,5 г/л), Zn (2 г/л), Cu (0,74 г/л), Fe (0,63 г/л), Mn (0,44 г/л), Mo (0,15 г/л), Co (0,1 г/л), комплекс органических кислот (20 г/л); BATR Zn – Zn (60 г/л), SO3 (86 г/л), комплекс органических кислот (150 г/л).

Погодные условия в годы исследований существенно различались. Вегетационный период 2022 году оказался наиболее благоприятным для роста и развития кукурузы – в период с мая по октябрь выпало более 300 мм осадков, температура в период вегетации была умеренная, без резких колебаний, ГТК составил 0,9. Вегетационные периоды 2023 и 2024 годы оказались существенно менее благоприятными – количество осадков было ниже среднемноголетних значений, температуры периода вегетации оказались повышенными, иногда экстремально высокими (до 42°С), ГТК составил: в 2023 – 0,4; в 2024 – 0,6 ед.

Результаты и обсуждение. Результаты оценки урожайности зеленой массы и початков гибрида кукурузы ДКС 3006 в фазе молочно-восковой спелости при уборочной влажности показали ее существенное изменение при использовании изучаемых удобрений (табл. 1).

Таблица 1 – Урожайность зеленой массы и початков гибрида кукурузы ДКС 3006 в фазе молочно-восковой спелости в зависимости от применяемых удобрений при уборочной влажности

Вариант	Год			Среднее	Прибавка	
	2022	2023	2024		т/га	%
Урожайность зеленой массы, т/га						
Без обработки (контроль)	44,7	22,3	33,4	33,5	-	-
BATR 40N 4 л/га	46,8	24,6	37	36,1	2,6	7,8
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	48,3	26,4	39,4	38,0	4,5	13,4
$НСР_{05}$	0,8	0,7	1,2			
Урожайность початков, т/га						
Без обработки (контроль)	21,7	11,1	13,9	15,6	-	
BATR 40N 4 л/га	22,5	12,3	16,8	17,2	1,6	10,3
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	23,8	13,7	18,8	18,8	3,2	20,5
$НСР_{05}$	0,7	1,1	1,0			

По результатам проведенной оценки урожайности зеленой массы гибрида кукурузы ДКС 3006 можно свидетельствовать о том, что варианты удобрений показывают достоверное увеличение величины этого показателя в сравнении с контролем и между собой. Основная часть прироста урожайности зеленой массы приходится на початок, то есть некорневые подкормки повлияли, прежде всего, на закладку элементов продуктивности початка.

Наибольшая в опыте урожайность зеленой массы и початков достигнута в варианте с применением баковой смеси BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га в фазе шести настоящих листьев. Средняя по годам урожайность зеленой массы составила 38 т/га (прибавка к контролю 4,5 т/га, или 13,4%), початков – 18,8 т/га (прибавка к контролю 3,2 т/га, или 20,5%).

Обработка BATR 40N 4 л/га в этой же фазе также оказала выраженное положительное влияние на показатели продуктивности, но с меньшей отдачей.

Урожайность по вариантам обработок удобрениями имеет существенные различия – 1,9 т/га по зеленой массе и 1,6 т/га по массе початков. Эта тенденция прослеживается во все годы исследований – как в благоприятном для формирования надземной массы растений 2022 году, так и в засушливом 2023 году. В 2024 году относительно засушливые условия первой половины вегетации также не позволили полностью реализовать потенциал гибрида, при сохранении прибавки по изучаемым вариантам.

Содержание в растении и выход сухого вещества с 1 га при использовании изучаемых удобрений существенно изменялось (табл. 2).

Таблица 2 – Содержание в растении и выход сухого вещества (СВ) с 1 га посева гибрида кукурузы ДКС 3006

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее по годам
Содержание СВ, %				
Без обработки (контроль)	33,9	35,9	34,0	34,6
BATR 40N 4 л/га	35,0	35,8	34,6	35,1
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	35,2	35,8	34,7	35,2
$НСР_{05}$	1,2	0,5	0,8	
Выход СВ, т/га				
Без обработки (контроль)	15,18	8,00	11,36	11,51
BATR 40N 4 л/га	16,39	8,79	12,79	12,66
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	17,00	9,46	13,65	13,37
$НСР_{05}$	0,74	0,29	0,30	

Содержание сухого вещества в растениях кукурузы в 2022 и 2024 годы имело тенденцию к некоторому нарастанию, в сравнении с контролем, а в острозасушливом 2023 году практически не изменялось. В то же время выход сухого вещества с 1 га во все годы исследований возрастал существенно – увеличение составляло до 1,82 т/га в 2022 году, до 1,46 т/га – в 2023 году и до 2,29 т/га – в 2024 году.

Максимальный в опыте прирост выхода сухого вещества с 1 га зафиксирован в 2024 году, когда проявлялись контрастные условия обеспеченности теплом и влагой. Также в острозасушливом 2023 году отмечен достаточно высокий прирост выхода сухого вещества.

По вариантам опыта максимальный прирост отмечен при использовании баковой смеси BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га (в среднем за годы исследований 1,86 т/га). Применение BATR 40N 4 л/га также обеспечивало достоверный прирост выхода сухого вещества с гектара (1,15 т/га).

Содержание в сухом веществе растений и выход крахмала с 1 га при использовании изучаемых удобрений существенно изменялось (табл. 3).

Таблица 3 – Содержание в сухом веществе растения и выход крахмала с 1 га посева гибрида кукурузы ДКС 3006

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее по годам
Содержание крахмала, %				
Без обработки (контроль)	35,5	24,1	26,4	28,7
BATR 40N 4 л/га	38,3	26,2	27,8	30,8
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	39,9	27,8	29,1	32,3
$НСР_{05}$	1,2	0,6	0,7	
Выход крахмала, т/га				
Без обработки (контроль)	5,40	1,93	3,00	3,44
BATR 40N 4 л/га	6,27	2,29	3,56	4,04
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	6,77	2,63	3,94	4,45
$НСР_{05}$	0,30	0,10	0,04	

Содержание крахмала в растении коррелировало с агрометеорологическими условиями года исследований. Максимальное в опыте содержание крахмала отмечено в благоприятном 2022 году, минимальное – в самом неблагоприятном, засушливом 2023 году.

По вариантам опыта прослеживалась существенное увеличение содержания крахмала в растениях кукурузы. Максимальная в опыте прибавка отмечена в варианте BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га – от 2,7 до 4,4% по годам исследований (в среднем – 3,6%). Вариант BATR 40N 4 л/га обеспечивал менее значимую прибавку содержания крахмала – 1,4…2,8%.

Выход крахмала с 1 га существенно зависел от года исследования, что объясняется ростом и урожайности, и содержания крахмала в благоприятных условиях. Соответственно, выход крахмала в 2022 году превышал таковой в 2023 году в 2,6…2,8 раза по вариантам опыта.

Максимальная прибавка выхода крахмала в опыте отмечена при использовании баковой смеси BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га – от 0,7 до 1,37 т/га по годам исследований (в среднем 1,01 т/га). Применение BATR 40N 4 л/га обеспечивало менее значимую прибавку выхода крахмала – 0,37…0,87 т/га.

Содержание сырого протеина в сухом веществе растений кукурузы и выход сырого протеина с 1 га при использовании изучаемых удобрений существенно изменялись (табл. 4).

Таблица 4 – Содержание сырого протеина в сухом веществе растений и выход сырого протеина с 1 га посева гибрида кукурузы ДКС 3006

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее по годам
Содержание сырого протеина, %				
Без обработки (контроль)	7,4	6,5	7,0	7,0
BATR 40N 4 л/га	8,1	7,1	7,6	7,6
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	8,3	7,5	8,2	8,0
$НСР_{05}$	0,2	0,3	0,4	
Выход сырого протеина, т/га				
Без обработки (контроль)	1,17	0,52	0,8	0,83
BATR 40N 4 л/га	1,33	0,62	0,98	0,98
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	1,40	0,71	1,12	1,08
$НСР_{05}$	0,09	0,02	0,06	

Максимальное в опыте содержание сырого протеина в растениях кукурузы (от 7,4 до 8,3% в зависимости от варианта) отмечено в 2022 году, вероятно этому способствовали благоприятные условия для роста, развития культуры и оптимального метаболизма у растений. Напротив, в острозасушливом 2023 году содержание сырого протеина отмечено на минимальном уровне во всех изучаемых вариантах (6,5…7,5%) – растения находились в условиях дефицита влаги, в общем стрессовом состоянии.

Среди изучаемых вариантов некорневой подкормки лучшие в опыте результаты по содержанию сырого протеина обеспечивало применение баковой смеси BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га (от 7,5 до 8,3%). Вариант с применением BATR 40N 4 л/га также обеспечивал прирост содержания сырого протеина, но в меньшей степени (7,1…8,1%).

Содержание обменной энергии (для КРС) в 1 кг зеленой массы и выход обменной энергии с 1 га при использовании изучаемых удобрений существенно изменялись (табл. 5).

Таблица 5 – Содержание обменной энергии (для КРС) в 1 кг зеленой массы и выход обменной энергии с 1 га посева гибрида кукурузы ДКС 3006 в зависимости от применяемых удобрений

Вариант	2022 г.	2023 г.	2024 г.	Среднее по годам
Обменная энергия, мДж/кг				
Без обработки (контроль)	3,43	3,62	3,43	3,49
BATR 40N 4 л/га	3,54	3,61	3,49	3,55
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	3,55	3,62	3,50	3,56
$НСР_{05}$	0,10	0,05	0,08	
Выход обменной энергии, ГДж/га				
Без обработки (контроль)	153,39	80,75	114,77	116,30
BATR 40N 4 л/га	165,54	88,71	129,21	127,82
BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га	171,67	95,50	137,86	135,01
$НСР_{05}$	7,43	2,96	3,00	

Самое высокое в опыте содержание обменной энергии в 1 кг зеленой массы было отмечено в засушливом 2023 году (3,61…3,62 мДж/кг). Поскольку этот показатель рассчитывали исходя из содержания сухого вещества, это можно объяснить меньшей влажностью растений к моменту уборки. В 2022 году и в 2024 году были получены близкие значения содержания обменной энергии в 1 кг зеленой массы (3,43…3,55 мДж и 3,49…3,56 мДж соответственно).

В 2022 и 2024 году отмечена тенденция к нарастанию величины обменной энергии при применении BATR 40N 4 л/га и BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га В неблагоприятном 2023 году содержание обменной энергии в 1 кг зеленой массы практически не менялось по вариантам опыта.

Максимальный в опыте выход обменной энергии с 1 га в годы исследований отмечен в 2022 году (153,39…171,67 ГДж/га), минимальный – в 2023 году (80,75…95,5 ГДж).

Среди изучаемых вариантов лучшие результаты по величине этого показателя отмечены при применении баковой смеси BATR 40N 4 л/га + BATR Zn 1 л/га (95,5…171,67 ГДж/га). Увеличение по сравнению с контрольным вариантом составило 18,71 ГДж/га. Использование BATR 40N 4 л/га также достоверно увеличивало выход обменной энергии с 1 га – на 11,52 ГДж/га, по отношению к контролю, в среднем за годы исследований.

Выводы. Применении BATR 40N 4 л/га и его баковой смеси с BATR Zn 1 л/га обеспечивало увеличение урожайности зеленой массы, по отношению к контролю, на 2,6…4,5 т/га, початков – на 1,6…3,2 т/га, сухого вещества – на 1,15…1,86 т/га, содержания в растениях сырого протеина и крахмала – соответственно на 0,6…1,0% и 2,1…3,6%, выхода сырого протеина и крахмала с урожаем – на 0,15…0,25 т/га и 0,60…1,01 т/га, обменной энергии – на 11,52…18,71 ГДж/га.

Применение жидких органоминеральных удобрений марки BATR в фазе шести настоящих листьев кукурузы оказывает положительное влияние на количественные и качественные показатели зеленой массы, способствует росту кормовой ценности растений кукурузы и может быть рекомендовано в современных технологиях выращивания культуры.

Литература

1.Ивашененко И. Н., Багринцева В. Н. Оценка эффективности некорневых подкормок азотсодержащими удобрениями на кукурузе // Известия ТСХА. 2021. № 3. С. 40–54.

2.Кладовщиков Е. А. Выращивание кукурузы и ее рентабельность // Научный журнал молодых ученых. 2019. № 3 (16). С. 20–23.

3.Lyons J. M. Chilling injury in plants // Annual review of plant physiology. 1973. No. 1. P. 445–466.

4.Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient OJIP / A. J. Strauss, G. Kruger, R. J. Strasser, et al. // Environmental and experimental botany. 2006. No. (2) 56. С. 147–157.

5.Пузырчатая головня на посевах кукурузы / Т. Х. Резвицкий, Р. А. Тикиджан, А. В. Позднякова и др. // The Scientific Heritage. 2021. № 58-1. С. 19–21. doi: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-19-21.

6.Шмалько И. А., Багринцева В. Н. Повышение урожайности кукурузы посредством некорневой подкормки растений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 3(55). С. 66-68. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-63-68

7.Багринцева В. Н., Шмалько И.А. Эффективность применения удобрения вуксал макромикс для некорневой подкормки кукурузы // Агрохимия. 2021. № 7. С. 47–56. doi: 10.31857/S0002188121070036.

8.Влияние удобрений на урожайность кукурузы в Ставропольском крае / В. Н. Багринцева, И. Н. Ивашененко, В. В. Дридигер и др. // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т.37. № 7. С. 29–33. doi: 10.53859/02352451-2023-37-7-29.

9.Багринцева В. Н., Ивашененко И. Н. Эффективность некорневых подкормок кукурузы удобрениями марки Батр // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2021. № 1 (99). С. 28–36. doi: 10.35330/1991–6639-2021-1-99-28-36.

10.Efficacy of Boron as Foliar Feeding on Yield and Quality Attributes of Maize (Zea mays L.) / M. Aq. Sarwar, M. Tahir, W. Shehzad, et al. // Biological Sciences-PJSIR. 2018. Vol. 61. No. 1. P. 9–14.

11.Biological responses of wheat and corn to foliar feeding of macronutrient fertilizers during their middle and latter growing periods / X. Guo-hua, Sh. Qi-rong, Z. Wen-juan, et al. // Acta pedologica sinica. 1999. Vol. 36. No. 4. P. 462–468.

12.Влияние некорневых подкормок на формирование генеративных органов у кукурузы / М. Ю. Михайлова, Р. В. Миникаев, М. Ф. Амиров и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1 (73). С. 12–17. doi: 10.12737/2073-0462-2024-12-17.

13.Кривошеев Г. Я., Игнатьев А. С., Шевченко Н. А. Продуктивность, кормовая ценность и биоэнергетическая эффективность возделывания гибридов кукурузы на зеленый корм и силос // Таврический вестник аграрной науки. 2019. № 4 (20). С. 63–69. doi: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-63-69.

14.Девтерова Н. И. Урожайность кукурузы на зеленый корм при использовании удобрений, возобновляемых биоресурсов и уменьшении интенсивности обработок почвы // Вестник Адыгейского государственного университета. 2018. № 3 (226). С. 118–121.

15.Palai J. B. Growth, yield and nutrient of maize as affected by zinc application – A Review // Indian journal of pure & Applied biosciences. 2020. Vol. 8. No. 2. P. 332–339.

16.Багринцева В. Н., Ивашененко И. Н., Сотченко Д. Ю. Влияние некорневой подкормки микроудобрением Батр Цинк на урожайность кукурузы и кормовые качества зерна // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 3. С. 213–224. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-213.

Сведения об авторах:

Сафин Радик Ильясович – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: radiksaf2@mail.ru

Зиганшин Андрей Алексеевич – аспирант, e-mail: ziganshinandrei@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

EFFECT OF LIQUID ORGANIC AND MINERAL FERTILIZERS ON PRODUCTIVITY AND QUALITY OF CORN GREEN MASS

R. I. Safin, A. A. Ziganshin

Abstract. The study was conducted to assess the effect of liquid organic and mineral fertilizers on productivity and quality of corn green mass to improve the crop's fertilization system. The work was conducted from 2022 to 2024 in Pre-Kama region of the Republic of Tatarstan on gray forest soil. The experimental design included the following treatments:

no fertilizer (control); BATR 40N fertilizer at 4 l/ha during the six-leaf stage; a tank mixture of BATR 40N at 4 l/ha + BATR Zn at 1 l/ha during the six-leaf stage. The object of the study is DKS 3006 corn hybrid. The agrometeorological conditions of the growing seasons in the experiment years varied significantly: in 2022 the HTC was 0.9, in 2023 - 0.4, in 2024 - 0.6 units. Foliar feeding contributed to an increase in the yield of green mass on average over the years of research by 2.6...4.5 t/ha, cobs - by 1.6...3.2 t/ha, dry matter collection - by 1.15...1.86 t/ha, starch - by 0.6...1.1 t/ha. At the same time, the content of crude protein increased by 0.6...1.0%, its yield - by 0.15...0.25 t/ha, the yield of exchangeable energy from 1 ha - by 11.52...18.71 GJ/ha. The greatest effect in the experiment was observed with a tank mix of BATR 40N fertilizer at 4 l/ha + BATR Zn at 1 l/ha. On average, over the years of research, this treatment yielded 4.5 t/ha of green mass, 13.37 t/ha of dry matter, 4.45 t/ha of starch, and 1.08 t/ha of crude protein. The maximum increase in metabolizable energy yield in the experiment was 18.71 GJ/ha.

Key words: nitrogen, zinc, organic and mineral fertilizers, green mass, corn (*Zea mays*).

References

1. Ivashenenko IN, Bagrintseva VN. [Evaluation of effectiveness of foliar feeding with nitrogen-containing fertilizers on corn]. Izvestiya TSKhA. 2021; 3. 40-54 p.

2. Kladovshchikov EA. [Growing corn and its profitability]. Nauchnyy zhurnal molodykh uchenykh. 2019; 3 (16). 20-23 p.

3. Lyons JM. Chilling injury in plants. Annual review of plant physiology. 1973; No.1. 445-466 p.

4. Strauss AJ, Kruger G, Strasser RJ. Ranking of dark chilling tolerance in soybean genotypes probed by the chlorophyll a fluorescence transient OJIP. Environmental and experimental botany. 2006; No.(2) 56. 147-157 p.

5. Rezvitskiy TKh, Tikidzhan RA, Pozdnyakova AV. [Corn smut on crops]. The Scientific Heritage. 2021; 58-1. 19-21 p. doi: 10.24412/9215-0365-2021-58-1-19-21.

6. Shmalko IA, Bagrintseva VN. [Increasing corn yields through foliar feeding of plants]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2021; 3(55). 66-68 p. https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-3-63-68

7. Bagrintseva VN, Shmalko IA. [Efficiency of Vuksal macromix fertilizer application for foliar feeding of corn]. Agrokhimiya. 2021; 7. 47-56 p. doi: 10.31857/S0002188121070036.

8. Bagrintseva VN, Ivashenenko IN, Dridiger VV. [The influence of fertilizers on corn yield in Stavropol Krai]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 7. 29-33 p. doi: 10.53859/02352451-2023-37-7-29.

9. Bagrintseva VN, Ivashenenko IN. [Efficiency of foliar feeding of corn with Batr brand fertilizers]. Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo tsentra RAN. 2021; 1 (99). 28-36 p. doi: 10.35330/1991–6639-2021-1-99-28-36.

10. Sarwar MAq, Tahir M, Shehzad W. Efficacy of Boron as foliar feeding on yield and quality attributes of maize (Zea mays L.). Biological Sciences-PJSIR. 2018; Vol.61. No.1. 9-14 p.

11. Guo-hua X, Qi-rong Sh, Wen-juan Z. Biological responses of wheat and corn to foliar feeding of macronutrient fertilizers during their middle and latter growing periods. Acta pedologica sinica. 1999; Vol.36. No.4. 462-468 p.

12. Mikhaylova MYu, Minikaev RV, Amirov MF. [Effect of foliar feeding on the formation of generative organs in corn]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 1 (73). 12-17 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-12-17.

13. Krivosheev GYa, Ignatev AS, Shevchenko NA. [Productivity, feed value and bioenergetic efficiency of growing corn hybrids for green fodder and silage]. Tavricheskiy vestnik agrarnoy nauki. 2019; 4 (20). 63-69 p. doi: 10.33952/2542-0720-2019-4-20-63-69.

14. Devterova NI. [Yield of corn for green fodder with the use of fertilizers, renewable bioresources and reduced intensity of tillage]. Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. 2018; 3 (226). 118-121 p.

15. Palai JB. Growth, yield and nutrient of maize as affected by zinc application. A review. Indian journal of pure & Applied biosciences. 2020; Vol.8. No.2. 332-339 p.

16. Bagrintseva VN, Ivashenenko IN, Sotchenko DYu. [Effect of foliar application of Batr Zinc microfertilizer on corn yield and grain forage quality]. Zhivotnovodstvo i kormoproizvodstvo. 2023; Vol.106. 3. 213-224 p. doi: 10.33284/2658-3135-106-3-213.

Authors:

Safin Radik Ilyasovich – Doctor of Agricultural Sciences, Head of Department of General Agriculture, Plant Protection and Breeding, e-mail: radiksaf2@mail.ru

Ziganshin Andrey Alekseevich – postgraduate student, e-mail: ziganshinandrei@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-45-52
УДК 633.854.78:631.8

ВЛИЯНИЕ ДОЗ АКТИВИРОВАННОГО ЦЕОЛИТА ЗЕОЛ НА УРОЖАЙНОСТЬ, КАЧЕСТВО И ФЕНОЛОГИЮ ПОДСОЛНЕЧНИКА В УСЛОВИЯХ СРЕДНЕГО ПОВОЛЖЬЯ

С. Р. Сулейманов, Р. М. Низамов

Реферат. Исследования проводили с целью оценки эффективности применения активированного цеолита ЗЕОЛ под подсолнечник на фоне минеральных удобрений для совершенствования технологии возделывания культуры. Работу выполняли в 2020–2022 годы на серых лесных почвах Республики Татарстан. Содержание гумуса в почве опытного участка составляло 3,0%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно 250 и 145 мг/кг, реакция среды была близкой к нейтральной (pH = 6,6 ед.). Схема опыта предполагала изучение следующих вариантов: цеолит в дозах 150, 350 и 500 кг/га на фоне NPK в расчете на планируемую урожайность подсолнечника гибрида Авенжер 2 т/га. Контролем служил фон минеральных удобрений. Применение цеолита повышало полевую всхожесть с 84,0% (контроль) на 1,8% при 500 кг/га, мощность ростков – на 0,05 г/растение (+27,8%), уменьшало угол наклона корзинок со 175° (контроль) до 140° (500 кг/га), что снижает риски осыпания и повреждения птицами. Диаметр корзинок увеличился с 9,5 см (контроль) до 11,9 см при 350 кг/га, масса семян с корзинки – с 39,9 г до 49,4 г (+23,8%). Вегетационный период сократился на 4…6 дней, влажность семян перед уборкой снизилась до 6,2% (против 6,8% в контроле). Средняя урожайность культуры возросла с 1,71 т/га до 2,24 т/га (+30,1%), демонстрируя устойчивость: в засушливом 2021 году прибавка составила 44,4% (2,05 т/га против 1,42 т/га). Масличность семян выросла с 41,5% до 44,3…46,6%, валовой сбор масла достиг 1043,8 кг/га (+47,1%). При оптимальной дозе 350 кг/га прибавка урожая составляла 0,51 т/га (+29,8%) с окупаемостью цеолита маслосеменами 1,46 кг/кг, выходом масла 983,5 кг/га (+38,6%) и минимальным расширением пустой зоны корзинки.

Ключевые слова: подсолнечник (*Helianthus annuus L.*), активированный цеолит, минеральные удобрения, полевая всхожесть, урожайность, масличность, структура корзинки, климатическая устойчивость.

Введение. В Подсолнечник (*Helianthus annuus L.*) выступает стратегически важной масличной культурой мирового значения, играющей ключевую роль в производстве растительного масла, биотоплива и в обеспечении устойчивых севооборотов. Однако при его возделывании производители сталкиваются с растущими трудностями, обусловленными изменчивостью климата, в частности, нерегулярным выпадением осадков и экстремальными температурами, которые негативно сказываются на фазах прорастания, начального роста и налива семян [1, 2, 3]. Эти ограничения особенно актуальны в таких ключевых регионах производства подсолнечника, как Приволжский федеральный округ, особенно на серых лесных почвах, которые обладают умеренным плодородием. Хотя минеральные удобрения обеспечивают базовые потребности растений в элементах питания, их эффективность снижается под воздействием абиотических стрессов (засуха, высокие температуры, дефицит воды и др.), что ведет к уменьшению стабильности урожайности и качества продукции. В связи с этим, внедрение инновационных мелиорантов, способствующих эффективному использованию питательных веществ из почвы и минеральных удобрений становится критически важным [4].

Известно, что природные цеолиты рассматриваются как перспективные почвенные мелиоранты благодаря их уникальным физико-химическим свойствам: высокой емкости катионного обмена (200…300 мг·экв/100 г), способности к селективному удержанию питательных ионов (NH_4^+, K^+) и улучшению водного режима почвы. Применительно к подсолнечнику, применение цеолитов может смягчить ключевые ограничивающие факторы:

- чувствительность в начальные фазы роста (низкая энергия роста всходов увеличивает уязвимость к стрессам);
- потери в репродуктивной фазе (неблагоприятные условия опыления и налива семян снижают масличность и урожайность);
- проблемы при уборке (вертикальный угол наклона корзинок более 160° повышает риск повреждения птицами и осыпания семян).

Несмотря на обнадеживающие результаты, полученные в контролируемых условиях, полевые исследования, подтверждающие эффективность активированных цеолитов в системах возделывания подсолнечника, остаются немногочисленными, особенно в части изучения влияния его доз на фенологию, структуру урожая и качество масла [5, 6]. К текущим пробелам, рассматриваемым в данной статье, относятся:

- взаимодействие с NPK-фоном – синергетические механизмы между цеолитами и макроэлементами в полевых условиях недостаточно изучены и количественно не оценены;
- экономические пороги эффективности, обеспечивающие баланс между прибавкой урожая и затратами на мелиорант;
- недостаточно данных о способности цеолитов стабилизировать колебания урожайности в засушливых регионах.

Цель исследований – исследование агрономической эффективности применения активированного цеолита ЗЕОЛ в дозах 150, 350, 500 кг/га на фоне основного минерального удобрения (NPK) на серых лесных почвах Татарстана.

Для ее достижения решали следующие задачи:

- оценка влияния цеолита на полевую всхожесть, энергию роста и развития вегетативных органов, морфологию корзинок (размер, угол наклона) и приспособленность к уборке;

- повышение стабильности урожайности, качества маслосемян (масличность) и эффективности использования мелиоранта в контрастные по метеоусловиям годы (2020–2022 годы).

Условия, материалы и методы. Стационарные полевые опыты в 2020–2022 годы проводили на базе Агробиотехнопарка Казанского ГАУ (с. Нармонка Лаишевского муниципального района Республики Татарстан) с координатами: широта – 55.5244865824, долгота – 48.274901646, а лабораторные анализы – в Центре агроэкологических исследований Казанского ГАУ.

Полевые опыты проводили на серых лесных почвах со следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса по Тюрину – 3,0%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) – соответственно очень высокое (> 250 мг/кг) и повышенное (145 мг/кг). Реакция почвенной среды – близкая к нейтральной (pHсол. 6,6).

Схема полевого опыта:

- азофоска 215 кг/га + аммиачная селитра 100 кг/га + хлористый калий 168 кг/га из расчета на планируемую урожайность 2 т/га маслосемян подсолнечника (фон);

- фон + цеолит активированный ЗЕОЛ, 150 кг/га;

- фон + цеолит активированный ЗЕОЛ, 350 кг/га;

- фон + цеолит активированный ЗЕОЛ, 500 кг/га.

Ежегодно в действующем веществе было внесено: азота 69 кг/га; фосфора 34,4 кг/га, калия 135 кг/га.

Полевую всхожесть учитывали во время полных всходов, через 12 суток после посева. Перед уборкой на пробных площадках в четырехкратной повторности определяли плотность стеблестоя.

Высоту растений измеряли перед уборкой в двух несмежных повторениях в пяти равноудаленных местах делянки.

В структурном анализе корзинки учитывали ее диаметр, количество семян, массу 1000 семян (ГОСТ 12042-80).

В фенологических наблюдениях отмечали следующие фазы развития подсолнечника: появление семядольных листочков, формирование листовой площади, бутонизация, цветение, образование корзинки, полная спелость.

Урожай в полевых опытах учитывали на пробных площадках и о дновременно определяли влажность. Сравнение урожайности изучаемых вариантов проводили по базисным нормам на маслосемена – влажность 8%, содержание сорной примеси 2%, содержание масличной примеси 5% (ГОСТ 22391-2015).

Основная обработка почвы включала в себя зяблевую вспашку после уборки предшествующей культуры. Весной проведено закрытие влаги в 2 следа.

Изучаемый мелиорант цеолит вносили вручную методом разбрасывания на поверхность почвы с последующей его заделкой с использованием предпосевной культивации на глубину 8…10 см. Площадь опытных делянок – 50 м^2, площадь учетных – 25 м^2. Повторность в опыте – четырехкратная.

Таблица 1 – Содержание питательных элементов в изучаемом мелиоранте*

Показатель	Содержание, %	Показатель	Содержание, %
SiO_2	54,11...58,39	Na_2O	0,03...0,27
Al_2O_3	5,80...6,44	TiO_2	0,26...0,34
CaO	12,6...14,95	NnO	0,0...0,01
K_2O	1,16...1,9	P_2O_5	0,08...0,49
Fe_2O_3	1,81...3,16	SiO_2 (аморф.)	23,39...29,04
MgO	1,77...2,0	ссоотношение Si/Al	9,06...9,32

*химический состав цеолита представлен по данным производителя *(chttps://zeol.ru/products/zeolite#!/tab/819464255-2)*

Анализ метеорологических данных за 2020–2022 годы выявил существенные отклонения от среднемноголетних значений как по количеству осадков, так и по температуре воздуха (табл. 2). В части осадков отмечена устойчивая тенденция к уменьшению их суммы за вегетационный период (май-сентябрь): если в 2020 году количество осадков составило 92% от нормы, то в 2021 и 2022 годы – лишь 34% и 60% соответственно. Особенно выраженный дефицит осадков отмечали в 2021 году, когда в июне и августе выпало лишь 15% и 22% от нормы, а в августе 2022 году осадки отсутствовали полностью.

Температурный режим характеризовался значительной межгодовой и внутрисезонной изменчивостью. Наиболее аномально тёплым был 2021 году, когда среднемесячные температуры в мае и июне превысили норму на 5,7 и 6,6°С, а средняя температура за весь период составила 19,3°С, что на 3,7°С выше климатической нормы. В 2022 году контрасты были особенно резкими: май был холоднее нормы на 2,4°С, тогда как август – теплее на 5,5°С. То есть рассматриваемый трёхлетний период демонстрирует повышенную изменчивость погодных условий, проявляющуюся в сочетании засушливых тенденций с экстремальными температурными отклонениями, что может свидетельствовать о возрастающей нестабильности климатических параметров в регионе.

Таблица 2 – Количество осадков и среднемесячная температура воздуха в годы проведения исследований (по данным метеостанции Казань-Опорная)

Год	Май	Июнь	Июль	Август	Сентябрь	За май-сентябрь
Осадки, мм						
Среднемноголетние	36	62	59	59	50	266
2020	50	33,6	42	81	39	246
В % к среднемноголетним	139	54	71	137	78	92
2021	17	9	25	13,2	27	91
В % к среднемноголетним	47	15	42	22	54	34
2022	78	19,3	26,6	0	35	158,9
В % к среднемноголетним	216	31	46	0	70	60
Температура, °С						
Среднемноголетние	13,0	16,8	19,9	17,0	11,2	15,6
2020	13,1	16,2	21,6	16,8	12,4	16
В °С к среднемноголетним	+0,1	-0,6	+1,7	-0,2	+1,2	+0,4
2021	18,7	23,4	22,5	22,4	9,7	19,3
В °С к среднемноголетним	+5,7	+6,6	+2,6	+4,8	-1,5	+3,7
2022	10,7	18,6	21,3	22,5	11,7	17
В °С к среднемноголетним	-2,4	+1,8	-0,3	+5,5	+0,5	+1,4

Результаты и обсуждение. Активированные цеолиты способствуют оптимизации почвенной среды, доступности элементов питания и, как следствие, стимулируют полевую всхожесть и рост молодых растений (табл. 3).

Таблица 3 – Влияние цеолита на полевую всхожесть подсолнечника и мощность роста всходов (среднее за 2020–2022 годы)

Вариант	Количество всходов, шт./м^2	Полевая всхожесть, %	Мощность роста всходов, г/растение
NPK – фон (контроль)	4,62	84,0	0,18
Фон + цеолит 150 кг/га	4,65	84,5	0,20
Фон + цеолит 350 кг/га	4,68	85,1	0,22
Фон + цеолит 500 кг/га	4,72	85,8	0,23
$НСР_{05}$	0,07	0,3	0,01

Применение минеральных удобрений ($N_{69}P_{35}K_{135}$) обеспечило высокую полевую всхожесть на уровне 84,0% с плотностью стояния растений 4,62 шт./м² и мощностью роста всходов 0,18 г/растение.

Добавление цеолита к фону NPK привело к улучшению всех изученных параметров. Уже при минимальной дозе цеолита (150 кг/га) отмечена тенденция к увеличению количества всходов (4,65 шт./м²) и всхожести (84,5%), но наиболее значимый эффект проявляется в приросте мощности роста всходов до 0,20 г/растение (увеличение на 11,1% относительно контроля), которые увеличиваются с повышением дозы внесения цеолита. При дозе 350 кг/га всхожесть возрастает до 85,1%, а мощность роста достигает 0,22 г/растение (+22,2% к контролю), при этом плотность стояния также увеличивается до 4,68 шт./м². Максимальная в опыте эффективность зафиксирована при дозе цеолита 500 кг/га. Этот вариант обеспечил самые высокие значения: плотности всходов – 4,72 шт./м², полевой всхожести – 85,8%, что на 1,8% выше контроля и, особенно показательна, мощность роста всходов – 0,23 г/растение, превышавшая контроль на 0,05 г/растение, или на 27,8%.

Наиболее выраженный положительный эффект цеолита проявляется в усилении мощности роста всходов, что выступает важным фактором для формирования будущего урожая.

Продуктивность подсолнечника в значительной мере определяется не только начальными этапами развития, но и ключевыми морфофизиологическими параметрами, формирующимися к фазе уборки урожая. Высота растений, сохранность стеблестоя и архитектоника корзинок (в частности, угол их наклона) непосредственно влияют на величину и качество урожая маслосемян [7, 8]. Высокий угол наклона корзинок (близкий к вертикали) повышает риск повреждения птицами, осыпания семян и усложняет механизированную уборку (табл. 4).

Таблица 4 – Высота, сохранность растений к уборке и угол наклона корзинок подсолнечника (2020–2022 годы)

Вариант	Плотность стеблестоя перед уборкой, тыс. шт./га	Сохранность растений, % к всходам	Высота растений, см	Угол наклона корзинок, градусы
NPK – фон (контроль)	45,0	97,4	168	175
Фон + цеолит 150 кг/га	45,1	97,0	170	160
Фон + цеолит 350 кг/га	45,2	96,6	175	145
Фон + цеолит 500 кг/га	45,3	96,0	178	140
$НСР_{05}$	0,2	0,4	4	3

В контрольном варианте сохранность растений составляла 97,4% от исходных всходов с плотностью стеблестоя 45,0 тыс. шт./га, высотой растений 168 см и углом наклона корзинок 175°. Последний параметр, близкий к вертикальному положению, указывает на повышенный риск повреждения корзинок птицами и осыпания семян.

Добавление цеолита к фону NPK вызвало выраженные изменения в морфологии растений и положении корзинок, при этом влияние на сохранность было отрицательным. Начиная с дозы 350 кг/га, прослеживается четкая положительная тенденция по основным морфометрическим показателям. При внесении 350 кг/га цеолита плотность стеблестоя соответствовала контролю (45,2 тыс. шт./га), сохранность оставалась высокой (96,6%), но при этом отмечен значительный прирост высоты растений – до 175 см (+7 см к контролю), а угол наклона корзинок существенно уменьшился до 145° (на 30° меньше контроля). Максимальный в опыте эффект цеолита отмечали при дозе 500 кг/га: растения достигли высоты 178 см (увеличение на 10 см или на 6% относительно контроля), что статистически достоверно (НСР05 = 4 см), а угол наклона корзинок снизился до 140°, что на 35° меньше контрольных значений. Это изменение угла имеет важное практическое значение, так как наклон корзинок снижает уязвимость к птицам и осыпанию. При этом сохранность растений (96,0%) и плотность стеблестоя (45,3 тыс. шт./га) оставались на высоком уровне, хотя отмечена тенденция к снижению сохранности с ростом дозы цеолита (с 97,4 до 96,0%).

Увеличение высоты растений, вероятно, связано с улучшенным питательным и водным режимом благодаря свойствам цеолита (ионообмен, влагоудержание), что обеспечивает более интенсивное развитие вегетативной массы на протяжении вегетации. Значительное уменьшение угла наклона корзинок (до 140…145°) служит важным агрономическим преимуществом, снижающим потери урожая [9, 10].

Размер корзинки (диаметр), ее морфологическая организация (соотношение продуктивной и пустой зон), а также масса и крупность семянок представляют собой интегральные показатели, отражающие эффективность фотосинтетической деятельности, обеспеченность ресурсами и устойчивость гибрида к стрессам в критический период налива семян (табл. 5).

Таблица 5 – Влияние доз цеолита на структуру урожая гибрида подсолнечника Авенжер (2020–2022 годы)

Вариант	Диаметр корзинки, см		Масса семянок, г/корзинка	Масса 1000 семянок, г
	общий	пустой части		
NPK – фон (контроль)	9,5	3,5	39,9	44,2
Фон + цеолит 150,0 кг/га	11,3	3,8	45,3	40,0
Фон + цеолит 350,0 кг/га	11,9	3,8	49,0	43,5
Фон + цеолит 500,0 кг/га	11,3	5,3	49,4	43,0
$НСР_{05}$	0,5	0,2	0,3	0,4

Контрольный вариант (фон $N_{69}P_{35}K_{135}$) характеризовался относительно скромными параметрами: диаметр корзинки – 9,5 см (с пустой частью 3,5 см), масса семян с корзинки – 39,9 г и масса 1000 семян – 44,2 г.

Применение цеолита при всех дозах обеспечивало комплексное изменение параметров корзинки, уже при минимальной дозе цеолита 150 кг/га общий диаметр корзинки увеличился до 11,3 см (+19% к контролю) при незначительном росте пустой части (3,8 см). Это сопровождалось заметным приростом массы семян с корзинки до 45,3 г (+13,5%), однако отмечено снижение массы 1000 семян до 40,0 г (-9,5%), что указывает на увеличение количества семянок в корзинке при их меньшей индивидуальной массе. Наибольшее в опыте положительное воздействие на размер и наполненность корзинки отмечено при дозе цеолита 350 кг/га. В этом варианте диаметркорзинки составлял 11,9 см (+25% к контролю) при стабильной величине пустой части (3,8 см). Масса семян с корзинки достигала 49,0 г (+22,8%), что статистически достоверно выше контроля ($НСР_{05}$ = 0,3 г), при массе 1000 семян 43,5 г (лишь на 1,6% ниже контроля), свидетельствуя о сбалансированном формировании семян.

Внесение максимальной дозы цеолита (500 кг/га) привело к неоднозначному результату. Хотя общий диаметр корзинки остался высоким (11,3 см, как и при 150 кг/га), но отмечено резкое увеличение пустой части до 5,3 см (+51,4% к контролю и значительно больше, чем в других вариантах с цеолитом). Несмотря на это, масса семян с корзинки достигала максимального в опыте значения 49,4 г (+23,8% к контролю), что также статистически достоверно. Однако масса 1000 семян (43,0 г) осталась несколько сниженной (-2,7% относительно контроля), что в сочетании с ростом пустого пространства в корзинке требует внимания.

Внесение активированного цеолита ЗЕОЛ на фоне NPK способствует значительному увеличению размера корзинок подсолнечника Авенжер и, как следствие, массы семян с корзинки. Оптимальной дозой по комплексу показателей выступает 350 кг/га: она обеспечивает

максимальный прирост общего диаметра корзинки (+25%) без увеличения пустой части, значительный прирост массы семян (+22,8%) при сохранении высокой массы 1000 семян. Доза 500 кг/га, хотя и обеспечивает максимальную абсолютную массу семян (+23,8%), сопровождается существенным увеличением доли пустой части корзинки, что может негативно влиять на общую эффективность использования площади корзинки и потенциально повышать риск заболеваний. Снижение массы 1000 семян при дозах 150 и 500 кг/га указывает на возможное перераспределение ассимилятов или изменение количества формируемых семянок.

Фенологический ритм развития подсолнечника служит важным фактором, определяющим успешность адаптации культуры к конкретным почвенно-климатическим условиям и технологичность ее возделывания. Продолжительность межфазных периодов – от посева до всходов, от всходов до формирования генеративных органов (корзинки), от цветения до физиологической спелости напрямую влияет на реализацию продукционного потенциала, устойчивость к абиотическим стрессам и, что особенно значимо для практики, на качество уборки урожая (прежде всего, влажность маслосемян) [11]. Сокращение вегетационного периода без ущерба для продуктивности представляет особый интерес для зон с ограниченным безморозным периодом или риском осенних заморозков (табл. 6).

Таблица 6 – Продолжительность фенологических периодов развития изучаемых гибридов подсолнечника (2020–2022 годы)

Вариант	Посев-всходы	Всходы-образование корзинки	Образование корзинки-цветение	Цветение-созревание	Продолжительность вегетационного периода	Влажность маслосемян перед уборкой, %
NPK – фон (контроль)	11	41	25	44	121	6,8
Фон + цеолит 150,0 кг/га	11	40	24	43	118	6,9
Фон + цеолит 350,0 кг/га	10	40	24	43	117	6,2
Фон + цеолит 500,0 кг/га	10	39	23	43	115	6,2

Применение цеолита вызывало последовательное сокращение продолжительности основных фенологических этапов, причем эффект усиливался с увеличением дозы мелиоранта. В варианте с минимальной дозой (150 кг/га) изменения были незначительными – сокращение на 1 день в фазы всходы-корзинка (40 дней) и корзинка-цветение (24 дня), что уменьшило общий вегетационный период до 118 дней без существенного изменения влажности семян (6,9%). Наибольшие в опыте фенологические сдвиги отмечены при дозах 350 и 500 кг/га. В этих вариантах период посев-всходы сократился до 10 дней, всходы-корзинка – до 39…40 дней (на 1…2 дня меньше контроля), а корзинка-цветение – до 23…24 дней. Фаза налива семян (цветение-созревание) оставалась стабильной (43 дня) во всех вариантах с цеолитом, что свидетельствует о сохранении качества репродуктивного развития. Суммарное сокращение вегетационного периода составило 4…6 дней (117 и 115 дней соответственно), что имеет существенное агротехническое значение для регионов с ограниченными тепловыми ресурсами.

Особый интерес представляет влияние цеолита на влажность маслосемян перед уборкой. При дозах 350 и 500 кг/га зафиксировано снижение влажности до 6,2% (на 0,6% ниже контроля). Этот эффект коррелирует с сокращением вегетационного периода и, вероятно, обусловлен более интенсивным и синхронным созреванием растений, а также улучшением водного режима почвы в течение вегетации благодаря влагоудерживающей способности цеолита.

То есть внесение активированного цеолита ЗЕОЛ (особенно в дозах ≥350 кг/га) на фоне NPK ускоряет прохождение вегетативных фаз подсолнечника без сокращения критического репродуктивного периода. Сокращение фазы всходы-корзинка на 1…2 дня согласуется с данными о стимуляции начального роста (таб. 2), а уменьшение интервала корзинка-цветение может быть связано с улучшением питательного статуса растений. Практически значимым следствием выступает сокращение общего вегетационного периода на 4…6 дней и снижение влажности семян на 0,6%, что облегчает уборку, снижает энергозатраты на сушку и минимизирует риски потерь от неблагоприятных погодных условий в конце сезона. Применение цеолита в указанных дозах не только оптимизирует ростовые и продукционные параметры, но и способствует улучшению технологических качеств урожая подсолнечника.

Урожайность подсолнечника как интегральный показатель эффективности агротехнологии формируется под комплексным влиянием факторов минерального питания, почвенных условий и устойчивости к биотическим/абиотическим стрессам. Несмотря на оптимизацию фона NPK, направленную на обеспечение базовых потребностей растений,

значительные межгодовые колебания продуктивности в современных агроклиматических условиях свидетельствуют о необходимости применения дополнительных агроприемов, способных повысить не только потенциальную урожайность, но и стабильность производства. Особую актуальность это приобретает для засушливых и неустойчивых по увлажнению регионов, где подсолнечник служит стратегической культурой (табл. 7).

Таблица 7 – Сравнительная оценка урожайности подсолнечника в зависимости от фонов его питания (2020–2022 годы)

Вариант	Урожайность, т/га				Прибавка от цеолита		Окупаемость цеолита, кг/кг	Увеличение окупаемости NPK, кг/кг
	2020г.	2021г.	2022г.	средняя	т/га	%		
NPK – фон (контроль)	1,92	1,42	1,79	1,71	-	-	-	-
Фон + цеолит 150,0 кг/га	2,25	1,80	2,05	2,04	0,33	19,3	2,20	1,38
Фон + цеолит 350,0 кг/га	2,39	2,01	2,25	2,22	0,51	29,8	1,46	2,14
Фон + цеолит 500,0 кг/га	2,42	2,05	2,26	2,24	0,53	30,1	1,06	2,22
$НСР_{05}$	0,15	0,12	0,11					

Контрольный вариант (фон $N_{69}P_{35}K_{135}$) показал среднюю за три года урожайность на уровне 1,71 т/га с выраженной межгодовой изменчивостью: от 1,42 т/га в 2021 году до 1,92 т/га в 2020 году, что подчеркивает чувствительность культуры к условиям вегетации.

Добавление цеолита к фону NPK обеспечило статистически достоверную (на уровне $НСР_{05}$) прибавку урожайности во все годы исследований. Минимальная в опыте доза цеолита (150 кг/га) повысила среднюю урожайность до 2,04 т/га, что на 0,33 т/га (+19,3%) выше контроля. Наибольший в опыте абсолютный прирост урожайности отмечен при дозе 500 кг/га: средняя урожайность достигла 2,24 т/га (+0,53 т/га или +30,1% к контролю). Ключевым выступает факт стабилизации продуктивности: в наиболее неблагоприятном 2021 году применение цеолита в дозе 500 кг/га позволило получить 2,05 т/га против 1,42 т/га в контроле (прибавка 44,4%), что свидетельствует о повышении устойчивости агроценоза к стрессам.

Экономический анализ выявил важную закономерность несмотря на рост абсолютной прибавки урожайности с увеличением дозы цеолита (0,33 → 0,51 → 0,53 т/га), окупаемость 1 кг мелиоранта снижалась с 2,20 кг/кг при дозе 150 кг/га до 1,06 кг/кг при дозе 500 кг/га. Это обусловлено нелинейным характером отклика урожайности на рост доз цеолита. Вариант с 350 кг/га продемонстрировал оптимальное сочетание эффективности (прибавка 0,51 т/га, +29,8%) и экономической отдачи (1,46 кг семян на 1 кг цеолита).

Внесение цеолита также положительно отразилось на повышении эффективности применения минеральных удобрений на посевах подсолнечника. При норме цеолита 150 кг/га, на 1 кг действующего вещества удобрений было получено дополнительно 1,38 кг маслосемян. При норме мелиоранта 350 и 500 кг/га окупаемость удобрений увеличилось на 2,14 и 2,22 кг/кг соответственно.

Таблица 8 – Влияние цеолита на содержание сырого жира и выход подсолнечного растительного масла (2020–2022 году)

Вариант	Содержание сырого жира, %	Выход растительного масла, кг/га	Прибавка от цеолита ЗЕОЛ	
			кг/га	%
NPK – фон (контроль)	41,5	709,6	-	-
Фон + цеолит 150 кг/га	43,4	885,4	175,8	24,8
Фон + цеолит 350 кг/га	44,3	983,5	273,9	38,6
Фон + цеолит 500 кг/га	46,6	1043,8	334,2	47,1

Применение цеолита обеспечило существенное увеличение как масличности семян, так и общего выхода масла с единицы площади, причем эффективность мелиоранта возрастала с увеличением его дозы. Даже минимальная доза цеолита (150 кг/га) обеспечила значимый прирост содержания жира до 43,4% (+1,9%) и повышение валового сбора масла до 885,4 кг/га, что на 175,8 кг/га (+24,8%) выше контроля. Наибольший в опыте синергетический эффект отмечен при дозе 350 кг/га: масличность достигла 44,3% (+2,8%), а выход масла увеличился до 983,5 кг/га (прибавка 273,9 кг/га или +38,6%), что существенно превышает прибавку урожайности семян (29,8%), свидетельствуя об улучшении качественных характеристик урожая. Доза цеолита 500 кг/га повышала содержание жира до 46,6% (+5,1% к контролю) и выход масла 1043,8 кг/га, что соответствует прибавке 334,2 кг/га (+47,1%).

Эффективность цеолита повышается с увеличением дозы: при 500 кг/га масличность и сбор масла возрастают максимально в опыте (на 5,1% и 47,1% соответственно). Оптимальная доза 350 кг/га, при которой валовой сбор масла (+38,6%) превышает прирост урожайности семян (+29,8%), что указывает на улучшение биохимического состава семян (табл. 8). Эта доза цеолита также экономически целесообразна, так как обеспечивает максимальную отдачу (0,78 кг масла на каждый кг удобрения), в отличие от дозы 500 кг/га (0,67 кг/кг).

Выводы. Применение активированного цеолита ЗЕОЛ (150…500 кг/га) на фоне $N_{69}P_{35}K_{135}$ достоверно повышает полевую всхожесть подсолнечника (с 84,0% до 85,8%) и мощность роста всходов (на 27,8% до 0,23 г/растение при 500 кг/га), что свидетельствует об улучшении почвенных условий на критически важной ранней стадии онтогенеза.

Применение цеолита существенно улучшает архитектонику растений: увеличивает высоту (до 178 см при 500 кг/га, +10 см к контролю) и снижает угол наклона корзинок с 175° до 140°, минимизируя риски осыпания семян и повреждения птицами.

Внесение цеолита способствует росту диаметра корзинок (до 11,9 см при 350 кг/га, +25%) и массы семян с корзинки (до 49,4 г при 500 кг/га, +23,8%). Оптимальная доза 350 кг/га обеспечивает прирост массы семян (+22,8%) по отношению к контролю без увеличения доли пустой зоны.

Применение цеолита сокращает вегетационный период на 4…6 дней (до 115 суток) и снижает влажность маслосемян перед уборкой до 6,2% (на 0,6%), что повышает эффективность уборочных работ.

Средняя за 3 года урожайность возрастает с 1,71 т/га (контроль) до 2,24 т/га (+30,1%) при внесении 500 кг/га цеолита, демонстрируя устойчивость в стрессовых условиях (прибавка 44,4% в засушливом 2021 году). одновременно масличность семян увеличивается с 41,5% до 46,6%, выход масла – до 1043,8 кг/га (+47,1%).

Оптимальной признана доза цеолита 350 кг/га, использование которой обеспечило прибавку урожая 0,51 т/га (+29,8% к контролю), выход масла 983,5 кг/га (+38,6%) и окупаемость 1,46 кг семян/кг цеолита. Применение цеолита в дозе 500 кг/га, менее эффективно (окупаемость 1,06 кг/кг).

В целом включение активированного цеолита ЗЕОЛ (350 кг/га) в систему минерального питания подсолнечника на серых лесных почвах Среднего Поволжья повышает урожайность, качество маслосемян и климатическую устойчивость агроценозов, сокращает период вегетации и снижает производственные риски.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан (соглашение №146/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Сулейманов С. Р., Низамов Р. М. Хозяйственный вынос, коэффициенты использования элементов питания подсолнечником в зависимости от применения биопрепаратов // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2015. Т. 10. № 2 (36). С. 151–155. doi: 10.12737/12558.

2. Актуальность разработки экологически безопасных технологий возделывания сельскохозяйственных культур / А. М. Сабирзянов, С. В. Сочнева, Н. А. Логинов и др. // Зерновое хозяйство России. 2017. № 2 (50). С. 26–29.

3. Горянин О. И., Джангабаев Б. Ж., Щербинина Е. В. Технологии возделывания подсолнечника в засушливых условиях Поволжья // Достижения науки и техники АПК. 2022. Т. 36. № 2. С. 55–60. doi: 10.53859/02352451_2022_36_2_55.

4. Куликова А. Х., Волкова Е. С., Яшин Е. А. Цеолит и удобрения на его основе в системе удобрения озимой пшеницы // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2024. № 2 (66). С. 84–89. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-84-89.

5. Перспективы расширения посевных площадей подсолнечника в Зауралье / Н. В. Степных, Е. В. Нестерова, А. М. Заргарян и др. // Земледелие. 2021. № 6. С. 27–33. doi: 10.24412/0044-3913-2021-6-27-33.

6. Приемы повышения эффективности применения биологических препаратов в растениеводстве / Г. Н. Агиева, Л. С. Нижегородцева, Р. Ж. К. Диабанкана и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. №4 (60). С. 5–9. doi: 10.12737/2073-0462-2021-5-9.

7. Левшаков Л.В. Пироженко В.В. Эффективность возделывания подсолнечника на зональных почвах Центрального Черноземья с дефицитом серы // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37. № 2. С. 28–33. doi 10.53859/02352451_2023_37_2_28.

8. Перспективы развития регионального производства маслосемян подсолнечника / Н. Р. Александрова, А. К. Субаева, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 113–119. doi: 10.12737/article_5ccedf732f21b7.08814536.

9. Management of Sunflower Necrosis and Sunflower Leaf Curl Diseases by Using Insecticides / Poornima, V. N. Ghante, V. V. Kulakarni, Umesh M R // Journal of Experimental Agriculture International. 2024. Vol. 46. No. 7. P. 15-21. doi: 10.9734/jeai/2024/v46i72552.

10. The main dynamics of sunflower research presented at the 19th International Sunflower Conference in 2016 / E. Pilorgé, S. Dauguet, Ch. Jestin, E. Mestries // Oilseeds and Fats, Crops and Lipids. 2020. Vol. 27. P. 21. doi: 10.1051/ocl/2020011.

11. Development of genetic stocks of sunflower with resistance to sunflower chlorotic mottle virus / I. Fernández Moroni, S. Lenardon, F. Giolitti, et al. // BAG - Journal of Basic and Applied Genetics. 2024. Vol. 35. No. 1. P. 53-64. doi: 10.35407/bag.2024.35.01.04.

Сведения об авторах:

Сулейманов Салават Разяпович – кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров, e-mail: dusai@mail.ru

Низамов Рустам Мингазизович – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры общего земледелия, защиты растений и селекции, e-mail: nizamovr@mail.ru

Казанский государственных аграрный университет, Казань, Россия.

EFFECT OF ZEOL ACTIVATED ZEOLITE DOSES ON PRODUCTIVITY, QUALITY AND PHENOLOGY OF SUNFLOWER IN MIDDLE VOLGA REGION

S. R. Suleymanov, R. M. Nizamov

Abstract. Research was conducted to evaluate the effectiveness of using ZEOL activated zeolite for sunflower alongside mineral fertilizers to improve crop cultivation technology. The study was conducted from 2020 to 2022 on gray forest soils in the Republic of Tatarstan. The humus content of the soil in experimental plot was 3.0%, available phosphorus and potassium (according to Kirsanov) were 250 and 145 mg/kg, respectively. Soil pH was close to neutral (pH = 6.6). The experimental scheme involved studying the following options: zeolite at doses of 150, 350 and 500 kg/ha on the background of NPK based on planned yield of Avenzher sunflower hybrid of 2 t/ha. The background of mineral fertilizers served as a control. Use of zeolite increased field germination from 84.0% (control) by 1.8% at 500 kg/ha, sprout vigor by 0.05 g/plant (+27.8%) and decreased the angle of inclination of sunflower basket from 175° (control) to 140° (500 kg/ha), which reduces the risk of shattering and damage by birds. The diameter of baskets increased from 9.5 cm (control) to 11.9 cm at 350 kg/ha and weight of seeds per basket increased from 39.9 g to 49.4 g (+23.8%). Growing season was shortened by 4-6 days and seed moisture before harvest dropped to 6.2% (compared to 6.8% in the control). Average crop yield increased from 1.71 t/ha to 2.24 t/ha (+30.1%), demonstrating resilience: the increase was 44.4% (2.05 t/ha versus 1.42 t/ha) in the dry 2021. Seed oil content increased from 41.5% to 44.3-46.6%, with gross oil yield reaching 1,043.8 kg/ha (+47.1%). At the optimal dose of 350 kg/ha, yield increased by 0.51 t/ha (+29.8%), with a zeolite return on oilseeds of 1.46 kg/kg, oil yield of 983.5 kg/ha (+38.6%) and minimal expansion of the empty head area.

Key words: sunflower (*Helianthus annuus L.*), activated zeolite, mineral fertilizers, field germination, yield, oil content, basket structure, climate resistance.

References

1. Suleymanov SR, Nizamov RM. [Economic removal, coefficients of nutrient utilization by sunflower depending on the use of biopreparations]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2015; Vol.10. 2 (36). 151-155 p. doi: 10.12737/12558.

2. Sabirzyanov AM, Sochneva SV, Loginov NA. [Relevance of developing environmentally friendly technologies for agricultural crops cultivation]. Zernovoe khozyaystvo Rossii. 2017; 2 (50). 26-29 p.

3. Goryanin OI, Dzhangabaev BZh, Shcherbinina EV. [Sunflower cultivation technologies in arid conditions of Volga region]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2022; Vol.36. 2. 55-60 p. doi: 10.53859/02352451_2022_36_2_55.

4. Kulikova AKh, Volkova ES, Yashin EA. [Zeolite and fertilizers based on it in the winter wheat fertilization system]. Vestnik Ulyanovskoy gosudarstvennoy selskokhozyaystvennoy akademii. 2024; 2 (66). 84-89 p. doi: 10.18286/1816-4501-2024-2-84-89.

5. Stepnykh NV, Nesterova EV, Zargaryan AM. [Prospects for expanding sunflower acreage in the Trans-Urals]. Zemledelie. 2021; 6. 27-33 p. doi: 10.24412/0044-3913-2021-6-27-33.

6. Agieva GN, Nizhegorodtseva LS, Diabankana RZhK. [Methods for increasing the efficiency of using biological products in crop production]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol.15. 4 (60). 5-9 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-5-9.

7. Levshakov LV, Pirozhenko VV. [Efficiency of sunflower cultivation on zonal soils of the Central Black Earth region with sulfur deficiency]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2023; Vol.37. 2. 28-33 p. doi 10.53859/02352451_2023_37_2_28.

8. Aleksandrova NR, Subaeva AK, Valiev AR. [Prospects for development of regional production of sunflower oilseeds]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 1 (52). 113-119 p. doi: 10.12737/article_5ccedf732f21b7.08814536.

9. Poornima, Ghante VN, Kulakarni VV, Umesh MRю Management of sunflower necrosis and sunflower leaf curl diseases by using insecticides. Journal of Experimental Agriculture International. 2024; Vol.46. No.7. 15-21 p. doi: 10.9734/jeai/2024/v46i72552.

10. Pilorge E, Dauguet S, Jestin Ch, Mestries E. The main dynamics of sunflower research presented at the 19th International Sunflower Conference in 2016. Oilseeds and fats, crops and lipids. 2020; Vol.27. 21 p. doi: 10.1051/ocl/2020011.

11. Fernandez Moroni I, Lenardon S, Giolitti F. Development of genetic stocks of sunflower with resistance to sunflower chlorotic mottle virus. BAG - Journal of Basic and Applied Genetics. 2024; Vol.35. No.1. 53-64 p. doi: 10.35407/bag.2024.35.01.04.

Authors:

Suleymanov Salavat Razyapovich – Ph.D. of Agricultural Sciences, Head of Land Management and Cadastre Department, e-mail: dusai@mail.ru

Nizamov Rustam Mingazizovich – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of General Agriculture, Plant Protection and Breeding Department, e-mail: nizamovr@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-53-58
УДК 631.3.072.16

ПОВЫШЕНИЕ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ ВЫШКИ ДЛЯ НАВЕШИВАНИЯ ПОДДЕРЖЕК НА ХМЕЛЬНИКАХ

А. О. Васильев, С. Л. Лукаев, Р. В. Андреев, Ю. Ф. Казаков

Реферат. В ходе исследований рассматривались параметры бокового интервала от 300 до 620 мм с шагом 40 мм и ширина колеи трактора от 1450 до 1810 мм также с шагом 40 мм. Целью работы было повышение курсовой устойчивости мобильной вышки, применяемой для навешивания поддержек хмеля, что напрямую влияет на её эффективность и качество выполнения операций. В условиях хмельников с междурядьем 3,3 м установлено, что оптимальное соотношение параметров соответствует колее трактора 1610 ± 5 мм и боковому интервалу 420 ± 5 мм. При таких значениях устойчивость вышки возрастает в среднем на 10–12%, а вероятность отклонения от ряда более чем на 20 см при движении по неровностям снижается. Использование мобильной вышки позволяет повысить производительность работ по установке поддержек в 2–3 раза по сравнению с ручным трудом. В Чувашском ГАУ была разработана вышка ножничного типа, которая агрегатируется с тракторами мощностью от 45 кВт. Полевые испытания показали, что её недостатком является увод от заданного курса при работе на неровностях, что снижает точность навешивания. Для устранения этой проблемы применялись методы статического и динамического анализа, учитывающие силы, действующие на вышку в горизонтальной плоскости. Результаты расчетов подтвердили, что увеличение бокового интервала и ширины колеи трактора приводит к росту смещения точки прицепа, тогда как расширение междурядья снижает этот эффект. Таким образом, полученные данные позволяют оптимизировать параметры вышки и трактора, обеспечивая повышение устойчивости, маневренности и качества работы на хмельниках.

Ключевые слова: мобильная вышка, хмелеводство, навешивание поддержек.

Введение. Хмель относится к сельскохозяйственным культурам с небольшим объемом производства и является значимой отраслью сельского хозяйства, мировые площади его насаждений составляют более 51 тыс. га [1]. В России и в ряде европейских стран хмелеводство исторически остается важной сельскохозяйственной отраслью. В последние годы, в условиях экономических санкций и продуктового эмбарго, Россия столкнулась с проблемой импортозамещения, особенно в сельскохозяйственном секторе, включая производство хмеля.

В связи с этим специалисты все чаще обсуждают проблемы и перспективы развития хмелеводства в России и особенно в Чувашской Республике [2]. Эффективность производства хмеля напрямую зависит от своевременного и корректного выполнения технологических операций. Учитывая рост цен на энергоносители и материалы, внедрение более эффективных и экономически обоснованных технологий в производство хмеля становится все более важным.

Использование мобильной вышки для навешивания поддержек хмеля позволяет увеличить производительность работы на этой операции в 2-3 раза. Для частично механизированного процесса навешивания поддержек хмеля применяются вышки модели ВХ-4 и платформы ВГХ-5.2 [3]. Вышки для подвязки поддержек на шпалеры, разработанные и произведенные ранее, не соответствуют габаритам, установленным требованиями Правил дорожного движения РФ по ширине, также затрудняют передвижение через въездные ворота и мосты. Эта особенность сильно ограничивает их эксплуатацию в хозяйствах с разнесенными площадями хмельников и при транспортировке. При этом очень важно, чтобы наряду с разработкой новых машин, обеспечивающих стабильное устойчивое выполнение сельскохозяйственных операций, неукоснительно выполнялось одно из главных условий – снижение полных энергозатрат и увеличение безопасности [4].

Технологический процесс работы с вышкой выглядит следующим образом: на краю хмельника рабочие загружают пучки поддержек в направляющие кольца вышки. Рабочие извлекают концы поддержек из пучка и привязывают их к верхней продольной проволоке с интервалом 0,8 - 1 метра. При движении агрегата поддержки извлекаются из пучка и располагаются на шпалере. В Чувашском ГАУ разработана вышка для навешивания поддержек хмеля ножничного типа (рис. 1) [5].

Главный недостаток конструкции состоит в том, что она обладает низкой эффективностью выполнения технологического процесса в связи с чрезмерным отклонением от ряда насаждений хмеля при уводе вышки от заданного курса, что приводит к снижению производительности операции навешивания поддержек хмеля. Поэтому повышение устойчивости движения является актуальной задачей при модернизации существующей вышки для навешивания поддержек.

Вышка может агрегатироваться с тракторами мощностью от 45 кВт, высота подъема ее рабочей площадки достигает 3,5 метра.

Цель исследований заключается в улучшении качественных показателей работы вышки для навешивания поддержек хмеля путем повышения ее курсовой устойчивости. Внедрение данной конструкции способствует повышению производительности операции навешивания поддержек хмеля, что позволит существенно снизить затраты на выращивание хмеля.



Рис. 1 – Процесс навешивания поддержек

Условия, материалы и методы. Рассматриваемая вышка для навешивания поддержек хмеля предполагает регулируемую величину колеи: в рабочем положении – до 3,3 м (в зависимости от ширины междурядья хмельника), в транспортном положении - 2,5 м. Возможность регулируемого смещения точки прицепа потребуется для повышения продольной устойчивости движения вышки при работе.

Таким образом, при модернизации и проектировании необходимо выполнить установленные нормативные требования и стандарты при проведении расчётов устойчивости мобильных вышек для навешивания поддержек хмеля, для которых правильный учёт курсовой устойчивости имеет огромное значение [6, 7].

Микрорельеф хмельника имеет незначительное отклонение от среднего уровня, представим движение вышки для навешивания поддержек как плоскопараллельное, определяемое движением горизонтальной проекции на плоскость хмельника. Агрегат, как динамическая система, состоит из последовательно соединенных звеньев – трактора и вышки, которые связаны между собой шарнирно [8].

Данные для обоснования параметров вышки для навешивания поддержек обусловлены размерами схемы посадки хмеля (рис. 2).

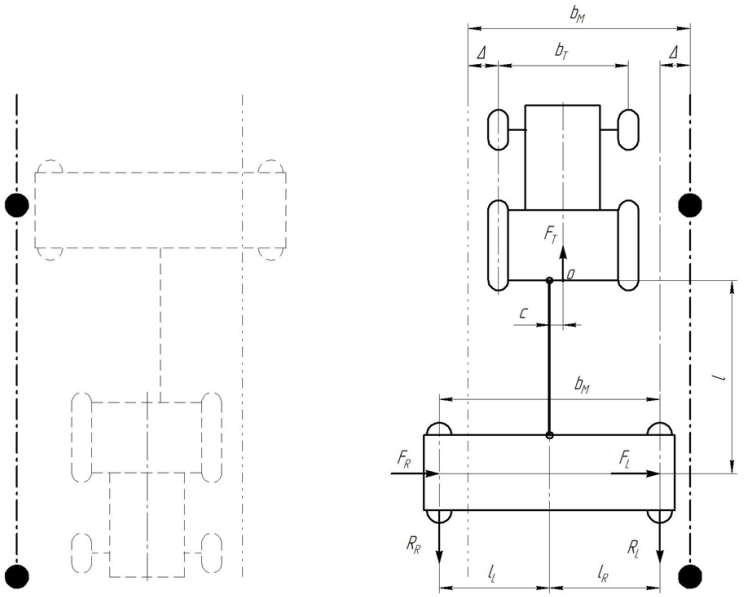


Рис. 2 – Схема расположения элементов вышки в рядах хмеля: Δ – боковой интервал; b_T – ширина колеи трактора; b_M – ширина междурядья хмельника; P_T - сила тяги трактора; R_L, R_R – силы сопротивления перекатыванию, F_{T1}, F_{T2} – силы сопротивления боковому сдвигу колес, l_L, l_R, l – плечи сил; ● - столб, — - — - — - столбовой ряд, — - - — - - — - бесстолбовой (свободный) ряд

Уравнение поступательной части движения вышки для навешивания поддержек можно записать в следующем виде:

$$m\frac{dv}{dt} = P_T - (R_L + R_R) \quad , (1)$$

где m – масса машины, кг;

dv/dt - производная модуля скорости поступательного движения агрегата по времени, м/с^2;

P_T - сила тяги трактора, Н;

R_L, R_R – силы сопротивления перекатыванию левого и правого опорных колес, приложенные к раме вышки для навешивания поддержек соответственно (здесь и далее индексы L и R относятся к левому и правому опорным колесам вышки соответственно), Н [9].

Для установления сущности нарушений устойчивости движения вышки для навешивания поддержек определим сумму моментов всех сил относительно точки прицепа (рис. 2), т.е.

$$\sum MC(F_k)=R_L \bullet l_L - R_R \bullet l_R + (F_{T1} + F_{T2}) \bullet l, \quad (2)$$

где l_L, l_R, l – плечи сил R_L, R_R, $F_{T1}+F_{T2}$ соответственно, м.;

F_{T1}, F_{T2} – силы сопротивления почвы боковому сдвигу колес, Н.

Для равномерного поступательного движения вышки для навешивания поддержек необходимо соблюдение условия:

$$\sum M_C(F_k)=0 \qquad (3)$$

При условии симметричности вышки и расположения прицепного дышла по центру рамы в горизонтальной плоскости, т.е. равенстве сил сопротивления перекатыванию колес и их плеч, действие сил сопротивления боковому сдвигу колес стремится к нулю при установившемся движении [10, 11].

Очевидно, что момент, создаваемый разницей плеч сил сопротивления качению правого и левого колес компенсируется силами сопротивления почвы боковому уводу, при этом курсовая устойчивость теряется и вышка перестает следовать заданному курсу. При конструировании вышки необходимо учитывать, что плечи l_L и l_R можно уравнять путем смещения точки прицепа на величину c. При движении агрегата устойчиво вдоль оси ряда хмеля, значение $F_{T1}+F_{T2}$ будет ничтожным, поскольку бокового увода колес в этом случае не произойдет.

Для соблюдения этого условия, учитывая параметры хмельника, потребуется смещение точки прицепа на величину c (рис. 2).

В этом случае выражение (2) примет вид:

$$\sum MC(F_k)=R_L \bullet l_L - R_R \bullet l_R + (F_{T1} + F_{T2})l + P_T c, \quad (4)$$

где P_T – сила тяги на серьге трактора, Н;

c – величина смещения точки прицепа, мм.

Смещение точки прицепа на величину c позволит приблизить друг к другу значения сил сопротивления перекатыванию R_L и R_R, при отсутствии сил бокового сдвига. Рассчитав некоторую величину смещения точки прицепа c можно добиться повышения курсовой устойчивости движения вышки для навешивания поддержек вдоль ряда хмельника.

На современных хмельниках используется схема посадки с междурядьем 3.3 м [2]. При движении агрегата по междурядью во время операции навешивания поддержек во избежание повреждения насаждений хмеля необходимо выдерживать боковой интервал Δ (рис. 2). Для этого трактор снабжен маркером, который двигается над рядком хмеля.

Геометрически величина смещения точки прицепа на хмельниках с указанным междурядьем определяется как

$$c = 0{,}5\ (b_T - b_M) + 2\Delta, \qquad (5)$$

где b_T – ширина колеи трактора, м;

b_M – ширина междурядья хмельника, м;

Δ – боковой интервал, м.

Выражение (5) позволяет подобрать значения величины точки прицепа c в зависимости от ширины колеи трактора и выбранного бокового интервала при выполнении операции навешивания поддержек на хмельниках. Таким образом обеспечивается поперечная устойчивость вышки для комфортной и безопасной работы персонала, отсутствует наезд опорных колес трактора и вышки на рядки хмеля.

Технологическая колея вышки для навешивания поддержек соответствует ширине междурядья b_M.

На тракторах МТЗ–82 расстояние между соседними технологическими отверстиями прицепной скобы составляет 80 мм. Исходя из этих соображений предусматриваем величину смещения точки прицепа c. Практика показала, что увеличение ее более чем на 200 мм негативно сказывается на курсовой устойчивости трактора [10].

Полученные выражения справедливы для любых значений ширины междурядья хмельников. Как показали результаты наших экспериментов, путем установления оптимальных соотношений бокового интервала и колеи трактора можно добиться значений смещения точки прицепа, кратных 80 мм и, как следствие, равномерное движение агрегата.

Результаты и обсуждение. Для наиболее часто используемых значений ширины междурядья хмельников 3,3 м была построена поверхность по формуле (5), описывающая влияние установленной колеи трактора bT и бокового интервала Δ на величину смещения точки прицепа c, которая должна быть кратна 80 мм - расстоянию между соседними технологическими отверстиями прицепной скобы (рис. 3).

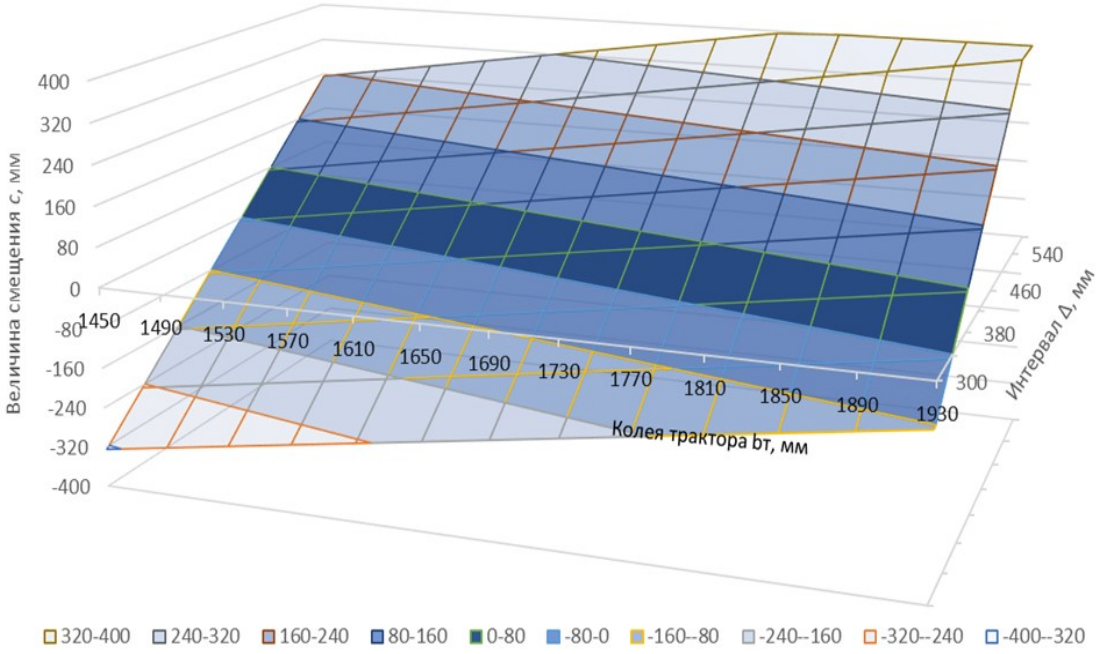


Рис. 3 – Влияние колеи трактора и бокового интервала на величину смещения точки прицепа

Колея трактора регулируется согласно его инструкции по эксплуатации. Был рассмотрен максимально возможный ее диапазон.

Экспериментально было установлено, что при значениях Δ меньше 300 мм происходит наезд колеса на рядок насаждений хмеля, что недопустимо, максимум бокового интервала не ограничен. Оптимальным для маневрирования значением является Δ = 500 мм.

Наименьшая величина колеи трактора (bT = 1450 мм) соответствовала нулевому смещению точки прицепа при значениях бокового интервала Δ, близких к 460 мм, наибольшая (bT = 1930 мм) – при 340 мм.

В рассматриваемом диапазоне колеи трактора практический интерес представляют те значения, при которых обеспечивается смещение точки прицепа, кратное 80 мм. Таковыми являются значения 1450, 1610, 1770 и 1930 мм (рис. 4).

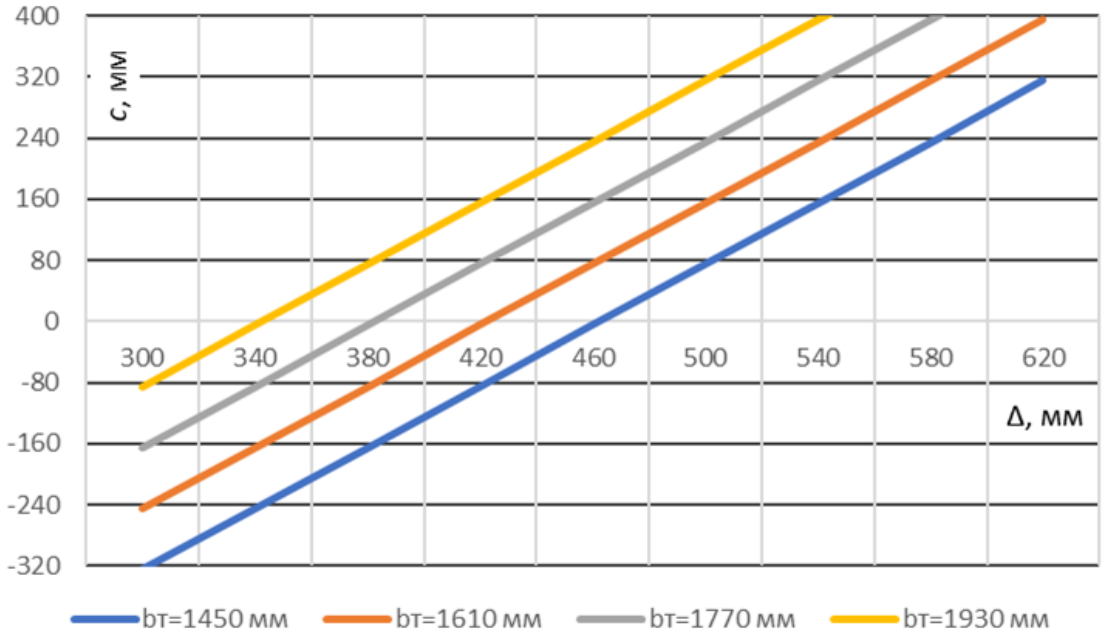


Рис. 4 – Двухмерное сечение поверхности для выбранных значений колеи: b_T – колея

Оптимальному значению Δ = 500 мм соответствует значение колеи трактора 1450 мм, требующее смещения точки прицепа на 80 мм. Однако минимальное значение колеи трактора с прицепной вышкой для навешивания поддержек при использовани на хмельниках со сложным микрорельефом, имеющим существенные неровности, сказывается отрицательно на курсовой устойчивости агрегата. Тогда колея трактора bT = 1610 мм обеспечит устойчивочть при величине смещеня точки прицепа 160 мм. На хмельниках с умеренными неровностями допустимо выполнять операцию навешивания поддержек при значении бокового интервала Δ = 460 мм [2]. В этом случае колея bT = 1610 мм обеспечит смещение точки прицепа с = 80 мм, а bT = 1770 мм - с = 160 мм.

Эти значения следует учесть также при определении начальных параметров параллелограммного механизма подъема, высоты поручней и ширины корзины для персонала.

Полученные результаты позволяют рекомендовать использование смещения точки прицепа, кратного 80 мм, для обеспечения равномерного движения вышки для навешивания поддержек и повышения курсовой устойчивости агрегата. Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния других параметров, таких как скорость движения агрегата и тип почвы, на курсовую устойчивость.

Выводы. Смещение точки прицепа оказывает компенсирующее влияние на курсовую устойчивость движения прицепной вышки для навешивания поддержек хмеля. При оптимальном значении бокового интервала Δ = 500 мм смещение точки прицепа с = 80 мм возможно с колеей трактора bT = 1450 мм. На практике микрорельеф поля влияет на курсовую устойчивость трактора, поэтому рекомендуется использовать увеличенные значения колеи. Теоретические расчеты показали наибольшую целесообразность использования колеи bT = 1610 мм с боковым интервалом Δ = 460 или 500 мм, что соответствует смещению точки прицепа с = 80 или 160 мм соответственно. На практике погрешности установки колеи, а также соблюдения бокового интервала составляют не более ± 5 мм. Таким образом оптимальным соотношением для устойчивого движения является сочетание колеи трактора 1610 ± 5 мм и бокового интервала 420 ± 5 мм.

Литература

1. Машинные технологии для возделывания хмеля / Ю. П. Дмитриев, В. И. Медведев, А. П. Акимов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2(49). С. 86-92. doi:10.12737/article_5b3506e7938e47.51294573.

2. К вопросу оптимизации системы шпалерного сооружения на хмельнике / Ю. П. Дмитриев, С. Ю. Дмитриев, В. А. Андреев и др. // Вестник Чувашского государственного аграрного университета. 2023. № 3 (26). С. 146-153. doi: 10.48612/vch/e3m9-6449-9bfa.

3. Development and research of the tower for hanging supports on hop-gardens / P. A. Smirnov, A. O. Vasiliev, R. V. Andreev et al. // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering : International Scientific Conference Interstroymeh - 2019, ISM 2019, Kazan, 12–13 сентября 2019 года. 2020. Vol. 786. – P. 012061. doi:10.1088/1757-899X/786/1/012061.

4. A novel concept of convertible roofs with high transformability consisting of planar scissor-hinge structures / Y. Akgün, C. J. Gantes, K. E. Kalochairetis, G. Kiper // Engineering Structures. 2010. Vol. 32. No. 9. P. 2873-2883. doi: 10.1016/j.engstruct.2010.05.006.

5. Метод выявления потери устойчивости движения тракторов при реализации тягового усилия на прицеп или сцепной агрегат / М. М. Жилейкин, П. В. Сиротин, С. С. Носиков, Н. Н. Пуляев // Тракторы и сельхозмашины. 2023. № 1. С. 39-48.

6. Результаты моделирования устойчивости движения сельскохозяйственного агрегата к внешним воздействиям / Н. В. Сергеев, С. Е. Сенькевич, М. Е. Чаплыгин, Р. А. Попов // Таврический вестник аграрной науки. 2025. № 2(42). С. 246-261. doi: 10.5281/zenodo.16564005.

7. Влияние жесткости навесной системы на устойчивость криволинейного движения машинно-тракторного агрегата / А. Н. Беляев, Д. Н. Афоничев, Т. В. Тришина и др. // Наука в центральной России. 2023. № 2(62). С. 115-126. doi: 10.35887/2305-2538-2023-2-115-126.

8. Кирсанов М. Н. Аналитический расчет параллелограммного механизма с произвольным числом секций // Вестник машиностроения. 2018. № 1. С. 37-39.

9. Studies on Correction of the Trajectory of a Tractor Train / A. Kushnarev, A. Shuravin, E. Kuznetsov [et al.] // Fundamental and Applied Scientific Research in the Development of Agriculture in the Far East : Agricultural Innovation Systems, Volume 1, Volozhenin, 21–22 июня 2021 года. Vol. 353. Ussuriysk: Springer, 2022. P. 28-35. – doi: 10.1007/978-3-030-91402-8_4.

10. Оценка соответствия колеи трактора с междурядьем посевов / А. А. Ахметов, Б. А. Камбаров, Д. У. Камбарова, Ж. А. Султанов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2023. Т. 17. № 3. С. 48-53. doi: 10.22314/2073759920231734853.

11. Sliding-crawling parallelogram mechanism / Y. Tian, Y. A. Yao, X. Wei, A. Joneja // Mechanism and Machine Theory. 2014. Vol. 78. P. 201-228. doi:10.1016/j.mechmachtheory.2014.03.013.

Сведения об авторах:

Васильев Александр Олегович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, e-mail: 3777222@bk.ru

Лукаев Сергей Львович – аспирант кафедры транспортно – технологических машин и комплексов, e-mail: boss.lukaev@mail.ru

Андреев Роман Викторович – кандидат технических наук, доцент кафедры технического сервиса, e-mail: rv_andreev@mail.ru

Казаков Юрий Федорович – доктор технических наук, профессор кафедры транспортно-технологических машин и комплексов, e-mail: ura.kazakov@mail.ru
Чувашский государственный аграрный университет, Чебоксары, Россия.

INCREASING THE COURSE STABILITY OF A MOBILE TOWER FOR SUPPORT INSTALLATION IN HOP FIELD

A. O. Vasilev, S. L. Lukaev, R. V. Andreev, Yu. F. Kazakov

Abstract. The study examined lateral spacing parameters from 300 to 620 mm with a step of 40 mm and tractor track widths from 1.450 to 1.810 mm, also with a step of 40 mm. The aim of the study was to improve the course stability of a mobile tower used for hanging hop supports, which directly impacts its efficiency and quality of operations. The optimal parameter ratio was found to be a tractor track width of 1.610 ± 5 mm and a lateral spacing of 420 ± 5 mm in hop field conditions with a row spacing of 3.3 m. With these values, the tower's stability increases by an average of 10-12%, and the probability of deviation from the row by more than 20 cm when driving over uneven surfaces decreases. Using a mobile tower increases the productivity of support installation work by 2-3 times compared to manual labor. A scissor-type tower was developed at Chuvash State Agricultural University, which can be coupled with tractors with a power of 45 kW or more. Field tests revealed that its disadvantage is deviation from the intended course when working on uneven surfaces, which reduces the accuracy of attachment. The static and dynamic analysis methods were used to eliminate this problem, taking into account the forces acting on the tower in the horizontal plane. The calculation results confirmed that increasing the lateral spacing and the width of the tractor's track leads to an increase in the offset of the trailer point, while widening the row spacing reduces this effect. Thus, the obtained data allows us to optimize the tower and tractor parameters, ensuring increased stability, maneuverability, and quality of work in the hop fields.

Key words: mobile tower, hop growing, support installation.

References

1. Dmitriev YuP, Medvedev VI, Akimov AP. [Machine technologies for hop cultivation]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 2(49). 86-92 p. DOI: 10.12737/article_5b3506e7938e47.51294573.

2. Dmitriev YuP, Dmitriev SYu, Andreev VA. [On the issue of optimization of the trellis structure system in a hop field]. Vestnik Chuvashskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; 3(26). 146-153 p. DOI: 10.48612/vch/e3m9-6449-9bfa.

3. Smirnov PA, Vasilev AO, Andreev RV. Development and research of the tower for hanging supports on hop-gardens. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Scientific Conference Interstroymeh – 2019. ISM 2019. Kazan, Russia, September 12-13, 2019. 2020. Vol.786. 012061 p. DOI: 10.1088/1757-899X/786/1/012061.

4. Akgun Y, Gantes CJ, Kalochairetis KE, Kiper G. A novel concept of convertible roofs with high transformability consisting of planar scissor-hinge structures. Engineering Structures. 2010; Vol.32. 9. 2873-2883 p. DOI: 10.1016/j.engstruct.2010.05.006.

5. Zhileykin MM, Sirotin PV, Nosikov SS, Pulyaev NN. [Method for detecting loss of stability of movement of tractors when implementing traction force on a trailer or coupling unit]. Traktory i selkhozmashiny. 2023; 1. 39-48 p. DOI: 10.17816/0321-4443-321266.

6. Sergeev NV, Senkevich SE, Chaplygin ME, Popov RA. [Results of modeling the stability of movement of an agricultural unit to external influences]. Tavricheskiy vestnik nauki. 2025; 2(42). 246-261 p. DOI: 10.5281/zenodo.16564005.

7. Belyaev AN, Afonichev DN, Trishina TV. [Influence of the rigidity of the mounted system on the stability of curvilinear motion of a machine-tractor unit]. Nauka v tsentralnoy Rossii. 2023; 2(62). 115-126 p. DOI: 10.35887/2305-2538-2023-2-115-126.

8. Kirsanov MN. [Analytical calculation of a parallelogram mechanism with an arbitrary number of sections]. Vestnik mashinostroeniya. 2018; 1. 37-39 p.

9. Kushnarev A, Shuravin A, Kuznetsov E. Studies on correction of the trajectory of a tractor train. Fundamental and applied scientific research in the development of agriculture in the Far East: Agricultural Innovation Systems, Volume 1, Volozhenin, June 21-22, 2021; Vol.353. Ussuriysk: Springer. 2022; 28-35 p. – doi: 10.1007/978-3-030-91402-8_4.

10. Akhmetov AA, Kambarov BA, Kambarova DU, Sultanov ZhA. [Evaluation of conformity of tractor track with row spacing of crops]. Selskokhozyaystvennye mashiny i tekhnologii. 2023; Vol.17. 3. 48-53 p. DOI: 10.22314/2073759920231734853.

11. Tian Y, Yao YA, Wei X, Joneja A. Sliding-crawling parallelogram mechanism. Mechanism and Machine Theory. 2014; Vol.78. 201-228 p. DOI: 10.1016/j.mechmachtheory.2014.03.013.

Authors:
Vasilev Aleksandr Olegovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Services Department, e-mail: 3777222@bk.ru
Lukaev Sergey Lvovich – post-graduate student of Department of Transport and Technological Machines and Complexes, e-mail: boss.lukaev@mail.ru
Andreev Roman Viktorovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Technical Services Department, e-mail: rv_andreev@mail.ru
Kazakov Yuriy Fedorovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Department of Transport and Technological Machines and Complexes, e-mail: ura.kazakov@mail.ru
Chuvash State Agrarian University, Cheboksary, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-59-67
УДК 004.94

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОФИЛЯ ЛОПАСТЕЙ МИКРОТУРБИНЫ

И. Х. Гайфуллин, Д. Т. Халиуллин, Б. Гастон

Реферат. В работе проведена вычислительная оценка гидродинамического поведения гидравлической микротурбины типа Каплана. Исследование проводится на трехмерной геометрии, выполненной в программе SolidWorks. Целью работы является сравнительный анализ аэродинамических характеристик роторов с крыловидным профилем и плоским профилем в контексте их влияния на эффективность работы микротурбины при различных режимах вращения. Оцениваются два типа несущих винтов: ротор с плоским профилем лопастей и ротор с лопастями крыловидного типа. Для решения уравнений потока жидкости используется осредненный по Рейнольдсу метод Навье-Стокса со стандартной k-ε моделью турбулентности. Алгоритм является стационарным и реализуется с помощью программного обеспечения ANSYS Fluent. Вращение ротора моделируется методом движущихся систем отсчета (MRF). Количественные результаты исследования демонстрируют, что при максимальном расходе 0,15 м³/с и скорости вращения 1750 мин⁻¹ ротор с крыловидным профилем развивает мощность 4,4 кВт и достигает КПД 75%, в то время как плоский профиль в тех же условиях показывает лишь 3,12 кВт при КПД 53,1%. Результаты показали, что ротор с крыловидным профилем демонстрирует наилучшие характеристики по сравнению с плоским профилем во всех режимах работы. При минимальном расходе ожидается, что скорость вращения турбины будет ниже 1500 мин$^{-1}$ и близка к 1000 мин$^{-1}$. При максимальном расходе, вероятно, скорость вращения плоского профиля будет близка к 1750 мин$^{-1}$, а для крыловидного профиля может быть даже выше. Анализ рассеяния энергии показал, что плоский профиль имеет более высокие значения турбулентной кинетической энергии (ТКЭ) и турбулентной вихревой диссипации (ТВД), что указывает на большее рассеивание энергии по сравнению с крыловидным профилем. Полученные результаты позволяют сделать вывод о целесообразности использования крыловидного профиля лопастей в гидравлических микротурбинах для повышения их эффективности и надежности.

Ключевые слова: энергообеспеченность, микротурбина, моделирование, ротор, программное обеспечение, крыловидный профиль, плоский профиль.

Введение. Одной из главных задач, стоящих перед современным сельским хозяйством, является внедрение комплексной механизации, которая предполагает использование высокомощных машин с применением гидравлических систем и автоматизации [1, 2]. Это в полной мере относится к таким сложным машинам, как современные зерно- и кормоуборочные комбайны, самоходные опрыскиватели и косилки, гидравлические системы которых обеспечивают работу многочисленных активных рабочих органов (мотовила, шнеки, измельчители, соломоразбрасыватели) и требуют значительных затрат мощности. Гидравлика в сельскохозяйственных машинах обеспечивает эффективное функционирование навесного оборудования тракторов, а также активных рабочих органов почвообрабатывающих и уборочных машин. В последние годы наблюдается тенденция к переходу на более высокие давления в гидросистемах, что позволяет значительно уменьшить их массу и габариты, а также повысить общую производительность [3, 4]. Современные гидравлические устройства, такие как гидромоторы и микротурбины, рассчитаны на рабочее давление в диапазоне 16-20 МПа [5]. Однако с увеличением давления возникает проблема повышения температуры рабочей жидкости, что требует разработки новых видов жидкостей и совершенствования уплотнений, а также внесения изменений в конструктивные элементы гидроагрегатов [6, 7].

Кроме того, микротурбины находят конкретное применение в инфраструктуре сельскохозяйственных предприятий, а именно в биогазовых установках. Эти установки являются неотъемлемым элементом устойчивого и замкнутого цикла производства, перерабатывая органические отходы (навоз, помет, силос) в метан и органические удобрения. Основным технологическим процессом в биогазовой установке является постоянная циркуляция и перемешивание субстрата в реакторах для предотвращения осаждения твердых частиц и обеспечения равномерного брожения. Данный процесс осуществляется мощными насосами, работающими в непрерывном режиме, что делает его крайне энергоемким. Установка микротурбины Каплана на линии рециркуляции органических отходов позволяет рекуперировать часть энергии потока, направляя ее на помощь в приводе циркуляционного насоса или генерации электроэнергии для собственных нужд установки, существенно повышая ее общую энергетическую и экономическую эффективность [7, 8].

В этом контексте расчетное моделирование течения в гидравлических микротурбинах, таких как турбины типа Каплана, становится особенно актуальным. Эти устройства преобразуют гидравлическую энергию потока

жидкости, создаваемую насосами, в механическую работу, что может значительно повысить эффективность работы сельскохозяйственных машин. Оптимизация геометрии и характеристик таких микротурбин способствует улучшению производительности гидравлических систем, что, в свою очередь, обеспечит более высокую надежность и эффективность современных сельскохозяйственных технологий. Внедрение современных гидравлических решений в сельское хозяйство является важным шагом к повышению его производительности и устойчивости [8, 9].

В современных программных решениях для моделирования течений применяется широкий спектр моделей турбулентности. Гидравлическое моделирование в основном сосредоточено на вычислении потерь напора, связанных с гидравлическим сопротивлением, которое зависит от таких параметров, как формы трубы, диаметра, абсолютной шероховатости и длины [10].

Целью работы является сравнительный анализ аэродинамических характеристик роторов с крыловидным профилем и плоским профилем в контексте их влияния на эффективность работы микротурбины при различных режимах вращения.

Основное внимание уделяется выявлению оптимальных условий для достижения максимального циркуляционного потока и скорости вращения, а также оценке производительности микротурбины при минимальных и максимальных значениях этих параметров.

Условия, материалы и методы. Оценивается гидродинамическое поведение модели гидравлической микротурбины типа Каплана [11], в дальнейшем называемой Т40. Оцениваемые модели имеют следующие компоненты (рис. 1):

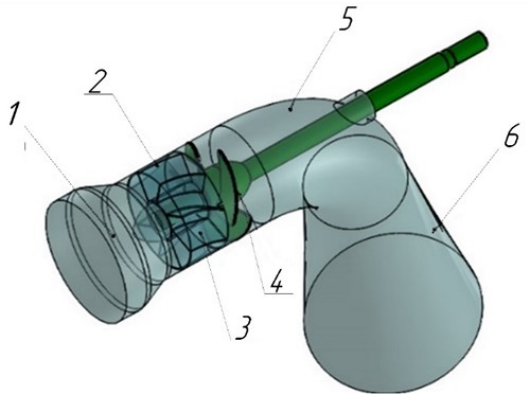
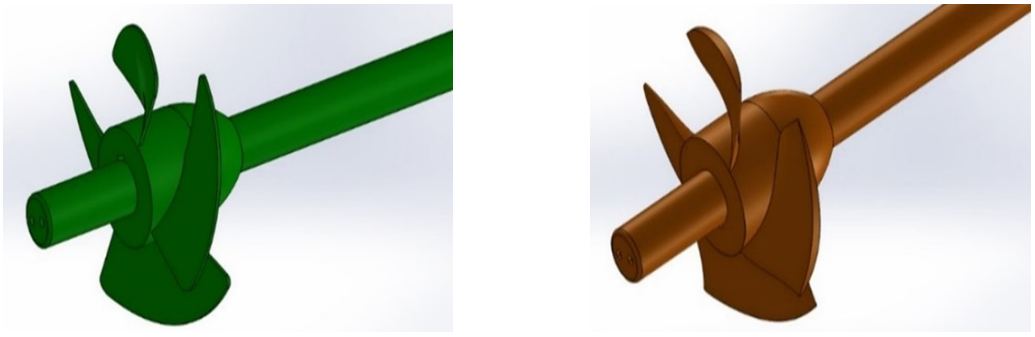


Рис. 1 – Компоненты оцениваемой турбины: 1 – приемный патрубок; 2 – распределитель потока; 3 – лопасти распределителя потока; 4 – ротор в сборе; 5 – разгрузочное колено; 6 – выпускное сопло

Были оценены два типа роторов: ротор с плоским профилем лопастей (далее именуемый «плоский Т40», на рисунке 2 а) и ротор с крыловидным профилем лопастей (названный «крыло Т40», на рисунке 2 б). В обоих случаях компоненты набора 1, 2, 3, 5 и 6 на рисунке 1 остались идентичными.



а) б)

Рис. 2 – Типы роторов: а) ротор в сборе с плоским профилем лопастей; б) ротор в сборе с крыловидным профилем лопастей

Для корректной работы модели турбулентности было обеспечено значение безразмерного расстояния до стенки y+ в диапазоне 30 < y+ < 300 на всех поверхностях лопастей и стенках, что соответствует рекомендациям для стандартного подхода с использованием пристеночных функций.

Условия работы, оцененные в ходе численного моделирования, описаны в таблице 1. На входе задавалось условие массового расхода, соответствующее значениям из таблицы 1. На выходе устанавливалось условие постоянного статического давления с нулевым избыточным давлением. Это давление используется для проведения теоретического расчета гидравлической мощности, доступной в потоке жидкости, но не используется для численного моделирования. Расход воды задается на входе и нулевым манометрическим давлением на крайней поверхности выпускного сопло (рис. 3).

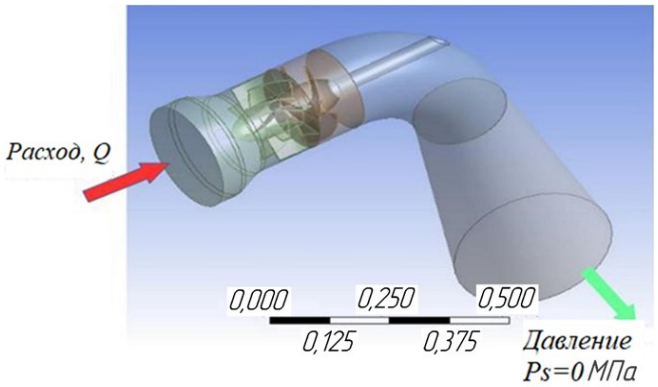


Рис. 3 – Граничные условия расхода жидкости

Для остальных стен было принято условие прилипания. Что касается скорости вращения ротора турбины, то в первом случае принимается n=1500 мин$^{-1}$ (оборотов в минуту), предполагается направление вращения по часовой стрелке. Затем оценивается поведение роторов (плоского и с крыловидного профиля) при двух других скоростях. То есть поведение обоих роторов оценивается для минимальной скорости n=1000 мин$^{-1}$, когда расход минимальный (Qmin=0,10 м3/с), и максимальной скорости n=1750 мин$^{-1}$, когда расход максимальный (Qmax=0,15 м3/с).

Таблица 1 – Условия испытаний турбины

Анализируемая модель	Рабочее состояние	Расход, м³/с	Давление на входе, МПа
Т40 – Плоский профиль	Расчетный расход	0,12	4
	Минимальный расход	0,10	
	Промежуточный расход 1	0,11	
	Промежуточный расход 2	0,14	
	Максимальный расход	0,15	
Т40 – Крыловидный профиль	Расчетный расход	0,12	
	Минимальный расход	0,10	
	Промежуточный расход 1	0,11	
	Промежуточный расход 2	0,14	
	Максимальный расход	0,15	

Исследование проводится по трехмерной геометрии, выполненной в SolidWorks. Используемым типом дискретизации является метод конечных объемов, реализуемый программным обеспечением ANSYS Fluent, с помощью которого выполняются расчеты. Вышеупомянутая дискретизация применяется к вычислительной области. Всего в предметной области 1 882 514 элементов, в каждой ячейке сосредоточено 373 638 узлов.



а) б)

Рис. 4 – Создание сетки континуума в: а) модель с плоским профилем; б) модель с крыловидным профилем

Для решения уравнений Навье-Стокса используется стандартный метод Рейнольдса осредненных уравнений Навье-Стокса с моделью k-ε турбулентности [12, 13]. Алгоритм является стационарным и решается с помощью программного обеспечения конечного объема ANSYS Fluent. Используется решатель на основе давления со связью между скоростью и давлением. За непрерывную фазу приняты следующие свойства: плотность ρ=1000 кг/м^3 и динамическая вязкость μ=1,102×10^3 Нс/м^2.

Вращение ротора моделируется методом движущейся системы отсчета (MRF) [14, 15]. Суть метода заключается в придании потоку, поступающему в область ротора, угловой скорости, совпадающей со скоростью ротора, без его смещения. Последнее радикально снижает вычислительные требования, которые повлечет за собой моделирование со смещением ротора. Во всех исходных случаях принята скорость вращения ротора 1500 мин$^{-1}$. Затем предлагаются альтернативные скорости вращения в соответствии с возможной реакцией системы жидкость-ротор на изменения потока. То есть испытания проводятся при минимальной и максимальной скорости потока и скорости вращения.

Расчеты считались сошедшимися при выполнении двух критериев: снижения условных невязок всех уравнений ниже уровня 0,00001 и стабилизации основных контролируемых величин (мощности на валу и крутящего момента) с колебаниями не более 0,1% в течение более чем 100 последних итераций.

Результаты и обсуждение. В каждом анализируемом случае рассчитывается теоретическая мощность потока жидкости, которая сравнивается с результатами моделирования. Теоретическая мощность рассчитывается следующим образом:

$$N_t = \gamma Q H, \qquad (1)$$

где γ = 9800 Н/м^3 – удельный вес жидкости (воды), Q – расход (м^3/с), H – гидравлическая нагрузка на вал турбины (м).

Теоретическая мощность и мощность моделирования, а также их характеристики, полученные в каждом случае, подробно описаны в таблице 2 и на рисунке 5.

Для оценки достоверности численных результатов был проведен анализ сеточной сходимости на трех последовательно сгущающихся сетках. Относительная погрешность определения мощности для выбранной сетки составила 2,3%, что подтверждает приемлемую точность количественных результатов.

Таблица 2 – Сравнительная таблица между теоретической мощностью и результатами моделирования

Анализируемая модель	Расход	Теоретическая мощность, кВт	Смоделированная мощность, кВт	Производительность, %	Относительная производительность, %
Т40 – Плоский профиль при 1500 мин$^{-1}$	Расчетный	4,70	1,23	26,1	100
	Минимальный	3,92	-0,26	-6,5	100
	Промежуточный 1	4,31	0,46	10,6	100
	Промежуточный 2	5,29	3,09	58,5	100
	Максимальный	5,88	4,46	75,9	100
Т40 – Крыловидный профиль при 1500 мин$^{-1}$	Расчетный	4,70	1,74	37,0	141,8
	Минимальный	3,92	-0,21	-5,4	82,8
	Промежуточный 1	4,31	0,75	17,4	164,2
	Промежуточный 2	5,29	4,31	81,5	139,5
	Максимальный	5,88	5,67	96,4	127,1

Полученные значения КПД для крыловидного профиля при расчетном режиме (37,0%), что соответствуют данным литературы [11]: 35-42% для микротурбин Каплана. Наблюдаемые отличия могут быть объяснены особенностями геометрии проточной части и условиями моделирования.

Для минимального расхода в обоих профилях полученные мощности близки к нулю и отрицательны, тогда как для максимального расхода мощности максимальны и имеют КПД от 75,9% до 96,4% (для плоского и крыловидного профиля соответственно). Это связано с тем, что как для минимального, так и для максимального расхода скорость вращения турбины была установлена на уровне 1500 мин$^{-1}$. Наилучшие характеристики достигаются при расходе выше расчетного, как в случае ротора с плоским профилем, так и в случае ротора с крыловидным профилем.

При сравнении мощностей, полученных в результате численного моделирования в обеих моделях лопастей, наблюдается, что наивысшая производительность ротора крыловидного типа по сравнению с ротором с плоскими лопастями достигается, когда расход представляет собой так называемый «Промежуточный расход 1» (0,11 м3/с), при этом полученная мощность на 64,2% выше, чем полученная в плоском (0,11 м3/с), при этом полученная мощность на 64,2% выше, чем полученная в плоском профиле для тех же условий расхода (рис. 5).

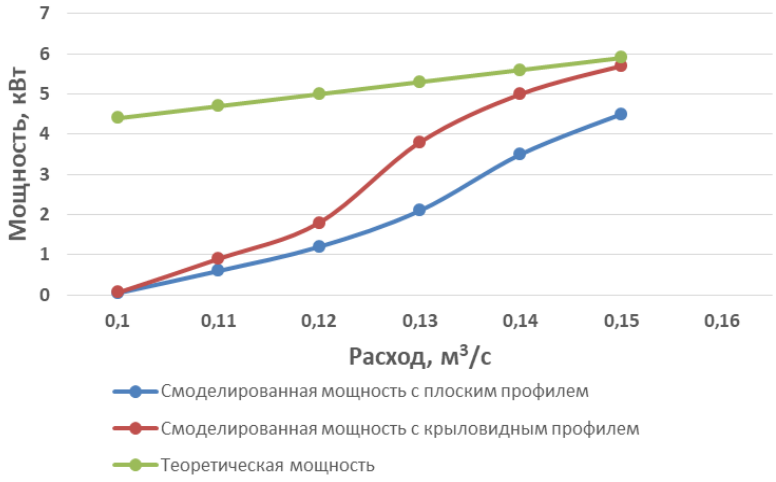


Рис. 5 – Кривые зависимости мощности и расхода

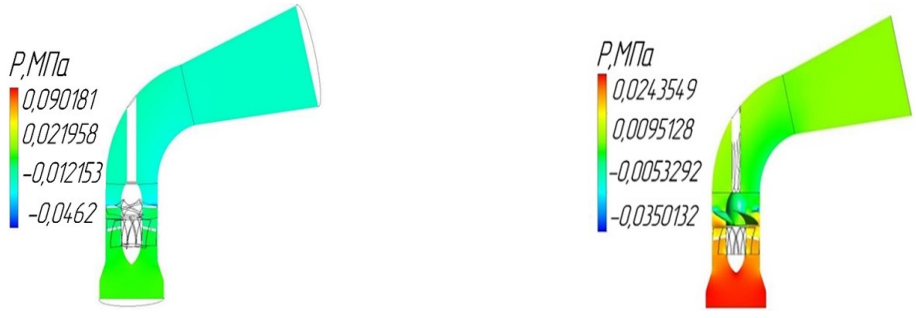
Для случаев минимального и максимального расхода численное моделирование проводится с другими скоростями вращения ротора. Для случая минимального расхода скорость снижается с 1500 мин$^{-1}$ до 1000 мин$^{-1}$. Что касается максимального расхода, новая принятая скорость вращения составляет 1750 мин$^{-1}$. Результаты моделирования приведены в таблице 3, где в каждом случае мощности, полученные при моделировании, сравниваются с теоретическими.

Таблица 3 – Сравнительные результаты теоретической и смоделированной мощности для минимального и максимального расхода

Расход, м³/с	мин$^{-1}$	Теоретическая мощность, кВт	Плоский профиль		Крыловидный профиль	
			Мощность, кВт	Производительность, %	Мощность, кВт	Производительность, %
0,10	1000	3,9	1,9	48,5	1,73	44,1
0,15	1750	5,9	3,12	53,1	4,4	75

Корректировка скорости вращения позволила улучшить энергетические показатели, что подтверждает важность адаптивного управления режимами работы микротурбины для достижения максимальной эффективности.

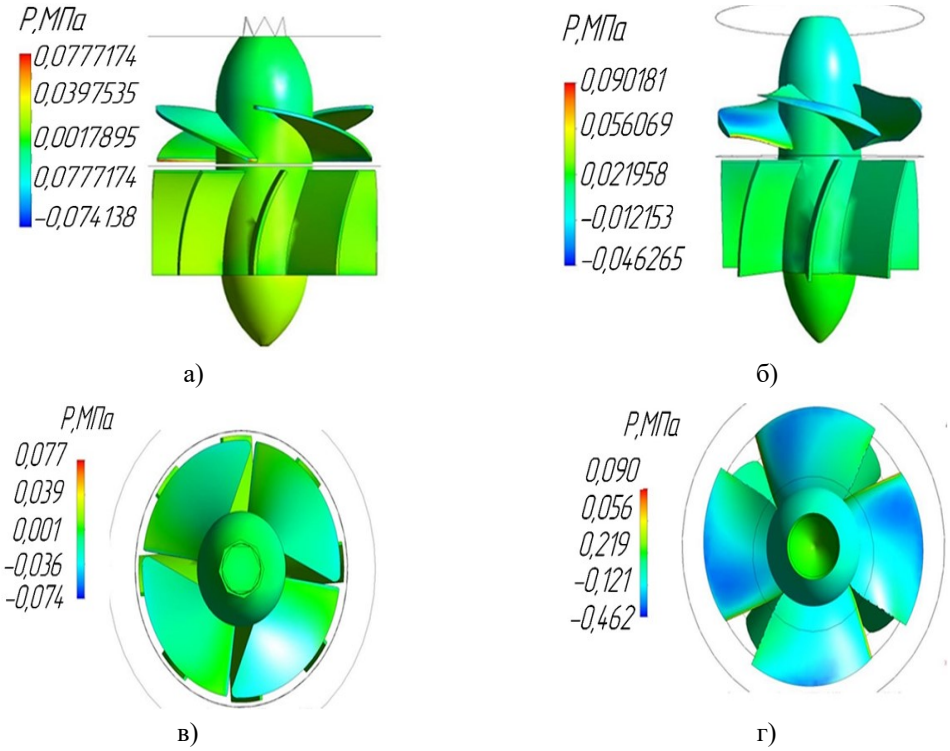
Отметим, что при минимальном расходе в обоих роторах достигается КПД, близкий к 50%, при заданной скорости вращения 1000 мин$^{-1}$. Это более реалистично по сравнению с результатами, полученными для скорости вращения 1500 мин$^{-1}$, где полученные мощности и характеристики отрицательны. Ожидается, что в случае, когда расход близок к минимальному, скорость вращения турбины, будет ниже первоначально предложенной (1500 мин$^{-1}$) и близкой к последнему предложению (1000 мин$^{-1}$). Точно так же, когда реализована более высокая скорость вращения, чем исходная, для максимального расхода. В этом случае имеется важная разница между мощностью, полученной для плоского профиля относительно крыловидного. Отметим, что первый развивает мощность 3,12 кВт при примерном КПД 53%, тогда как в случае с крыловидным профилем лопастей мощность значительно выше (4,4 кВт) при КПД 75%. Вероятно, что скорость вращения, достигаемая плоским профилем при максимальной скорости расхода, близка к предлагаемой для этого случая (1750 мин$^{-1}$), а в случае с крыловидным профилем достигаемая скорость вращения может быть даже выше, чем это значение.



а) б)

Рис. 6 – Давления (P) в плоскости ZY при 1500 мин$^{-1}$: а) плоского профиля, б) крыловидного профиля

На рисунке 6 показано поле давления в вертикальной плоскости (совпадающей с плоскостью ZY), проходящей через середину геометрии. Что касается минимальных давлений, связанных с возможными зонами кавитации, на рисунке 7 показаны виды спереди (а, б), сверху (в, г), роторов с лопастями плоского и крыловидного профиля соответственно. Анализ полей давления выявил зоны с давлением ниже давления насыщенного пара, что указывает на потенциальный риск кавитации, особенно для крыловидного профиля.



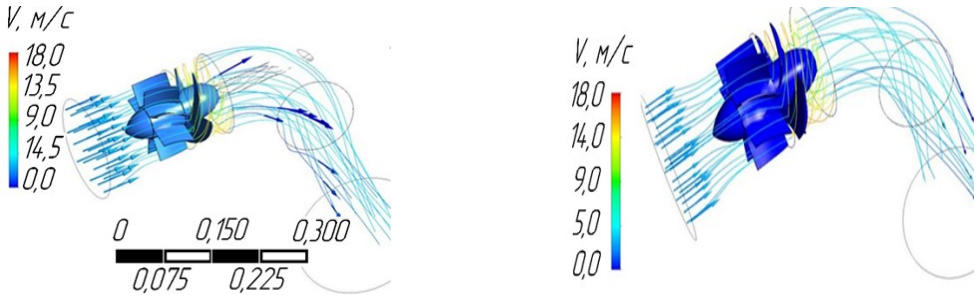
а) б)

в) г)

Рис. 7 – Поле давления (*P*) для максимального расхода при 1500 мин$^{-1}$. Вид спереди: а) плоский профиль; б) крыловидный профиль. Вид сверху: в) плоский профиль; г) крыловидный профиль

В случае турбины с ротором крыловидным профилем суммированы наиболее компрометирующие ситуации, связанные с кавитацией. Задняя часть лопастей и задняя часть втулки ротора представляют собой сектора низкого давления. Эти сектора являются возможными источниками кавитации, что не так очевидно в случае ротора с плоским профилем.

На рисунках 8 (а и б) показаны линии скоростей, соответствующие полям потока ротора с плоским и крыловидным профилем соответственно.



а) б)

Рис. 8 – Линии обтекания в турбинном агрегате: а) плоский профиль, б) крыловидный профиль. Максимальный поток при 1500 мин$^{-1}$

На рисунке 9 показаны объемные распределения турбулентной кинетической энергии (ТКЭ) и турбулентной вихревой диссипации (ТВД) поля течения [16]. Определение турбулентной кинетической энергии (ТКЭ) связано с уровнем колебаний скорости частиц, составляющих поле потока [17]. В области вычислительной механики под частицами жидкости понимаются материальные точки, составляющие поле потока. В частном случае дискретного моделирования с

использованием метода FVM частицы ассоциированы с каждым вычислительным объемом.

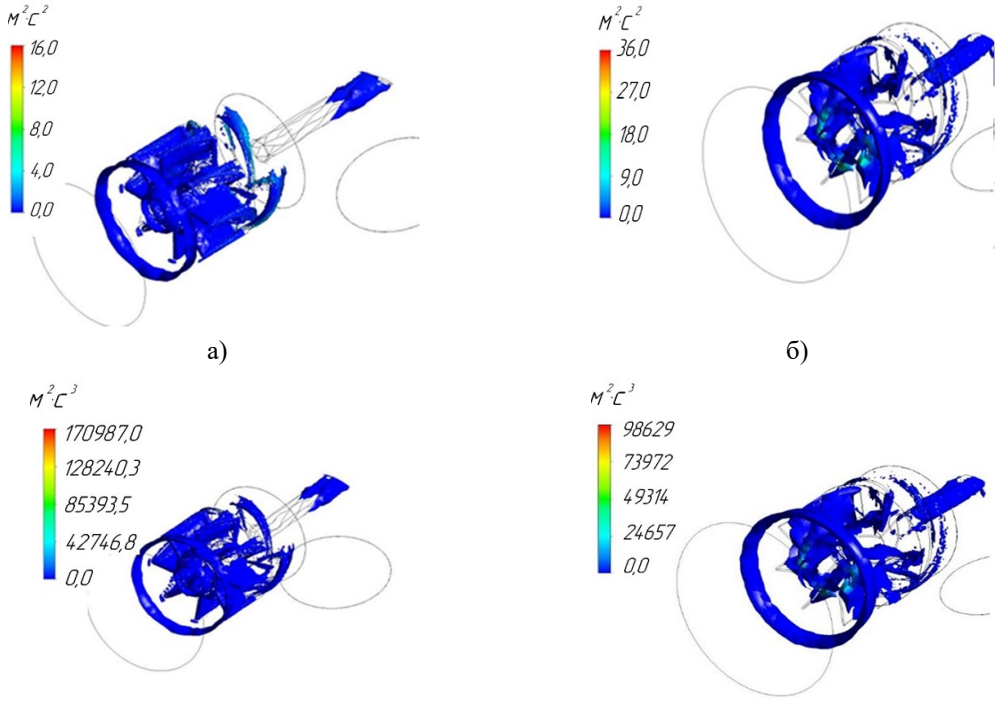
Что касается скорости турбулентной вихревой диссипации (ТВД), то она связана с диссипацией внутренней энергии жидкости ε, или, что-то же самое, скоростью диссипации механической энергии в тепло вследствие вязкой диссипации [18, 19].

Снижение ТКЭ и ТВД для крыльевого профиля на 13-17% обеспечивает снижение турбулентности и более эффективный отбор энергии.

Таблица 4 – Сравнительная таблица параметров ТКЭ и ТВД между плоским и крыльевым профилями для максимального расхода и 1500 мин$^{-1}$

Параметр	Плоский профиль	Крыловидный профиль	Разница в %
ТКЭ К, м^2/с^2	0,097	0,08	17,5
ТВД (ε), м^2/с^3	5,99	5,21	13,1

Как видно из таблицы 4, для расчетного расхода и скорости вращения 1500 мин$^{-1}$ плоский профиль имеет большие значения ТКЭ и ТВД. Это напрямую связано с рассеянием энергии из-за явлений турбулентности, что снижает передачу энергии от жидкости к турбине [13]. Следовательно, передача импульса в случае турбины с крыльевым профилем будет больше, чем в случае плоского профиля, что и наблюдается по результатам моделирования мощности. В любом случае процентная разница между значениями ТКЭ и ТВД не обязательно совпадает с разницей в мощности между обеими моделями, но четко маркирует диссипативные явления в обеих моделях лопастей (рис. 9).



а) б)

в) г)

Рис. 9 – Объемное распределение ТКЭ и ТВД при частоте вращения 1500 мин$^{-1}$:
а) ТКЭ с плоским профилем; б) ТКЭ с крыловидным профилем; в) ТВД с плоским профилем;
г) ТВД с крыловидным профилем

Согласно графиков на рисунках, соответствующих ТКЭ и ТВД, объемные распределения того и другого занимают больший объем в модели плоского профиля (рис. 9 а и в), чем в модели крыловидного профиля (рис. 9 б и г).

Выводы. Наилучшие характеристики достигаются при использовании ротора с крыловидным профилем по сравнению с плоским профилем для всех оцениваемых режимов. Что касается поведения турбины при различных скоростях вращения, то при минимальном циркуляционном потоке ожидается, что скорость вращения турбины будет ниже первоначально предложенной (1500 мин$^{-1}$) и близка к 1000 мин$^{-1}$. С другой стороны, когда реализована более высокая скорость вращения, чем исходная, достигается максимальный поток. Вполне вероятно, что скорость вращения, достигаемая плоским профилем при циркуляции максимального потока, близка к предлагаемой, близкой к 1750 мин$^{-1}$, а в случае крыловидного профиля достигаемая скорость вращения может быть даже выше этого значения. Количественно подтверждено преимущество крыльевого профиля: при расходе 0,15 м^3/с и скорости 1750 мин$^{-1}$ мощность составила 4,4 кВт (КПД 75%) против 3,12 кВт (КПД 53,1%) для плоского профиля.

Что касается рассеяния энергии обеих моделей ротора, то для расчетного расхода и скорости вращения 1500 мин$^{-1}$ плоский профиль имеет большие значения ТКЭ и ТВД. Это представляет собой большее рассеивание энергии по отношению к крыловидному профилю. Установлено снижение турбулентных потерь для крыльевого профиля: значения ТКЭ ниже на 17,5%, а ТВД - на 13,1% по сравнению с плоским профилем.

Результаты работы могут быть применены при проектировании микротурбин для малых ГЭС, систем рекуперации энергии в промышленных установках, сельскохозяйственных гидросистемах, а также в биогазовых установках для эффективного преобразования гидравлической энергии потоков рециркулирующих субстратов. Для дальнейших исследований рекомендуется проведение оптимизации геометрии крыловидного профиля с целью снижения кавитационных явлений и организация натурных экспериментов для верификации численных моделей, что позволит повысить точность прогнозирования рабочих параметров микротурбин в реальных условиях эксплуатации.

Сведения о финансировании. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. Работа выполнена при поддержке гранта (№142/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Исследование устойчивости оптимальных параметров прицепного опрыскивателя при изменении условий работы / А. А. Нурмиев, О. Н. Дидманидзе, Р. Н. Хафизов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 1(73). С. 61-67. doi: 10.12737/2073-0462-2024-61-67.

2. Определение диссипативных потерь в гидравлическом приводе газораспределительного механизма двигателя внутреннего сгорания / А. В. Максимов, Ю. Х. Шогенов, Е. И. Байгильдеева и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 75-82. doi: 10.12737/2073-0462-2024-75-82.

3 Репецкий О.В., Хоанг Д.К. Верификация разработанных математических моделей и программного обеспечения на примере радиальных рабочих колес турбомашин // Достижения науки и техники АПК. 2024. Т. 38. № 5. С. 55-61. doi: 10.53859/02352451_2024_38_5.

4. Теоретические предпосылки создания математической модели тягового КПД трактора / К. А. Хафизов, Р. Н. Хафизов, А. А. Нурмиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3(54). С. 116-121. doi: 10.12737/article_5db9748fc053c2.28431294.

5. Исследование работы вихревого пневматического распылителя дезинфицирующих жидкостей / Б. Л. Иванов, Б. Г. Зиганшин, И. Х. Гайфуллин и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2(70). С. 66-71. doi: 10.12737/2073-0462-2023-66-71.

6. Шишенков М.А. Чужинов Е.С. Онтологическое описание автоматизированных систем управления технологическим процессом // Автоматизация и информатизация ТЭК. 2025. № 1(618). С. 15-24.

7. Radial two-stage microturbine for pneumatic actuation / Y. P. Kuznetsov, V. L. Khimich, S. N. Khrunkov et al. // Russian Aeronautics. 2016. Vol. 59. No. 2. P. 283-286. doi: 10.3103/S1068799816020215.

8. Моделирование траектории движения семян в рабочей зоне п невмомеханической семенорушки / Э. Г. Нуруллин, Р. И. Ибятов, Д. Т. Халиуллин, и др. // Вестник Казанского технологического университета. 2012. Т. 15. № 3. С. 98-100.

9. Способ повышения качества ремонта валов турбокомпрессоров электроконтактным напеканием / С. А. Барышников, А. М. Плаксин, А. В. Гриценко и др. // АПК России. 2022. Т. 29. № 2. С. 163-170. doi: 10.55934/10.55934/2587-8824-2022-29-2-163-170.

10. Исследование движения воздушно-зерновой смеси в рабочей зоне семенорушки аэромеханического типа / Д. Т. Халиуллин, А. В. Дмитриев, Р. Н. Хафизов и др. // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 4(63). С. 27-37. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.27.

11. Makarov E. E., Modelling of Stationary Flows of a Liquid-Gas System in an Inclined Channel Subject to Evaporation // Journal of Siberian Federal Universit. Mathematics and Physics. 2023. Vol. 16. No. 1. P. 110-120.

12. Васильев Б. Е. Определение расчетной долговечности деталей турбин с помощью пользовательской модели ползучести в конечно-элементном комплексе ANSYS // Вестник Московского государственного технического университета им. Н.Э. Баумана. 2012. № 10(10). С. 166-174.

13. The Use of Carbon Dioxide as Working Fluid for a Single-Stage Mixed-Flow Turbine / Gong Bowen, H. Lun, Xu. Guisheng et al. // Thermal Engineering. 2025. Vol. 72, No. 3. P. 173-180. doi: 10.1134/S0040601524700800.

14. Samir K., Mohammad B. Studying the effect of the profile change of third stage movable pitch blade of low pressure steam turbine and its effect on the isentropic output with programs aided Computer // Аллея науки. 2020. Vol. 1. No. 8(47). P. 3-12.

15. Анализ структуры течения в модели микрогидротурбинного аппарата / С. И. Шторк, Д. А. Суслов, И. В. Литвинов и др. // Прикладная механика и техническая физика. 2020. Т. 61. № 5(363). С. 144-151.

16. Курбангалеев А. А., Тазюков Ф. Х., Аляев В. А. Результаты 3D численного эксперимента моделирования процесса смешения турбулентных потоков ньютоновских жидкостей в трубчатом канале с изменёнными коэффициентами математической модели // Вестник Казанского технологического университета. 2014. Т. 17. № 24. С. 78-79.

17. Чуданов В. В., Аксенова А. Е., Первичко В. А. Методы прямого численного моделирования турбулентности в задачах теплогидравлики ТВС // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2007. № 6. С. 47-58.

18. Оптимизация турбинного диффузора многоцелевой микротурбины / Л. А. Косач, А. С. Горновский, А. В. Костюков и др. // Известия МГТУ МАМИ. 2017. № 3(33). С. 21-27.

19. Шарфарец Б. П. О диссипации энергии в электроосмотическом процессе // Научное приборостроение. 2019. Т. 29. № 3. С. 30-40. doi: 10.18358/np-29-3-i3040.

Сведения об авторах:

Гайфуллин Ильнур Хамзович – кандидат технических наук, доцент кафедры машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: ilnur-gai@yanex.ru

Халиуллин Дамир Тагирович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой машин и оборудования в агробизнесе, e-mail: damirtag@mail.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.
Гастон Буржес – кандидат технических наук, доцент[1], старший научный сотрудник[2], e-mail: gbourges@inti.gob.ar
[1]Национальный университет Росарио (UNR – FCEIA), Росарио, Аргентина
[2]Национальный институт промышленных технологий (INTI), Росарио, Аргентина.

OPTIMIZATION OF GEOMETRIC PARAMETERS OF MICROTURBINE BLADE PROFILE

I. Kh. Gayfullin, D. T. Khaliullin, B. Gaston

Abstract. The article presents a computational evaluation of the hydrodynamic behavior of a Kaplan-type hydraulic microturbine. The study is conducted using three-dimensional geometry performed in SolidWorks software. The aim is a comparatively analysis of aerodynamic characteristics of rotors with airfoil profile and flat profile in terms of their impact on the microturbine's operating efficiency under various rotational modes. Two rotor types are evaluated: a rotor with a flat blade profile and a rotor with airfoil blade profile. The Reynolds-averaged Navier-Stokes method with the standard k-ε turbulence model is used to solve the fluid flow equations. The algorithm is stationary and is implemented using ANSYS Fluent software. Rotor's rotation is modeled using the moving reference frame (MRF) method. Quantitative results demonstrate that at a maximum flow rate of 0.15 m^3/s and a rotation speed of 1750 min^{-1}, the airfoil profile rotor produces 4.4 kW and achieves 75% efficiency, while the flat rotor under the same conditions produces only 3.12 kW and 53.1% efficiency. The results indicate that the airfoil rotor outperforms the flat rotor in all operating modes. At minimum flow rates, the turbine rotation speed is expected to be below 1500 min^{-1} and close to 1000 min^{-1}. At maximum flow rates, the flat rotor speed is likely to be close to 1750 min^{-1}, and may even be higher for the airfoil rotor. Energy dissipation analysis showed that the flat airfoil has higher turbulent kinetic energy and turbulent eddy dissipation values, indicating greater energy dissipation compared to the wing-shaped airfoil. These results suggest the feasibility of using airfoil blade profiles in hydraulic microturbines to improve their efficiency and reliability.

Key words: energy supply, microturbine, modeling, rotor, software, airfoil profile, flat airfoil.

References

1. Nurmiev AA, Didmanidze ON, Khafizov RN. [Study of the optimal parameters stability of a trailed sprayer under changing operating conditions]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 1(73). 61-67 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-61-67.

2. Maksimov AV, Shogenov YuKh, Baygildeeva EI. [Determination of dissipative losses in the hydraulic drive of the valve timing mechanism of an internal combustion engine]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2(74). 75-82 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-75-82.

3 Repetskiy OV, Khoang DK. [Verification of developed mathematical models and software on the example of radial impellers of turbomachines]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2024; Vol.38. 5. 55-61 p. doi: 10.53859/02352451_2024_38_5.

4. Khafizov KA, Khafizov RN, Nurmiev AA. [Theoretical prerequisites for creating a mathematical model of the traction efficiency of a tractor]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 3(54). 116-121 p. doi: 10.12737/article_5db9748fc053c2.28431294.

5. Ivanov BL, Ziganshin BG, Gayfullin IKh. [Study of the operation of a vortex pneumatic sprayer for disinfecting liquids]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 2(70). 66-71 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-66-71.

6. Shishenkov MA, Chuzhinov ES. [Ontological description of automated process control systems]. Avtomatizatsiya i informatizatsiya TEK. 2025; 1(618). 15-24 p.

7. Kuznetsov YP, Khimich VL, Khrunkov SN. Radial two-stage microturbine for pneumatic actuation. Russian Aeronautics. 2016; Vol.59. No.2. 283-286 p. doi: 10.3103/S1068799816020215.

8. Nurullin EG, Ibyatov RI, Khaliullin DT. [Modeling the trajectory of seed movement in the working area of a pneumatic seed huller]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2012; Vol.15. 3. 98-100 p.

9. Baryshnikov SA, Plaksin AM, Gritsenko AV. [Method for improving the quality of turbocharger shaft repair using electrocontact sintering]. APK Rossii. 2022; Vol.29. 2. 163-170 p. doi: 10.55934/10.55934/2587-8824-2022-29-2-163-170.

10. Khaliullin DT, Dmitriev AV, Khafizov RN. [Study of air-grain mixture movement in the working area of an aeromechanical seed huller]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.12. 4(63). 27-37 p. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.27.

11. Makarov EE. Modeling of stationary flows of a liquid-gas system in an inclined channel subject to evaporation. Journal of Siberian Federal University. Mathematics and Physics. 2023; Vol.16. No.1. 110-120 p.

12. Vasilev BE. [Determination of the calculated durability of turbine components using a user-defined creep model in the ANSYS finite element package]. Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta im. N.E. Baumana. 2012; 10(10). 166-174 p.

13. Gong Bowen, Lun H, Guisheng Xu. The use of carbon dioxide as working fluid for a single-stage mixed-flow turbine. Thermal Engineering. 2025; Vol.72. No.3. 173-180 p. doi: 10.1134/S0040601524700800.

14. Samir K, Mohammad B. Studying the effect of the profile change of third stage movable pitch blade of low pressure steam turbine and its effect on the isentropic output with programs aided Computer. Alleya nauki. 2020; Vol.1. No. 8(47). 3-12 p.

15. Shtork SI, Suslov DA, Litvinov IV. [Analysis of the flow structure in a microhydroturbine apparatus model]. Prikladnaya mekhanika i tekhnicheskaya fizika. 2020; Vol.61. 5(363). 144-151 p.

16. Kurbangaleev AA, Tazyukov FKh, Alyaev VA. [Results of a 3D numerical experiment for modeling the mixing process of turbulent flows of Newtonian fluids in a tubular channel with modified coefficients of the mathematical model]. Vestnik Kazanskogo tekhnologicheskogo universiteta. 2014; Vol.17. 24. 78-79 p.

17. Chudanov VV, Aksenova AE, Pervichko VA. [Methods of direct numerical modeling of turbulence in fuel assembly thermal hydraulics problems]. Izvestiya Rossiyskoy akademii nauk. Energetika. 2007; 6. 47-58 p.

18. Kosach LA, Gornovskiy AS, Kostyukov AV. [Optimization of the turbine diffuser of a multipurpose microturbine]. Izvestiya MGTU MAMI. 2017; 3(33). 21-27 p.

19. Sharfarets BP. [On energy dissipation in the electroosmotic process]. Nauchnoe priborostroenie. 2019; Vol.29. 3. 30-40 p. doi: 10.18358/np-29-3-i3040.

Authors:

Gayfullin Ilnur Khamzovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: ilnur-gai@yanex.ru
Khaliullin Damir Tagirovich – Ph.D of Technical Sciences, Head of Machinery and Equipment in Agribusiness Department, e-mail: damirtag@mail.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.
Gaston Bourges – Ph.D of Technical Sciences, Associate Professor[1], senior researcher[2], e-mail: gbourges@inti.gob.ar
[1]National University of Rosario (UNR – FCEIA), Rosario, Argentina
[2]National Institute of Industrial Technology (INTI), Rosario, Argentina.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-68-77
УДК 621.793

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКОГО ПРОТОЧНОГО ОСТАЛИВАНИЯ ДЛЯ ВОССТАНОВЛЕНИЯ КОЛЕНЧАТЫХ ВАЛОВ

И. Х. Гималтдинов, М. Р. Садыков, Н. Р. Адигамов, А. В. Гриценко

Реферат. Проведены исследования технологии восстановления шеек коленчатых валов автотракторных двигателей методом электролитического проточного осталивания. Разработана лабораторная установка, включающая герметичный корпус, технологическую оснастку, систему циркуляции электролита и питание от выпрямителя ВУ-4270Б. Осаждение металла осуществлялось на катоде – шейке вала, с применением анода из стали 3 по ГОСТ 380–2005. Электролит готовили на основе дистиллированной воды; он содержал $FeCl_2$ – 250–300 г/л, KCl – 40–50 г/л, H_3BO_3 – 15–30 г/л, NaH_2PO_2 – 15–30 г/л, аскорбиновую кислоту – 0,5–2 г/л. Испытания выполнялись при температуре электролита 30–70°С, силе тока 2–20 А и скорости подачи 10–60 мл/с. Условия: pH = 1, напряжение 3–12 В, выход металла по току 85–96%. Для оценки свойств покрытий использовались твердомер ТКМ-459С, машина трения 77МТ-1 и весы AND HR-200. Эксперимент проведён по центрально-композитному плану второго порядка, всего выполнено 17 опытов. Максимальная скорость осаждения металла достигала >1200 мкм/ч (при базовых режимах <700 мкм/ч), износостойкость — 0,021 (Н·м)/мм³, твёрдость — до 59 HRC. Оптимальные параметры установлены при температуре выше 60°С, токе 18 А и подаче электролита 55 мл/с. Построенные регрессионные модели второго порядка показали высокую адекватность: коэффициенты детерминации составили R^2 = 0,9858 (скорость осаждения), R^2 = 0,9006 (износостойкость), R^2 = 0,9321 (твёрдость). Значимость подтверждена критерием Фишера. Полученные зависимости позволяют прогнозировать характеристики покрытий и оптимизировать режимы восстановления шеек коленчатых валов. Разработанная технология рекомендована для внедрения в ремонтные подразделения сельскохозяйственных предприятий, так как обеспечивает увеличение ресурса деталей и снижение затрат.

Ключевые слова: электролитическое проточное осталивание, коленчатый вал, восстановление деталей, износостойкость, твёрдость покрытия, установка, гальваническое осаждение.

Введение. В условиях интенсивного сельскохозяйственного производства особое значение приобретает бесперебойная работа техники. Ключевой задачей при этом становится поддержание работоспособности машин и увеличение их ресурса критически важных узлов [1, 2, 3]. Коленчатые валы автотракторных двигателей - наиболее ответственные и затратные элементы двигателей, от исправности которых зависит функционирование всей системы. Закупка новых деталей такого класса требует серьезных капиталовложений, что приводит к простоям техники и сбоям в производственном цикле [4, 5, 6].

В конструкции автотракторных двигателей коленчатые валы подвергаются высоким динамическим нагрузкам. Статистика отказов свидетельствует, что порядка 30-40% случаев выхода двигателей из строя связаны с различными повреждениями коленчатых валов - от износа шеек до усталостных разрушений. Основными причинами преждевременного износа выступают:

- воздействие знакопеременных нагрузок при изменяющихся режимах работы;
- абразивный износ из-за попадания загрязнений в систему смазки;
- окислительные процессы при эксплуатации (рис. 1).

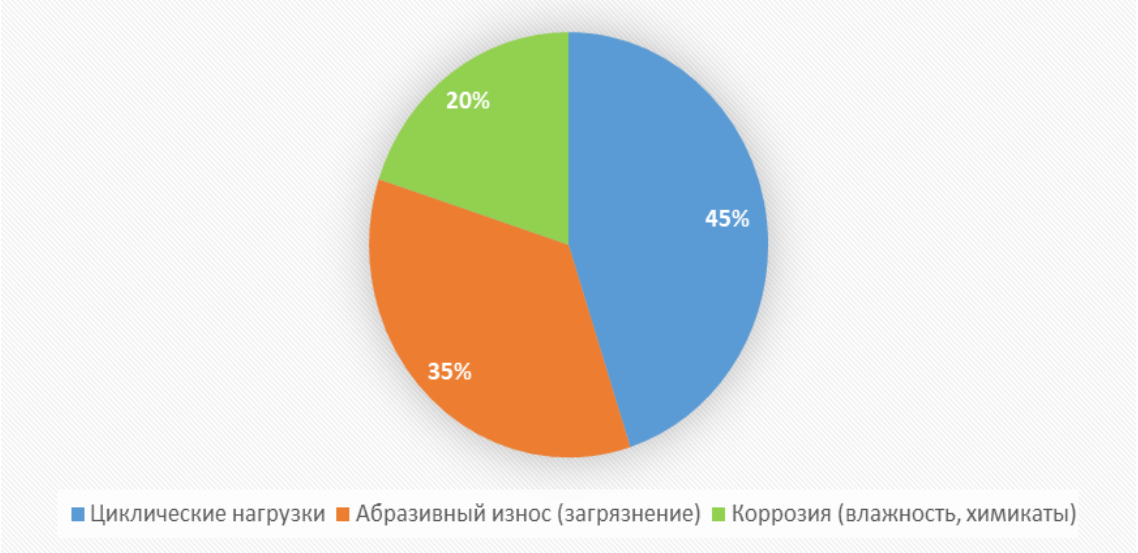


Рис. 1 – Основные причины износа коленчатых валов

На наш взгляд перспективной инновационной технологией восстановления деталей машин является технология проточного осталивания, основанная на электрохимическом осаждении железного покрытия при непрерывной циркуляции электролита. Данный метод обладает рядом существенных преимуществ перед традиционными технологиями: обеспечивает равномерное распределение осаждаемого металла по всей поверхности, позволяет точно контролировать толщину и физико-механические характеристики формируемого покрытия, а также дает возможность проводить локальное восстановление только тех участков детали, которые подверглись износу, что значительно снижает материальные и временные затраты на ремонт [7, 8].

Следовательно, проточное осталивание — это технологически эффективное и экономически оправданное решение для восстановления коленчатых валов автотракторных двигателей [9].

Цель исследований заключается в повышении эффективности восстановления рабочих поверхностей шеек коленчатых валов автотракторных двигателей путём разработки технологии и технических средств проточного осталивания, обеспечивающих высокую точность обработки, высокую износостойкость и экономическую целесообразность процесса.

Условия, материалы и методы. В лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ была разработана и собрана установка для нанесения гальванических покрытий на шейки коленчатых валов проточным осталиванием (рис. 2).

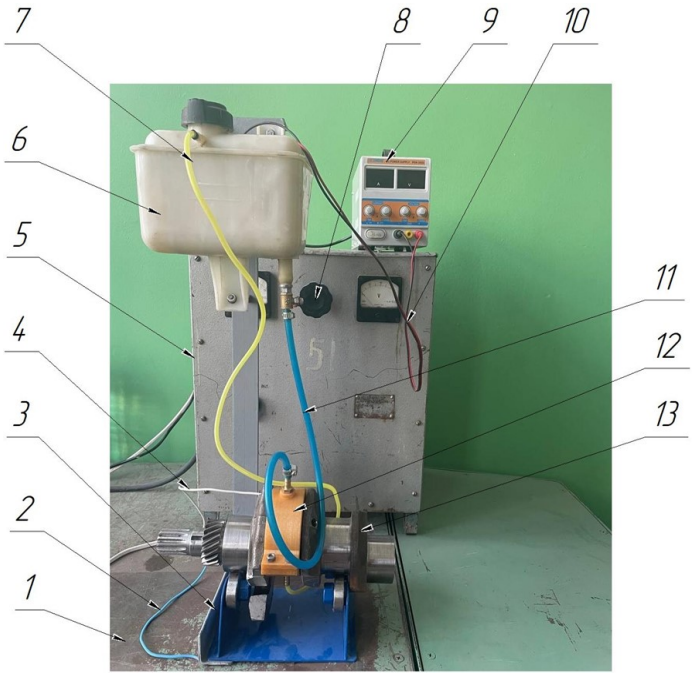


Рис. 2 – Установка для восстановления коленчатых валов местным осталиванием:
1 – стол; 2 – кабель катода; 3 – технологическая оснастка устройства; 4 – кабель анода;
5 – выпрямитель тока ВУ – 4270Б; 6 – бак для электролита; 7 – патрубок откачки электролита;
8 – рычаг регулировки силы тока и напряжения; 9 – лабораторный источник питания
PSN 305D; 10 – кабель от лабораторного источника питания к насосу; 11 – верхний патрубок

Разработанная установка (рис. 2) предназначена для проточного восстановления изношенных шеек коленчатых валов автотракторных двигателей методом электролитического осталивания. Монтаж установки производится на стационарный рабочий стол, который обеспечивает устойчивое положение установки для проточного осталивания.

Ключевым элементом установки является технологическая оснастка (3), на которой фиксируется восстанавливаемая деталь — коленчатый вал, выступающий в роли катода (13). На участке износа монтируется герметичный корпус устройства (12), формирующий замкнутую область циркуляции электролита и предотвращающий утечку раствора. Внутри корпуса размещается анод из малоуглеродистой стали, соединённый с выпрямителем постоянного тока через анодный кабель (4), проходящий через изолированный ввод. Катодный провод (2) подключается непосредственно к коленчатому валу.

Подача нового электролита в рабочую зону осуществляется через верхний патрубок (11), а отвод отработанного электролита — через нижний патрубок (7), ведущий в накопительный бак (6), где электролит хранится

регулируется и при необходимости повторно используется.

Электропитание процесса обеспечивается выпрямителем ВУ-4270Б (5), который поддерживает заданный ток и позволяет регулировать его параметры с помощью рычага управления (8). Для создания циркуляции электролита применяется насос, подключённый к лабораторному источнику PSN-305D (9) через кабели (10). Регулируемая скорость подачи раствора позволяет поддерживать оптимальные условия массообмена между анодом и катодом, обеспечивая равномерное осаждение металлического железа на восстанавливаемую поверхность.

Таким образом, установка представляет собой замкнутую электрохимическую систему, способную обеспечить высокоточное и воспроизводимое восстановление цилиндрических поверхностей с необходимым уровнем герметичности и технологической надёжности.

Установка позволяет наносить покрытия методом проточного осталивания на шейки коленчатых валов с высокой точностью и стабильностью процесса. Это делает её надёжным и востребованным средством при восстановлении изношенных рабочих поверхностей машин.

Экспериментальные исследования были направлены на анализ влияния силы тока и скорости подачи электролита на ключевые характеристики покрытий, формируемых методом локального осталивания шеек коленчатых валов. В качестве варьируемых факторов были выбраны:

X_1 – температура электролита, °C;

X_2 – сила тока, А;

X_3 – скорость подачи электролита, мл/с.

В качестве откликов рассматривались следующие показатели:

Y_1 – твёрдость покрытия (HRC);

Y_2 – износостойкость (Н·м)/мм³);

Y_3 – толщина покрытия (мкм/ч).

Для реализации эксперимента применялся двухфакторный план второго порядка.

В общей сложности было проведено 17 экспериментов, что обеспечило достаточный объем данных для построения достоверных регрессионных моделей, а также для оценки влияния отдельных факторов и их взаимодействий.

В ходе проведения экспериментов был задействован следующий набор приборов и технологического оборудования:

- установка для восстановления коленчатых валов местным осталиванием
- твердомер ТКМ-459С — для измерения твёрдости восстановленных поверхностей;
- машина трения 77МТ-1 — для оценки износостойкости нанесённого слоя;
- аналитические весы AND HR–200 — для определения массы осаждённого металла.

Применённое оборудование обеспечивало требуемую точность измерений и способствовало получению воспроизводимых результатов при варьируемых режимах обработки.

Во время восстановительных операций использовались следующие параметры режима проточного осталивания:

- кислотность электролита — pH = 1;
- сила тока — I = 2–20 А;
- напряжение — U = 3–12 В;
- скорость подачи электролита — V = 10-60 мл/с;
- выход металла по току — η = 85-96%;
- температура электролита — t = 30-70°C;
- материал анода — сталь 3 по ГОСТ 380-2005.

Выбор указанных параметров основан на предварительных экспериментальных исследованиях и литературных данных [10], что обеспечивает формирование прочного и равномерного металлического слоя с высокой адгезией к основному материалу.

В качестве электролита использован состав, эффективность применения которого также подтверждена в работе [10]. Он обеспечивает оптимальные условия осаждения металла и формирование покрытия высокого качества. Состав электролита включал следующие компоненты: хлорид железа ($FeCl_2$): 250–300 г/л; хлорид калия (KCl): 40–50 г/л; борная кислота (H_3BO_3): 15–30 г/л; гипофосфит натрия (NaH2PO2): 15–30 г/л; аскорбиновая кислота: 0,5–2 г/л.

Результаты и обсуждение. Построение регрессионных моделей представляет собой ключевой инструмент статистического анализа, позволяющий выявлять взаимосвязи между переменными, прогнозировать значения целевых показателей и оптимизировать технологические процессы.

Основу регрессионного анализа составляет установление математической зависимости между независимыми переменными (факторами) и зависимыми переменными (откликами), что позволяет не только описывать имеющиеся данные, но и предсказывать поведение системы при изменении исходных условий.

Поверхность отклика (рис. 3) демонстрирует, что скорость осаждения металла (δ, мкм/ч) значительно возрастает с увеличением температуры электролита и силы тока, достигая >1200 мкм/ч при 70°C и 20 А.

Выпуклая форма поверхности указывает на квадратичные и взаимодействующие эффекты факторов. Сопоставление экспериментальных точек с расчётными данными регрессионной модели подтверждает её адекватность (SS = 2339,461).

Следовательно, для достижения большей скорости осаждения металла целесообразно применять режимы с повышенными значениями температуры и силы тока.

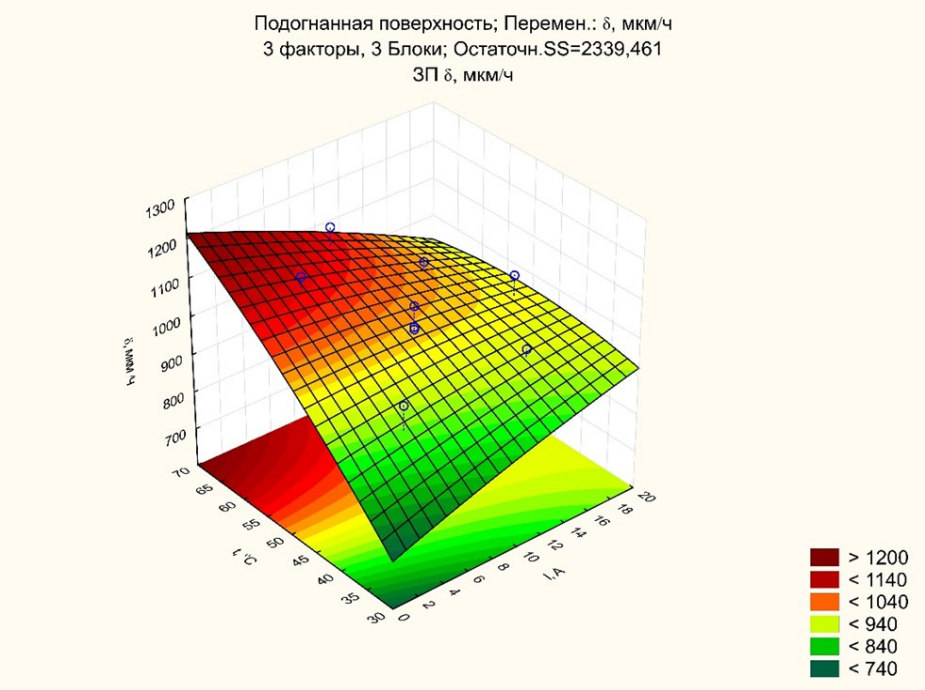


Рис. 3 – Поверхность отклика скорости осаждения металла (δ, мкм/ч) в зависимости от температуры электролита и силы тока

Диаграмма (рис. 4) показывает, что скорость осаждения металла δ (мкм/ч) зависит от скорости подачи электролита и силы тока. Поверхность отклика имеет седловидную форму, отражающую нелинейность и взаимодействие факторов. Максимальная скорость осаждения металла (>1100 мкм/ч) достигается при силе тока равной 6 А и скорости подачи электролита равной 50 мл/с, тогда как при обратных параметрах наблюдается снижение δ. Это указывает на то, что увеличение тока при умеренной подаче способствует более эффективному осаждению металла.

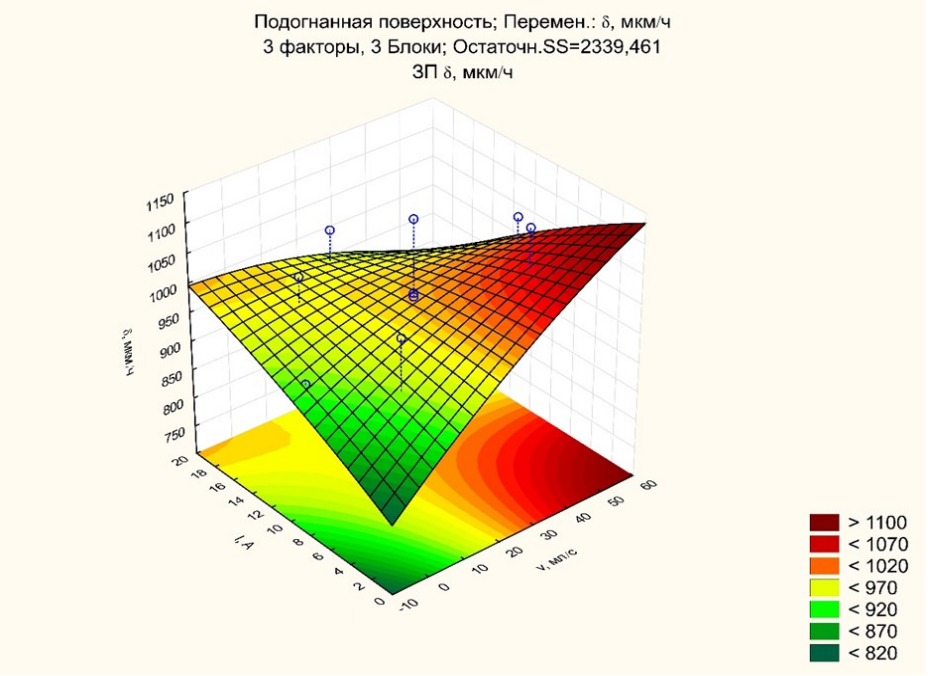


Рис. 4 – Поверхность отклика скорости осаждения металла (δ, мкм/ч) в зависимости от силы тока и скорости подачи электролита

Согласованность экспериментальных данных с поверхностью отклика указывает на адекватность модели (SS = 2339,461).

Таким образом, для достижения максимальной скорости осаждения металла рекомендуется использовать силу тока 6 А при 50 мл/с скорости подачи электролита.

График (рис. 5) отображает зависимость скорости осаждения металла δ (мкм/ч) от температуры и скорости подачи электролита. Значения δ представлены по оси Z, а цветовая шкала иллюстрирует диапазон от <680 мкм/ч (тёмно-зелёная зона) до >1100 мкм/ч (тёмно-красная зона).

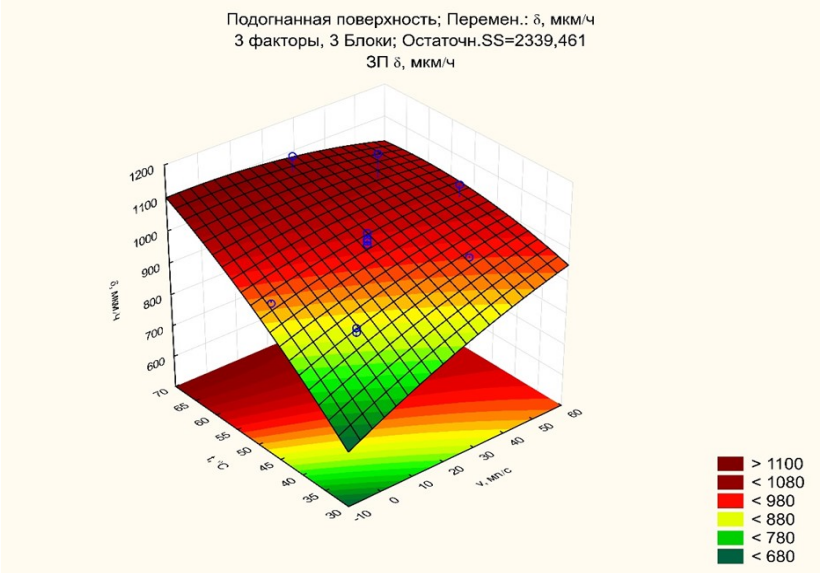


Рис. 5 – Поверхность отклика скорости осаждения металла (δ, мкм/ч) в зависимости от скорости подачи электролита и температуры электролита

Анализ графика показывает, что максимальная скорость осаждения металла достигается при температуре выше 60°C, тогда как минимальные значения (<700 мкм/ч) отмечаются при 30–35°C и 55 мл/с скорости подачи электролита. Это подтверждает значительное влияние температуры и времени контакта электролита с поверхностью на эффективность осаждения. Экспериментальные точки (синие маркеры) хорошо согласуются с моделью, подтверждая её достоверность.

Следовательно, для достижения максимальной скорости осаждения металла рекомендуется поддерживать температуру электролита не ниже 60°C при скорости его подачи 55 мл/с.

На основе полученных экспериментальных данных разработана математи-ческая модель второго порядка, отражающая зависимость скорости осаж-дения металла (δ, мкм/ч) от трёх технологических параметров: температуры электролита (t, °C), силы тока (I, A) и скорости подачи электролита (V, мл/с):

$$Y_1 = 391.9889 + 10.0613 \cdot X^1 + 22.2360 \cdot X^2 + 3.5147 \cdot X^3 + 0.0287 \cdot X^{12} + 0.7286 \cdot X^{22} + 0.0272 \cdot X^{32} - 0.6668 \cdot X_1X_2 - 0.0162 \cdot X_1X_3 - 0.2223 \cdot X_2X_3 \quad (1)$$

На графике (рис. 6) представлена зависимость износостойкости покрытия от величины силы тока и скорости подачи электролита.

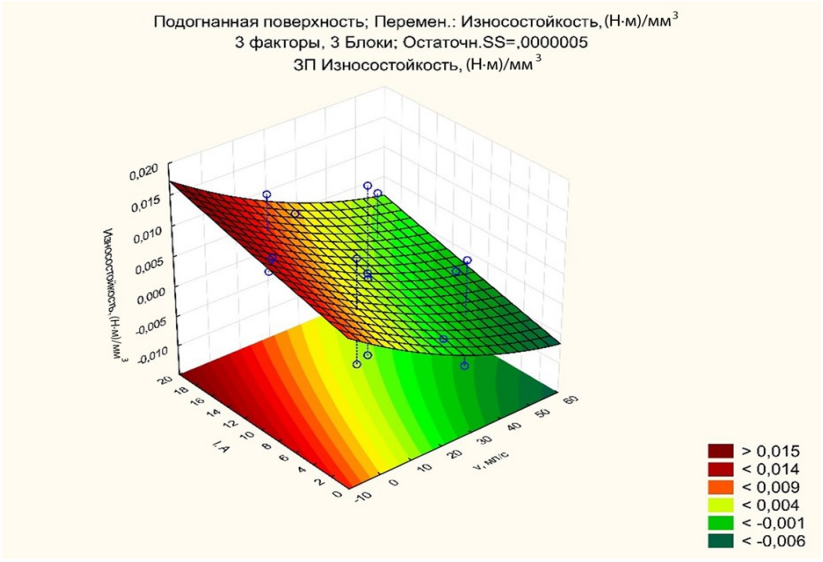


Рис. 6 – Поверхность отклика износостойкости ((Н·м)/мм³) в зависимости от силы тока и скорости подачи электролита

Максимальная износостойкость (при минимальном удельном износе ≤ 0,015 мм³/(Н·м)) достигается при силе тока 20 А и скорости подачи электролита 10 мл/с. При обратных режимах — низком токе и высокой скорости подачи — наблюдается резкое ухудшение показателя. Согласование экспериментальных точек с поверхностью отклика подтверждает адекватность модели (SSE = 5×10^{-7}) и подчёркивает существенное влияние технологических параметров на результат. Следовательно, для повышения износостойкости покрытия целесообразно использовать 20 А и 10 мл/с; такие режимы способствуют формированию прочного и стойкого слоя.

График (рис. 7) показывает, что износостойкость ((Н·м)/мм³) возрастает при повышении температуры и силы тока, достигая >0.02 мм²/Н·м в области их высоких значений.

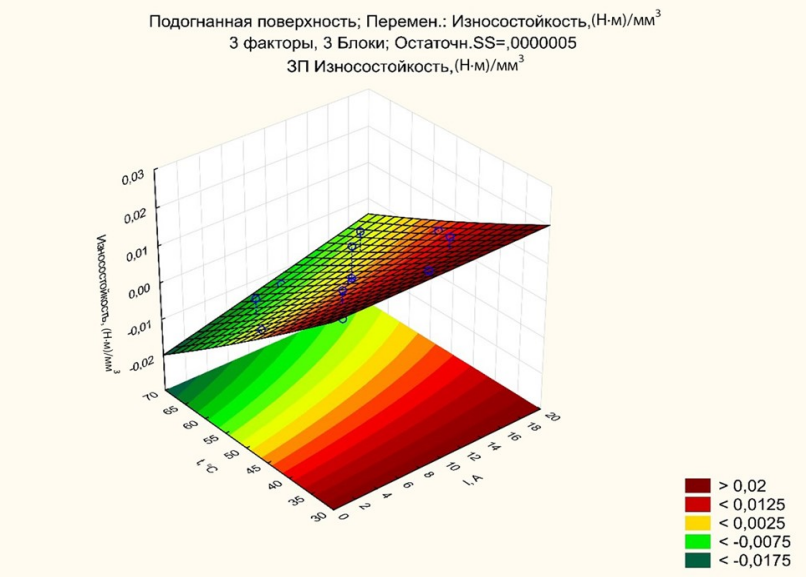


Рис. 7 – Поверхность отклика износостойкости ((Н·м)/мм³) в зависимости от силы тока и температуры электролита

Максимальная износостойкость покрытия наблюдается при температуре электролита ~35°С и силе тока 16 А. Регулярный характер поверхности отклика и малая сумма квадратов ошибок аппроксимации (SSE = 5×10^{-7}) подтверждают высокую адекватность модели в пределах исследованного факторного пространства.

Следовательно, повышение температуры и силы тока способствуют увеличению износостойкости покрытия за счёт более благоприятных условий формирования прочного металлического слоя.

На графике (рис. 8) отображена зависимость износостойкости покрытия ((Н·м)/мм³) от температуры электролита и скорости его подачи. Максимальные значения достигаются при температуре 35°С и скорости подачи электролита 50 мл/с.

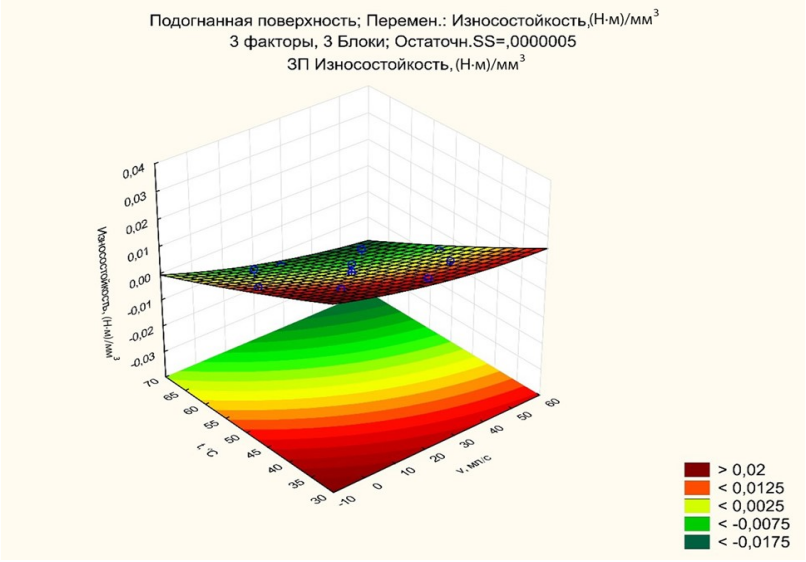


Рис. 8 – Поверхность отклика износостойкости ((Н·м)/мм³) в зависимости от температуры и скорости подачи электролита

Поверхность отклика отличается плавностью, а минимальное значение остаточной ошибки (SS = 0.0000005) подтверждает высокую точность аппроксимации.

Таким образом, повышение температуры и уменьшение скорости подачи способствуют увеличению износостойкости покрытия благодаря более благоприятным условиям формирования плотного и равномерного слоя.

На основе экспериментальных данных разработана математическая модель второго порядка, отражающая зависимость износостойкости ((Н·м)/мм³) от трёх технологических параметров: температуры электролита (t, °C), силы тока (I, A) и скорости подачи (V, мл/с):

$$Y_2 = 0.0272 - 0.0004 \cdot X_1 + 0.0022 \cdot X_2 - 0.0001 \cdot X_3 - 0.0000 \cdot X_1^2 - 0.00007 \cdot X_2^2 + 0.00000 \cdot X_3^2 - 0.00001 \cdot X_1X_2 - 0.00000 \cdot X_1X_3 - 0.00001 \cdot X_2X_3 \quad (2)$$

На графике (рис. 9) представлена поверхность отклика твёрдости покрытия (HRC) в зависимости от силы тока (А) и скорости подачи электролита (мл/с).

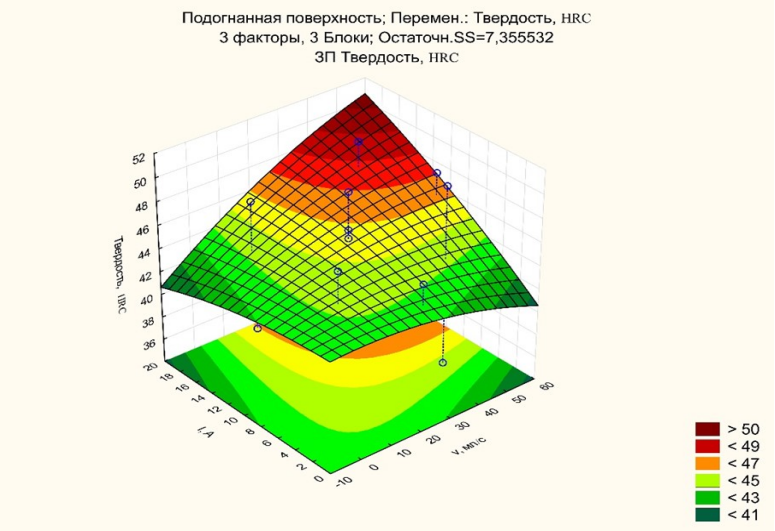


Рис. 9 – Поверхность отклика твёрдости покрытия (HRC) в зависимости от силы тока и скорости подачи электролита

Максимальная твёрдость (>50 HRC) достигается при силе тока равной 20 А и 55 мл/с скорости подачи электролита, минимальная (<41 HRC) — при силе тока равной 2 А и 10 мл/с скорости подачи электролита. Поверхность отклика выражена, экспериментальные точки соответствуют модели, ошибка аппроксимации — 7.36, что подтверждает её приемлемую точность.

Таким образом, для повышения твёрдости покрытия рекомендуется применять силу тока 20 А и скорость подачи электролита 55 мл/с, способствующие формированию плотной структуры.

График (рис. 10) показывает, что твёрдость покрытия (HRC) возрастает при температуре электролита 65°C и силы тока равной 18 А, достигая >55 HRC, а минимальные значения (<31 HRC) отмечаются при 2А и 35°C.

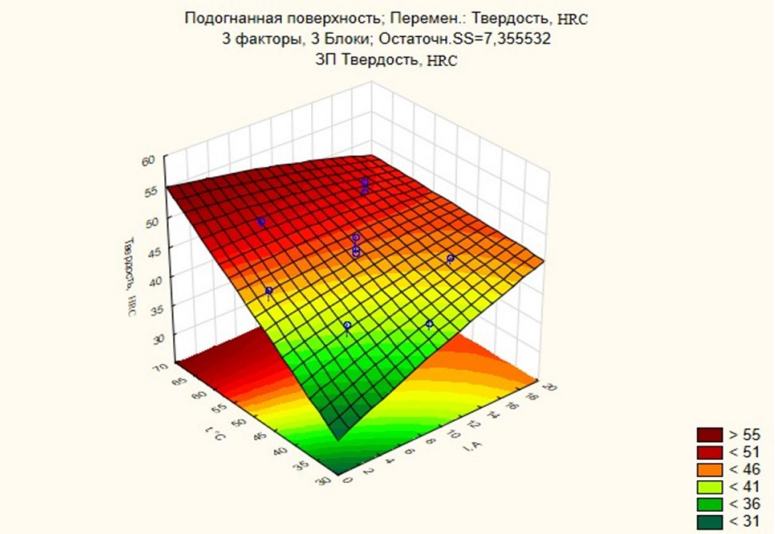


Рис. 10– Поверхность отклика твёрдости покрытия (HRC) в зависимости от температуры электролита и силы тока

Остаточная сумма квадратов равна 7.36, что свидетельствует о достаточной точности модели.

Таким образом, для достижения максимальной твёрдости покрытия рекомендуется применять режимы с температурой электролита 65°C и силы тока 18 А, что обеспечивает интенсивное и качественное осаждение металла.

График (рис. 11) показывает, что максимальная твёрдость покрытия (>55 HRC) достигается при температуре электролита 70°C и скорости подачи электролита 60 мл/с, а минимальная твердость (<35 HRC) — при противоположных условиях. Поверхность отклика чётко выражена; экспериментальные точки хорошо согласуются с расчётными, а сумма квадратов остатков (SSE = 7,36) свидетельствует об адекватности модели в пределах исследованного диапазона.

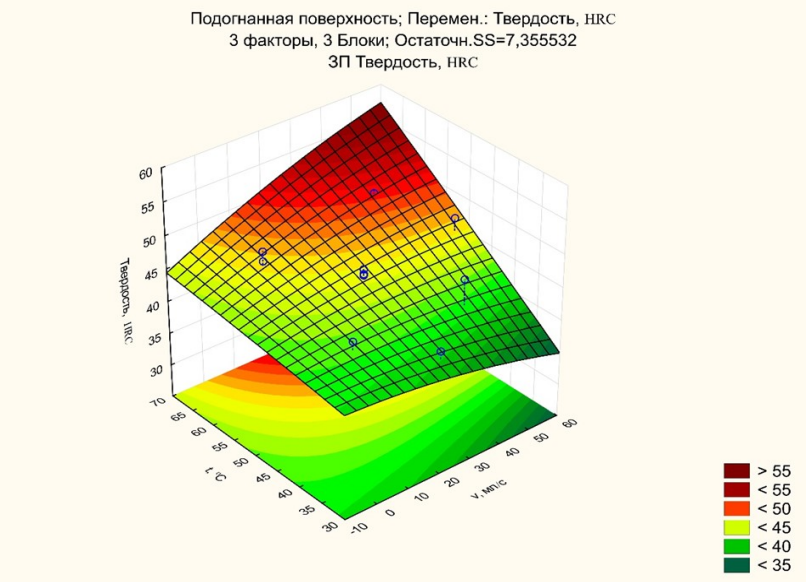


Рис. 11 – Поверхность отклика твёрдости покрытия (HRC) в зависимости от температуры и скорости подачи электролита

На основе экспериментальных данных разработана математическая модель второго порядка, отражающая зависимость твёрдости покрытия (HRC) от трёх технологических параметров: температуры электролита (t, °C), силы тока (I, А) и скорости подачи электролита (V, мл/с):

$$Y3=42.2980-0.2850\cdot X_1+1.0428\cdot X_2-.5847\cdot X_3+0.0056\cdot X_1^2-0.0158\cdot X_2^2+0.0013\cdot X_3^2-0.0151\cdot X_1X_2+0.0088\cdot X_1X_3+0.0149\cdot X_2X_3 \quad (3)$$

Проведённый регрессионный анализ позволил выявить устойчивые математические зависимости между технологическими параметрами процесса — температурой электролита, силой тока и скоростью подачи — и ключевыми характеристиками восстановленного покрытия: толщиной, износостойкостью и твёрдостью. Построенные модели второго порядка обладают высокой степенью достоверности, что позволяет не только точно описывать экспериментальные данные, но и прогнозировать оптимальные режимы обработки. Установлено, что максимальные значения всех трёх показателей достигаются при температуре электролита 65°C и силы тока 18 А в сочетании со скоростью подачи электролита 55 мл/с.

Результаты оценки регрессионных моделей по критерию Фишера и коэффициенту детерминации R^2 приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Статистическая оценка значимости регрессионных моделей по критерию Фишера и коэффициенту детерминации R^2

Модель	R^2	F-факт.	F-крит. (0.05)	F > Fкрит
Твёрдость покрытия (HRC)	0.9321	3.85	3.68	Да
Износостойкость (мм²/Н·м)	0.9006	7.04	3.68	Да
Скорость осаждения металла (мкм/ч)	0.9858	3.68	2.85	Да

Все три регрессионные модели статистически значимы по критерию Фишера: Fфакт > Fкр при α = 0,05 (твёрдость: 3,85 > 3,68; износостойкость: 7,04 > 3,68; скорость осаждения: 3,68 > 2,85). Значения R^2 = 0,9006–0,9858 указывают на высокую долю объяснённой вариации. Модели могут использоваться для анализа, прогнозирования и оптимизации в пределах исследованного диапазона факторов.

Результаты дисперсионного анализа подтвердили, что температура электролита оказывает наибольшее влияние на скорость осаждения металла, силу тока и расход электролита — на износостойкость, а ключевым фактором для твёрдости является сила тока.

Выводы. Сформулированные по итогам проведённых исследований выводы подтверждают достижение поставленной цели — повышения эффективности восстановления шеек коленчатых валов автотракторных двигателей методом электролитического проточного оста-ливания. Разработанная установка, собранная в лаборатории кафедры «Эксплуатация и ремонт машин» Казанского ГАУ, позволила реализовать восстановительный процесс в условиях локального воздействия, обеспечив стабильность, высокую точность и технологическую воспроизводимость параметров.

В результате экспериментальных исследований были получены регрессионные модели второго порядка, описывающие зависимости между технологическими параме-трами процесса (температура электролита, сила тока, скорость подачи) и основными характеристиками восстановленного слоя — скоростью осаждения металла, твёрдостью и износостойкостью. Для твёрдости покрытия коэффициент детерминации составил $R^2 = 0{,}9321$, для износостойкости — $R^2 = 0{,}9006$, что указывает на высокую точность моделей. Модель скорости осаждения металла по-крытия ($R^2 = 0{,}9858$), несмотря на высокую аппроксимацию, требует дополнительной корректировки по критерию Фишера.

Максимальные значения скорости осаждения металла достигали более 1200 мкм/ч, что в 1,8 раза выше, чем при базовых параметрах (около 680 мкм/ч). Износостойкость покрытия достигала 0,021 (Н·м)/мм³, а твёрдость — до 59 HRC, что на 25–30% выше по сравнению с исходными режимами. Наилучшие результаты были получены при температуре электролита 60–70°С, силе тока 15–20 А и скорости подачи 7–10 мл/с. Такие режимы обеспечивали оптимальные условия формирования плотного, равномерного и прочного покрытия с высокой адгезией.

Проведённый дисперсионный анализ показал, что наибольшее влияние на толщину по-крытия оказывает температура, на износостойкость — сила тока и скорость подачи, а на твёрдость — преимущественно сила тока. Это позволяет с высокой точностью регулировать выходные параметры восстановленного слоя за счёт управления входными факторами.

В перспективе возможно развитие автоматизированных систем управления процессом проточного осталивания с применением сенсоров и цифровых контроллеров, а также адаптация метода к восстановлению деталей из других материалов и узлов различной геометрии.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке гранта (№143/2024 – ПД от 16.12.2024 г.) молодым кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Оценка продовольственной безопасности России / И. Н. Сафиуллин, Б. Г. Зиганшин, Э. Ф. Амирова и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 2(62). С. 124-132. – doi 10.12737/2073-0462-2021-124-132.

2. Зиганшин Б. Г., Клычова Г. С., Закирова А. Р. Основные направления формирования механизма социального развития сельскохозяйственного предприятия // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3(54). С. 155–161. doi 10.12737/article_5db98dd5ab2ea1.73901024.

3. Development of agriculture based on geographic information technologies / D. A. Mustashkina, M. M. Khannanov, M. N. Kalimullin, N. V. Karpova // E3S Web of Conferences. 2022. Vol. 282. P. 07019. URL:https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/58/e3sconf_efsc2021_07019/e3sconf_efsc2021_07019.html

4. Хафизов К. А. Снижение суммарных энергетических затрат на технологических операциях в АПК – путь снижения выбросов парниковых газов в атмосферу // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 43–47. – doi 10.12737/2073-0462-2021-43-47.

5. Хафизов К. А., Халиуллин Ф. Х. Пути повышения эффективности использования машинно-тракторных агрегатов // Техника и оборудование для села. 2015. № 10. С. 20–22.

6. Влияние уровня эксплуатации тракторов в сельскохозяйственном производстве на показатели их надежности / Галиев И. Г., Хусаинов Р. К., Хусаинова Т. А. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. – 2018. Т. 13. № 3(50). С. 77–80. – doi 10.12737/article_5bcf57af5d83b6.20549781.

7. A method for calculating the parameters of a unit for thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts / Li R. I., Rizaeva Y. N., Bykonya A. N. et al. // Polymer Science, Series D. 2021. Vol. 14. No. 4. P. 517–521. – doi 10.1134/S1995421221040110.

8. Теоретические аспекты терморадиационного нагрева изношенных корпусных деталей техники при восстановлении / Ли Р. И., Псарев Д. Н., Быконя А. Н. и др. // Наука в центральной России. 2020. № 1(43). С. 50–59. – doi 10.35887/2305-2538-2020-1-50-59.

9. Theory and Practice of Substantiation of Electroplating Modes by Electrolytic Rubbing / Sadykov M., Gimaltdinov I., Adigamov N. et al. // AIP Conference Proceedings. 2024. Vol. 3154. P. 20054. – doi: 10.1063/5.0197166.

10. Садыков, М. Р. Разработка технологии и технических средств повышения эффективности восстановления деталей машин электролитическим натиранием: диссертация … кандидата технических наук: 4.3.1. / Садыков Марат Рашитович; [Место защиты: ФГБОУ ВО «Чувашский государственный аграрный университет»; Диссовет 99.2.103.03 (99.2.103.03)]. – Казань, 2025. – 175 с.: ил. – (Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса). – Шифр хранения: OD 61 25-5/1195.

Сведения об авторах:

Гималтдинов Ильдус Хафизович – кандидат технических наук, врио заведующего кафедрой эксплуатации и ремонта машин, e-mail: tskazgau@mail.ru

Садыков Марат Рашитович – ассистент кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: marat3012@yandex.ru
Адигамов Наиль Рашатович – доктор технических наук, профессор кафедры эксплуатации и ремонта машин, e-mail: n-adigamov@rambler.ru
Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.
Гриценко Александр Владимирович – доктор технических наук, профессор Передовой инженерной школы двигателестроения и специальной техники «Сердце Урала»[1]; профессор кафедры технический сервис машин, оборудования и безопасности жизнедеятельности[2]; e-mail: alexgrits13@mail.ru
[1]Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия
[2]Южно-Уральский государственный аграрный университет, Челябинск, Россия.

STUDYING PARAMETERS OF ELECTROLYTIC FLOW TINNING FOR CRANKSHAFT RESTORATION
I. Kh. Gimaltdinov, M. R. Sadykov, N. R. Adigamov, A. V. Gritsenko

Abstract. This study was conducted on the technology for restoring automotive and tractor engine crankshaft journals using electrolytic flow tinning. A laboratory setup was developed, including a sealed housing, process equipment, an electrolyte circulation system and power supply from a VU-4270B rectifier. Metal deposition was carried out at the cathode - the journal using an anode made of grade 3 steel according to GOST 380-2005. The electrolyte was prepared with distilled water; it contained FeCl2 – 250-300 g/l, KCl – 40-50 g/l, H3BO3 – 15-30 g/l, NaH2PO2 – 15-30 g/l, ascorbic acid – 0.5-2 g/l. The tests were carried out at an electrolyte temperature of 30-70°C, a current of 2-20 A and a feed rate of 10-60 ml/s. Conditions: pH = 1, voltage 3-12 V, metal current efficiency 85-96%. Coating properties were evaluated using TKM-459C hardness tester, 77MT-1 friction machine and AND HR-200 scale were used. The experiment was carried out according to a second-order central-composite design, a total of 17 tests were performed. The maximum metal deposition rate reached >1200 μm/h (under base conditions <700 μm/h), wear resistance was 0.021 (N m)/mm3 and hardness was up to 59 HRC. Optimum parameters were established at temperatures above 60°C, a current of 18 A, and an electrolyte flow rate of 55 ml/s. The constructed second-order regression models demonstrated high adequacy: the determination coefficients were R2 = 0.9858 (deposition rate), R2 = 0.9006 (wear resistance), and R2 = 0.9321 (hardness). Significance was confirmed by Fisher criterion. The obtained dependencies make it possible to predict coating characteristics and optimize crankshaft journal restoration modes. The developed technology is recommended for implementation in repair departments of agricultural enterprises, as it ensures an increase in the service life of components and a reduction in costs.

Key words: electrolytic flow tinning, crankshaft, restoration of parts, wear resistance, coating hardness, installation, galvanic deposition.

References

1. Safiullin IN, Ziganshin BG, Amirova EF. [Assessment of food security in Russia]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 2(62). 124-132 p. – doi 10.12737/2073-0462-2021-124-132.
2. Ziganshin BG, Klychova GS, Zakirova AR. [Main directions for the formation of a mechanism for social development of an agricultural enterprise]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 3(54). 155-161 p. doi 10.12737/article_5db98dd5ab2ea1.73901024.
3. Mustashkina DA, Khannanov MM, Kalimullin MN, Karpova NV. Development of agriculture based on geographic information technologies. E3S Web of Conferences. 2022; Vol.282. 07019 p. Available from: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/abs/2021/58/e3sconf_efsc2021_07019/e3sconf_efsc2021_07019.html
4. Khafizov KA. [Reducing total energy costs in technological operations in the agro-industrial complex - a way to reduce greenhouse gas emissions into the atmosphere]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 43-47 p. – doi 10.12737/2073-0462-2021-43-47.
5. Khafizov KA, Khaliullin FKh. [Ways to improve the efficiency of using machine-tractor units]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2015; 10. 20-22 p.
6. Galiev IG, Khusainov RK, Khusainova TA. [The influence of tractors operation level in agricultural production on their reliability indicators]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 3(50). 77-80 p. – doi 10.12737/article_5bcf57af5d83b6.20549781.
7. Li RI, Rizaeva YN, Bykonya AN. A method for calculating the parameters of a unit for thermoradiation treatment of polymer coatings in the restoration of car body parts. Polymer Science, Series D. 2021; Vol.14. No.4. 517-521 p. – doi 10.1134/S1995421221040110.
8. Li RI, Psarev DN, Bykonya AN. [Theoretical aspects of thermoradiation heating of worn frame parts of equipment during restoration]. Nauka v tsentralnoy Rossii. 2020; 1(43). 50-59 p. – doi 10.35887/2305-2538-2020-1-50-59.
9. Sadykov M, Gimaltdinov I, Adigamov N. Theory and practice of substantiation of electroplating modes by electrolytic rubbing. AIP Conference Proceedings. 2024; Vol.3154. 20054 p. – doi: 10.1063/5.0197166.
10. Sadykov MR. [Development of technology and technical means to improve the efficiency of restoration of machine parts by electrolytic rubbing: dissertation for a degree of Ph.D. of Technical sciences: 4.3.1]. Mesto zashchity: FGBOU VO “Chuvashskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet”; Dissovet 99.2.103.03 (99.2.103.03). Kazan. 2025; 175 p. illustrated. Tekhnologii, mashiny i oborudovanie dlya agropromyshlennogo kompleksa. Shifr khraneniya: OD 61 25-5/1195.

Authors:

Gimaltdinov Ildus Khafizovich – Ph.D. of Technical Sciences, Acting head of Machine Operation and Repair Department, e-mail: tskazgau@mail.ru
Sadykov Marat Rashitovich – assistant of Machine Operation and Repair Department, e-mail: marat3012@yandex.ru
Adigamov Nail Rashatovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Machine Operation and Repair Department, e-mail: n-adigamov@rambler.ru
Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.
Gritsenko Aleksandr Vladimirovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of Advanced Engineering School of Engine Building and Specialized Equipment “Heart of the Urals”[1]; Professor of Department of Technical Service of Machines, Equipment, and Life Safety[2]; e-mail: alexgrits13@mail.ru
[1]South Ural State University, Chelyabinsk, Russia
[2]South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-78-84
УДК 631.3.076:629.3.083

ВЫБОР ОБЪЕКТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ САМОХОДНЫХ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ МАШИН

В. М. Помогаев

Реферат. Контроль технического состояния сельскохозяйственных машин, являясь ключевым элементом системы технического обслуживания и ремонта, на практике требует решения задачи определения приоритетных для диагностирования конструктивных элементов. Целью исследования является разработка и апробация методики ранжирования объектов контроля технического состояния сельскохозяйственных машин на основе комплексного показателя, учитывающего совокупность факторов. Методика отличается комплексным подходом, учитывающим совокупность таких факторов, как конструктивная сложность машин, технические и организационно-экономические последствия отказов. Проведен эксперимент по сбору данных об отказах зерноуборочных комбайнов в период уборки урожая яровой пшеницы в 2024 году на полях Омской области. Под наблюдением был 31 комбайн марки NEW HOLLAND CX6090, КЗС 1218 «Полесье», РСМ-101 «Вектор 410», РСМ-142 «ACROS-550», РСМ-142 «ACROS-585», РСМ-152 «ACROS-595 PLUS». Установлено, что наибольшее количество отказов приходится на жатку и подборщик (15,1%), наклонную камеру (13,4%), молотильный аппарат (11,6%). При этом эксплуатационные отказы – 54%, производственные – около 37% и конструктивные – 9%. По характеру проявления 76% относится к внезапным, 5% к постепенным и 19% к перемежающимся. По взаимосвязи 71% отказов были квалифицированы как независимые и 29% как зависимые. Выявлено, что на долю двигателя, ходовой и электрооборудования приходится порядка 60% отказов, но особому контролю подлежат только 7 узлов и деталей, для которых среднее значение показателя $П_i$ составляет 0,56. На долю жатвенной и молотильной группы приходится 25% отказов, но последствия гораздо серьезнее и контролю подлежат не менее 10 узлов и деталей со средним значением показателя $П_i$ = 1,41. Разработанная методика может найти применение в условиях расширения использования интеллектуальных и цифровых технологий в системе технического обслуживания и ремонта.

Ключевые слова: контроль, техническое состояние, самоходные сельскохозяйственные машины, техническое обслуживание и ремонт, отказ.

Введение. Контроль технического состояния представляет собой проверку соответствия значений параметров объекта контроля требуемым параметрам и определение вида технического состояния в момент контроля. Параметры и объекты для контроля определяются технической документацией и с учетом задач, стоящих перед контролем. В целом система контроля должна устанавливать исправен объект или нет, и позволять принять объективные решения о том, возможно ли продолжить эксплуатацию [1].

Современные самоходные сельскохозяйственные машины (ССМ) оснащены электронными системами контроля, что позволяет не только осуществлять контроль функционирования, но и мониторинг технического состояния [2, 3]. Диагностирование и мониторинг технического состояния являются ключевыми элементами системы технического обслуживания и ремонта (ТОиР), которые позволяют получать необходимую информацию для устранения и предотвращения отказов, планирования обслуживания и ремонта ССМ [4, 5].

В идеальных условиях контроль технического состояния нужно осуществлять за всеми конструктивными элементами машин, однако на практике реализовать это невозможно и нецелесообразно. В связи с этим важным является вопрос о том, какие элементы машин необходимо контролировать в первую очередь [6, 7].

В данном исследовании представлен методический аппарат выбора объектов для контроля технического состояния, построенный на основе подходов технической диагностики. При формировании методики был разработан комплекс критериев, учитывающий опыт подконтрольной эксплуатации ССМ, информацию о надежности элементов ССМ, условия эксплуатации, возможность выявления отказов и оценки затрат, связанных с их устранением, а также тяжесть последствий для сельскохозяйственного производства.

Цель исследования – разработка и апробация методики ранжирования объектов контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин на основе комплексного показателя, учитывающего конструктивную сложность объекта контроля, технические и организационно-экономические последствия отказов. В качестве объекта для контроля технического состояния рассматриваются любые узлы, агрегаты и их составные части (детали), подлежащие техническому обслуживанию и ремонту. Элемент ССМ – это любая деталь, узел, агрегат, выполняющие определенную техническую функцию в составе машин и подлежащие восстановлению или замене в процессе эксплуатации.

Условия, материалы и методы. Метод структурных схем широко известен из теории надежности и теории технической диагностики. Он представляет собой формально-математический метод анализа надежности и оперирует только статистическими характеристиками потока отказов [8, 9]. ССМ, как сложная техническая система, также

может быть представлен в виде структурной схемы. В соответствии с целями и задачами исследования была составлена структурная схема зерноуборочного комбайна. С учетом конструкторской и эксплуатационной документации, сложившейся практики ТОиР выделены отдельные подсистемы (двигатель, ходовая часть, электрооборудование, жатвенная часть, молотильная группа), которые в свою очередь делятся на множество узлов и деталей. На рисунке 1 представлена упрощенная структурная модель ССМ на примере зерноуборочного комбайна.

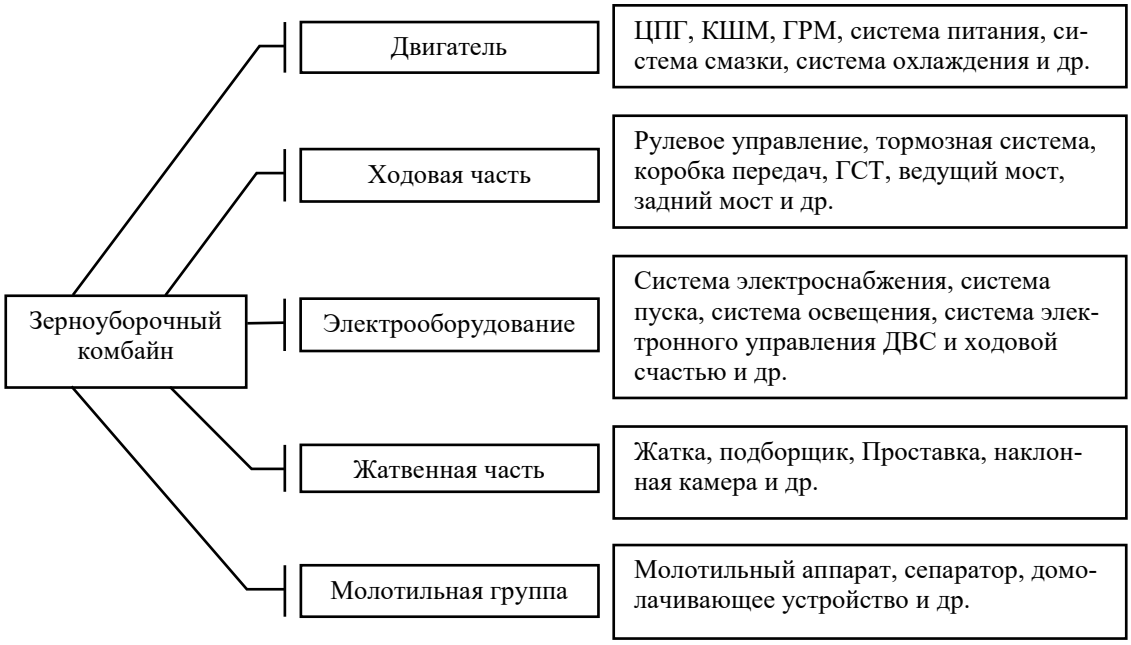


Рис. 1 – Упрощенная структурная схема ЗУК

Применение данной модели позволяет систематизировать отказы, выявить зависимости и закономерности их возникновения, а также сформировать качественную информационную базу отказов в процессе эксплуатации. Это в свою очередь позволит выявить значимые объекты для контроля технического состояния, имеющие отказы в эксплуатации.

Выявление объектов, требующих контроля технического состояния с помощью разработанной методики, опирается на допущение о том, что машины перед началом эксплуатации находились в исправном и работоспособном состоянии и все регламентные или запланированные по результатам диагностики операции ТОиР выполнены в полном объеме.

Для определения значимости объектов, экспертным путем и путем анализа информационной базы отказов были выявлены факторы для оценки влияния последствий отказов в подсистемах ССМ на работоспособность, эффективность выполнения технологических операций и экономику агробизнеса (рис. 2).

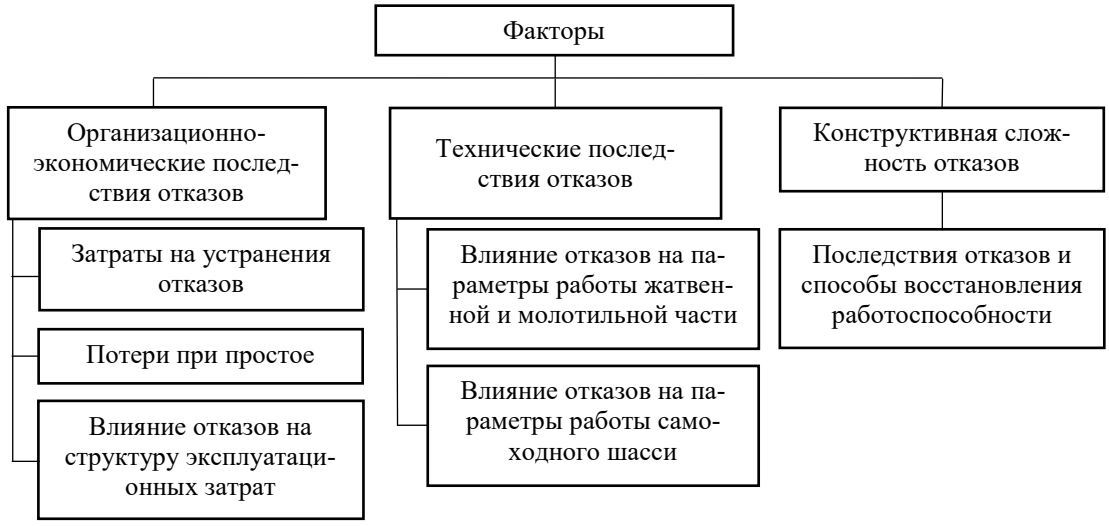


Рис. 2 – Комплекс факторов для оценки влияния последствий отказов

Факторы были объединены в следующие группы: организационно-экономические последствия отказов, технические последствия отказов и конструктивная сложность отказов. В реальных хозяйственных условиях не по всем факторам могут быть получены данные, они могут быть некачественными или сбор их будет трудоемким. В связи с чем, для использования в методике были взяты следующие данные: затраты на устранение отказов; затраты при простое; трудоемкость устранения последствий отказов; последствия отказов и способ восстановления работоспособности.

В методике для анализа последствий отказов предложено использовать комплексный показатель ($П_i$). По своей сути он демонстрирует относительную весомость отказа объекта контроля на основе совокупности факторов (1):

$$П_i = \left(\sum_{i=1}^{k} m_{ij}\right)\left(\sum_{i=1}^{n} m_{ij}\right) M_{ij}\left(C_{xij}T_{ij} + C_{zij} + C_{yij}\right)Q_{il}, \quad (1)$$

где n − количество интервалов наработки (i = 1, 2, … , n); k − количество видов отказов, зарегистрированных за период наблюдений (j = 1, 2, ..., k); m_{ij} – количество отказов j-того вида в i-том интервале наработки; $\sum^{n}_{i=1}m_{ij}$ – количество отказов объектов контроля для i-го интервала наработки; $\sum^{k}_{i=1}m_{ij}$ – количество отказов для одного объекта контроля в период наблюдения; M_{ij} – коэффициент влияния отказов объекта контроля на работоспособность ССМ; C_{xij} – средняя стоимость нормо-часа специалистов, осуществляющих устранение отказов при установленной конструктивной сложности *j*-го отказа *i*-го объекта контроля, руб./чел.-ч.; T_{ij} – средняя трудоемкость устранения *j*-го отказа *i*-го объекта контроля, чел.-ч.; C_{zij} – стоимость запасных частей при устранении *j*-го отказа *i*-го объекта контроля, руб.; C_{yij} – потери от простоев при устранении *j*-го отказа *i*-го объекта контроля, руб.; Q_{jl} - вероятность возникновения отказов в *i*-том интервале наработки для конструктивной подсистемы *(l)* ССМ, где проявился *j*-тый отказ.

Коэффициент влияния отказов объекта контроля на работоспособность ССМ (M_{ij}) показывает значимость j-го отказа для i-го объекта контроля или его составных частей, а также на работоспособность ССМ (табл. 1).

Таблица 1 – Значения коэффициента Mij влияния отказов объекта контроля на работоспособность ССМ

№ п/п	Последствия отказов	Значения M_{ij}
Двигатель, ходовая часть, электрооборудование		
1	Нарушение функционирования без потери работоспособности (появление предупреждений электронных систем, звуковое или визуальное наблюдение проявлений нарушения функционирования), не влияющее на ресурс ССМ	0,05-0,1
2	Нарушение функционирования без потери работоспособности (появление предупреждений электронных систем, звуковое или визуальное наблюдение отказов и т.д.), но влияющее на ресурс ССМ (вероятность потери работоспособности до окончания сезонной работы, увеличение расходов на ТОиР и т.д.), включая отказы первой группы сложности	0,1-0,3
3	Нарушение функционирования (предельные и аварийные режимы), ускоренный износ узлов и агрегатов (может привести к невозможности восстановления и полной замене узла или агрегата), в том числе отказы второй группы сложности	0,3-0,5
4	Полная потеря работоспособности (тяжелые последствия отказов, требуются работы капитального характера по восстановлению работоспособности), включая отказы третьей группы сложности	0,5-1,0
Жатвенная часть и молотильная группа		
5	Нарушение функционирования жатвенной части и молотильной группы без потери качества и работоспособности (появление предупреждений электронных систем, звуковое или визуальное наблюдение отказов и т.д.)	0,1-0,3
6	Нарушение функционирования жатвенной части и молотильной группы с потерей качества, но без потери работоспособности, включая отказы первой группы сложности	0,3-0,5
7	Потеря работоспособности жатвенной части и молотильной группы ССМ (требуются работы по восстановлению работоспособности), включая отказы второй группы сложности	0,5-0,8
8	Полная потеря работоспособности жатвенной части и молотильной группы ССМ (тяжелые последствия отказов, требуются работы капитального характера по восстановлению работоспособности), включая отказы третьей группы сложности	0,8-1,0

Коэффициент Mij также учитывает последствия отказов и склонность к восстановлению работоспособности, которые традиционно подразделяются на три группы: 1-я группа – отказы, устраняемые ремонтом или заменой деталей, которые расположены на внешней части узлов и агрегатов без их разборки, в том числе посредством внеочередных ТО; 2-я группа – отказы, устраняемые ремонтом или заменой узлов и агрегатов путем их отсоединения, вскрытия, но без капитального ремонта; 3-я группа – отказы, устраняемые путем капитального ремонта в условиях мастерских с использование специального инструмента и оборудования.

Специфика сельскохозяйственного производства связана с природными и биологическими факторами возделывания культур. Прежде всего это агротехнологические сроки проведения посевных и уборочных работ. Следовательно, должно выполняться условие, что чистое время работы ССМ равно агротехнологическим срокам. Устранение последствий отказов *(Т)* в агротехнологические сроки увеличивает их продолжительность не в оптимальное время или делает выполнение невозможным, что приводит к потерям. В методике предложена следующая зависимость стоимости потерь (C_{yij}) от недополученной продукции вследствие простоя при устранении j-го отказа i-го объекта контроля во время выполнения агротехнологических мероприятий (2) [10]:

$$C_{xij}=K_П \cdot U_{max} \cdot C_П \cdot Д \qquad (2)$$

где $K_П$ – коэффициент, учитывающий потери продукции в случае отклонения от заданных агротехнологических сроков, %; U_{max} – средневзвешенное значение урожайности в определенной природно-климатической зоне при выполнении агротехнологических мероприятий в оптимальные сроки, т./га; $C_П$ – среднерыночная стоимость продукции, руб./т.; $Д$ – период времени, на который работы были приостановлены, час.

Однако необходимо отметить, что на практике достаточно сложно рассчитать стоимость потерь от простоев, в связи с чем данный показатель используется для установления масштаба влияния отказов на производственный процесс.

Показатель Q_{jl} демонстрирует вероятность возникновения отказов в целом в подсистеме и определяется на основании статистической обработки результатов подконтрольной эксплуатации ССМ. В определенной степени он позволяет учитывать сложные конструктивные структурно-функциональные связи (последовательное, параллельное или последовательно-параллельное соединение элементов машин).

С целью проверки разработанной методики был проведен эксперимент по сбору данных об отказах зерноуборочных комбайнов (ЗУК) в период уборки урожая яровой пшеницы в 2024 году на полях Омской области в лесостепной и степной природно-климатической зоне. При проведении эксперимента учитывались отказы, проявившиеся в условиях эксплуатации. Был принят план испытаний NRT. В эксперименте участвовал 31 комбайн российского и зарубежного производства марки NEW HOLLAND CX6090, КЗС 1218 «Полесье», PCM-101 «Вектор 410», PCM-142 «ACROS-550», PCM-142 «ACROS-585», PCM-152 «ACROS-595 PLUS» с наработкой на момент проведения эксперимента от 30 до 5000 моточасов. Стоимость запасных частей учитывалась по данным бухгалтерского учета, а там, где информацию невозможно было получить или идентифицировать, на основании конъюнктурного анализа предложений снабжающих предприятий г. Омска. Стоимость работ по устранению отказов определялась по внутрифирменной (трансфертной) стоимости (если работы выполнялись силами специализированных ремонтных полевых бригад, силами механизаторов) или на основании стоимости нормо-часа в сторонних сервисах.

Результаты и обсуждение. По результатам проведения эксперимента за период осенних полевых работ 2024 года в сельскохозяйственных предприятиях Омской области было выявлено 423 отказов в 22 подсистемах ЗУК (рис. 3).



Рис. 3 – Распределение отказов по подсистемам ЗУК

При проведении эксперимента были получены данные о количестве отказов, причинах их возникновения, трудоемкости восстановления и финансовых затратах, связанных с ремонтом различных узлов и деталей ЗУК.

Анализ отказов показал, что наибольшее их количество приходится на жатку и подборщик (15,1%), наклонную камеру (13,4%), молотильный аппарат (11,6%). Необходимо отметить, что неисправности данных

конструктивных элементов могут привести дополнительно к потере зерна от 0,5-1,5%.

Наибольшее количество отказов связано с эксплуатационными причинами – 54%, около 37% отказов приходится на производственные и 9% на конструктивные. По характеру проявления 76% относится к внезапным, 5% к постепенным и 19% к перемежающимся. По взаимосвязи 71% отказов были квалифицированы как независимые и 29% как зависимые.

Анализ общей стоимости запасных частей для ЗУК участвующих в эксперименте показал, что наибольшие затраты пришлись на жатку и подборщик – 458 850,28 руб., на трансмиссию и гидросистему – 422 752,95 руб., на наклонную камеру – 418 045,10 руб. Было установлено, что самыми дорогими работами стали работы по ремонту цилиндропоршневой группы (18,8 тыс. руб.), зернового элеватора (11,6 тыс. руб.), гидросистемы (11,2 тыс. руб.), жатки (9,1 тыс. руб.). Наибольшая сумма потерь от простоев пришлась на отказы, связанные с ремонтом цилиндропоршневой группы (39,4 тыс. руб.), зернового элеватора (22,8 тыс. руб.), жатки (22,1 тыс. руб.), наклонной камеры (20,8 тыс. руб.).

Полученные данные коррелируют с результатами исследований других ученых. Так, в ходе наблюдений были установлены отказы узлов и систем комбайнов, имеющих низкие показатели надежности в гарантийный период [11]. Авторы другого исследования использовали сплошной и выборочный хронометраж для определения надежности агрегатов, систем зерноуборочного комбайна и установили, что существенная часть выявленных отказов обнаружена в жатвенной части, механических передачах, отдельно распределенных шпоночных соединениях, гидравлической системе и трансмиссии [12]. Коллективом авторов описаны испытаниях зерноуборочных комбайнов, где существенными значатся отказы панели управления, течь масла по штоку гидроцилиндра вариатора молотильного барабана, смещение шнека жатки, разрушение подшипника в приводе углового редуктора загрузочного шнека, износ витков загрузочного шнека бункера, отказ генератора и разрушение подшипника вала половонабивателя, обрыв кронштейна крепления подшипника вала к клавише соломотряса [13].

Опираясь на полученные экспериментальные данные по разработанной методике были проведены расчеты показателя ($П_i$) и определены объекты, подлежащие контролю в первую очередь (табл. 2).

Таблица 2 – Сводные данные по оценке и ранжированию объектов контроля

Отказы	$П_i$	Ранг
Двигатель, навесное оборудование, ходовая часть, электрооборудование		
Форсунки (нарушение регулировки)	1,1	1
Турбокомпрессор	0,8	2
Шины	0,2	5
Рукав высокого давления (течь масла)	0,2	8
Главный привод	0,6	4
Электропроводка (обрыв, короткое замыкание)	0,2	6
Датчики (включения леникса, выгрузного шнека, клавиш, решет, оборотов вала и т.д.)	0,8	3
Жатвенная часть и молотильная группа		
Предохранительная муфта шнека жатки	0,8	5
Палец жатки направляющий (облом, загиб)	3,3	2
Режущий сегмент жатки (облом, загиб)	0,5	7
Палец тройной жатки (облом, загиб)	0,7	6
Транспортерная лента зернового, колосового элеваторов	4,9	1
Цепи в молотильной группе (обрыв, растяжение)	0,4	8
Вентилятор очистки (деформация лопастей)	0,4	9
Ножи измельчителя (деформация)	1,7	3
Звездочка привода шнека элеватора	0,3	10
Крестовины карданов	1,3	4

Расчеты показали, что несмотря на тяжелые условия эксплуатации двигатель, навесное оборудование, ходовая часть требуют меньшего внимания для контроля технического состояния нежели жатвенная часть и молотильная группа. В процессе подконтрольной эксплуатации установлено, что на долю двигателя, ходовой и электрооборудования приходиться порядка 60% случаев отказов, вместе с тем их последствия для ЗУК и производства не столь значительные и особому контролю подлежат 7 элементов, для которых среднее значение показателя $П_i$ составляет 0,56. Вместе с тем для жатвенной части и молотильной группы установлено для контроля не менее 10 элементов со средним значением показателя Пi = 1,41.

Экспериментальное подтверждение теоретических исследований, положенных в основу методики определения наиболее значимых объектов для контроля технического состояния, позволяет совершенствовать методы и средства контроля технического состояния. Прежде всего это относиться к использованию интеллектуальных и цифровых технологий

для удаленного мониторинга технического состояния [14]. В идеальных условиях необходимо контролировать все элементы машин, однако на практике это невозможно и нецелесообразно. Выбор наиболее значимых объектов для контроля технического состояния, в том числе с использование встроенных систем контроля и средств телеметрии, позволяет перейти к новой модели технического обслуживания, основанной на использовании предсказательной аналитики [15, 16].

Выводы. Проведенное исследование развивает существующие подходы в технической диагностике к определению объектов для контроля технического состояния. Применение формально-математического метод анализа надежности и выработка комплекса критериев, учитывающих опыт подконтрольной эксплуатации, информацию о надежности, условия эксплуатации, возможность выявления отказов и оценки эксплуатационных затрат, позволили разработать методику выбора объектов для контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин.

Ключевое научное достижение работы заключается в установлении факторов для оценки влияния последствий отказов на работоспособность самоходных сельскохозяйственных машин и технико-экономические показатели их эксплуатации. Доказано влияние на значимость последствий отказов совокупности таких факторов, как: частота отказов, затраты на устранение отказов, стоимость простоя, трудоемкость устранения последствий отказов, конструктивная сложность отказов и способ восстановления работоспособности.

Разработанная методика выбора объектов для контроля технического состояния самоходных сельскохозяйственных машин позволяет на основе комплексного показателя ($П_i$) определить относительную весомость отказа объекта контроля. Для проверки разработанной методики был проведен эксперимент по сбору данных об отказах зерноуборочных комбайнов, которые послужили основой для расчета комплексного показателя ($П_i$) и ранжированию объектов контроля в зависимости от тяжести последствий.

В результате эксперимента была подтверждена гипотеза о том, что частота отказов не всегда является значимым критерием для определения объектов, подлежащих контролю в процессе эксплуатации. Так, установлено, что на долю двигателя, ходовой и электрооборудования приходиться порядка 60% случаев фиксирования отказов, вместе с тем их последствия не столь значительны и особому контролю подлежат 7 элементов, для которых среднее значение показателя $П_i$ составляет 0,56. Вместе с тем для жатвенной части и молотильной группы определено для контроля не менее 10 элементов со средним значением показателя $П_i$ = 1,41.

Практическая ценность полученных результатов заключается в возможности научно-обоснованного выбора объектов для контроля технического состояния. Применение на практике комплексного показателя ($П_i$) позволит повысить эффективность системы технического обслуживания и ремонта за счет обеспечения приоритетного контроля тех элементов зерноуборочных комбайнов, отказы которых по совокупности факторов могут привести к наибольшим эксплуатационным затратам и производственным потерям.

Перспективы дальнейших исследований связаны с расширением количества анализируемых факторов, влияющих на выбор объектов для контроля технического состояния и учетом всей совокупности структурно-функциональных связей в подсистемах зерноуборочных комбайнов. Особый интерес представляет исследование возможности использования методики для выбора наиболее значимых объектов для контроля технического состояния при использовании автоматизированных систем диагностики и мониторинга.

Литература

1. Помогаев В.М. Концептуальная модель методологии прогнозного обслуживания сельскохозяйственных машин // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 4 (72). С. 538-547. doi: 10.32786/2071-9485-2023-04-54.

2. Дидманидзе О. Н., Дорохов А. С., Катаев Ю. В. Тенденции развития цифровых технологий диагностирования технического состояния тракторов // Техника и оборудование для села. 2020. № 11(281). С. 39-43. doi: 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.

3. Катаев Ю. В., Герасимов В. С., Тишанинов И. А. Использование систем бесконтактной диагностики при техническом обслуживании энергонасыщенной сельскохозяйственной техники // Технический сервис машин. 2022. № 2(147). С. 60-66. doi: 10.22314/2618-8287-2022-60-2-60-66.

4. Цифровые решения при техническом сервисе сельскохозяйственной технике: аналитический обзор / И. Г. Голубев, Н. П. Мишуров, В. Ф. Федоренко и др. М. : Росинформагротех, 2020. 76 с.

5. Кокорев Г.Д. Способ отбора рациональной совокупности объектов, подлежащих диагностированию // Вестник Рязанского государственного Агротехнологического университета имени П.А. Костычева. 2013. № 1 (17). С. 61-64.

6. Катаев Ю.В. Контроль технического состояния сельскохозяйственной техники // Тенденции развития науки и образования. 2022. № 89-1. С. 82-84. doi: 10.18411/trnio-09-2022-22.

7. Continuoustime predictive-maintenance scheduling for a deteriorating system / A. Grall, L. Dieulle, C. Berenguer, M. Roussignol // IEEE Transactions on Reliability. 2002. Vol. 51. № 2. P. 141-150. doi: 10.1109/TR.2002.1011518.

8. Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists / H. Kumamoto et al. New York, NY: Wiley-IEEE Press, 1996. 597 p.

9. Викторова В.С., Степанянц А.С. Модели и методы расчета надежности технических систем. М.: ЛЕНАНД, 2016. 256 с.

10. Субочев С.В., Немцев А.Е., Коптева И.В. Влияние основных показателей надежности на эффективность зерноуборочных комбайнов // Вестник НГАУ. 2014. № 2(31). С. 157-164.

11. Комаров В.А., Курашкин М.И. Исследование работоспособности зерноуборочных комбайнов в гарантийный период // Инженерные технологии и системы. 2021. № 2. С. 188-206. doi: 10.15507/2658-4123.031.202102.188-206.

12. Исследование возникающих отказов между основными системами зерноуборочных комбайнов и времени их устранения / А. Т. Лебедев, Р. В. Павлюк, А. В. Захарин, П. А. Лебедев // Технический сервис машин. 2019. № 3(136). С. 33-39.

13. Бурак П.И., Голубев И.Г. Анализ наработки на отказ зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов // Техника и оборудование для села. 2022. № 5 (299). Р. 27-31. doi: 10.33267/2072-9642-2022-5-27-31.

14. Помогаев В.М. Мониторинг технического состояния сельскохозяйственных машин и качества выполнения технологических операций // Вестник Омского государственного аграрного университета. 2023. № 2(50). С. 143 -152.

15. A Systematic Literature Review of the Predictive Maintenance from Transportation Systems Aspect / O. Ö. Ersöz, A. F. Inal, A. K. Turker, S. Ersöz // Sustainability. 2022. № 14(21). P. 14536. doi: 10.3390/su142114536.

16. Maktoubian J., Taskhiri M.S., Turner P. Intelligent predictive maintenance (IPdM) in forestry: a review of challenges and opportunities // Forests. 2021. № 12(11). P. 1495. doi: 10.3390/f12111495.

Сведения об авторе:
Помогаев Виталий Михайлович – кандидат экономических наук, доцент кафедры технического сервиса, механики и электротехники, проректор по экономике и информатизации, e-mail: vm.pomogaev@omgau.org
Омский государственный аграрный университет, Омск, Россия.

SELECTION OF OBJECTS FOR MONITORING TECHNICAL CONDITION OF SELF-PROPELLED AGRICULTURAL MACHINERY

V. M. Pomogaev

Abstract. Monitoring the technical condition of agricultural machinery, as a key element of maintenance and repair system, requires, in practice, identifying the structural components that should be prioritized for diagnostics. The purpose of this study is to develop and test a methodology for ranking the objects of condition monitoring of agricultural machinery based on a comprehensive indicator that takes into account a range of factors. This methodology utilizes a comprehensive approach, taking into account a range of factors, including the structural complexity of machines and technical, organizational and economic consequences of failures. An experiment was conducted to collect data on combine harvester failures during the 2024 spring wheat harvest in the fields of Omsk region. The observation included 31 combine harvesters of the following brands: NEW HOLLAND CX6090, KZS 1218 Polese, RSM-101 Vector 410, RSM-142 ACROS-550, RSM-142 ACROS-585, RSM-152 ACROS-595 PLUS. It was established that the greatest number of failures occurs in the header and pick-up (15.1%), the feeder chamber (13.4%) and the threshing mechanism (11.6%). At the same time, operational failures make up 54%, production failures – about 37% and design failures – 9%. According to the nature of manifestation, 76% are sudden, 5% are gradual and 19% are intermittent. According to the interrelationship, 71% of failures were classified as independent and 29% as dependent. It was found that the engine, chassis and electrical equipment account for approximately 60% of failures, but only 7 components, for which the average Pi value is 0.56, are subject to special monitoring. The reaping and threshing system accounts for 25% of failures, but the consequences are much more serious, and at least 10 components, with an average Pi value of 1.41, are subject to monitoring. The developed methodology can be applied as intelligent and digital technologies are increasingly used in maintenance and repair systems.

Key words: monitoring, technical condition, self-propelled agricultural machinery, maintenance and repair, failure.

References

1. Pomogaev VM. [Conceptual model of the methodology of predictive maintenance of agricultural machinery]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2023; 4 (72). 538-547 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-04-54.

2. Didmanidze ON, Dorokhov AS, Kataev YuV. [Trends in the development of digital technologies for diagnosing the technical condition of tractors]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2020; 11(281). 39-43 p. doi: 10.33267/2072-9642-2020-11-39-41.

3. Kataev YuV, Gerasimov VS, Tishaninov IA. [Use of contactless diagnostic systems in the maintenance of energy-intensive agricultural machinery]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2022; 2(147). 60-66 p. doi: 10.22314/2618-8287-2022-60-2-60-66.

4. Golubev IG, Mishurov NP, Fedorenko VF. [Digital solutions in technical service of agricultural machinery: an analytical review]. Moscow: Rosinformagrotekh. 2020; 76 p.

5. Kokorev GD. [Method for selecting a rational set of objects subject to diagnostics]. Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo Agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P.A. Kostycheva. 2013; 1 (17). 61-64 p.

6. Kataev YuV. [Monitoring the technical condition of agricultural machinery]. Tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya. 2022; 89-1. 82-84 p. doi: 10.18411/trnio-09-2022-22.

7. Grall A, Dieulle L, Berenguer C, Roussignol M. Continuoustime predictive-maintenance scheduling for a deteriorating system. IEEE Transactions on Reliability. 2002; Vol.51. 2. 141-150 p. doi: 10.1109/TR.2002.1011518.

8. Kumamoto H. Probabilistic risk assessment and management for engineers and scientists. New York, NY: Wiley-IEEE Press. 1996; 597 p.

9. Viktorova VS, Stepanyants AS. Modeli i metody rascheta nadezhnosti tekhnicheskikh sistem. [Models and methods for calculating the reliability of technical systems]. Moscow: LENAND. 2016; 256 p.

10. Subochev SV, Nemtsev AE, Kopteva IV. [Influence of the main reliability indicators on the efficiency of grain harvesters]. Vestnik NGAU. 2014; 2(31). 157-164 p.

11. Komarov VA, Kurashkin MI. [Study of grain harvesters performance during the warranty period]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2021; 2. 188-206 p. doi: 10.15507/2658-4123.031.202102.188-206.

12. Lebedev AT, Pavlyuk RV, Zakharin AV, Lebedev PA. [Study of emerging failures between the main systems of grain combine harvesters and the time of their elimination]. Tekhnicheskiy servis mashin. 2019; 3(136). 33-39 p.

13. Burak PI, Golubev IG. [Analysis of the mean time between failures of grain and forage harvesters]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2022; 5 (299). 27-31 p. doi: 10.33267/2072-9642-2022-5-27-31.

14. Pomogaev VM. [Monitoring the technical condition of agricultural machinery and the quality of technological operations]. Vestnik Omskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; 2(50). 143-152 p.

15. Ersoz OO, Inal AF, Turker AK, Ersoz S. A systematic literature review of the predictive maintenance from transportation systems aspect. Sustainability. 2022; 14(21). 14536 p. doi: 10.3390/su142114536.

16. Maktoubian J, Taskhiri MS, Turner P. Intelligent predictive maintenance (IPdM) in forestry: a review of challenges and opportunities. Forests. 2021; 12(11). 1495 p. doi: 10.3390/f12111495.

Author:
Pomogaev Vitaliy Mikhailovich – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Technical Service, Mechanics and Electrical Engineering Department, Vice-Rector for Economics and Informatization, e-mail: vm.pomogaev@omgau.org
Omsk State Agrarian University, Omsk, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-85-90
УДК 62-83:63 (075.8)

ВЫБОР СИСТЕМЫ ПРИВОДА СОСТАВНЫХ ЧАСТЕЙ БЛОЧНО-МОДУЛЬНОГО АГРЕГАТА

Ю. А. Шекихачев, В. Х. Мишхожев, А. Г. Фиапшев, Л. З. Шекихачева

Реферат. Обоснование системы передачи энергии рабочему органу сельскохозяйственных машин предполагает отыскание оптимальных принципов синтеза ее структуры в зависимости от факторов, влияющих на качество работы при выполнении ею главной своей функции. Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственных машин за счет разработки и внедрения системы критериев для обоснованного выбора типа привода, обеспечивающей снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности. Исследован привод инструментов, входящих в блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев: электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, электрокусотреза ЭКР-1. Для окончательного выбора варианта системы передачи энергии рабочему органу в качестве дополнительного критерия предпочтения рекомендуется использовать показатели безотказной работы. В результате проведенных расчетов установлены типы приводов в зависимости от передаваемой мощности, расстояния выноса рабочего органа и совершаемого им вида движения: для электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрокусотреза ЭКР-1, в которых рабочий орган совершает вращательное движение, и он вынесен на расстояние не более 4 м от источника энергии, целесообразен механический привод (коэффициент готовности 0,96; наработка на отказ 192 мото-ч.; время восстановления 1,5 ч); на больших расстояниях, до 250 м, предпочтителен электропривод повышенной (200-400 Гц) частоты (0,97; 204 мото-ч.; 1,2 ч); на расстояниях свыше 400 м электропривод повышенной и промышленной частоты равноценны; для электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, в которых рабочий орган совершает возвратно-поступательное движение, и он вынесен на расстояние до 10 м при любой мощности передаваемой энергии целесообразен гидропривод (0,96; 246 мото-ч.; 1,1 ч), причем с уменьшением мощности рекомендуется расширить зону действия гидропривода до 40 м; увеличение расстояния выноса рабочего органа до 200-250 м делает экономически целесообразным электропривод повышенной частоты (0,97; 198 мото-ч.; 1,2 ч).

Ключевые слова: сельскохозяйственные машины, рабочие органы, привод, оптимальность, мощность, повышенная частота.

Введение. Выбор системы приводов рабочих органов и оценка их надежности – одна из важных задач при конструировании сельскохозяйственных машин. Применяемые для приведения в движение исполнительных рабочих органов (РО) сельскохозяйственных машин и агрегатов приводы различных систем имеют свои преимущества и недостатки. Выбор одной из этих систем приводов, как оптимальной, без учета всего множества факторов, влияющих на качество работы всей системы в целом, будет неверным [1, 2, 3].

Наиболее часто применяемые системы передачи энергии рабочему органу (СПЭРО) применительно к мобильным агрегатам для садоводства с автономным, а, следовательно, ограниченным энергообеспечением, представляют собой совокупность двигателя внутреннего сгорания (ДВС), гидронасоса (электрогенератора), гидравлической (электрической) сети передачи энергии на расстоянии и гидромотора (электромотора) [4].

Оптимальность привода зависит не только от расстояния выноса РО, но и от величины передаваемой мощности, условий эксплуатации и от ряда показателей и требований конкретных мобильных сельхозмашин. Уточним с помощью критерия эффективности и минимальных затрат зоны предпочтительного применения отдельных СПЭРО в зависимости от величины передаваемой мощности, расстояния выноса РО и вида движения последнего.

Применение ЭП в мобильных сельскохозяйственных машинах и агрегатов во многих случаях предпочтительней и весьма перспективно ввиду их гибкости, относительной дешевизны и простоты передаточных сетей [5, 6, 7].

Особенно бесспорны преимущества ЭП переменного тока повышенной частоты (200-400 Гц) ввиду хороших массогабаритных показателей и регулировочных возможностей. Уменьшение веса и габаритов ЭП в свою очередь повышает не только экономические (стоимостные), но и технологические, энергетические, эргономические и др. показатели, повышается производительность рабочего органа, а, следовательно, и производительность рабочего, пользующегося высокочастотным переносным инструментом.

Поскольку источником энергии для мобильных агрегатов, как правило, служит ДВС, то, естественно, первичным источником энергии для рабочих органов, выполняющих различные агротехнологические операции, служит вал отбора мощности (ВОМ) указанного ДВС. Необходимость наличия генератора, работающего от ВОМ, как источника электрической энергии, не делает применение статических преобразователей частоты заведомо предпочтительным вариантом, и перевес полупроводниковых преобразователей в этих условиях, да и с точки зрения устойчивой и надежной работы, не всегда бесспорен. Что же касается массогабаритных преимуществ полупроводниковых преобразователей, в мобильных агрегатах, где требования к этим показателям

не такие жесткие, указанные преимущества практически не полностью реализуются [8, 9].

Одним из существенных требований к СПЭРО является надежность в работе, а в ряде случаев этот показатель может стать определяющим. ЭП не только более гибкие и универсальные, но имеют относительно высокий уровень надежности функционирования, потому они более предпочтительны как приводы рабочих органов мобильных агрегатов для садоводства. Проблемы безотказной работы всех звеньев подобных СПЭРО приобретают актуальное значение для хозяйств, которым приходится уделять внимание не только стоимостным показателям, но и показателям надежности [10].

ЭП мобильных агрегатов, как электромеханическая система, состоящая из преобразовательного, передаточного и двигательного звеньев, а также устройств управления и контроля, имеют сложную структуру, особенно в части управляющего устройства в виде пусковой, регулирующей и измерительной аппаратуры. Это вынуждает прогнозировать уровень надежности конструктивно усложненного устройства, ужесточить требования к качеству исполнения всех звеньев и узлов ЭП.

Задача сравнения альтернативных вариантов и систем СПЭРО сводится к отысканию оптимальных принципов синтеза ее структуры в зависимости от факторов, влияющих на качество работы при выполнении ею главной своей функции. При этом синтез системы передачи будем считать эффективным, если будет обеспечено необходимое качество передачи энергии при минимальных затратах с одновременным обеспечением устойчивой и надежной работы всех звеньев системы, вне зависимости от системы передачи, числа степеней свободы и конструкции РО.

Цель исследования – повышение эффективности эксплуатации сельскохозяйственных машин за счет разработки и внедрения системы критериев для обоснованного выбора типа привода, обеспечивающей снижение эксплуатационных затрат и повышение надежности на основе анализа коэффициента готовности, наработки на отказ и времени восстановления.

Условия, материалы и методы. Исследования базируются на методах физического и математического моделирования, сравнения. В качестве объекта исследования использован привод инструментов, входящих в блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев, представляющего собой самоходное шасси Т-25, на раме которого монтируется садовая вышка, состоящая из металлической сварной платформы, гидравлического цилиндра, лестницы, огражденной площадки, комплекта ручных инструментов для выполнения вспомогательных работ (рис. 1): электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, электрокусторeза ЭКР-1 [11, 12]. На раме самоходного шасси смонтированы редуктор, электрогенератор, преобразователь для преобразования постоянного тока в переменный с частотой 200 Гц и напряжением 36 В.



Рис. 1 – Блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев

Исследования проведены на садовом участке ФГБНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт горного и предгорного садоводства».

Результаты теоретических расчетов обработаны с помощью пакета прикладных программ «STATISTICA-5.0».

Учитывая, что эффективность работы СПЭРО зависит от надежности технических средств, технологических, энергетических, эргономических и множества других показателей и свойств, как коэффициент полезного действия (КПД), масса, безопасность эксплуатации, степень свободы РО, кратность

пускового момента электродвигателя, его перегрузочная способность, а также вероятность безотказной работы всего устройства. Определим критерий оптимальности синтезируемой СПЭРО не только как минимум затрат *З*, но и как минимальное значение некоторой функции эффективности, представляющей собой сумму произведений, двух переменных показателей x_i' и c_i:

$$З \to \min; K'_Э = K_{ОРГ} \sum_{i=1}^{n} x'_i c_i \to \min, \quad (1)$$

здесь $K_{ОРГ}$ – коэффициент, показывающий степень совершенства и организованности системы;

x_i'– нормируемый относительно базисного значения показатель единичный i-того варианта СПЭРО: $x_i' = x_i/x_{iб}$;

c_i – значимость, «вес» показателя i-того варианта, причем $c_i>0$, а $\sum_{i=1}^{n} c_i = 1$.

В тех случаях, когда совокупности показателей K(S) окажутся векторно несравнимыми, введение некоторого интегрального коэффициента K_Σ, отражающего влияние эффективности $K'_Э$ и затрат *З,* как условный критерий предпочтения, облегчит синтез структуры СПЭРО, а минимум этой функции условного критерия $K_\Sigma = K'_Э З \to \min$ позволит найти окончательную границу использования системы или четко определить зону оптимального использования различных систем.

Результаты и обсуждение. На основании результатов исследований построены графики зависимостей эффективностей $K'_Э$ и стоимостей *З* двух систем S_1 и S_2 от изменения удаленности ℓ рабочего органа от источника энергии (рис. 2).

На отрезке $\ell \le \ell \le \ell_1$, предпочтение на стороне системы S_1 – оба показателя $K'_Э$ и $З_1$, лучше (меньше), чем у системы S_2.

При $\ell \ge \ell_2$ оптимальна система по тем же причинам.

На отрезке $\ell_1 < \ell < \ell_2$ приемлемы обе системы S_1 и S_2: $K'_{Э2}$ у системы S_2 лучше, чем $K'_{Э1}$ у системы S_1 , но зато $З_1$ у системы S_1 лучше, чем $З_2$ системы S_2. Условный критерий предпочтения K_Σ, заключенный между точками 1 и 2, позволит найти границу использования системы.

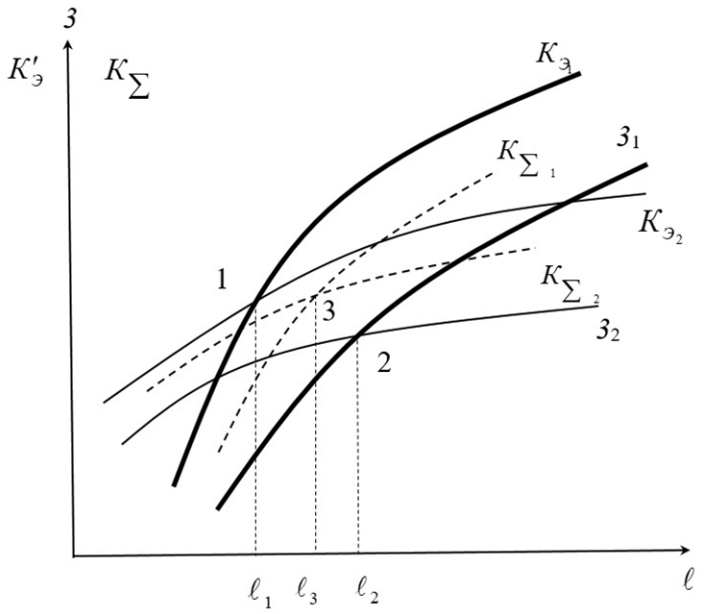


Рис. 2 – Зависимость эффективностей $K'_Э$, интегрального коэффициента K_Σ, и стоимостей З двух систем S_1 и S_2 от изменения удаленности ℓ рабочего органа от источника энергии

Заменив вероятность безотказной работы ЭП в течение заданного времени наработкой T_O на отказ, и считая, что показатель ремонтопригодности (вероятность восстановления за время, не более заданного τ) равно среднему времени восстановления T_B, то по значениям T_O и T_B устанавливаем комплексный показатель надежности, так называемый коэффициент готовности $K_Г$:

$$K_Г = \frac{T_O}{T_O + T_B}. \quad (2)$$

Допускаем, что все отказы носят внезапный характер, поиск места повреждения производится «вручную» (не автоматически) и ремонт осуществляется на месте. Тогда математическая модель распределения времени между отказами будет представлять собой экспоненциальное распределение, а времени восстановления – распределение Эрланга [13, 14].

Расчеты по определению наработки T_O на отказ и среднего времени на восстановление T_B произведены с использованием коэффициентного метода, т.е. с использованием не абсолютного значения интенсивности отказов элементов λ_i, а коэффициентов надежности этих элементов K_i, определяемых с помощью достоверно известной интенсивности отказов

некоторого базисного элемента λ_δ. Тогда по заданному допускаемому значению коэффициента готовности $K_Г$, расчетному варианту ЭП с известными номиналами элементов, а также среднему значению времени восстановления i-того элемента T_{Bi} определим T_O и T_B (2):

$$T_O = \frac{1}{\lambda_\delta}\sum_{i=1}^{n} N_i K_i'; \qquad (3)$$

$$T_B = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{N_i K_i'}{\sum_{i=1}^{n} N_i K_i'}\right)^{T_{B_i}}, \qquad (4)$$

здесь N_i – число одноименных элементов системы;

K'_t – результирующее значение коэффициента надежности i-того элемента с учетом поправочных коэффициентов;

λ_δ – интенсивность отказов базисного элемента.

Расчетное значение коэффициента готовности $K_Г$ не должно быть меньше допустимого значения, т.е. $K_Г \geq K_{Г.ДОП}$. Если окажется, что $K_Г$ меньше $K_{Г.ДОП}$, то выполнение условия рекомендуется обеспечить:

- увеличением наработки T_O на отказ;
- уменьшения среднего времени восстановления T_B.

Уменьшение среднего времени восстановления T_B обеспечивается как техническими мерами (повышением, например, степени блочности узлов, унифицированием деталей), так и организационными мерами (например, повышением оперативности действий персонала, своевременной заготовкой ремкомплекта).

Критерием оптимального повышения уровня надежности путем увеличения наработки T_O на отказ служит максимум дополнительной экономической эффективности, связанной с повышением надежности отдельных элементов, а, следовательно, и их стоимости (2):

$$Э_{Ti} = (m_O R_O - m_j R_j)\, T_э - \Delta K_j, \qquad (5)$$

где m_O и m_j – среднее число отказов в год элемента повышенной надежности и j-того элемента;

R_O и R_j – средние стоимости потерь от одного отказа указанных элементов;

$T_Э$ – эквивалентный срок службы;

ΔK_j – дополнительные капвложения в повышение надежности j-того варианта.

Экономически целесообразный уровень надежности будет иметь вариант с максимальным эффектом $Э_{T.max}$.

Уровень надежности ЭП рекомендуется поддержать также проведением своевременных периодических осмотров и технического обслуживания (ТО) через оптимальные сроки. Определив оптимальный коэффициент готовности как некоторую функцию от коэффициента срока службы $K_Г$, стоимости проведения техосмотра c_O и годового максимального технологического ущерба от отказов $У_Г$

$$K_{Г.ОПТ} = 1 - \sqrt{\frac{K_O c_O}{У_Г}}, \qquad (6)$$

устанавливается оптимальная периодичность проведения ТО через эти параметры и наработку T_O на отказ (4):

$$t_{ТО.ОПТ} = \frac{2T_O}{\sqrt{\frac{T_O У_Г}{c_O} - 0{,}5}}. \qquad (7)$$

В выражении (6) коэффициент срока службы K_O, в свою очередь, зависит от наработки T_O на отказ и годового времени работы:

$$K_O = \frac{t_2}{4T_O}.$$

Цифра 4 означает, что лишь четверть отказов явные, остальные скрытые.

Оптимальная наработка на отказ $T_{O.ОПТ}$ зависит от периодичности ТО $t_{ТО}$, принятой в конкретном хозяйстве, числа ТО в году $n_{ТО}$, стоимости ЭП R:

$$T_{ТО.ОПТ} = \frac{t_{ТО} n_{ТО} B}{4R}, \qquad (8)$$

где В – приращение стоимости элемента при снижении интенсивности отказов.

При необходимости учета ущерба от недовыпуска продукции оптимальный коэффициент готовности примет несколько иной вид:

$$K_{Г.ОПТ} = \frac{1}{\frac{4R}{n_{ТО}} + 1}, \qquad (9)$$

где R – стоимость ЭП;

$n_{ТО}$ – число ТО в году.

В результате проведенных расчетов установлено, что передаваемая мощность, расстояние выноса рабочего органа и его функциональное назначение (вид движения) в общем величины переменные, и зоны предпочтения различных систем и вариантов СПЭРО зависят от конкретных значений этих параметров:

- для электроветкорезов ЭВР-1 и ЭВР-2, электрокусторeза ЭКР-1, в которых РО совершает вращательное движение, и он вынесен на расстояние не более 4 м от источника энергии, целесообразен механический привод ($K_Г$ = 0,96; T_O = 192 мото-ч.; T_B = 1,5 ч); на больших расстояниях, до 250 м, предпочтителен электропривод (ЭП) повышенной (200-400 Гц) частоты ($K_Г$ = 0,97; T_O = 204 мото-ч.; T_B = 1,2 ч); на расстояниях свыше 400 м ЭП повышенной и промышленной частоты равноценны;

- для электрических пил ЭПС-1 и ЭПС-2, в которых РО совершает возвратно-поступательное движение, и он вынесен на расстояние до 10 м при любой мощности передаваемой энергии целесообразен гидропривод ($K_Г$ = 0,96; T_O = 246 мото-ч.; T_B = 1,1 ч), причем с уменьшением мощности рекомендуется

расширить зону действия гидропривода до 40 м; увеличение расстояния выноса РО до 200-250 м делает экономически целесообразным ЭП повышенной частоты ($К_Г$ = 0,97; $Т_О$ = 198 мото-ч.; $Т_В$ = 1,2 ч).

Выводы. 1.Для окончательного выбора варианта системы передачи энергии рабочему органу в качестве дополнительного критерия предпочтения рекомендуется использовать показатели безотказной работы, т.е. надежности привода, с учетом экономической эффективности $Э_{Т.max}$ и целесообразности повышения уровня этих показателей.

2.Рекомендуется оптимизировать уровень надежности электрического привода и поддержать его за счет проведения своевременных периодических осмотров и технического обслуживания на том уровне, какой себе может позволить хозяйство с учетом его экономики и возможностей, исходя из выбранной им стратегии эксплуатации электрооборудования в целом.

3.В тех случаях, когда мощности источника и наиболее мощного электрического привода соизмеримы, вопросы динамической устойчивости работы системы в целом оказываются определяющими.

4.Синтезируя структуру системы передачи энергии рабочему органу при различных расстояниях выноса рабочего органа, величинах передаваемой ему мощности и видах его движения, следует руководствоваться следующим:

- для инструментов, в которых РО совершает вращательное движение, и он вынесен на расстояние не более 4 м от источника энергии, следует использовать механический привод; на расстояниях до 250 м – электропривод (ЭП) повышенной (200-400 Гц) частоты;

- для инструментов, в которых РО совершает возвратно-поступательное движение, и он вынесен на расстояние до 40 м следует использовать гидропривод; на расстояниях до 200-250 м – ЭП повышенной частоты.

Литература

1. История и перспективы технологического развития систем передачи электроэнергии / Н. В. Арефьев, А. С. Сигов, В. Э. Воротницкий и др. // Вести в электроэнергетике. 2025. № 1 (135). С. 44-60.

2. Адигамов Н.Р. Теория и методы расчета повышения надежности сельскохозяйственных уборочных машин с учетом состояния их элементов: дис. д-ра техн. наук / Адигамов Наиль Рашатович. Казань, 2006. 282 с.

3. Analysis of change in the state of hydraulic drive of machines in operation according to the diagnostic results / N. G. Grinchar, P. A. Sorokin, Karpychev V. A. и др. // Scientia Iranica. 2020. Т. 27. № 1 B. С. 295-301. doi: 10.24200/sci.2018.50340.1644.

4. Стребков Д. С., Шогенов А. Х., Шогенов Ю. Х. Перспективы применения электротехнологии в садоводстве // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 6 (94). С. 53-59. doi: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59.

5. Чаплыгин М. Е., Годжаев З. А., Уютов С. Ю. Обоснование параметров и режимов работы электроприводов базовых рабочих органов селекционного комбайна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 1(80). С. 112–124. doi:10.53914/issn2071-2243_2024_1_112–124.

6. Математическое моделирование динамических процессов сельскохозяйственного мобильного энергетического средства на электроприводе / З. А. Годжаев, С. Е. Сенькевич, И. С. Алексеев и др. // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2024. Т. 25. № 1. С. 112-122. doi: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122.

7. Чаплыгин М.Е., Старостин И.А., Овчаренко А.С. Концептуальные основы создания электрического селекционного комбайна с комбинированной энергетической установкой // Инженерные технологии и системы. 2025. Т. 35. № 2. С. 266-283. doi: 10.15507/2658-4123.035.202502.266-283.

8. О точности регулирования дискретных значений тока и напряжения в установках для испытания силовых полупроводниковых приборов / С. Н. Антонов, С. В. Оськин, С. В. Аникуев и др. // Электротехника. 2022. № 7. С. 6-9. doi: 10.53891/00135860_2022_7_6.

9. Математическое описание переходных процессов в преобразователях и стабилизаторах напряжения систем автономного электроснабжения / В. Я. Хорольский, А. В. Ефанов, С. Н. Антонов и др. // Электротехника. 2021. № 7. С. 58-61.

10. Повышение эксплуатационной надежности сельскохозяйственных машин / А. К. Апажев, Ю. А. Шекихачев, Л. М. Хажметов и др. // Техника и оборудование для села. 2023. № 4 (310). С. 12-16. doi: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16.

11. Апхудов Т. М., Шекихачев Ю.А. Разработка и исследование садовой пилы с электрическим приводом // АгроЭкоИнфо. 2020. №1. URL: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_112.pdf.

12. Апхудов Т. М. Блочно-модульный агрегат для обрезки плодовых деревьев // Сельский механизатор. 2016. № 2. С. 10-11.

13. Острейковский В. А., Павлов А. С. Математические модели оценки техногенного риска сложных систем на основе распределения Эрланга // Надежность и качество сложных систем. 2016. № 1 (13). С. 99-106;

14. Наумова Н. А., Данович Л. М., Данович Ю. И. Определение параметров распределения обобщенного закона Эрланга по экспериментальным данным при изучении транспортных потоков // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 5 URL: https://science-education.ru/ru/article/view?id=10045.

Сведения об авторах:

Шекихачев Юрий Ахметханович – доктор технических наук, профессор, декан факультета механизации и энергообеспечения предприятий, профессор кафедры технической механики и физики, e-mail: shek-fmep@mail.ru

Мишхожев Владислав Хасенович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой агроинженерии, e-mail: mvkkkk@mail.ru

Фиапшев Амур Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой энергообеспечения предприятий, e-mail: energo.kbr@rambler.ru
Шекихачева Людмила Завиевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры землеустройства и экспертизы недвижимости, e-mail: sh-ludmila-z@mail.ru
Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет им. В.М. Кокова, Нальчик, Россия.

SELECTION OF A DRIVE SYSTEM FOR COMPONENTS OF A BLOCK-MODULE UNIT
Yu. A. Shekihachev, V. Kh. Mishkhozhev, A. G. Fiapshev, L. Z. Shekihacheva

Abstract. Justification of a power transmission system for the working element of agricultural machinery requires identifying optimal principles for synthesis of its structure based on factors affecting the performance of its primary function. The purpose of this study is to improve the operational efficiency of agricultural machinery by developing and implementing a system of criteria for the informed selection of a drive type, ensuring reduced operating costs and increased reliability. The drive system of the tools included in a block-modular unit for pruning fruit trees was studied: EVR-1 and EVR-2 electric branch trimmers, EPS-1 and EPS-2 electric saws and EKR-1 electric brush cutter. For the final selection of the option of power transmission system to the working element, it is recommended to use the failure-free operation indicators as an additional preference criterion. As a result of the calculations, the types of drives were established depending on the transmitted power, the extension distance of the working element and the type of movement it performs: for EVR-1 and EVR-2 electric branch cutters, EKR-1 electric brush cutter, in which the working element performs a rotational movement and it is extended at a distance of no more than 4 m from the power source, a mechanical drive is advisable (availability factor 0.96; mean time between failures 192 motor-hours; recovery time 1.5 hours); at greater distances, up to 250 m, an electric drive with increased (200-400 Hz) frequency (0.97; 204 motor-hours; 1.2 hours) is preferable; at distances over 400 m, an electric drive with increased and industrial frequencies are equivalent; for EPS-1 and EPS-2 electric saws, which have a reciprocating working element and an extended reach of up to 10 m, a hydraulic drive (0.96; 246 motor-hours; 1.1 h) is recommended for any transmitted power. As the power decreases, it is recommended to extend t he hydraulic drive's range to 40 m. Increasing the working unit's extension distance to 200-250 m makes a high-frequency electric drive (0.97; 198 motor-hours; 1.2 h) economically feasible.

Key words: agricultural machinery, working units, drive, optimality, power, high frequency.

References

1. Arefev NV, Sigov AS, Vorotnitskiy VE. [History and prospects of technological development of electric power transmission systems]. Vesti v elektroenergetike. 2025; 1 (135). 44-60 p.
2. Adigamov NR. Teoriya i metody rascheta povysheniya nadezhnosti selskokhozyaystvennykh uborochnykh mashin s uchetom sostoyaniya ikh elementov: dis. d-ra tekhn.nauk. [Theory and calculation methods for improving the reliability of agricultural harvesting machines taking into account the state of their components: dissertation for a degree of Doctor of Technical Sciences]. Adigamov Nail Rashatovich. Kazan. 2006; 282 p.
3. Grinchar NG, Sorokin PA, Karpychev VA. Analysis of change in the state of hydraulic drive of machines in operation according to the diagnostic results. Scientia Iranica. 2020; Vol.27. 1 B. 295-301 p. doi: 10.24200/sci.2018.50340.1644.
4. Strebkov DS, Shogenov AKh, Shogenov YuKh. [Prospects for electrical technology application in horticulture]. Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatelnogo uchrezhdeniya vysshego professionalnogo obrazovaniya "Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina". 2019; 6 (94). 53-59 p. doi: 10.34677/1728-7936-2019-6-53-59.
5. Chaplygin ME, Godzhaev ZA, Uyutov SYu. [Justification of the parameters and operating modes of electric drives of the basic working units of a selection combine]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 1(80). 112-124 p. doi:10.53914/issn2071-2243_2024_1_112–124.
6. Godzhaev ZA, Senkevich SE, Alekseev IS. [Mathematical modeling of dynamic processes of an agricultural mobile energy vehicle with an electric drive]. Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka. 2024; Vol.25. 1. 112-122 p. doi: 10.30766/2072-9081.2024.25.1.112-122.
7. Chaplygin ME, Starostin IA, Ovcharenko AS. [Conceptual foundations for the creation of an electric selection combine harvester with a combined power plant]. Inzhenernye tekhnologii i sistemy. 2025; Vol.35. 2. 266-283 p. doi: 10.15507/2658-4123.035.202502.266-283.
8. Antonov SN, Oskin SV, Anikuev SV. [On the accuracy of regulation of discrete current and voltage values in installations for testing power semiconductor devices]. Elektrotekhnika. 2022; 7. 6-9 p. doi: 10.53891/00135860_2022_7_6.
9. Khorolskiy VYa, Efanov AV, Antonov SN. [Mathematical description of transient processes in converters and voltage stabilizers of autonomous power supply systems]. Elektrotekhnika. 2021; 7. 58-61 p.
10. Apazhev AK, Shekikhachev YuA, Khazhmetov LM. [Improving the operational reliability of agricultural machinery]. Tekhnika i oborudovanie dlya sela. 2023; 4 (310). 12-16 p. doi: 10.33267/2072-9642-2023-4-12-16.
11. Apkhudov TM, Shekikhachev YuA. [Development and research of a garden saw with an electric drive]. AgroEkoInfo. 2020; 1. Available from: http://agroecoinfo.narod.ru/journal/STATYI/2020/1/st_112.pdf.
12. Apkhudov TM. [Block-modular unit for pruning fruit trees]. Selskiy mekhanizator. 2016; 2. 10-11 p.
13. Ostreykovskiy VA, Pavlov AS. [Mathematical models for assessing the technogenic risk of complex systems based on Erlang distribution]. Nadezhnost i kachestvo slozhnykh sistem. 2016; 1 (13). 99-106 p;
14. Naumova NA, Danovich LM, Danovich YuI. [Determination of the distribution parameters of generalized Erlang law based on experimental data in the study of traffic flows]. Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2013; 5. Available from: https://science-education.ru/ru/article/view?id=10045.

Authors:
Shekihachev Yuriy Akhmetkhanovich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Dean of Faculty of Mechanization and Energy Supply of Enterprises, Professor of Technical Mechanics and Physics Department, e-mail: shek-fmep@mail.ru
Mishkhozhev Vladislav Khasenovich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Agricultural Engineering Department, e-mail: mvkkkk@mail.ru
Fiapshev Amur Grigorevich – Ph.D. of Technical Sciences, Associate Professor, Head of Energy Supply of Enterprises Department, e-mail: energo.kbr@rambler.ru
Shekihacheva Lyudmila Zavievna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor, Associate Professor of Land Management and Real Estate Expertise Department, e-mail: sh-ludmila-z@mail.ru
Kabardino-Balkarian State Agrarian University named after V.M. Kokov, Nalchik, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-91-98
УДК 338.43:634.1

ОБОСНОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА ПЛОДОВОЙ ПРОДУКЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Е. А. Егоров, Ж. А. Шадрина, Г. А. Кочьян

Реферат. Снижение эффективности производства плодовой продукции (за 2022-2024 годы уменьшение уровня рентабельности составляет ежегодно примерно на 6,3 процентных пункта) в результате негативного влияния макроэкономических, технолого-экономических факторов обуславливает необходимость определения оптимальных параметров с использованием цифровых технологий для разработки инструментария управления устойчивостью в целях обеспечения достоверности управленческих решений и обеспечения конкурентоспособности отраслевых субъектов. Научная новизна работы заключается в разработке модели определения оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции с помощью программного обеспечения и выработке системы регуляторов управления устойчивостью воспроизводственных процессов в специализированных плодовых организациях. Установлено, что основными макроэкономическими факторами, влияющими на отраслевое развитие, являются меры государственной (субсидиарной) поддержки сельхозпроизводителей, роста стоимости приобретаемых ресурсов, обусловленного высокой динамикой инфляционных процессов. К внутренним факторам, влияющим на эффективность производства плодовой продукции в Краснодарском крае, относятся: структурные дисбалансы, высокая ресурсоемкость производственно-технологических процессов, несоблюдение оптимальной сопоставимости производственно-экономических показателей. В соответствии с разработанной цифровой моделью установлено, что для достижения нормативного уровня доходности продукции оптовая цена реализации яблок должна быть на 23% выше уровня 2024 года, величина дохода от производства семечковых культур (яблоня) должна быть в 2,2 раза больше фактического значения в 2024 году, себестоимость должна составлять не более 32 руб./кг, что на 9% ниже уровня 2024 года. Приведение показателей эффективности производства плодовой продукции к оптимальным значениям, обуславливают необходимость совершенствования системы регуляторов обеспечения устойчивости в отраслевых субъектах: увеличение субсидиарной поддержки на создание новых насаждений; установление механизма квотирования импорта саженцев плодовых культур; введение регулятора в форме субсидии на один килограмм произведенной и реализованной продукции; использование цифровых технологий при разработке агротехнологических регламентов и контроле их соблюдения; совершенствование системы ценообразования на реализуемую продукцию.

Ключевые слова: плодоводство, производство, эффективность, факторы, параметры, оптимизация, цифровые технологии, регуляторы.

Введение. Садоводство относится к приоритетной отрасли агропромышленного комплекса Российской Федерации и вопросы повышения эффективности производства плодовой продукции являются ключевыми при выработке программных мероприятий по обеспечению продовольственной безопасности России в соответствии с индикаторами Доктрины.

Обеспечение устойчивости воспроизводственных процессов и повышение эффективности деятельности субъектов промышленного плодоводства осуществляется посредством приведения параметров технолого-экономической эффективности к оптимальным значениям в соответствии с требованиями (критериями), обусловленными спецификой возделывания многолетних насаждений.

Рахимова Е.А. и Придорогин М.В. отмечают, что приоритетная роль в определении оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции отводится цифровым технологиям [1, 2].

Определение наилучших значений указанных параметров представляет собой важную задачу управления производственно-технологическими процессами в условиях сложного взаимодействия различных факторов, направленную на достижение заданных целей при минимизации затрат ресурсов на основе цифровых технологий [3].

Оптимизация в промышленном садоводстве состоит в выявлении таких характеристик, при которых отдельные элементы системы достигают высоких технико-экономических результатов, сохраняя оптимальный баланс между функциями и параметрами плодовых растений и агроэкосистемы в целом [4].

Использование цифровых технологий позволяет осуществлять расчет оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции с учетом изменяющихся внутренних и внешних факторов, предусматривает корректировку математических моделей по дополнительным критериям и ограничениям, а также обеспечивает высокую точность полученных результатов [5].

Целью исследования является определение оптимальных параметров показателей технолого-экономической эффективности производства плодовой продукции и выработка системы регуляторов управления устойчивостью воспроизводственных процессов в хозяйствующих субъектах промышленного плодоводства.

Условия, материалы и методы. Достоверность и надежность получаемых результатов по обоснованию оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции определяется использованием современных методов, комплексностью и многочисленностью взаимосвязанных исследований. Были использованы результаты исследований современных отечественных и зарубежных ученых по вопросам обеспечения эффективности производства плодовой продукции с использованием цифровых решений, а также официальные источники статистических данных. Эмпирической базой для исследования являлись статистические данные специализированных плодовых организаций Краснодарского края за 2021-2024 годы. Для оценки ресурсозатратности технологических процессов применялись материально-затратный и нормативно-технологический методы. При обосновании оптимальных соотношений использовалось правило «золотого сечения», представляющее собой математическую концепцию, основанную на пропорции, равной примерно 1,618. Для определения оптимального диапазона показателей технолого-экономической эффективности производства плодово-ягодной продукции использовались методы многокритериальной оптимизации, статистического и эконометрического анализа.

Результаты и обсуждение. Анализ динамики производственно-финансовых и экономических показателей, а также макроэкономических параметров позволяет выявить формирующиеся тенденции и возникающие нарушения в организации воспроизводственных процессов в отраслевых субъектах промышленного садоводства.

Результативность производства плодовой продукции определяется влиянием различных внешних и внутренних факторов, взаимодействие которых проявляется в итоговых значениях ключевых показателей – чистой прибыли и рентабельности, отражающих потенциальные возможности расширенного воспроизводства (табл. 1).

Таблица 1 – Экономическая эффективность производства плодовой продукции (яблоки) (в среднем на примере специализированных организаций Краснодарского края)

Показатель	Годы			Абсолютное изменение, +/-	Среднее изменение, %
	2022	2023	2024		
Урожайность, ц/га	322,7	307,2	291,6	-31,1	-4,9
Себестоимость производства, руб./ц	2850,0	2925,0	3545,0	695,0	11,5
Затраты на производство, тыс. руб./га	919,7	898,6	1033,6	113,9	6,0
Оптовая цена реализации, руб./ц	3450,0	3500,0	4200,0	750,0	10,3
Выручка, тыс. руб./га	1113,3	1075,2	1224,6	111,3	4,9
Прибыль от реализации, руб./ц	600,0	575,0	655,0	55,0	4,5
Прибыль от реализации, тыс. руб./га	193,6	176,6	191,0	-2,6	-0,7
Рентабельность продукции, %	21,1	19,7	18,5	-2,6	-6,3

За период 2022-2024 годы затраты на производство яблок выросли на 24,4% (среднегодовой прирост составил 11,5%), тогда как цены реализации увеличились лишь на 21,7% (со среднегодовым ростом 10,3%). Это привело к снижению уровня рентабельности ежегодно примерно на 6,3 процентных пункта и увеличению нехватки собственных оборотных средств сельскохозяйственных производителей для ведения основной производственной деятельности и реновации многолетних насаждений.

Основными внешними (макроэкономическим) факторами, влияющими на эффективность производства плодовой продукции, являются меры государственной поддержки (субсидиарная поддержка сельхозпроизводителей), рост стоимости приобретаемых ресурсов, обусловленный динамикой инфляционных процессов, что приводит к росту себестоимости готовой продукции и снижает воспроизводственные возможности товаропроизводителей [6].

Несмотря на увеличение величины субсидий на закладку садов и уходные работы до начала их товарного плодоношения за 2023-2024 годы в среднем в 1,5 раза, их доля в создаваемой стоимости плодовых насаждений составляет не более 40% и оказывает незначительное влияние на снижение себестоимости продукции – менее 1% (посредством снижения величины амортизационных отчислений в структуре затрат на производство плодовой продукции) [7].

В результате планируемого Минэкономразвитием России изменения макроэкономических индикаторов на 2025 год: уровня инфляции в размере 9,87%; прироста средней заработной платы наёмных работников организаций на 8%; ожидаемого прироста цен на электроэнергию в среднем на 12,6%, повышения предельного уровня цен на минеральные удобрения на внутреннем рынке в среднем на 15%, прироста цен на ГСМ в среднем на 10-20% увеличение себестоимости производства плодовой продукции может составить не менее 13%, а снижение рентабельности производства – более чем 5-7 процентных пункта (табл. 2, рис. 1).

Таблица 2 – Динамика стоимости приобретаемых ресурсов сельскохозяйственными организациями в Краснодарском крае

Показатель	Годы			
	2022	2023	2024	2025 (прогноз)
Индекс цен на топливо дизельное, в % к предыдущему году	101,8	112,5	125,6	120,0
Индекс цен на средства защиты растений, в % к предыдущему году	126,1	99,4	91,9	99,8
Индекс цен на электроэнергию, отпущенную для сельхозпроизводителей, в % к предыдущему году	111,3	112,7	110,63	112,6
Индекс цен на удобрения, содержащие три питательных элемента: азот, фосфор и калий, в % к предыдущему году	105,37	99,8	101,5	115,0
Уровень инфляции, %	111,9	107,4	109,5	109,9
Индекс паритета цен производителей сельхозпродукции и цен приобретения промышленных товаров и услуг	0,902	0,853	0,948	0,912

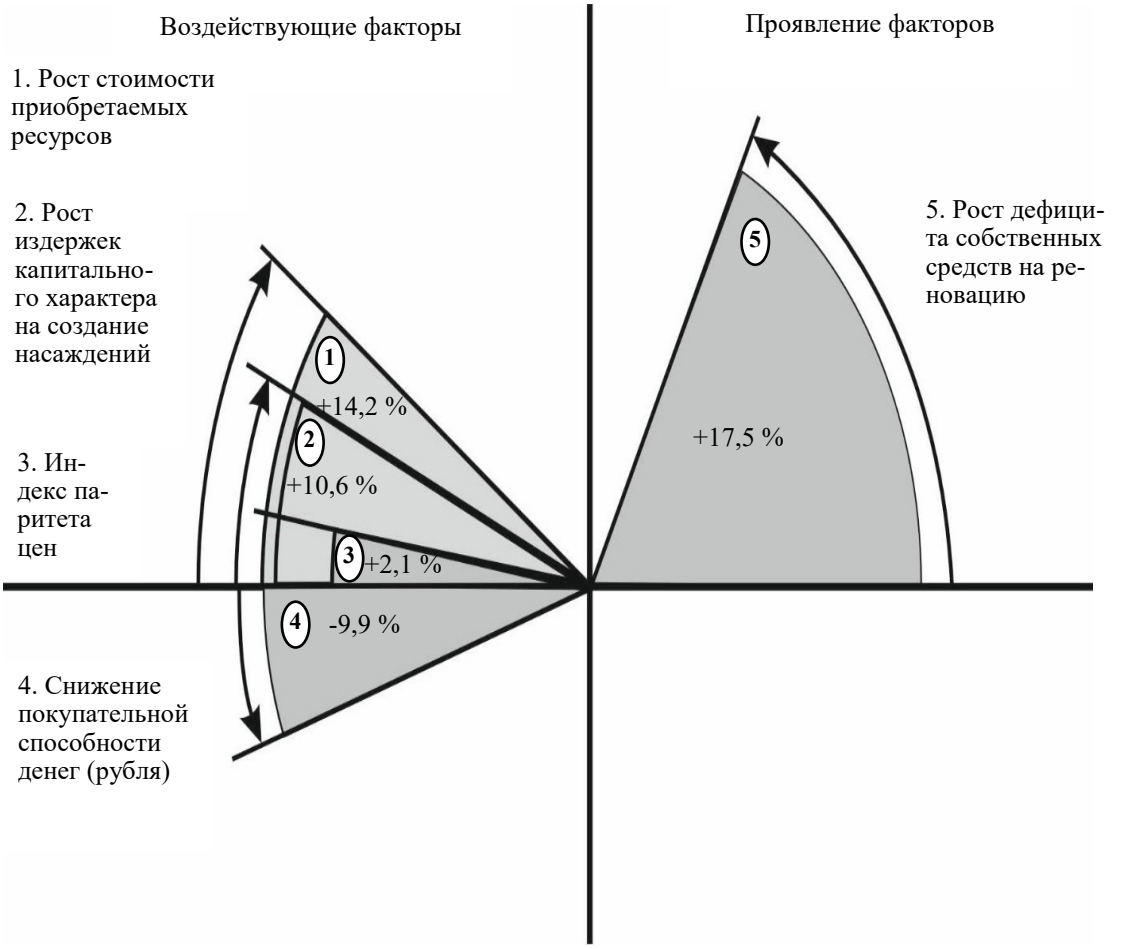


Рис. 1 – Влияние макроэкономических факторов на отраслевое развитие

Ежегодный прирост закупочных цен на промышленные средства производства для аграриев достигает в среднем 15%, вследствие чего предприятия вынуждены увеличивать величину оборотных средств минимум на 10% каждый год, чтобы компенсировать прирост производственных расходов.

К ключевым внутренним факторам, определяющим эффективность производства, относятся урожайность многолетних насаждений и оптимальное соотношение производственно-экономических показателей [8].

В период с 2021 по 2024 годы отмечается ежегодный прирост ресурсозатратности технологических процессов примерно на 7,8%. Основной причиной такой ситуации стало увеличение цен на материалы и продукцию смежных отраслей промышленности. Эти

изменения привели к росту недостатка оборотных средств, используемого для текущих производственных нужд, на более чем 9% в год, а также увеличению расходов относительно доходов свыше 7% в среднем за рассматриваемый временной промежуток.

Внутриорганизационные структурные несоответствия, проявляющиеся в расхождении темпов роста выручки и затрат на производство (рис. 2), вызваны нарушениями в структуре насаждений, объемах выпуска продукции и сроках реализации плодовой продукции. Данные факторы отрицательно влияют на процессы воспроизводства и снижают показатели результативности деятельности организаций. Основная доля доходов предприятий формируется в осенне-зимний период, однако в весенне-летний период, на который приходится пик полевых работ, наблюдается дефицит собственных средств.

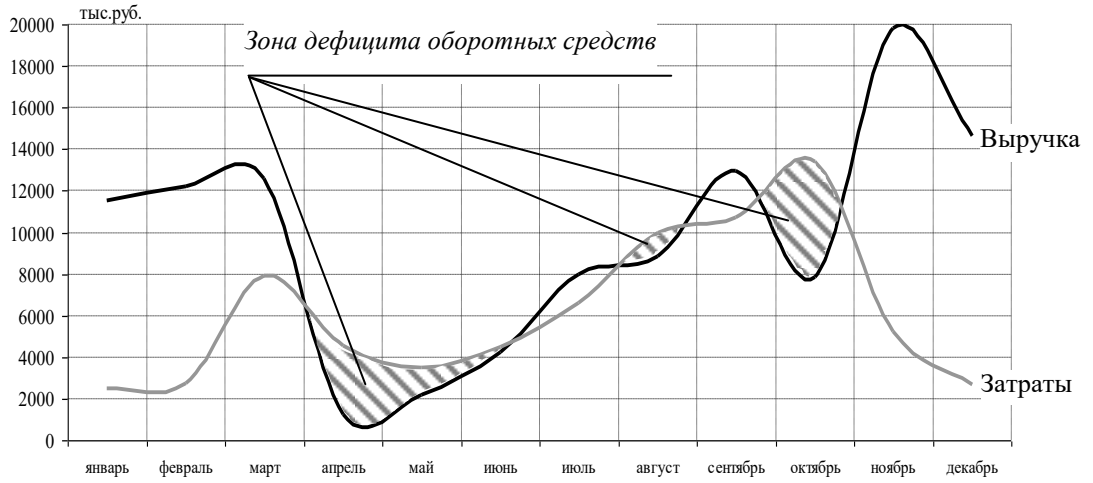


Рис. 2 – Структурные дисбалансы при организации производства плодовой продукции (в среднем по специализированным садоводческим предприятиям Краснодарского края за 2022-2024 годы)

Внутренние структурные дисбалансы, высокая ресурсоемкость технологий производства, нарушение оптимального соответствия производственно-экономических показателей приводят к снижению общей экономической эффективности до 18% (или на 2,6 процентных пунктов относительно уровня 2022 года).

Дефицит собственных средств сельхозпроизводителей, направляемых на обеспечение устойчивого развития, составляет более 46% (табл. 3).

Таблица 3 – Оценка достаточности собственных средств для обеспечения устойчивого развития промышленного садоводства

Показатель	Годы		
	2022	2023	2024
1. Создаваемая стоимость насаждений, тыс. руб./100 га	268640	294690	312100
2. Издержки на обеспечение устойчивого развития, тыс.руб./100 га, всего, в том числе:	72042,4	73086,4	81825,0
издержки на реновацию многолетних насаждений	22386,7	24557,5	26008,3
издержки на оплату труда	14712,8	14378,9	16538,3
издержки на формирование оборотных средств	34942,9	34149,9	39278,4
3. Финансовые ресурсы, тыс.руб./100 га, всего, в том числе:	37480,4	39055,1	44209,6
3.1. Собственные:	32480,4	32920,1	35168,6
начисленный амортизационный фонд	17909,3	19646,0	20806,7
чистый доход	14571,0	13274,1	14361,9
3.2. Привлеченные (безвозмездные):	5000,0	6135,0	9041,0
субсидии на закладку и уходные работы до вступления в плодоношение (включая шпалеру)	5000,0	6135,0	9041,0
8. Дефицит собственных средств, направляемых на обеспечение устойчивого развития:			
тыс.руб./100 га	34562,0	34031,3	37615,4
%	48,0	46,6	46,0

Для осуществления деятельности в режиме расширенного воспроизводства, включающего реновацию плодовых насаждений, модернизацию инфраструктуры и эффективное осуществление текущей производственной деятельности, сельскохозяйственным организациям необходимо обеспечивать достижение рентабельности производства плодовой продукции на уровне не ниже 60%, а рентабельности продаж – не менее 30% согласно

правилу «золотого сечения». Для осуществления производственной деятельности в режиме простого воспроизводства (при отсутствии текущей реновации насаждений) рентабельность продукции в соответствии с правилом «золотого сечения» должна составлять не менее 30%.

Параметры оптимизации эффективности производства плодовой продукции рассчитываются с использованием экономико-математических методов и программного обеспечения [9, 10, 11]. Для выявления закономерностей и связей применяется математический аппарат и язык программирования Python версии 3.10, позволяющие классифицировать признаки, функциональные нагрузки процессов и определять границы допустимых изменений параметров (рис. 3).



Рис. 3 – Скриншоты компьютерной программы определения оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции

Цифровая модель определения оптимальных параметров эффективности производства плодовой продукции представляет собой систему аналитического моделирования, основанную на обработке больших объемов эмпирической информации, применении методов машинного обучения и анализа данных включает следующие основные компоненты:

1. Сбор и обработка эмпирических данных для определения оптимальных пропорций в породно-сортовой структуре насаждений, возрастной структуре насаждений, оптимальных параметров и соотношений факторов эффективности производства.

2. Моделирование влияния факторов на эффективность производства плодовой продукции.

3. Многокритериальная оптимизация параметров, позволяющая выбрать наилучшие решения с точки зрения максимизации прибыли и минимизации затрат.

4. Визуализация результатов программирования в виде графиков, таблиц.

Для достижения нормативного уровня доходности продукции оптовая цена реализации яблок должна быть не менее 52 руб./кг, что на 23% выше уровня 2024 года, величина дохода от производства семечковых культур (яблоня) должна составлять не менее 2000 тыс. руб./га, что в 2,2 раза больше фактического значения в 2024 году, себестоимость должна составлять не более 32 руб./кг, что на 9% ниже уровня 2024 года (табл. 4).

Таблица 4 – Оптимальные параметры показателей технолого-экономической эффективности производства плодовой продукции (в ценах 2024 года) с использованием цифровых технологий

Показатель	яблоки зимних сроков созревания		плоды косточковых культур (слива)	
	норма	факт	норма	факт
Производство продукции				
Урожайность, ц/га	320,0 ÷ 400	291,6	140 ÷ 210	110,0
Порог безубыточности, ц/га	88,9 ÷ 111,1	121,5	61,5 ÷ 92,2	70,7
Издержки на производство, тыс.руб./га	1049,6 ÷ 1188,7	1033,6	665,9 ÷ 808,7	435,2
Себестоимость, руб./ц	2971,7 ÷ 3280,0	3545,0	3851,2 ÷ 4756,2	3956,0
Соотношение переменных и постоянных издержек	1,6	2,3	1,6	2,2
Величина оборотных средств, тыс.руб./га	398,8	361,8	253,0 ÷ 307,3	165,4
Рентабельность производства, %	38 ÷ 62	18,5	38 ÷ 62	26,1
Реализация продукции				
Оптовая цена реализации, руб./ц	5248,0	4200	7609,9	4989,4
Выручка, тыс.руб./га	1679,36	1224,6	1065,4	548,8
Прибыль от продаж, тыс.руб./га	629,8	191,0	399,5	113,7
Рентабельность продаж, %	27 ÷ 38,0	15,6	37,5	20,7

Приведение показателей эффективности производства плодовой продукции к оптимальному уровню обеспечит рост количественных и качественных показателей, а также поддержание необходимой устойчивости воспроизводственных процессов. Это особенно важно для формирования достаточного объема собственных финансовых ресурсов, необходимых для поддержания воспроизводства, повышения конкурентоспособности продукции отрасли и решения задач импортозамещения.

Выводы. Достижение оптимальных воспроизводственных пропорций обуславливает необходимость совершенствования существующей системы регуляторов управления устойчивостью воспроизводственных процессов в хозяйствующих субъектах промышленного плодоводства:

- макроэкономических: увеличение размерности субсидий на закладку и уходные работы до вступления в плодоношение; установление механизма квотирования импорта саженцев плодовых культур; введение регулятора в форме субсидии на один килограмм произведенной и реализованной продукции (от 8 до 14 руб./кг в ценах 2024 года или 16,6-29,0% от себестоимости продукции);

- технико-технологических: совершенствование технологий производства, снижающих издержки на создание плодового агроценоза и технологические процессы (снижение ресурсоемкости производственно-технологических процессов); использование цифровых технологий при разработке агротехнологических регламентов и контроле их соблюдения по элементам системы ведения плодоводства;

- совершенствование системы ценообразования на реализуемую продукцию. В настоящее время розничная цена у ритейлеров (в сетевой торговле) на плодовую продукцию более чем в два раза превышает среднюю оптовую закупочную цены у отечественных сельхозпроизводителей, что негативным образом сказывается на результативности производственной деятельности сельхозпроизводителей. Прибавочная стоимость от реализации продукции остается у ритейлеров, которые

увеличивают розничную цену реализации. Следует предположить, что ограничение на установление торговой наценки ритейлерами может мотивировать установление ими более высокой оптовой закупочной цены у отечественных сельхозпроизводителей. Для возможной реализации данной меры следует на основании прогнозируемого уровня себестоимости с учётом изменения ценовой конъюнктуры и структуры затрат ежегодно определять предельный минимальный уровень оптовых цен на плодовую продукцию, предусматривающий возможность осуществления эффективной производственной деятельности, с доведением данной информации до сельхозпроизводителей и Минсельхоза России.

Расчет предельных уровней минимальных цен на плодовую продукцию (Цmin) целесообразно осуществлять по формуле:

$$Ц_{min} = \overline{С} \cdot (1+Р)$$

где $\overline{С}$ – средняя себестоимость плодовой продукции за последние 5 лет с учетом инфляции;

Р – средняя рентабельность продаж плодовой продукции за последние 5 лет, но не менее 27 %.

Эта мера направлена на повышение закупочной стоимости продукции без увеличения розничной цены продажи, то есть позволит обеспечить перераспределение прибавочной стоимости в пользу сельхозпроизводителей.

Дополнительным регулятором цен на плодовую продукцию может являться включение в перечень основных продовольственных продуктов, на которые распространяется право установления предельно допустимых розничных цен согласно Постановлению Правительства РФ от 15 июля 2010 г. №530 «Об утверждении Правил установления предельно допустимых розничных цен на отдельные виды социально значимых продовольственных товаров первой необходимости» (с изменениями от 30 декабря 2020 г.), прочих видов плодово-ягодной продукции. Однако, в данный перечень из плодово-ягодной продукции входят только яблоки. В целях регулирования рынка плодовой продукции целесообразным является включение в данный перечень и другой плодово-ягодной продукции.

Соблюдение оптимальных параметров эффективности при производстве плодовой продукции позволит обеспечить устойчивость воспроизводственных процессов и конкурентоспособность сельхозпроизводителей.

Литература

1. Рахимова Е.А. Развитие отечественного садоводства на основе цифровизации // АПК: Экономика, управление. 2023. № 11. С. 23-32. doi: 10.33305/2311-23.

2. Системный подход к цифровизации деятельности садоводческих предприятий / Придорогин М.В.и др. // Вопросы современной науки и практики. Университет им. В.И. Вернадского. 2020. № 1(75). С. 115-124. doi: 10.17277/voprosy.2020.01.pp.115-124.

3. Терновых К.С., Леонова Н.В., Кузнецова Е.В. Оптимизация параметров эффективного развития отрасли садоводства // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. №4. С. 182-189. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.182.

4. Цифровые решения для растениеводства [Электронный ресурс]. URL: https://www.softlab.ru/blog/resheniya-dlya-rastenievodstva/?ysclid=m9scd92rxt371742629 (дата обращения: 18.03.2025).

5. Измайлов А.Ю., Смирнов И.Г., Хорт Д.О. Цифровые агротехнологии в системе «Умный сад» // Садоводство и виноградарство. 2018. № 6. С. 33-39. doi: 10.31676/0235-2591-2018-6-33-39.

6. Фактор государственной поддержки в тенденциях развития отрасли садоводства / Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А., Парамонов П.Ф. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2020. № 5. С. 4-8. doi: 10.30850/vrsn/2020/5/4-8.

7. Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А. Инструменты нормативного управления устойчивостью и эффективностью воспроизводственных процессов в промышленном плодоводстве // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2022. № 6. С. 7-12. doi: 10.31857/2500-2082/2022/6/7-12.

8. Егоров Е.А., Шадрина Ж.А., Кочьян Г.А. Макроэкономические тенденции и параметры эффективного садоводства // Садоводство и виноградарство. 2015. № 6. С. 5-10.

9. Fabian S.F. Hartmanna, Isuru A. Udugamab, Gerd M. Seibolda, Hirokazu Sugiyamab, and Krist V. Gernaey. Digital models in biotechnology: Towards multi-scale integration and implementation // Biotechnology Advances. Volu. 60, Nov. 2022, P. 108015. doi: 10.1016/j.biotechadv.2022.108015.

10. Hukare, V., Kumbhar, V., Shah, S.K. (2023). Machine Learning Methods for Crop Yield Prediction. In: Saini, M.K., Goel, N., Shekhawat, H.S., Mauri, J.L., Singh, D. (eds) Agriculture-Centric Computation. ICA 2023. Communications in Computer and Information Science, vol 1866. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-031-43605-5_15.

11. Gangwar D.S., Tyagi, S. Soni S.K. A techno-economic analysis of digital agriculture services: An ecological approach toward green growth // International Journal of Environmental Science and Technology, 2021. doi:10.1007/s13762-021-03300-7.

Сведения об авторах:

Егоров Евгений Алексеевич – Академик Российской академии наук, доктор экономических наук, профессор, советник, e-mail: kubansad@kubannet.ru

Шадрина Жанна Александровна – профессор Российской академии наук, доктор экономических наук, доцент, заведующий лабораторией экономики, e-mail: clouds2001@mail.ru

Кочьян Гаянэ Агоповна – кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории экономики, e-mail: gayanek@mail.ru

Северо-Кавказский федеральный научный центр садоводства, виноградарства, виноделия, Краснодар, Россия.

JUSTIFICATION OF OPTIMAL PARAMETERS OF FRUIT PRODUCTION EFFICIENCY USING DIGITAL TECHNOLOGIES

E. A. Egorov, Zh. A. Shadrina, G. A. Kochyan

Abstract. The decline in fruit production efficiency (for 2022-2024, the decrease in profitability by approximately 6.3 percentage points annually) due to the negative impact of macroeconomic, technological and economic factors necessitates determining optimal parameters using digital technologies to develop sustainability management tools to ensure the reliability of management decisions and competitiveness of industry entities. The scientific novelty of this study lies in the development of a model for determining optimal parameters of fruit production efficiency using software and development of regulators system for managing the sustainability of reproduction processes in specialized fruit-growing organizations. It has been established that the main macroeconomic factors influencing industry development include government (subsidiary) support measures for agricultural producers and rising input costs due to high inflation. Internal factors influencing fruit production efficiency in Krasnodar Krai include structural imbalances, high resource intensity of production and technological processes, failure to maintain optimal comparability of production and economic indicators. According to the developed digital model, it was established that in order to achieve the standard level of product profitability, the wholesale selling price of apples should be 23% higher than the 2024 level, the income from the production of pome crops (apple trees) should be 2.2 times higher than the actual value in 2024, the cost should be no more than 32 rubles/kg, which is 9% lower than the 2024 level. Bringing the efficiency indicators of fruit production to optimal values determine the need to improve the system of regulators to ensure sustainability in industry entities: increase in subsidy support for the creation of new plantings; establishment of a mechanism for setting quotas for the import of fruit crop seedlings; introduction of a regulator in the form of a subsidy per kilogram of produced and sold products; use of digital technologies in the development of agro-technological regulations and monitoring their compliance; improving the pricing system for products sold.

Key words: fruit growing, production, efficiency, factors, parameters, optimization, digital technologies, regulators.

References

1. Rakhimova EA. [Development of domestic horticulture based on digitalization]. APK: Ekonomika, upravlenie. 2023; 11. 23-32 p. doi: 10.33305/2311-23.

2. Pridorogin MV. [A systematic approach to horticultural enterprises digitalization]. Voprosy sovremennoy nauki i praktiki. Universitet im. V.I. Vernadskogo. 2020; 1(75). 115-124 p. doi: 10.17277/voprosy.2020.01.pp.115-124.

3. Ternovykh KS, Leonova NV, Kuznetsova EV. [Optimization of the parameters for the effective development of horticulture industry]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; 4. 182-189 p. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.182.

4. Digital solutions for crop production. [Internet]. Softlab. [cited 2025, March 18]. Available from: https://www.softlab.ru/blog/resheniya-dlya-rastenievodstva/?ysclid=m9scd92rxt371742629.

5. Izmaylov AYu, Smirnov IG, Khort DO. [Digital agricultural technologies in “Smart garden” system]. Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2018; 6. 33-39 p. doi: 10.31676/0235-2591-2018-6-33-39.

6. Egorov EA, Shadrina ZhA, Kochyan GA, Paramonov PF. [The state support factor in the development trends of horticultural industry]. Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki. 2020; 5. 4-8 p. doi: 10.30850/vrsn/2020/5/4-8.

7. Egorov EA, Shadrina ZhA, Kochyan GA. [Tools for regulatory management of the sustainability and efficiency of reproduction processes in industrial fruit growing]. Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki. 2022; 6. 7-12 p. doi: 10.31857/2500-2082/2022/6/7-12.

8. Egorov EA, Shadrina ZhA, Kochyan GA. [Macroeconomic trends and parameters of efficient horticulture]. Sadovodstvo i vinogradarstvo. 2015; 6. 5-10 p.

9. Fabian SF. Hartmanna, Isuru A. Udugamab, Gerd M. Seibolda, Hirokazu Sugiyamab, Krist V. Gernaey. Digital models in biotechnology: towards multi-scale integration and implementation. Biotechnology Advances. Vol.60, Nov.2022. 108015 p. doi: 10.1016/j.biotechadv.2022.108015.

10. Hukare V, Kumbhar V, Shah SK. (2023). Machine learning methods for crop yield prediction. In: Saini M.K., Goel N., Shekhawat H.S., Mauri J.L., Singh D. (eds). Agriculture-Centric Computation. ICA 2023. Communications in Computer and Information Science. Vol.1866. Springer, Cham. doi: 10.1007/978-3-031-43605-5_15.

11. Gangwar DS, Tyagi S, Soni SK. A techno-economic analysis of digital agriculture services: An ecological approach toward green growth. International Journal of Environmental Science and Technology. 2021; doi:10.1007/s13762-021-03300-7.

Authors:

Egorov Evgeniy Alekseevich – Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Professor, advisor, e-mail: kubansad@kubannet.ru

Shadrina Zhanna Aleksandrovna – Professor of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Economics, Associate Professor, Head of the Laboratory of Economics, e-mail: clouds2001@mail.ru

Kochyan Gayane Agopovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, senior researcher of the Laboratory of Economics, e-mail: gayanek@mail.ru

North Caucasus Federal Scientific Center for Horticulture, Viticulture, and Winemaking, Krasnodar, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-99-106
УДК 338.43:338.12(470.41)

ФИНАНСОВАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ И ПРИБЫЛЬНОСТЬ ВЕДУЩИХ ПРЕДПРИЯТИЙ АПК РЕСПУБЛИКИ ТАТАРСТАН В УСЛОВИЯХ САНКЦИОННЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ

Г. С. Клычова, В. И. Хоружий, Б. И. Фассахов

Реферат. Современный этап развития российской экономики характеризуется внешнеполитическим и экономическим давлением со стороны ряда западных стран. Санкционные ограничения, введённые с 2014 года и особенно резко усиленные после 2022 года, затронули практически все секторы национальной экономики, включая агропромышленный комплекс (АПК) – одну из ключевых отраслей, обеспечивающих продовольственную безопасность страны. АПК играет стратегическую роль в обеспечении независимости России от импорта продовольствия. Устойчивая и рентабельная деятельность сельскохозяйственных предприятий позволяет не только сохранить, но и наращивать объёмы внутреннего производства основных продуктов питания, что особенно важно в условиях закрытия традиционных внешних рынков и рисков перебоев с поставками. Санкции привели к резкому удорожанию импортных ресурсов: семян, средств защиты растений, сельскохозяйственной техники и запчастей. Кроме того, изменились логистические маршруты, что увеличило транспортные расходы и сроки поставок. Ограничение доступа к зарубежным технологиям и оборудованию требует от аграриев быстрой адаптации: перехода на отечественные аналоги, локализации производственных цепочек, внедрения цифровых решений и инноваций. Все эти процессы требуют значительных инвестиций, что возможно лишь при наличии у предприятия финансовой устойчивости и способности генерировать прибыль. В ответ на санкционные вызовы государство активизировало меры поддержки АПК: субсидирование процентных ставок по кредитам, компенсация части затрат на приобретение техники, поддержка перерабатывающих предприятий и экспортёров. Однако эффективность этих мер напрямую зависит от финансовой грамотности и устойчивости самих предприятий – только стабильные хозяйства способны грамотно использовать господдержку для долгосрочного роста. Анализ опыта сельскохозяйственных предприятий Республики Татарстан позволяет выявить эффективные стратегии адаптации, оценить роль региональной политики и наметить пути дальнейшего развития отрасли в условиях продолжающейся геополитической нестабильности. Эмпирический анализ шести ведущих агропредприятий Республики Татарстан за 2019-2023 годы показал, что совокупная выручка выросла с 13,4 млрд до 19,9 млрд руб., однако чистая прибыль сократилась с 6,0 млрд руб. в 2020 году до 1,7 млрд руб. в 2023 году, что свидетельствует о снижении операционной эффективности. Панельный регрессионный анализ выявил отсутствие статистически значимой связи между долговой нагрузкой и прибыльностью ($R^2 = 0{,}0043$; $p = 0{,}912$), тогда как 45,8% вариации прибыли объясняется индивидуальными характеристиками предприятий. Полученные результаты подчёркивают необходимость перехода от краткосрочной адаптации к системной финансовой устойчивости через модернизацию, цифровизацию и развитие собственного капитала. Таким образом, в условиях санкционного давления и геополитической нестабильности повышение финансовой устойчивости и прибыльности сельскохозяйственных предприятий становится не просто задачей эффективного менеджмента, а вопросом национальной экономической и продовольственной безопасности. Республика Татарстан, как один из лидеров аграрного сектора России, представляет собой важный пример региона, где системный подход к управлению АПК позволяет успешно преодолевать внешние вызовы и обеспечивать устойчивое развитие сельского хозяйства.

Ключевые слова: агропромышленный комплекс, санкции, финансовая устойчивость, долговая нагрузка, рентабельность, Республика Татарстан.

Введение. Агропромышленный комплекс (АПК) Республики Татарстан играет важную роль в обеспечении продовольственной безопасности Российской Федерации. Согласно «Стратегии устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 года» и национальному проекту «Международная кооперация и экспорт» (2019-2024 годы), приоритетным направлением является расширение внутреннего производства и снижение зависимости от импорта [1, 2].

Введение многоуровневых экономических санкций в отношении Российской Федерации, начиная с 2014 года и достигших беспрецедентного масштаба в 2022 году, породило комплекс макро- и микроэкономических последствий, затронувших ключевые сектора национальной экономики, включая АПК. С научной точки зрения, данные ограничения оказали структурное воздействие на экономическую систему. Санкции привели к разрыву традиционных экспортно-импортных цепочек, ограничению доступа к международным рынкам сбыта и поставок. В частности, для АПК это выразилось в сокращении импорта высокотехнологичной сельскохозяйственной техники, семян селекционных гибридов, средств защиты растений, что негативно повлияло на производственную функцию аграрных предприятий [3, 4].

Ограничения на поставки импортных ресурсов, удорожание логистики вследствие изменения транспортных коридоров, а также ослабление национальной валюты спровоцировали значительный рост себестоимости сельскохозяйственной продукции.

Отключение ряда российских банков от системы SWIFT, замораживание валютных резервов и введение ограничений на международные финансовые операции затруднили доступ сельхозпредприятий к внешнему финансированию, усложнили валютные расчёты и увеличили риски валютной нестабильности [5]. Несмотря на негативные эффекты, санкционное давление выступило в качестве экзогенного шока, инициировавшего структурную трансформацию экономики. В АПК ускорились процессы локализации производств, развития отечественного машиностроения, биотехнологий и семеноводства. Однако переход к импортозамещению сопряжён с ростом транзакционных издержек – включая поиск альтернативных поставщиков, освоение новых технологий и перестройку логистических цепочек, что в краткосрочной перспективе приводит к снижению производительности труда и капитала. В ответ на внешние воздействия произошло усиление государственного регулирования через расширение программ поддержки АПК: субсидирование процентных ставок, компенсация капитальных затрат, налоговые льготы и создание институтов развития [6]. Это способствовало смягчению негативных последствий санкций, однако одновременно повысило зависимость отрасли от бюджетных трансфертов. Уход иностранных компаний и ограничение импорта продовольствия привели к перераспределению рыночных долей в пользу отечественных производителей. Это создало краткосрочные возможности для роста объёмов производства, однако требует долгосрочных инвестиций в качество и конкурентоспособность продукции.

В условиях геополитической нестабильности важнейшими задачами становятся модернизация производства, диверсификация экспортных направлений и внедрение инновационных технологий. Сельскохозяйственный сектор России прошел через значительные трансформации: с 2014 года началась активная фаза импортозамещения, что привело к росту производства и экспорта. Однако с 2022 года санкционные ограничения обострили проблему технологической зависимости, особенно в сфере семян, удобрений и сельскохозяйственной техники. В этих условиях Республика Татарстан, занимая пятое место по объёму сельхозпроизводства среди субъектов РФ [7], активно внедряет меры поддержки аграрного сектора, включая субсидирование процентных ставок, лизинг и программы цифровизации [8].

Научные исследования подчёркивают, что устойчивое развитие АПК требует сбалансированной структуры капитала, при которой доля собственных средств обеспечивает финансовую независимость, а заёмные ресурсы используются целесообразно и не создают избыточной долговой нагрузки [9]. Вместе с тем эмпирические оценки влияния санкций на финансовую устойчивость конкретных предприятий остаются недостаточно изученными. Санкционные ограничения оказали двойственное воздействие: с одной стороны, они вызвали серьёзные диспропорции в функционировании аграрного сектора, с другой – выступили катализатором структурной модернизации и повышения экономической суверенности. В этих условиях обеспечение финансовой устойчивости и прибыльности сельскохозяйственных предприятий становится ключевым условием не только их выживания, но и устойчивого развития национального АПК в условиях новой геополитической и экономической реальности [10].

Цель исследования – оценка степени долговой нагрузки на прибыльность агропредприятий Республики Татарстан в условиях санкционного давления.

Условия, материалы и методы. В качестве объекта исследования выбраны шесть ведущих предприятий региона: АО «Холдинговая Компания «Ак Барс», АО «Красный Восток Агро», ООО «Камский Бекон», АО «Агросила», ООО УК «Август-Агро», АО Холдинговая Компания «Чистополье». Выборка включает предприятия, признанные ведущими в Республике Татарстан по следующим критериям: вхождение в ТОП-20 крупнейших сельхозпроизводителей региона по объёму выручки (по данным Министерства сельского хозяйства и продовольствия РТ за 2023 год); участие в реализации приоритетных региональных и федеральных программ поддержки АПК; наличие устойчивой рыночной позиции и значимой доли в производстве ключевых видов сельхозпродукции (зерно, молоко, свинина, растительное масло); публичная отчётность на платформе audit.ru за весь исследуемый период (2019-2023 годы), что обеспечивает сопоставимость и достоверность данных. Таким образом, выбранные предприятия репрезентативны с точки зрения масштаба деятельности, влияния на региональный аграрный рынок и доступности финансовой информации.

Информационной базой послужили статистическая информация Госкомстата РФ и его территориальных органов, официальная статистика audit.ru, материалы профильных министерств и ведомств, результаты собственных исследований. Исследуемые бухгалтерские отчеты включают три ключевых компонента: бухгалтерский баланс; финансовые результаты; движение денежных средств. Отбор источников осуществлялся с учетом их достоверности и актуальности, что обеспечивает комплексное изучение проблем и перспектив развития АПК региона.

Применены методы системного и статистического анализа, панельная регрессия (StataSE) и инструменты визуализации данных (Microsoft Power BI, с последующей подготовкой валидных табличных визуализаций и публикационных рисунков в Excel).

Исходные данные получены на платформе

audit.ru за период 2019-2023 года. В анализ включены показатели: выручка, чистая прибыль, совокупные активы, заёмные обязательства, собственный капитал, движение денежных средств от операционной деятельности [11, 12]. Предобработка данных предусматривала проверку на дубликаты, выравнивание валютных единиц и удаление записей при отсутствии ключевых показателей. Визуализация данных выполнена в Microsoft Power BI с экспортом агрегированных и детализированных таблиц в Excel для подготовки публикационных рисунков и таблиц. Нормативы и классификация используемых коэффициентов установлены заранее: коэффициент долговой нагрузки = (заёмные обязательства / собственный капитал) классифицирован как: ≤ 0,5 – низкая долговая нагрузка; 0,5-1,0 – умеренная; > 1,0 – высокая. Чистая рентабельность продаж (%) = (чистая прибыль / выручка) × 100 интерпретируется по шкале: < 0 – убыточность; 0-5% – низкая рентабельность; 5-15% – удовлетворительная; >15% – высокая. Для количественного анализа применён панельный регрессионный подход в StataSE. Анализ оценивает влияние коэффициента соотношения долга к собственному капиталу на чистую прибыль компаний в 2019-2023 годы [13, 14]. Спецификация основной модели: зависимая переменная – чистая прибыль (в млн рублях), основной регрессор – коэффициент долговой нагрузки.

Результаты и обсуждение. Эмпирический анализ финансовых показателей шести ведущих агропромышленных предприятий Республики Татарстан за 2019-2023 годы выявил выраженную нестабильность ключевых метрик при одновременном росте выручки (рис. 1).

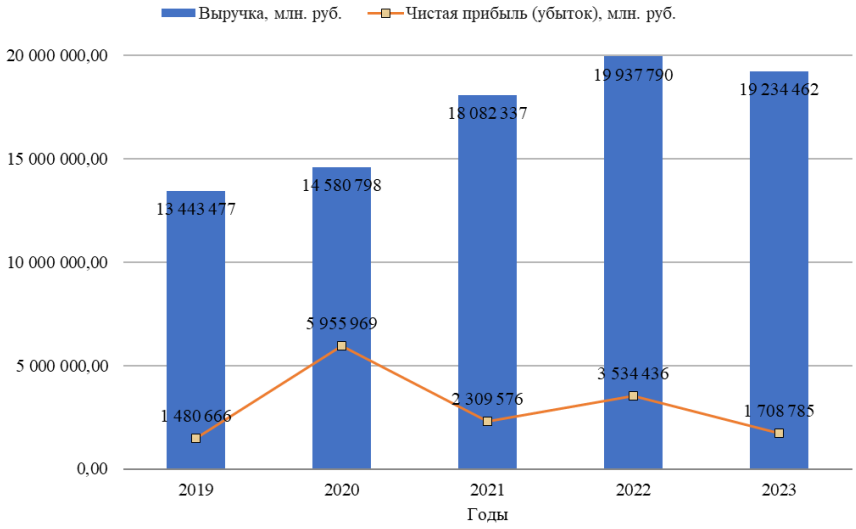


Рис. 1 – Динамика совокупной выручки и чистой прибыли за 2019-2023 годы по выборке предприятий, тыс. руб.

Совокупная выручка выборки увеличилась с 13,4 млрд руб. в 2019 году до пика в 19,9 млрд руб. в 2022 году, что совпадает с периодом активного импортозамещения и расширения внутреннего спроса на продукцию АПК. Однако чистая прибыль демонстрирует высокую волатильность: её максимальное значение зафиксировано в 2020 году (6,0 млрд руб.), а к 2023 году она снизилась до 1,7 млрд руб. Такая динамика указывает на разрыв между ростом объёмов и снижением операционной эффективности.

Коэффициент долговой нагрузки демонстрирует значительную гетерогенность [15, 16]. В АО «Ак Барс», ООО «Камский Бекон» он остаётся в пределах 0,12-0,30, что соответствует низкому уровню финансового риска. В то же время в АО «Агросила» в 2023 году коэффициент достиг 490,96 и АО ХК «Чистополье» – (-229,99), что связано с отрицательной величиной собственного капитала (табл. 1).

Таблица 1 – Коэффициент долговой нагрузки, 2019-2023 годы

Год	ООО УК «Август-Агро»	АО «Агросила»	АО ХК «Ак Барс»	ООО «Камский Бекон»	АО «Красный Восток Агро»	АО ХК «Чистополье»
Основание	2020	2016	2004	2005	2004	2020
2019	-	95,41	0,34	0,06	0,97	-
2020	0,16	79,40	0,12	0,04	1,07	-
2021	14,63	55,30	0,12	0,15	0,78	-128,83
2022	21,25	29,75	0,23	0,30	0,94	-59,07
2023	12,94	490,96	0,23	0,27	0,95	-229,99

Отрицательные и нулевые значения обусловлены низким собственным капиталом, а также объясняется спецификой бухгалтерской структуры и необходимостью значительных стартовых инвестиций при выходе на рынок. ООО «Камский Бекон», АО «Красный Восток Агро» и АО «ХК «Ак Барс» демонстрируют более сбалансированное финансирование за счет высокой доли собственного капитала (табл .2).

Таблица 2 – Структура активов, обязательств и капитала сельскохозяйственных предприятий за 2019-2023 годы, %

Годы	Название компании	Активы	Долг	Капитал
2019	ООО УК «Август-Агро»	-	-	-
	АО «Агросила»	53,01	46,50	0,49
	АО ХК «Чистополье»	-	-	-
	АО «ХК «Ак Барс»	67,79	8,09	24,12
	ООО «Камский Бекон»	50,00	2,78	47,22
	АО «Красный Восток Агро»	50,00	24,65	25,35
2020	ООО УК «Август-Агро»	50,00	7,07	42,93
	АО «Агросила»	50,82	48,57	0,61
	АО ХК «Чистополье»	-	-	-
	АО «ХК «Ак Барс»	65,23	3,83	30,93
	ООО «Камский Бекон»	50,00	1,94	48,06
	АО «Красный Восток Агро»	50,00	25,81	24,19
2021	ООО УК «Август-Агро»	50,00	46,80	3,20
	АО «Агросила»	51,53	47,61	0,86
	АО ХК «Чистополье»	50,00	50,39	-0,39
	АО «ХК «Ак Барс»	68,43	3,47	28,09
	ООО «Камский Бекон»	50,00	6,59	43,41
	АО «Красный Восток Агро»	50,00	21,89	28,11
2022	ООО УК «Август-Агро»	50,00	47,75	2,25
	АО «Агросила»	53,09	45,39	1,53
	АО ХК «Чистополье»	50,00	50,86	-0,86
	АО «ХК «Ак Барс»	72,27	5,22	22,51
	ООО «Камский Бекон»	50,00	11,39	38,61
	АО «Красный Восток Агро»	50,00	24,16	25,84
2023	ООО УК «Август-Агро»	50,00	46,41	3,59
	АО «Агросила»	58,01	41,91	0,09
	АО ХК «Чистополье»	50,00	50,22	-0,22
	АО «ХК «Ак Барс»	72,01	5,31	22,68
	ООО «Камский Бекон»	50,00	10,73	39,27
	АО «Красный Восток Агро»	50,00	24,34	25,66

Дополнительно стоит учитывать финансовую зависимость АО «Агросила» от заемных обязательств, что существенно влияет на ее показатели.

Анализ операционного денежного потока выявляет его значительную волатильность в 2022 году (табл. 3). В АО «Агросила» показатель снизился до -2,5 млрд руб., в ООО УК «Август-Агро» до -0,6 млрд руб., что свидетельствует о росте операционных расходов и снижении эффективности управления оборотным капиталом. Такая динамика отражает рост операционных расходов, неэффективное управление оборотным капиталом и снижение рентабельности деятельности. Она также указывает на повышенную зависимость предприятий от заемного финансирования для выполнения текущих обязательств. К 2023 году наблюдается частичная стабилизация операционного денежного потока, обусловленная адаптацией бизнес-моделей, оптимизацией затрат и восстановлением денежных поступлений от основной деятельности компаний.

Как видно из таблицы 4, чистая рентабельность продаж в большинстве случаев соответствует интерпретационной шкале (< 0 – убыточность; 0-5% – низкая; 5-15% – удовлетворительная; > 15% – высокая). Исключения — аномально высокие значения у АО «Ак Барс» (1118,08% в 2020 году, 578,87% в 2022 году), обусловленные значительными внеоперационными доходами от переоценки активов и продажи долей. Это подтверждается анализом структуры капитала: в указанные годы доля собственного капитала превышала 30%, а долговая нагрузка оставалась низкой (0,12-0,23). Такая конфигурация финансовой структуры, при относительно низкой долговой нагрузке и высокой доле активов, позволяет компании достичь значительных показателей чистой рентабельности.

Таблица 3 – Операционный денежный поток за 2019-2023 годы по выборке предприятий, млн руб.

Название компании / Годы	ООО УК «Август-Агро»	АО «Агросила»	АО «ХК «Ак Барс»	ООО «Камский Бекон»	ООО «Камский Бекон»	АО ХК «Чистополье»	Итого
2019	-	513,9	-91,3	1201,9	693,9	-	2318,4
2020	-22,2	-319,8	17,0	2260,8	-290,2	-	1645,7
2021	-830,2	792,8	-51,2	1786,7	935,5	-52,5	2581,1
2022	-600,3	-2533,9	-40,6	1626,0	-175,8	56,3	-1668,2
2023	1384,4	-435,7	56,3	2372,8	853,6	-191,2	4040,1
Итого	-68,3	-1982,7	-109,8	9248,2	2017,0	-187,4	8917,1

Таблица 4 – Чистая рентабельность продаж по предприятиям за 2019–2023 годы, в %

Год	ООО УК «Август -Агро»	АО «Агросила»	АО ХК «Ак Барс»	ООО «Камский Бекон»	АО «Красный Восток Агро»	АО «Чистополье»
2019	-	1,32	9,34	23,23	1,39	-
2020	-0,70	0,30	1118,08	25,07	1,91	-
2021	2,90	1,56	1,75	26,07	1,23	-6,00
2022	1,25	1,64	578,87	12,16	2,88	-22,94
2023	2,87	-1,06	1,95	16,73	2,66	1,06

С целью оценки влияния коэффициента соотношения долга к собственному капиталу на чистую прибыль шести компаний агропромышленного комплекса Республики Татарстан в 2019-2023 годы проводим панельный регрессионный анализ. Результаты панельной регрессии (рис. 2) свидетельствуют о крайне низкой объясняющей способности модели: общий R^2 = 0,0043, р-значение коэффициента при долговой нагрузке – 0,912. Это означает отсутствие статистически значимой связи между долгом и прибылью. При этом внутрифирменная корреляция (ρ = 0,458) указывает, что 45,8% дисперсии прибыли объясняется индивидуальными характеристиками предприятий – стратегией, активами, внеоперационными операциями.

```
. xtset company_id year

Panel variable: company_id (strongly balanced)
 Time variable: year, 2019 to 2023
         Delta: 1 unit

. xtreg netprofit debttoequity, fe

Fixed-effects (within) regression               Number of obs      =         30
Group variable: company_id                      Number of groups   =          6

R-squared:                                      Obs per group:
     Within  = 0.0005                                         min =          5
     Between = 0.0133                                         avg =        5.0
     Overall = 0.0043                                         max =          5

                                                F(1, 23)           =       0.01
corr(u_i, Xb) = 0.0623                          Prob > F           =     0.9125

------------------------------------------------------------------------------
   netprofit | Coefficient  Std. err.      t    P>|t|     [95% conf. interval]
-------------+----------------------------------------------------------------
debttoequity |  -206292.7    1855889    -0.11   0.912     -4045491     3632905
       _cons |   5.02e+08   1.48e+08     3.39   0.003     1.96e+08    8.09e+08
-------------+----------------------------------------------------------------
     sigma_u |  7.354e+08
     sigma_e |  8.005e+08
         rho |  .45769662   (fraction of variance due to u_i)
------------------------------------------------------------------------------
F test that all u_i=0: F(5, 23) = 4.20                     Prob > F = 0.0074
```

Рис. 2 – Панельный анализ влияния коэффициента покрытия долга на чистую прибыль (результаты регрессии в Stata)

Согласно анализа, мы имеем:

- внутригрупповой R^2 (0,0005): модель объясняет лишь 0,05% вариации чистой прибыли внутри компаний;
- межгрупповой R^2 (0,0133): различия в коэффициенте долга объясняют только 1,33% разницы в прибыли между компаниями;
- общий R^2 (0,0043): влияние коэффициента долга на прибыль практически отсутствует.

Оцененное значение коэффициента (-206292,7) указывает, что увеличение долга на 1 единицу в среднем снижает чистую прибыль на 206293 рубля.

Однако р-значение (0,912) свидетельствует о статистической незначимости этого эффекта, что означает отсутствие достоверной связи между долговой нагрузкой и прибыльностью компаний.

Анализ также выявил, что индивидуальные характеристики предприятий оказывают большее влияние на прибыльность, чем долговая нагрузка. Значение ρ (0,4577) показывает, что 45,77% изменчивости чистой прибыли объясняется различиями между компаниями, а не временными колебаниями. Выявленные закономерности указывают на преобладающее значение индивидуальных корпоративных характеристик (стратегии управления, структура капитала, внеоперационные статьи) над уровнем долговой нагрузки при формировании чистой прибыли в исследуемой выборке.

Таким образом, анализ финансовых показателей шести крупных сельскохозяйственных предприятий Республики Татарстан свидетельствует о сложной и неоднородной динамике их развития. Определенные компании демонстрируют устойчивость, тогда как другие испытывают трудности, связанные с высокой долговой нагрузкой, низкой маржинальностью или неэффективным управлением [17, 18]. Полученные результаты могут быть полезны для разработки стратегий повышения финансовой устойчивости отрасли.

Выводы. Анализ динамики финансовых показателей ведущих предприятий АПК Республики Татарстан показал, что санкционные ограничения стали катализатором ускоренного импортозамещения, технологической модернизации и расширения экспортных возможностей. Несмотря на достигнутые успехи, дальнейшее развитие АПК требует комплексных мер, направленных на решение ключевых проблем отрасли. Во-первых, важным направлением является развитие кадрового потенциала. Нехватка квалифицированных специалистов остается одной из главных проблем отрасли, что требует совершенствования системы подготовки кадров, увеличения финансовой поддержки молодых специалистов и улучшения условий труда в сельской местности.

Во-вторых, необходимо усиление технической модернизации и диверсификация поставок оборудования. Для снижения зависимости от зарубежных комплектующих и технологий требуется расширение отечественного производства сельскохозяйственной техники, повышение эффективности программ лизинга и разработка мер поддержки малых и средних агропредприятий.

В-третьих, особое внимание следует уделить цифровизации агропромышленного комплекса. Использование технологий больших данных, автоматизированных систем управления и цифровых платформ способствует повышению эффективности производства, снижению затрат и улучшению мониторинга сельскохозяйственных процессов. Внедрение передовых технологий, таких как цифровые двойники и искусственный интеллект, позволит повысить прогнозируемость и управляемость отраслью.

Эмпирический анализ финансовых показателей выборки (шесть предприятий АПК Республики Татарстан) выявил волатильную динамику их финансовых результатов в 2019-2023 годы. Так, совокупная выручка достигла максимума в 2022 году (19,9 млрд руб.), в то время как чистая прибыль показала пик в 2020 году (6,0 млрд руб.) и снизилась до 1,7 млрд руб. в 2023 году. Эти колебания обусловлены сочетанием внешних шоков (санкционные ограничения, макроэкономическая конъюнктура) и внутренних факторов (структурные изменения в составе выборки, трансформация бизнес-моделей).

Операционный денежный поток отличается высокой волатильностью; в 2022 году у ряда компаний зарегистрированы существенные отрицательные значения, что свидетельствует о снижении операционной эффективности и проблемах управления оборотным капиталом. Результаты исследования указывают на преобладание индивидуальных корпоративных факторов (структура капитала, управленческие практики, влияние внеоперационных операций над уровнем долговой нагрузки при формировании чистой прибыли в рамках изученной выборки.

Литература

1. «Стратегия устойчивого развития сельских территорий Российской Федерации до 2030 года»: распоряжение Правительства РФ от 13.01.2017 № 78-р. URL: https://docs.cntd.ru/document/420251273 (дата обращения: 19.02.2025).

2.Национальный проект «Международная кооперация и экспорт»: распоряжение Правительства РФ от 13.02.2019 № 235-р. URL: http://static.government.ru/media/files/FL01MAEp8YVuAkvbZotaYtVKNEKaALYA.pdf (дата обращения: 19.02.2025).

3.Проблемные направления ресурсного обеспечения устойчивого развития агроэкономических систем / Л. Ф. Ситдикова, Ф. Н. Мухаметгалиев, А. Р. Валиев и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т.18. № 1(69). С.155-161. doi: 10.12737/2073-0462-2023-150-156.

4.Материально-техническое обеспечение сельского хозяйства: состояние, проблемы, направления совершенствования / Г. П. Захарова, И. Н. Сафиуллин, Л. И. Рахматуллина, Е. П. Огородникова // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т.19. № 3(75). С.105-111. doi: 10.12737/2073-0462-2024-105-111.

5.Качаев Т. В. Сбалансированность развития агропромышленного комплекса региона на примере Республики Татарстан // Альманах Крым. 2024. № 42. С. 104-112.

6.Проблемы и перспективы развития АПК и сельских территорий / Е. В. Бодрова, А. Н. Бугара, В. В. Калинов и др. Новосибирск: ООО «Центр развития научного сотрудничества», 2015. – 170 с.

7.Набиева А. Р., Минниханов Р. Р. Хозяйства населения Республики Татарстан в системе продовольственного обеспечения // Вестник Российского университета кооперации. 2023. № 3(53). С.60-67.

8.О развитии агропромышленного комплекса Республики Татарстан: постановление Кабинета Министров РТ от 09.07.2024 № 512. URL: https://pravo.tatarstan.ru/file/npa/2024-07/1437222/npa_1437223.pdf (дата обращения: 19.02.2025).

9. Advanced digital transformations for food security / E. F. Amirova, I. N. Safiullin, O. V. Bakhareva, A. I. Sakhbieva // BIO Web of Conferences : Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021), Smolensk, 27 ноября 2021 года. Vol. 42. – EDP Sciences: EDP Sciences, 2022. – P. 04008. – doi: 10.1051/BIOCONF/20224204008.

10. Данилина И. Н., Наширванова Я. Ф., Минегалиева А. А. Региональное развитие Республики Татарстан, Динамика комплексного развития сельских территорий // Вестник Университета управления «ТИСБИ». 2024. № 4. С.4-17.

11. Росстат. Статистика. Официальная статистика. URL:http://ssl.rosstat.gov.ru/.

12. Платформа audit.ru. URL: https://www.audit-it.ru/ (дата обращения: 19.02.2025).

13. Zakirova A., Klychova G., Ostaev G. et al. Improvement of tools to assess the implementation of financial potential of corporations // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 549. – P. 09002. doi: 10.1051/e3sconf/202454909002.

14. Klychova G. S., Ostaev G. Ya., Zakirova A. R. et al. Economic Security: A Critical Approach to Assessing the Effectiveness of the Resource Potential of Business // Networked Control Systems for Connected and Automated Vehicles. – Springer, 2023. – P. 1425-1436. doi: 10.1007/978-3-031-11051-1_146.

15. Kondratiev D. V., Ostaev G. Ya., Safina N. F., Sokolova I. N. Diagnostics of Investment Attractiveness of Rural Economy Based on Value-Oriented (or Customer-Oriented) Approach // Sustainable Cooperation for the Creation of Green Supply Chains. – Springer, 2024. – P. 519-528. doi: 10.1007/978-3-031-70962-3_58

16. Дятлова А. Ф., Минаков А. В., Клычова Г. С. Импортозамещение в условиях санкций недружественных стран как фактор повышения экономической безопасности государства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 4(72). С.143-151. doi: 10.12737/2073-0462-2023-143-151.

17. Широбоков В. Г., Мандрова А. А., Сигидов Ю. И. Основные направления совершенствования системы государственного регулирования развития фермерства (на примере Липецкой области) // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2022. Т. 15. № 2(73). С. 151-158. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_151.

18. Интеграционный потенциал межорганизационного взаимодействия организаций агропромышленного комплекса / Л. И. Хоружий, Ю. Н. Катков, А. А. Романова, М. К. Джикия // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 9. С. 106-111. doi: 10.32651/229-106.

Сведения об авторах:

Клычова Гузалия Салиховна – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой бухгалтерского учети аудита, e-mail: kgaukgs@mail.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

Хоружий Валерий Иванович – доктор экономических наук, доцент, профессор кафедры налогов и налогового администрированияа, e-mail: VIKhoruzhij@fa.ru

Финансовый университет при Правительстве РФ, Москва, Россия.

Фассахов Булат Ильшатович – аспирант кафедры бухгалтерского учета и аудита[1], SMM-менеджер[2], e-mail: fassakhovbulat2000@gmail.com

[1] Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

[2] ООО УК «НУРСИБ», Казань, Россия.

FINANCIAL STABILITY AND PROFITABILITY OF LEADING AGRIBUSINESS ENTERPRISES IN THE REPUBLIC OF TATARSTAN UNDER SANCTIONS

G. S. Klychova, V. I. Khoruzhiy, B. I. Fassakhov

Abstract. The current stage of Russian economic development is characterized by foreign policy and economic pressure from a number of Western countries. Sanctions restrictions, introduced in 2014 and sharply strengthened after 2022, have affected virtually all sectors of the national economy, including agro-industrial complex - a key sector ensuring the country's food security. Agro-industrial complex plays a strategic role in ensuring Russia's independence from food imports. Sustainable and profitable agricultural enterprises not only maintain but also increase domestic production of essential food products, which is especially important given the closure of traditional foreign markets and risk of supply disruptions. Sanctions have led to a sharp increase in the prices of imported resources: seeds, crop protection products, agricultural machinery and spare parts. Furthermore, logistics routes have changed, increasing transportation costs and delivery times. Limited access to foreign technologies and equipment requires farmers to quickly adapt: switching to domestic equivalents, localizing production chains, and implementing digital solutions and innovations. All of these processes require significant investment, which is only possible if enterprises are financially stable and capable of generating profits. In response to the sanctions, the government has stepped up support measures for the agricultural sector: subsidizing loan interest rates, partially compensating for equipment purchase costs and supporting processing plants and exporters. However, the effectiveness of these measures directly depends on the financial literacy and sustainability of the enterprises themselves – only stable enterprises are able to effectively utilize state support for long-term growth. An analysis of the experience of agricultural enterprises in the Republic of Tatarstan allows us to identify effective adaptation strategies, assess the role of regional policy, and outline paths for further development of the industry in the face of ongoing geopolitical instability. An empirical analysis of six leading agricultural enterprises in the Republic of Tatarstan for 2019-2023 revealed that total revenue increased from 13.4 billion to 19.9 billion rubles, while net profit decreased from 6.0 billion rubles in 2020 to 1.7 billion rubles in 2023, indicating a decline in operational efficiency. A panel regression analysis revealed no statistically significant relationship between debt burden and profitability ($R2 = 0.0043$; $p = 0.912$), while 45.8% of profit variance was explained by individual enterprise characteristics. These results highlight the need to shift from short-term adaptation to systemic financial sustainability through modernization, digitalization, and equity development. Thus, in the face of sanctions pressure and geopolitical instability, improving the financial stability and profitability of agricultural enterprises is becoming not simply a task of effective management, but a matter of national economic and food security. The Republic of Tatarstan, as one of the leaders in Russia's agricultural sector, is an important example of a region where a systematic approach to agricultural management allows it to successfully overcome external challenges and ensure sustainable agricultural development.

Key words: agro-industrial complex, sanctions, financial stability, debt burden, profitability, Republic of Tatarstan.

References

1. Strategy for sustainable development of rural areas of the Russian Federation until 2030. [Internet]. Russian Government Order of January 13, 2017, No. 78-r. [cited 2025, February 19]. Available from: https://docs.cntd.ru/document/420251273.
2. National project “International cooperation and export”. [Internet]. Russian Government Order of February 13, 2019, No. 235-r. Available at [cited 2025, February 19]. Available from: http://static.government.ru/media/files/FL01MAEp8YVuAkvbZotaYtVKNEKaALYA.pdf.
3. Sitdikova LF, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Problematic areas of resource provision for sustainable development of agro-economic systems]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 155 -161 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-150-156.
4. Zakharova GP, Safiullin IN, Rakhmatullina LI, Ogorodnikova EP. [Material and technical support of agriculture: status, problems, areas for improvement]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 3 (75). 105-111 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-105-111.
5. Kachaev TV. [Balanced development of region’s agro-industrial complex on the example of the Republic of Tatarstan]. Almanakh Krym. 2024; 42. 104-112 p.
6. Bodrova EV, Bugara AN, Kalinov VV. Problemy i perspektivy razvitiya APK i selskikh territoriy. [Problems and prospects for the development of agro-industrial complex and rural territories]. Novosibirsk: OOO Tsentr razvitiya nauchnogo sotrudnichestva. 2015; 170 p.
7. Nabieva AR, Minnikhanov RR. [Households of the Republic of Tatarstan in the food supply system]. Vestnik Rossiyskogo universiteta kooperatsii. 2023; 3(53). 60-67 p.
8. On the development of agro-industrial complex of the Republic of Tatarstan: [Internet]. Resolution of the Cabinet of Ministers of the Republic of Tatarstan dated 09.07.2024 No. 512. [cited 2025, February 19]. Available from: https://pravo.tatarstan.ru/file/npa/2024-07/1437222/npa_1437223.pdf.
9. Amirova EF, Safiullin IN, Bakhareva OV, Sakhbieva AI. Advanced digital transformations for food security. BIO Web of Conferences: Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021), Smolensk, 27 noyabrya 2021 goda. Vol.42. EDP Sciences: EDP Sciences. 2022; 04008 p. – doi: 10.1051/BIOCONF/20224204008.
10. Danilina IN, Nashirvanova YaF, Minegalieva AA. [Regional development of the Republic of Tatarstan. Dynamics of integrated development of rural territories]. Vestnik Universiteta upravleniya TISBI. 2024; 4. 4-17 p.
11. Rosstat. Statistics. [Internet]. Official statistics. Available from: http://ssl.rosstat.gov.ru/.
12. Platform audit.ru. [cited 2025, February 19]. Available from: https://www.audit-it.ru/.
13. Zakirova A, Klychova G, Ostaev G. Improvement of tools to assess the implementation of financial potential of corporations. E3S Web of Conferences. 2024; Vol.549. 09002 p. doi: 10.1051/e3sconf/202454909002.
14. Klychova GS, Ostaev GYa, Zakirova AR. Economic Security: a critical approach to assessing the effectiveness of the resource potential of business. Networked control systems for connected and automated vehicles. Springer, 2023; 1425 -1436 p. doi: 10.1007/978-3-031-11051-1_146.
15. Kondratev DV, Ostaev GYa, Safina NF, Sokolova IN. Diagnostics of investment attractiveness of rural economy based on value-oriented (or customer-oriented) approach. Sustainable cooperation for the creation of green supply chains. Springer, 2024; 519-528 p. doi: 10.1007/978-3-031-70962-3_58
16. Dyatlova AF, Minakov AV, Klychova GS. [Import substitution under sanctions from unfriendly countries as a factor in increasing the economic security of the state]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 4(72). 143-151 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-143-151.
17. Shirobokov VG, Mandrova AA, Sigidov YuI. [Main directions for improving the system of state regulation of farming development (on the example of Lipetsk region)]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.15. 2(73). 151-158 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2022_2_151.
18. Khoruzhiy LI, Katkov YuN, Romanova AA, Dzhikiya MK. [Integration potential of interorganizational interaction of organizations of agro-industrial complex]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 9. 106-111 p. doi: 10.32651/229-106.

Authors:

Klychova Guzaliya Salikhovna – Doctor of Economics, Professor, Head of the Accounting and Auditing Department, e-mail: kgaukgs@mail.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

Khoruzhiy Valeriy Ivanovich – Doctor of Economics, Associate Professor, Professor of Taxes and Tax Administration Department, e-mail: VIKhoruzhij@fa.ru

Financial University under the Government of the Russian Federation, Moscow, Russia.

Fassakhov Bulat Ilshatovich – post-graduate student of Accounting and Auditing Department[1], SMM-manager[2], e-mail: fassakhovbulat2000@gmail.com

[1]Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

[2] LLC Management Company NURSIB, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-107-112
УДК 334.735

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ПОТРЕБИТЕЛЬСКОЙ КООПЕРАЦИИ В РОССИИ

Л. В. Михайлова, И. Г. Нуриев

Реферат. Сельскохозяйственные потребительские кооперативы являются одним из важнейших инструментов развития отечественного сельского хозяйства, поскольку занимают важное место в системе продовольственного обеспечения населения, в то же время являясь одним из гарантов сохранения сельских территорий. В России и в её регионах распространилась практика, что ключевыми субъектами сельскохозяйственной потребительской кооперации выступают крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели и хозяйства населения, то есть малый агробизнес. Малые предприятия наряду с крупными агрохолдингами принимают участие в обеспечении продовольственной безопасности страны, однако в силу своих размеров и объемов производимой продукции доля крупных хозяйств в этом аспекте представляется более значимой. Актуальность и значимость кооперативного сектора в современной России объясняется также значимой поддержкой сельскохозяйственных потребительских кооперативов со стороны государственных органов власти. Несмотря на многолетний опыт функционирования потребительских кооперативов в стране процент вовлечения субъектов малого аграрного бизнеса в кооперативный сектор остается незначительным. Наибольшим числом сельскохозяйственных потребительских кооперативов и стоимостью отгруженной собственной продукции в стране характеризуется Приволжский федеральный округ, а внутри округа лидерство за Ульяновской областью, республиками Башкортостан и Татарстан, что подтверждается показателями за 2020-2024 годы. Благоприятный настрой со стороны государственных органов власти по вопросу дальнейшего развития потребительской кооперации, существенные объемы государственной поддержки из федерального и регионального бюджетов, активная выездная пропаганда по расширению кооперативного движения на селе и вовлечению новых членов нацелены на дальнейшее укрепление кооперативного сектора в регионах и стране в целом.

Ключевые слова: сельскохозяйственная кооперация, потребительский кооператив, малые формы хозяйствования, сельскохозяйственный товаропроизводитель, государственная поддержка.

Введение. За последние десять лет сельское хозяйство России характеризуется устойчивым развитием, что подтверждается увеличением объемов производимой продукции, снижением зависимости от импортного семенного и племенного материала, повышением глубины переработки сельскохозяйственного сырья, ростом более чем в два раза экспорта продукции АПК и др. [1, 2, 3]. АПК страны удалось достичь определенных успехов в цифровизации, в частности создав одну из самых продвинутых в мире систем прослеживаемости и контроля за сельскохозяйственной продукцией, например, «Зерно», «Меркурий» [4, 5].

В последние годы всё больше внимания в стране и в её отдельных регионах уделяется развитию сельскохозяйственной кооперации как одного из главных механизмов повышения эффективности функционирования малых форм хозяйствования в сельской местности.

Активное развитие сельскохозяйственной кооперации в России приходится на 1990-е годы, когда в стране начались реформы, сельскохозяйственные товаропроизводители в целях достижения более высоких показателей своей деятельности начали объединяться и, тем самым, сами того не подозревая, дали толчок возрождению кооперации в стране. Несомненно, и до этого были случаи организации совместного производства продукции, эти предприятия образовались в виде артелей или товариществ, но их масштабы были незначительными. Преимущества от совместной деятельности тогда и сейчас особо не отличаются, и тогда крестьяне объединяли свои усилия ради снабжения своих хозяйств необходимой техникой и возделывания больших площадей [6]. Однако неопределенность социально-экономической политики в стране, отсутствие нормативных актов привели к спаду кооперативного движения. Впоследствии в 1995 году был принят закон «О сельскохозяйственной кооперации», который позволил регулировать общие положения и условия работы сельскохозяйственных кооперативов [7].

Целью исследования является анализ современного состояния функционирования сельскохозяйственных потребительских кооперативов в России и выявление основных предложений по их дальнейшему развитию.

Условия, материалы и методы. В процессе исследования были применены такие методы как: экономико-статистический, абстрактно-логический, монографический, ситуационного и структурного анализа. Информационную базу составили данные Федеральной службы государственной статистики и другие открытые источники о деятельности сельскохозяйственных потребительских кооперативов (за исключением перерабатывающих, снабженческо-сбытовых и кредитных) в Российской Федерации за 2020-2024 годы. Более подробно рассмотрен опыт развития сельскохозяйственной потребительской кооперации в Приволжском федеральном округе. По результатам собственных исследований и наблюдений были предложены ключевые векторы развития кооперативного сектора в стране и регионах.

Результаты и обсуждение. Увеличение

числа сельскохозяйственных потребительских кооперативов в России свидетельствует о развитии кооперативного движения. По данным Росстата, к концу 2024 года в стране их число достигло 2579, тогда как годом ранее составляло всего 2444 ед. (табл. 1), при этом растет и число обслуживающих кооперативов – с 459 ед. в 2023 году до 507 ед. к 2024 году [8].

Таблица 1 – Число сельскохозяйственных потребительских кооперативов в Российской Федерации за 2020-2024 годы

Федеральные округа	Годы					2024 г. к 2020 г., %
	2020	2021	2022	2023	2024	
Российская Федерация	1959	1921	1867	2444	2579	131,6
Центральный федеральный округ	456	419	398	482	506	111,0
Северо-Западный федеральный округ	53	67	79	88	85	160,4
Южный федеральный округ	159	162	171	201	218	137,1
Северо-Кавказский федеральный округ	180	191	176	284	386	214,4
Приволжский федеральный округ	543	492	502	686	679	125,0
Уральский федеральный округ	81	83	79	111	112	138,3
Сибирский федеральный округ	180	173	205	236	232	128,9
Дальневосточный федеральный округ	307	334	257	356	361	117,6

Источник: [8]

Приведенные данные таблицы 1 показывают, что за изучаемые 5 лет абсолютно во всех федеральных округах наблюдается рост числа сельскохозяйственных кооперативов. Наибольший рост приходится на Северо-Кавказский федеральный округ, где число кооперативов увеличилось более в 2 раза. Однако если рассматривать абсолютное значение показателя по округам видим, что наибольшее их количество приходится на Приволжский федеральный округ, также в числе лидеров в рейтинге Центральный федеральный округ.

В деятельности сельскохозяйственных потребительских кооперативов в целом по стране участвуют 49741 чел., наибольший удельный вес приходится на граждан, ведущих личное подсобное хозяйство на сельских территориях (78,5%). Только за 2024 год новыми членами кооператива стали 2176 чел., что подтверждает актуальность и востребованность сельскохозяйственной кооперации именно для малых предприятий, в частности личных подсобных хозяйств и крестьянских (фермерских) хозяйств.

В 2024 году отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг потребительскими кооперативами по всей стране на сумму более 14,6 трлн руб., данный показатель за рассматриваемый период увеличился в целом по стране почти в 2 раза (табл. 2).

Таблица 2 – Отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами сельскохозяйственных потребительских кооперативов в Российской Федерации за 2020-2024 годы

Федеральные округа	Годы			
	2020		2024	
	млн руб.	%	млн руб.	%
Российская Федерация	7531,4	100,0	14617,5	100,0
Центральный федеральный округ	1339,7	17,8	3578,5	24,5
Северо-Западный федеральный округ	336,0	4,5	1711,1	11,7
Южный федеральный округ	869,0	11,5	2039,1	13,9
Северо-Кавказский федеральный округ	960,1	12,7	630,3	4,3
Приволжский федеральный округ	2515,3	33,4	4327,8	29,6
Уральский федеральный округ	392,5	5,2	350,3	2,4
Сибирский федеральный округ	463,9	6,2	1403,3	9,6
Дальневосточный федеральный округ	655,0	8,7	577,0	3,9

Источник: [8]

Данные таблицы свидетельствуют о положительной динамике стоимости отгруженных товаров во многих федеральных округах, кроме Северо-Кавказского, Уральского и Дальневосточного. За 2020-2024 годы лидерство сохраняют кооперативы Приволжского федерального округа, на долю которых в отчетном году приходится 29,6% от всех произведенных товаров и выполненных работ и услуг силами сельскохозяйственных потребительских кооперативов страны. За последние пять лет значительно повысилась доля в стоимости отгруженных товаров сельскохозяйственных потребительских кооперативов Центрального федерального округа, которая в 2024 году достигла 24,5%. Надо отметить, что на долю этих федеральных округов приходится более 50% от всей суммы по отгруженным товарам собственного производства, выполненных работ и услуг силами сельскохозяйственных потребительских кооперативов в Российской Федерации.

Во многих регионах Приволжского федерального округа ведется целенаправленная работа по развитию сельскохозяйственной потребительской кооперации, что иобуславливает высокие показатели округа. Так, в 2024 году в округе отгружено товаров

собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами сельскохозяйственных потребительских кооперативов на сумму более 4,3 трлн руб., что на 2,5 трлн руб. или на 72,1% больше уровня 2020 года.

В Приволжском федеральном округе лидерами-регионами в развитии сельскохозяйственной кооперации являются Ульяновская область, республики Башкортостан, Татарстан и Марий Эл. Такая тенденция уже сохраняется на протяжении последних пяти лет [9]. В Ульяновской области на конец 2024 года осуществляют свою деятельность 41 сельскохозяйственных потребительских кооперативов, они отгрузили товары, выполнили работ и услуг на сумму 970,0 млн руб., что составляет 22,4% в целом по округе, а на долю кооперативов Башкортостана приходится 789,4 млн руб. отгруженных товаров и выполненных работ (услуг) или 18,2%.

Особый интерес представляет положительный опыт развития сельскохозяйственной потребительской кооперации в Республике Татарстан [10], где на конец 2024 года действуют 376 сельскохозяйственных потребительских кооперативов, в том числе перерабатывающих – 183 ед., снабженческо-сбытовых – 55 и кредитных –2 ед. За 2024 год отгружено товаров собственного производства, выполнено работ и услуг собственными силами сельскохозяйственных потребительских кооперативов (за исключением перерабатывающих, снабженческо-сбытовых и кредитных) на 834,0 млн. руб., что составляет 19,2% от общей стоимости отгрузки по округе, за исследуемый период показатель вырос на 37,2%.

В Республике Татарстан функционирует Государственное бюджетное учреждение «Центр компетенций по развитию сельскохозяйственной кооперации в Республике Татарстан», которое главным образом координирует деятельность сельскохозяйственных потребительских кооперативов в регионе, содействуя при этом в получении государственной поддержки и способствуя созданию новых кооперативов.

Основными членами сельскохозяйственных потребительских кооперативов остаются субъекты малых форм хозяйствования, в том числе крестьянские (фермерские) хозяйства, индивидуальные предприниматели и личные подсобные хозяйства [11, 12, 13]. По данным Росстата, численность членов сельскохозяйственных потребительских кооперативов (за исключением перерабатывающих, снабженческо-сбытовых и кредитных) за 2024 год в Республике Татарстан составляет 6007 чел., из них 5530 чел. граждане, ведущие личное подсобное хозяйство (92,1%), главы крестьянских (фермерских) хозяйств – 3,7%, на долю индивидуальных предпринимателей приходится 1,3% от всей численности членов кооперативов [8].

Гражданам, ведущим личное подсобное хозяйство, вступление в кооператив — это отличная возможность для эффективной реализации своей излишней продукции.

В первую очередь, положительное и более стремительное развитие кооперативного сектора в регионе зависит от предпринимаемых региональными органами власти шагов по этому направлению, пропаганды сельскохозяйственных товаропроизводителей к совместному ведению бизнеса и разъяснение экономических преимуществ от такой деятельности [14, 15, 16].

В настоящее время в Республике Татарстан ведется системная работа по развитию сельскохозяйственных кооперативов с собственной переработкой с тем, чтобы добавленная стоимость оставалась в регионе и работала на доходы фермерских и личных подсобных хозяйств – членов кооперативов.

Министерство сельского хозяйства и продовольствия Республики Татарстан уделяет огромное внимание поддержке сельскохозяйственных товаропроизводителей. Вдобавок к федеральной поддержке выделяются немалые суммы также из регионального бюджета (табл. 3).

Таблица 3 – Поддержка сельскохозяйственных потребительских кооперативов в Республике Татарстан за 2023-2025 годы, млн руб.

Направление поддержки	Годы		
	2023	2024	2025[1]
Гранты на развитие материально-технической базы СПоК с федеральным соучастием	50,0	41,0	42,0
Гранты начинающим СПоК на развитие материально-технической базы	100,0	90,0	120,0
Субсидии СПоК (строительство ферм на территории мини-молочных парков)	50,0	50,0	30,0
Субсидии СПоК по нацпроекту (на закуп продукции, приобретение имущества для включения в неделимый фонд, передачи членам СПоК)	351,7	215,0	223,0

[1]предварительная оценка

К 2025 году в Татарстане снизился объем поддержки на развитие материально-технической базы сельскохозяйственных потребительских кооперативов с федеральным соучастием, субсидии были также сокращены, при росте поддержки для начинающих кооперативов, что свидетельствует о заинтересованности государства в создании новых кооперативов в регионах.

Грантовую поддержку на развитие сельскохозяйственной кооперации в России ввели в 2015 году, которая может осуществляться как с федерального, так и с региональных фондов. Однако, фермеры и хозяйства населения, будучи ключевыми субъектами в системе сельскохозяйственной потребительской

кооперации, сталкиваются с трудностями уже при сборе и подаче документов, поскольку зачастую не хватает ни компетенций, ни времени на оформление документов. И нередко получается так, что поддержку получает не тот, кто больше всего в них нуждается. В связи с чем, целесообразно назначение консультантов из числа сотрудников министерств или подведомственных органов власти, которые знают реальную картину по всему региону, в том числе по своему участку и предоставляют информацию о необходимости оказания поддержки конкретным хозяйствам.

Предлагается также государственную поддержку связать с эффективностью деятельности хозяйств; вкладом в обеспечении продовольственной безопасности; участием в экспортной деятельности; участием в комплексном развитии сельских территорий; а также с выполнением Указа Президента Российской Федерации «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года» [17]. При этих условиях малым формам хозяйствования осуществлять свою деятельность выгоднее становится в условиях сельскохозяйственной кооперации, так как указанные выше условия под силу выполнить более крупным формированиям, нежели малым и средним организациям. Если учесть, что объемы государственной поддержки сельскохозяйственным потребительским кооперативам намного превышают суммы поддержки малым формам хозяйствования [18], то представляется более правильным развитие их именно в системе кооперации. В 2024 году 81 сельскохозяйственный потребительский кооператив по всей стране получили гранты на развитие материально-технической базы, в 2025 году государство продолжит поддерживать и поощрять действующих кооперативов, а также содействует созданию новых, предусмотрено на эти цели выделение 10 млн руб., исходя из преимуществ деятельности малых предприятий в системе сельскохозяйственной кооперации [19, 20].

Государство выделяет значительные суммы на поддержку бизнеса, в то же время важно получать высокую отдачу от этих сумм, чтобы выделенные средства не затерялись, а укрепили финансово-хозяйственные возможности предприятий. Важно обеспечить в регионе развитие всех основных отраслей сельского хозяйства, что поспособствует самообеспечению населения продуктами питания и выполнению показателей Доктрины продовольственной безопасности.

За экспортный потенциал в нашей стране в большей степени отвечают крупные предприятия, важно увеличить в этом соотношении и долю малых и средних предприятий [21]. В этих целях целесообразно хозяйствам обеспечить необходимый объем производства продукции в рамках функционирования в сельскохозяйственной кооперации, укрепить техническое вооружение организаций, увеличить долю сельскохозяйственной экспортоориентированной продукции.

Важнейшей проблемой в системе сельскохозяйственной кооперации являются пробелы в законодательстве относительно регулирования деятельности кооперативов. Несмотря на достижение значительных количественных показателей и также наличие государственным программ поддержки сельскохозяйственных кооперативов правовая база ведения бизнеса до сих пор по ним не определена. Требуется обновление нормативно-правовой базы по образованию и развитию сельскохозяйственных потребительских кооперативов с уточнением государственных задач в этой области, целевых показателей и индикаторов. Руководители хозяйств должны четко понимать на какую финансовую поддержку они могут претендовать, в каком направлении работать, самое важное с кем работать, а система финансовой поддержки должна быть прозрачной.

Для обеспечения экономической эффективности хозяйства должны обладать современной материально-технической базой [22]. Недостаточное и несбалансированное обеспечение материально-техническими ресурсами не позволяет в полной мере реализовать имеющийся потенциал субъектам малого бизнеса в сельском хозяйстве, что приведет в дальнейшем к снижению финансово-хозяйственных показателей. В связи с тем, что на отдельных малых предприятиях сложно создать конкурентоспособную и современную материально-техническую базу, их функционирование в системе сельскохозяйственной кооперации открывает новые возможности развития.

Выводы. Все субъекты Российской Федерации вносят существенный вклад в развитие кооперативного сектора в стране, но наибольшее количество сельскохозяйственных потребительских кооперативов концентрировано в Приволжском федеральном округе. Становление и функционирование сельскохозяйственных потребительских кооперативов в регионах зависят от многих факторов, одним из главных является проводимая политика местных органов власти по вовлечению новых членов в кооперативные структуры, в связи с чем их развитие по стране происходит неодинаково. С целью более равномерного развития кооперативного сектора во всех регионах страны необходимо предпринять комплекс мер, включая уточнение нормативно-правовой базы, используя при этом положительный опыт отдельных субъектов Российской Федерации, в частности Республики Татарстан.

Сведения о финансировании. Работа выполнена при поддержке гранта Академии наук Республики Татарстан (соглашение №144/2024кандидатам наук (постдокторантам) с целью защиты докторской диссертации, выполнения научно-исследовательских работ, а также выполнения трудовых функций в научных и образовательных организациях Республики Татарстан.

Литература

1. Ситдикова Л. Ф. Развитие аграрного сектора экономики в условиях влияния внешних факторов // Экономика сельского хозяйства России. 2025. № 2. С. 56-65. doi: 10.32651/252-56.

2. Особенности ценообразования на рынке зерна / Э. Ф. Амирова, И. Н. Сафиуллин, Е. В. Губанова, М. М. Ханнанов // Аграрная наука. 2023. № 7. С. 163-167. doi: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-163-167.

3. Гаспарян С. В., Макарова О. В., Жидков С. А. Оценка экспортного потенциала поставок зерна АПК России на мировой рынок // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2024. Т. 17. № 3(82). С. 222-228. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_3_222.

4. Advanced digital transformations for food security / E. F. Amirova, I. N. Safiullin, O. V. Bakhareva, A. I. Sakhbieva // BIO Web of Conferences : Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021), Smolensk, 27 ноября 2021 года. Vol. 42. EDP Sciences: EDP Sciences, 2022. P. 04008. doi: 10.1051/bioconf/20224204008.

5. Водянников В. Т., Субаева А. К., Александрова Н. Р. Развитие молочного скотоводства в условиях цифровой трансформации АПК // Техника и технологии в животноводстве. 2023. № 2(50). С. 101-106. doi: 10.22314/27132064-2023-2-101.

6. Петриков А. В., Вощикова Н. К. Взгляды А.В. Чаянова и Н.Д. Кондратьева на аграрный вопрос в 1917 году и их актуальность в современных условиях // Научные труды Вольного экономического общества России. 2023. Т. 240. № 2. С. 36-65. doi:10.38197/2072-2060-2023-240-2-36-65.

7. Хафизов Д. Ф. Проблемы развития сельскохозяйственной кооперации в России // Экономика и управление: проблемы, решения. 2020. Т. 4. № 12(108). С. 63-67. doi: 10.36871/ek.up.p.r.2020.12.04.009.

8. Федеральная служба государственной статистики: офиц. сайт. – URL: https:// rosstat.gov.ru (дата обращения: 25.08.2025).

9. Дозорова Т. А., Севастьянова В. М. Эффективность развития кооперативных образований в сельском хозяйстве региона // Экономика сельского хозяйства России. 2021. № 10. С. 103-107. doi: 10.32651/2110-103.

10. К вопросу о сущности и особенностях кооперативного предпринимательства в аграрной сфере / Хафизов Д. Ф., Шамсутдинова М. Р., Хисматуллин М. М. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1(65). С. 147-154. doi: 10.12737/2073-0462-2022-147-154.

11. Муравьева М. В., Воротников И. Л., Ситалиев А. Ш. Проблемы и перспективы развития крестьянских (фермерских) хозяйств и сельских индивидуальных предпринимателей в России // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2023. Т. 16. № 1(76). С. 243-257. doi: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_243.

12. Каурова О. В., Ткач А. В., Малолетко А. Н. Место и роль потребительской кооперации в обеспечении продовольственной безопасности регионов России // Вестник Российского университета кооперации. 2020. № 2(40). С. 51-61.

13. Михайлова Л. В., Мухаметгалиев Ф. Н., Валиев А. Р. Фермерство в Республике Татарстан: их роль в системе аграрного бизнеса и тенденция развития // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. Т. 19. № 2(74). С. 148-153. doi:10.12737/2073-0462-2024-148-153.

14. How Cooperative Leaders Influence Economic Growth / O. V. Kaurova, A. N. Maloletko, O. V. Shinkareva et al. // Sustainable Cooperation for the Creation of Green Supply Chains Based on Environmental Technologies and Responsible Innovations. Cham: Springer, 2024. P. 29-37. doi: 10.1007/978-3-031-70962-3_4.

15. Михайлова Л. В. Кластерный подход в развитии субъектов малого агробизнеса // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 1(69). С. 125-130. doi: 10.12737/2073-0462-2023-121-126.

16. Петриков А. В. Роль сельскохозяйственных потребительских кооперативов в сельской локальной экономике и актуальные проблемы их развития // Фундаментальные и прикладные исследования кооперативного сектора экономики. 2022. № 3. С. 14-26. doi: 10.37984/2076-9288-2022-3-14- 26.

17. Указ Президента Российской Федерации от 07.05.2024 г. №309 «О национальных целях развития Российской Федерации на период до 2030 года и на перспективу до 2036 года».

18. State regulation of the development of small business forms / L. Mikhailova, F. Avkhadiev, N. Asadullin, I. Gainutdinov // International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2020): International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2020), Kazan, 28-30 мая 2020 года. Kazan: EDP Sciences, 2020. P. 00095. doi: 10.1051/bioconf/20202700095.

19. Мухаметгалиев Ф. Н., Авхадиев Ф. Н., Ситдикова Л. Ф. Сельскохозяйственная потребительская кооперация в условиях цифровизации сельской экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 2(66). С. 154-161. doi: 10.12737/2073-0462-2022-154-161.

20. Набиева А. Р. Роль кооперативных организаций в развитии территориальных рынков сельскохозяйственной продукции // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2021. Т. 16. № 3(63). С. 147-153. doi: 10.12737/2073-0462-2021-147-153.

21. Export Potential as the Competitiveness Indicator of the Agri-Food Complex / N. A. Yakovenko, I. A. Rodionova, I. S. Ivanenko et al. // International Journal of Engineering and Technology(UAE). 2018. Vol. 7. No. 4.38. P.654-658. doi: 10.14419/ijet.v7i4.38.24640.

22. Хафизов Д. Ф., Хисматуллин М. М., Исайчева Е. С., Хисматуллин М. М. Развитие форм хозяйствования в аграрной сфере за 20 лет реформирования экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2011. Т. 6. № 1(19). С. 82-84.

Сведения об авторах:

Михайлова Лилия Валериковна – кандидат экономических наук, доцент кафедры экономики и организации производства, e-mail: lilmikhajlova@yandex.ru

Нуриев Ильшат Габделфартович – кандидат экономических наук, врио ректора, e-mail: ilshat.nuriev@tatar.ru

Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия.

THE CURRENT STATE OF AGRICULTURAL CONSUMER COOPERATION IN RUSSIA

L. V. Mikhaylova, I. G. Nuriev

Abstract. Agricultural consumer cooperatives are one of the most important tools for the development of domestic agriculture, as they play an important role in the food supply system of population, at the same time being as a guarantor of rural areas preservation. It has become common practice in Russia and its regions, that key actors in agricultural consumer cooperatives are peasant (farmer) households, individual entrepreneurs and household farms, i.e. small agribusinesses. Small enterprises, along with large agricultural holdings, take part in ensuring food security of the country; however, due to their size and production volumes, the share of large farms in this aspect seems to be more significant. The relevance and importance of the cooperative sector in modern Russia is also explained by the significant support provided to agricultural consumer cooperatives by government authorities. Despite long-term experience of consumer cooperatives in the country, the percentage of small agricultural business entities involved in the cooperative sector remains insignificant. Volga Federal District is the first region with the highest number of agricultural consumer cooperatives and the highest value of shipped products, while within the district, Ulyanovsk region and the Republics of Bashkortostan and Tatarstan hold the lead, as evidenced by indicators for 2020-2024. A favorable attitude from government authorities toward the further development of consumer cooperatives, significant amounts of state support from federal and regional budgets and active outreach to expand the cooperative movement in rural areas and recruit new members are aimed at further strengthening the cooperative sector in the regions and country as a whole.

Key words: agricultural cooperation, consumer cooperative, small forms of farming, agricultural producers, state support.

References

1. Sitdikova LF. [Development of agricultural sector of the economy under the influence of external factors]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2025; 2. 56-65 p. doi: 10.32651/252-56.

2. Amirova EF, Safiullin IN, Gubanova EV, Khannanov MM. [Features of pricing in grain market]. Agrarnaya nauka. 2023; 7. 163-167 p. doi: 10.32634/0869-8155-2023-372-7-163-167.

3. Gasparyan SV, Makarova OV, Zhidkov SA. [Assessment of the export potential of grain supplies from the Russian agro-industrial complex to the world market]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.17. 3(82). 222-228 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2024_3_222.

4. Amirova EF, Safiullin IN, Bakhareva OV, Sakhbieva AI. Advanced digital transformations for food security. BIO Web of Conferences: Sustainable Development of Traditional and Organic Agriculture in the Concept of Green Economy (SDGE 2021), Smolensk, 27 noyabrya 2021 goda. Vol.42. EDP Sciences: EDP Sciences. 2022; 04008 p. doi: 10.1051/bioconf/20224204008.

5. Vodyannikov VT, Subaeva AK, Aleksandrova NR. [Development of dairy cattle farming in the context of digital transformation of agro-industrial complex]. Tekhnika i tekhnologii v zhivotnovodstve. 2023; 2(50). 101-106 p. doi: 10.22314/27132064-2023-2-101.

6. Petrikov AV, Voshchikova NK. [Views of A.V. Chayanov and N.D. Kondratiev on the agrarian question in 1917 and their relevance in modern conditions]. Nauchnye trudy Volnogo ekonomicheskogo obshchestva Rossii. 2023; Vol.240. 2. 36-65 p. doi:10.38197/2072-2060-2023-240-2-36-65.

7. Khafizov DF. [Problems of agricultural cooperation development in Russia]. Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2020; Vol.4. 12(108). 63-67 p. doi: 10.36871/ek.up.p.r.2020.12.04.009.

8. Federal State Statistics Service. [Internet]. Official website. [cited 2025, August 25]. Available from: https://rosstat.gov.ru

9. Dozorova TA, Sevastyanova VM. [Efficiency of cooperative formations development in regional agriculture]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2021; 10. 103-107 p. doi: 10.32651/2110-103.

10. Khafizov DF, Shamsutdinova MR, Khismatullin MM. [On the essence and features of cooperative entrepreneurship in the agricultural sphere]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 1(65). 147-154 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-147-154.

11. Muraveva MV, Vorotnikov IL, Sitaliev ASh. [Problems and prospects for the development of peasant (farm) households and rural individual entrepreneurs in Russia]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.16. 1 (76). 243-257 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2023_1_243.

12. Kaurova OV, Tkach AV, Maloletko AN. [Place and role of consumer cooperatives in ensuring food security of Russian regions]. Vestnik Rossiyskogo universiteta kooperatsii. 2020; 2(40). 51-61 p.

13. Mikhaylova LV, Mukhametgaliev FN, Valiev AR. [Farming in the Republic of Tatarstan: its role in the agricultural business system and development trend]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; Vol.19. 2(74). 148-153 p. doi:10.12737/2073-0462-2024-148-153.

14. Kaurova OV, Maloletko AN, Shinkareva OV. How cooperative leaders influence economic growth. Sustainable cooperation for the creation of green supply chains based on environmental technologies and responsible innovations. Cham: Springer. 2024; 29-37 p. doi: 10.1007/978-3-031-70962-3_4.

15. Mikhaylova LV. [Cluster approach in the development of small agribusiness entities]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2023; Vol.18. 1(69). 125-130 p. doi: 10.12737/2073-0462-2023-121-126.

16. Petrikov AV. [The role of agricultural consumer cooperatives in the rural local economy and current problems of their development]. Fundamentalnye i prikladnye issledovaniya kooperativnogo sektora ekonomiki. 2022; 3. 14-26 p. doi: 10.37984/2076-9288-2022-3-14- 26.

17. Ukaz Prezidenta Rossiyskoy Federatsii ot 07.05.2024 g. № 309 “O natsionalnykh tselyakh razvitiya Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda i na perspektivu do 2036 goda”. [Decree of the President of the Russian Federation of May 7, 2024, No. 309 “On the national development goals of the Russian Federation for the period up to 2030 and for the future up to 2036”].

18. Mikhaylova L, Avkhadiev F, Asadullin N, Gaynutdinov I. State regulation of the development of small business forms. International Scientific-Practical Conference “Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources» (FIES 2020), Kazan, 28-30 maya 2020 goda. Kazan: EDP Sciences. 2020. 00095 p. doi: 10.1051/bioconf/20202700095.

19. Mukhametgaliev FN, Avkhadiev FN, Sitdikova LF. [Agricultural consumer cooperation in the context of digitalization of the rural economy]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; Vol.17. 2(66). 154-161 p. doi: 10.12737/2073-0462-2022-154-161.

20. Nabieva AR. [The role of cooperative organizations in the development of territorial agricultural markets]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.16. 3(63). 147-153 p. doi: 10.12737/2073-0462-2021-147-153.

21. Yakovenko NA, Rodionova IA, Ivanenko IS. Export potential as the competitiveness indicator of the agri-food complex. International Journal of Engineering and Technology (UAE). 2018; Vol.7. No.4.38. 654-658 p. doi: 10.14419/ijet.v7i4.38.24640.

22. Khafizov DF, Khismatullin MM, Isaycheva ES, Khismatullin MM. [Development of management forms in the agricultural sector over 20 years of economic reform]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2011; Vol.6. 1(19). 82-84 p.

Authors:

Mikhaylova Liliya Valerikovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Economics and Production Organization, e-mail: lilmikhajlova@yandex.ru

Nuriev Ilshat Gabdelfartovich – Ph.D. of Economic Sciences, Acting Rector, e-mail: ilshat.nuriev@tatar.ru

Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-113-120
УДК 005:631.15

УПРАВЛЕНИЕ ВОСПРОИЗВОДСТВОМ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОЙ ТЕХНИКИ В АПК РОССИИ: АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ДИСБАЛАНСОВ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ

Л. В. Попова, А. Г. Досова, А. А. Карпова, Т. В. Даева, Е. Е. Смотрова

Реферат. Сельскохозяйственная техника является фундаментальным элементом технологического суверенитета и конкурентоспособности агропромышленного комплекса России. Исторический опыт, включая механизацию через систему МТС в СССР, однозначно подтверждает, что уровень технической оснащенности напрямую детерминирует производительность труда в аграрном секторе. Статистические данные за период 1990-2023 годы объективно свидетельствуют о глубокой структурной трансформации машинно-тракторного парка. Наблюдается абсолютное сокращение численности основных единиц: парк тракторов уменьшился на 85,5%, а парк комбайнов — на 88,4%. Однако текущая динамика неоднозначна. Ключевой тенденцией последнего десятилетия является качественная перестройка парка. Стабилизация показателя энергообеспеченности на уровне 197-203 л.с. на 100 га пашни указывает на активный процесс технологической оптимизации, при котором низкопроизводительная техника замещается более мощными и эффективными образцами. Это является объективной адаптацией к современным агротехнологиям и дефициту кадров. В сфере отечественного производства техники для АПК сохраняются критические системные вызовы. Во-первых, объемы внутреннего производства остаются крайне низкими, составляя лишь 3-5% от уровня 1990 года. Резкое снижение отгрузок в 2023 году (на 31,5%), особенно в ключевых сегментах, подтверждает высокую зависимость отрасли от конъюнктурных факторов. Во-вторых, сохраняются структурные диспропорции в ассортименте, отмечается значительный дефицит техники для животноводства, переработки и растениеводства закрытого грунта. Санкционное давление обострило системные риски, связанные с зависимостью от импорта критически важных компонентов и высоких технологий. В данной парадигме ключевая задача на государственном уровне заключается в переходе от точечной поддержки к стратегическому управлению всем воспроизводственным циклом. Это требует разработки комплексных решений, выходящих за рамки простого увеличения финансирования. Предложены направления активизации процессов управления воспроизводством сельскохозяйственной техники для АПК России: создание стимулов для глубокой локализации производства и импортозамещения компонентов, снижение кредитной нагрузки на сельхозтоваропроизводителей для стимулирования спроса, а также формирование сбалансированных условий конкуренции, в том числе во взаимодействии с партнерами по ЕАЭС. Без реализации таких скоординированных мер устойчивое развитие как отечественного сельхозмашиностроения, так и всего АПК России, оказывается под серьезной угрозой.

Ключевые слова: управление воспроизводством, сельскохозяйственная техника, структурные дисбалансы, технологическая трансформация, энергообеспеченность, SWOT-анализ.

Введение. Сельскохозяйственная техника, включая тракторы и комбайны, представляет собой один из ключевых элементов технологической базы агропромышленного комплекса любой экономически развитой страны. Ее роль в обеспечении роста производительности труда, эффективности использования ресурсов и конкурентоспособности аграрного сектора трудно переоценить. Исторически, в СССР, осознавая стратегическую важность механизации сельского хозяйства, с 1928 года начали создаваться машинно-тракторные станции, что позволило в кратчайшие сроки достичь значительного роста производительности труда и увеличения объемов сельскохозяйственного производства как в натуральном, так и в стоимостном выражении. С момента своего появления сельскохозяйственная техника претерпела значительную эволюцию. Если в начале XX века тракторы и комбайны представляли собой относительно простые механические устройства, то к настоящему времени они превратились в высокотехнологичные комплексы, оснащенные системами навигации, интеллектуальной электроникой и другими инновационными решениями. Современные тракторы и комбайны являются результатом глубокой интеграции наукоемких технологий, что значительно повышает их производительность, энергоэффективность и добавленную стоимость. Такие технологические изменения требуют значительных инвестиций в исследования и разработки, а также в подготовку квалифицированных кадров. Однако в постсоветский период произошло резкое сокращение парка техники, что привело к структурным дисбалансам и снижению эффективности использования ресурсов.

Целью данной работы является анализ текущего состояния и управления воспроизводством сельскохозяйственной техники в России, выявление ключевых структурных дисбалансов и предложение направлений для совершенствования управления в условиях современных экономических и технологических вызовов. В рамках исследования проводится ретроспективный и компаративный анализ состояния парка техники, рассматриваются количественные и качественные аспекты его изменения. Актуальность исследования обусловлена необходимостью обеспечения технологического суверенитета и

продовольственной безопасности России в условиях санкционного давления и глобальных экономических вызовов. В последние годы проблема воспроизводства сельскохозяйственной техники стала предметом активного обсуждения как в научной литературе, так и на уровне государственного управления. Ряд исследований подчеркивает важность технологической модернизации и импортозамещения в сельскохозяйственном машиностроении. В работах Гурнович Т.Г. и Агарковой Л.В. акцентируется внимание на необходимости обновления материально-технической базы аграрного сектора, что является ключевым фактором повышения его конкурентоспособности [1]. Одним из направлений совершенствования данного процесса, как утверждают Субаева А.К. и Низамутдинов М.М., является пересмотр методов начисления амортизации, что может стимулировать более быстрое обновление парка техники [2]. Литвинова Т.Н. и Земскова О.М. отмечают, что значительная часть сельскохозяйственной техники и комплектующих в России импортируется, что создает риски в условиях санкционного давления и требует развития собственного производства [3, 4]. Калашников И.Б. и Панов А.А. подчеркивают, что внедрение высокотехнологичной техники, оснащенной системами навигации и автоматизации, позволяет значительно повысить производительность труда и снизить операционные затраты [5]. Важным аспектом технологической модернизации является переход на ресурсосберегающие технологии. Исследования Муртазаевой Р.Н. и Алифановой С.Е. показывают, что использование методов no-till и mini-till позволяет сократить количество агротехнических операций, что снижает потребность в технике и уменьшает нагрузку на парк машин [6]. Колпакова Е.А. анализирует роль государственной поддержки в развитии АПК, отмечая, что программы субсидирования приобретения техники способствуют обновлению парка, однако их объемы остаются недостаточными для полного решения проблемы [7]. Зверева Г.Н. и Гребнева Д.А. акцентируют внимание на внедрении цифровых технологий, включая точное земледелие и интернет вещей (IoT), что позволяет повысить эффективность использования техники и снизить затраты [8]. Зарубежный опыт, как показывают исследования, демонстрирует, что в странах с развитым сельским хозяйством (США, Германия, Канада) государственная поддержка сочетается с активным привлечением частных инвестиций в технологическую модернизацию. Это способствует не только обновлению парка техники, но и внедрению инновационных решений, что в совокупности обеспечивает устойчивое развитие аграрного сектора [9].

Условия, материалы и методы. Исследование проводилось на основе анализа статистических данных, предоставленных Федеральной службой государственной статистики (Росстат). Временные рамки исследования охватывают период с 1990 года по 2023 год, что позволяет проследить динамику изменений парка сельскохозяйственной техники как в советский, так и в постсоветский периоды.

Методика исследования включает ретроспективный анализ динамики парка техники, сравнительный анализ с зарубежными странами, а также SWOT-анализ отечественных и иностранных двигателей, используемых в сельскохозяйственной технике. Для оценки количественных и качественных изменений парка техники применялись методы статистического анализа, включая расчет темпов роста и снижения показателей, а также анализ структурных изменений. Особое внимание уделено анализу влияния технологической модернизации на эффективность использования сельскохозяйственной техники. Таким образом, исследование базируется на комплексном подходе, сочетающем анализ статистических данных, сравнительный анализ с зарубежными странами и оценку влияния технологической модернизации на состояние парка сельскохозяйственной техники в России.

Результаты и обсуждение. В условиях сложной политической и экономической ситуации, включая санкционное давление и макроэкономическую нестабильность, конкурентоспособность сельскохозяйственной техники Российской Федерации оказалась под угрозой. Это ставит перед отраслью ряд серьезных вызовов, связанных с необходимостью модернизации производственных мощностей, повышения технологического уровня продукции и снижения зависимости от импортных компонентов. Для комплексного анализа состояния сельскохозяйственной техники в России целесообразно рассмотреть два основных аспекта: количественный и качественный.

За период 1990-2023 годы количество тракторов сократилось на 1,168 млн единиц, а комбайнов – на 0,512 млн единиц. Темпы снижения составили 85,5% и 88,4% соответственно, то есть современный парк сельскохозяйственной техники в России достигает лишь 14,5% от уровня тракторного парка и 11,6% от уровня комбайнового парка РСФСР 1990 года.

Данные, представленные в таблице 1 [10], подтверждают значительное сокращение количества сельскохозяйственной техники на 1000 га пашни. Наиболее выраженное снижение наблюдается в сегментах кукурузоуборочных комбайнов, тракторов и зерноуборочных комбайнов, где сокращение составило более 70% в процентном выражении. Основной причиной данной тенденции является резкое уменьшение общего парка техники в стране, а также, в меньшей степени, вывод из оборота части сельскохозяйственных угодий. Однако важно отметить, что сокращение обеспеченности техникой обусловлено не только экономическими и демографическими факторами, но и значительным влиянием технологического прогресса.

Подобная динамика отчасти объясняется адаптацией аграрного сектора к современным реалиям. В условиях дефицита трудовых ресурсов происходит активный переход на ресурсосберегающие технологии, такие как no-till и mini-till, которые предполагают минимальное механическое воздействие на почву и, как следствие, сокращение количества агротехнических операций. Это приводит к уменьшению потребности в технике, поскольку снижается частота ее использования. Кроме того, развитие химической промышленности и внедрение более эффективных средств защиты растений и удобрений также способствуют оптимизации сельскохозяйственных процессов, что дополнительно снижает зависимость от большого парка техники [11]. Таким образом, наблюдаемое сокращение обеспеченности техникой является результатом не только объективных ограничений, но и целенаправленной адаптации аграрного сектора к современным технологическим и экономическим условиям.

Таблица 1 – Разница и темп снижения сельскохозяйственной техники на 1000 га пашни в 2023 году в сравнении с 1990 годом [10]

Наименование техники	Изменение 2023 года по сравнению с 1990 годом, (+,–)	
	шт.	%
Тракторы	-8,0	-72,7
Зерноуборочные комбайны	-5,0	-71,4
Кукурузоуборочные комбайны	-11,4	-96,6
Картофелеуборочные комбайны	-11,0	-44,0
Льноуборочные комбайны	-9,0	-40,9

За анализируемый период мощность техники, приходящейся на 100 га пашни, сократилась на 161 л.с., а темп снижения составил 44,2%. Однако в последние 11 лет показатель энергообеспеченности [10] стабилизировался в диапазоне 197-203 л.с., что связано с внедрением более мощной и производительной техники, способной заменить несколько единиц низкопроизводительных машин. Особое внимание заслуживает рост популярности тракторов высокого тягового класса (5+) с двигателями мощностью свыше 400 л.с., что положительно влияет на общий уровень энергообеспеченности.

Анализ степени изношенности основных фондов в категории «Машины и оборудование» [10] показывает, что за последние 6 лет уровень износа увеличился на 5,6 п.п., достигнув отметки 57%. Можно констатировать устойчивую тенденцию к росту износа, что негативно сказывается на техническом состоянии парка сельскохозяйственной техники и требует принятия мер по его воспроизводству.

Данные, представленные в таблице 2 [10], показывают, что Россия демонстрирует относительно низкие показатели оснащенности сельскохозяйственной техникой по сравнению с выбранными странами. По большинству параметров, таких как количество тракторов и комбайнов на 1000 га пашни, Россия занимает последние позиции [12].

Таблица 2 – Сравнительный анализ показателей количественного оснащения сельскохозяйственной техникой РФ с зарубежными странами (2021-2023 годы)

Показатели	США	Германия	Канада	Беларусь	Казахстан	Россия
Количество тракторов на 1000 га пашни, шт.	26	65	16	9	6	3
Количество зерноуборочных комбайнов на 1000 га пашни, шт.	18	12	7	5	3	2
Загруженность 1 трактора, га	38	16	63	140	170	369
Загруженность 1 зерноуборочного комбайна, га	55	83	143	242	340	454
Энергообеспеченность на 100 га пашни, л.с.	850	500	500	347	120	203

Важным направлением количественного анализа является воспроизводство сельскохозяйственной техники, которое напрямую зависит от производственных мощностей отечественных предприятий. Начиная с 1990 года, наблюдается активная фаза сокращения объемов производства, которая с 1996 года перешла в долгосрочную стагнацию с незначительными колебаниями [13]. К 2023 году производство тракторов сократилось до 6018 единиц, что составляет лишь 3% от уровня 1990 года (213600 единиц). Аналогичная ситуация наблюдается в сегменте комбайнов: объем производства снизился с 96900 единиц в 1990 году до 5030 единиц в 2023 году, что соответствует 5,2% от уровня 1990 года [14].

Ключевым аспектом технологического оснащения АПК является способность страны к самостоятельному производству сельскохозяйственной техники. В условиях санкционного давления на экономику страны ключевым фактором становится развитие собственного производства агрегатов и компонентов, что позволит обеспечить технологический суверенитет и снизить зависимость от внешних поставщиков [15]. Двигатель внутреннего сгорания (ДВС) является важнейшим компонентом сельскохозяйственной техники, определяющим ее мощность, надежность, экономичность и производительность. В таблице 3 представлены данные по двигателям, устанавливаемым на российские тракторы и комбайны. Анализ показывает, что большинство современных моделей техники оснащены российскими двигателями ТМЗ и ЯМЗ, что свидетельствует о значительном прогрессе в области импортозамещения. Это является важным шагом на пути к созданию независимой технологической базы для сельского хозяйства страны [16].

Таблица 3 – Двигатели, устанавливаемые на российские тракторы и комбайны

Наименование техники	Наименование двигателя*	Мощность, л.с.	Расход топлива, г/л.с.*ч	Страна-производитель техники	Страна-производитель двигателя
ТРАКТОРЫ					
Кировец К-5	ЯМЗ-53715-10	300	167	Россия	Россия
Кировец К-7М (СТАНДАРТ)	ТМЗ 8481.10-04	420	157	Россия	Россия
Кировец К-7М (ПРЕМИУМ)	WEICHAI WP12	460	140	Россия	Китай
АГРОМАШ-90ТГ	ММЗ Д-245.5S2	95	220	Россия	Беларусь
RSM 2400	WEICHAI WP12	430	140	Россия	Китай
КОМБАЙНЫ					
RSM NOVA 340	ЯМЗ-53425	180	176	Россия	Россия
RSM ACROS 550	ЯМЗ-236БЕ2-36	280	145	Россия	Россия
RSM ACROS 585	ЯМЗ-53645-10	300	151	Россия	Россия
RSM ACROS 595+	ЯМЗ 536-Кама Дизель 689	330	157	Россия	Россия
RSM VECTOR 410	ЯМЗ / 236НД-3	210	159	Россия	Россия
RSM VECTOR 450 Track	ЯМЗ / 236БК	255	160	Россия	Россия
RSM T500	ЯМЗ 537	360	156	Россия	Россия
RSM161	WEICHAI WP10H	400	142	Россия	Китай
RSM TORUM 785	ЯМЗ 658	510	143	Россия	Россия
КИРОВЕЦ К-100	ЯМЗ-236	250	155-160	Россия	Россия

**Каждый двигатель был взят, как самый мощный агрегат в линейке среди всех одиночных экземпляров*

Несмотря на успехи в локализации производства, часть техники по-прежнему оснащается двигателями китайского (WEICHAI) и белорусского (ММЗ) производства. Хотя эти страны являются стратегическими партнерами России, использование иностранных агрегатов несет в себе определенные риски. Опыт отечественного автопрома демонстрирует, что зависимость от импортных компонентов может привести к проблемам в условиях санкций, логистических ограничений и изменения внешнеэкономической конъюнктуры. Технические характеристики китайских двигателей WEICHAI WP12 и WEICHAI WP10H несколько превосходят российские аналоги по мощности и экономичности. Например, трактор «Кировец К-7М» в версии «Премиум», оснащенный двигателем WEICHAI WP12, демонстрирует увеличение мощности на 40 л.с. и снижение расхода топлива на 17 г/л.с.*ч по сравнению с версией «Стандарт», которая использует двигатель ТМЗ. Это подчеркивает конкурентоспособность китайских агрегатов, но также актуализирует необходимость дальнейшего развития отечественных технологий. Для более глубокого понимания преимуществ и недостатков отечественных и иностранных двигателей проведен SWOT-анализ (табл. 4).

Таблица 4 – SWOT-анализ преимуществ и недостатков отечественных и иностранных двигателей

SWOT-анализ иностранных двигателей	
Сильные стороны	*Слабые стороны*
1. Повышенная мощность двигателей. 2. Экономичность расхода топлива. 3. Активное сотрудничество с российскими автомобильными компаниями. 4. Высокая надежность двигателей. 5. Цена двигателя (в сборе).	1. Более долгие сроки поставки двигателя и комплектующих. 2. Более дорогое обслуживание и ремонт.
Возможности	*Угрозы*
1. Локализация производства двигателей в целях последующей национализации (если это потребуется). 2. Заимствование иностранных технологий для собственных двигателей.	1. Риски, вызванные сменой власти (настроенные против сотрудничества с РФ) в странах-партнерах, которые поставляют двигатели. 2. Риски, связанные логистикой (транспортные происшествия, отложенные сроки поставки, таможенные пошлины и др.).
SWOT-анализ отечественных двигателей	
Сильные стороны	*Слабые стороны*
1. Легкая доступность комплектующих и двигателей в сборе. 2. Дешевое обслуживание в сравнении с иностранными аналогами. 3. Большой выбор двигателей. 4. Собственное производство. 5. Надежность.	1. Двигатель не всегда развивает заявленную мощность. 2. Больший расход топлива.
Возможности	*Угрозы*
1. Дополнительное развитие собственного производства по причине ухода многих иностранных компаний (Mercedes-Benz, Cummins). 2. Активное сотрудничество с Китаем может дать толчок к развитию более передовых технологий в создании новых двигателей. 3. Импортозамещение.	1. На начальном этапе в процессе импортозамещения может не хватать двигателей для полноценного удовлетворения внутреннего спроса. 2. Вытеснение российских двигателей более мощными китайскими аналогами (конкуренция). 3. Осложнение макроэкономических факторов внутри страны (инфляция, высокая ставка ЦБ, дорогие кредиты, ориентация экономики на военные цели, снижение господдержки).

Российские двигатели характеризуются доступностью обслуживания, низкой стоимостью и высокой надежностью, но уступают иностранным аналогам по мощности и экономичности. Китайские двигатели, напротив, демонстрируют более высокие технические характеристики, но их использование связано с рисками, такими как зависимость от внешних поставщиков и логистические сложности. За последние годы в России была проделана значительная работа по импортозамещению двигателей для сельскохозяйственной техники. Например, комбайн RSM ACROS 595+, который в 2021 году оснащался американским двигателем Cummins 6L TAA, теперь агрегатируется российским двигателем ЯМЗ. Аналогичная ситуация наблюдается с тракторами «Кировец» серии 9000, которые ранее использовали двигатели Mercedes-Benz. Эти изменения свидетельствуют о положительной динамике в области локализации производства, хотя российские двигатели пока незначительно уступают иностранным аналогам по техническим параметрам.

Наращивание объемов производства и обновление парка сельскохозяйственной техники являются ключевыми элементами обеспечения технологического суверенитета и продовольственной безопасности агропромышленного комплекса Российской Федерации. В начале 2025 года российский рынок сельскохозяйственной техники столкнулся с существенными вызовами, что подтверждается статистическими данными, предоставленными ассоциацией «Росспецмаш». Объем отгрузок отечественной сельхозтехники снизился на 31,5% по сравнению с аналогичным периодом предыдущего года, достигнув отметки в 8,9 млрд рублей с учетом НДС. Данная негативная динамика охватила практически все ключевые сегменты рынка, включая производство зерноуборочных и кормоуборочных комбайнов, где падение продаж составило 51,5% и 55,6% соответственно. Тракторный сегмент также не избежал снижения: отгрузки сократились на 44%, составив всего 172 единицы [17].

Тем не менее, в условиях общего спада отдельные категории техники продемонстрировали рост. Например, объемы отгрузок кормоуборочных машин и оборудования для внесения удобрений увеличились в 6,5 и 3,4 раза соответственно. Это может свидетельствовать о том, что сельхозпроизводители, несмотря на кризисные явления, стремятся оптимизировать свои производственные процессы, внедряя более эффективные и ресурсосберегающие технологии.

Среди ключевых факторов, способствующих снижению спроса на сельхозтехнику, можно выделить несколько управленческих и экономических аспектов. Во-первых, высокая

ключевая ставка, установленная Банком России, ограничивает доступность кредитных ресурсов для сельхозпроизводителей, что негативно влияет на их инвестиционные возможности. Во-вторых, низкая рентабельность аграрного сектора создает дополнительные финансовые трудности для фермеров, снижая их способность к обновлению технического парка. В-третьих, недостаточное финансирование государственных программ поддержки как для производителей сельхозтехники, так и для аграриев, усугубляет ситуацию, создавая барьеры для развития отрасли [18].

В этой связи ассоциация «Росспецмаш» предлагает увеличить объем финансирования программы 1432 до 10% от общего объема отгрузок. В 2022, 2023 и 2024 годах объем финансирования программы составил 8 млрд рублей ежегодно без учета индексации, что позволило сократить издержки сельхозпроизводителей за счет субсидирования части затрат на приобретение техники. Рост объемов финансирования программы мог бы способствовать не только стабилизации положения производителей, но и созданию более благоприятных условий для модернизации аграрного сектора.

Одной из значимых проблем является неравномерность конкурентных условий между российскими и белорусскими производителями сельхозтехники. В рамках действующих программ льготного кредитования российская техника субсидируется лишь на 50% ставки, тогда как белорусская продукция субсидируется на уровне трёх четвертей ставки Центробанка России Правительством РБ. Это создает дисбаланс на рынке, ограничивая конкурентоспособность отечественных производителей. Для устранения данного дисбаланса требуется пересмотр механизмов государственной поддержки, направленный на обеспечение равных условий для всех участников рынка.

Несмотря на текущие сложности, эксперты ассоциации «Росспецмаш» не исключают возможности стабилизации ситуации при условии принятия своевременных и комплексных мер. Ключевым аспектом является разработка и реализация стратегических управленческих решений на государственном уровне, включая увеличение финансирования программ поддержки, снижение кредитной нагрузки на аграриев и создание условий для равной конкуренции [19]. Без таких мер существует риск дальнейшего ухудшения ситуации, что может поставить под угрозу устойчивое развитие отечественного сельхозмашиностроения.

Выводы. Проведенный анализ свидетельствует о значительном сокращении парка сельскохозяйственной техники и объемов ее производства в России. Это сопровождается ростом нагрузки на единицу техники, увеличением износа основных фондов и снижением энергообеспеченности сельскохозяйственных организаций. В то же время внедрение более мощной и производительной техники частично компенсирует эти негативные тенденции. Сравнительный анализ оснащенности сельскохозяйственной техникой в России и зарубежных странах выявил как достижения, так и сохраняющиеся изменения. Несмотря на успехи в импортозамещении и локализации производства, Россия продолжает отставать по ключевым показателям оснащенности техникой. Для обеспечения устойчивого развития АПК России необходимы меры по стимулированию производства и обновления парка техники, повышению ее технологической оснащенности, а также дальнейшее совершенствование технических характеристик отечественных агрегатов, увеличение объемов производства и снижение зависимости от иностранных компонентов.

Ценовые факторы и доступность финансовых ресурсов играют ключевую роль в процессе обновления парка сельскохозяйственной техники. Высокие процентные ставки по кредитам ограничивают возможности сельхозпроизводителей, в этих условиях государственная поддержка в виде субсидий остается важным инструментом снижения финансовой нагрузки, однако ее текущие объемы недостаточны для достижения стратегических целей. Российский рынок сельскохозяйственной техники переживает сложный период, требующий принятия оперативных и продуманных управленческих решений. Для преодоления кризиса необходимо разработать комплексный подход, включающий как финансовую поддержку отрасли, так и меры по стимулированию спроса со стороны аграриев. Только при условии эффективного взаимодействия государства, производителей и сельхозпроизводителей возможно восстановление и дальнейшее развитие рынка сельскохозяйственной техники. Такое взаимодействие может стать основой для реализации ключевых мер, направленных на стимулирование обновления парка техники и обеспечение устойчивого развития агропромышленного комплекса России.

Литература

1. Модернизация материально-технической базы сельскохозяйственного производства / Т.Г. Гурнович, Л.В. Агаркова, Ю.К. Кастиди и др. // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2022. № 94. С. 23-27. doi: 10.21515/1999-1703-94-23-27.

2. Субаева А.К., Низамутдинов М.М., Александрова Н.Р. Амортизационные отчисления как источник воспроизводства технической базы сельского хозяйства // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 1 (52). С. 152-156. doi: 10.12737/article_5ccedf79a19fa6.25081121.

3. Технологический суверенитет и инновационная активность сельскохозяйственных предприятий как основа продовольственной безопасности России / Т.Н. Литвинова, О.М. Земскова, Е.Г. Попкова, А.В. Боговиз // АПК: экономика, управление. 2022. № 12. С. 19-24. doi: 10.33305/2212-19.

4. Litvinova T.N., Zemskova O.M. Development of entrepreneurship in the agricultural machinery market in the interests of ensuring agricultural sustainability // Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. 2022. С. 263-271. doi:10.1007/978-981-19-1125-5_30.

5. Инновационная политика – инструмент формирования экономики современного типа / И.Б. Калашников, Н.В. Уколова, А.А. Панов, Н.С. Панова // Научное обозрение: теория и практика. 2018. № 6. С. 89-100.

6. Муртазаева Р. Н., Алифанова С. Е. Организационный механизм технологической модернизации малых форм хозяйствования // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 1 (45). С. 285-291.

7. Колпакова Е.А., Попова С.А. Роль государственной поддержки в развитии АПК Волгоградской области // Научно-методический электронный журнал «Концепт». 2017. № 2. С. 54.

8. Зверева Г. Н., Гребнева Д. А. Влияние проектного управления на развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2023. № 1 (69). С. 191-200. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-20.

9. Sokolova A.P., Sukhareva O. A. Directions and efficiency of innovative development of agricultural enterprises // Studies in Systems, Decision and Control. 2020. – Т. 282. С. 401-407. doi: 10.1007/978-3-030-44703-8_43.

10. Федеральная служба государственной статистики. URL: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy (дата обращения: 01.03.2025).

11. Балашова Н. Н., Корабельников И. С., Ишкин Д. А. Экономическая оценка эффективности применения технологий сельскохозяйственного производства: региональный аспект // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 4 (48). С. 272-280.

12. Попова Л.В., Досова А.Г. Воспроизводство машинно-тракторного парка в сельском хозяйстве Волгоградской области: проблемы и тенденции // Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование. 2017. № 3 (47). С. 274-281.

13. ESG ratings of rural areas as a tool forsustainable development of agriculture in theregion / D. Anzilevich, N. Balashova, E. Kolpakova, A. Nemchenko, D. Korobeinikov // В сборнике: III International Conference on Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture (EESTE2023). E3S Web of Conferences. Les Ulis Cedex A, France, 2023. С. 02038. doi: 10.1051/e3sconf/202346302038.

14. НИУ ВШЭ. «Рынок сельскохозяйственных машин» - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://dcenter.hse.ru/data/2019/12/23/1525051005/Рынок%20сельскохозяйственных%20машин-2019.pdf (дата обращения: 03.03.2025).

15. Попова Л.В., Гурнович Т.Г., Досова А.Г. Воспроизводство основных фондов в сельском хозяйстве: причины нестабильности // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия: Экономика. 2017. № 2 (200). С. 96-104.

16. Доклад Российской Академии Наук «Повышение эффективности использования ресурсов при производстве сельскохозяйственной продукции – новые технологии и техника нового поколения для растениеводства и животноводства» - [Электронный ресурс]. - Режим доступа:http://vniitin.ru/wp-content/uploads/2021/10/Vniitin-collection-2021_.pdf (дата обращения: (03.03.2025).

17. «Ростспецмаш». - [Электронный ресурс]. - Режим доступа: https://rostselmash.com/ (дата обращения: 03.03.2025).

18. Смотрова Е.Е. Эффективность государственного регулирования АПК и ключевые проблемы его развития // Russian Economic Bulletin. 2019. Т. 2. № 5. С. 172-177.

19. Моргачев И.В., Досова А.Г., Даева Т.В. Ключевые проблемы системы риск-менеджмента в компаниях АПК // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2023. № 3. С. 34-38. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-3-34-38.

Сведения об авторах:

Попова Лариса Витальевна — доктор экономических наук, профессор кафедры экономической безопасности, e-mail: lvpopova@bk.ru

Досова Айжан Галимовна — кандидат экономических наук, доцент кафедры менеджмента и логистики в АПК, e-mail: aijanraskalieva@mail.ru

Карпова Анна Александровна — кандидат экономических наук, заведующий кафедрой менеджмента и логистики в АПК, e-mail: anna-karpova-72@mail.ru

Даева Татьяна Викторовна — кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры менеджмента и логистики в АПК, e-mail: antoshiki@mail.ru

Смотрова Елена Егоровна — кандидат экономических наук, доцент кафедры учетно-информационных технологий и аудита, e-mail: elena_sm11@mail.ru

Волгоградский государственный аграрный университет, Волгоград, Россия.

MANAGING THE REPRODUCTION OF AGRICULTURAL MACHINERY IN THE RUSSIAN AGRO-INDUSTRIAL COMPLEX: ANALYSIS OF STRUCTURAL IMBALANCES AND TECHNOLOGICAL TRANSFORMATION

L. V. Popova, A. G. Dosova, A. A. Karpova, T. V. Daeva, E. E. Smotrova

Abstract. Agricultural machinery is a fundamental element of the technological sovereignty and competitiveness of Russia's agro-industrial complex. Historical experience, including mechanization through machine and tractor station system in the USSR, clearly confirms that the level of technical equipment directly determines labor productivity in the agricultural sector. Statistical data for the period 1990-2023 objectively demonstrate a profound structural transformation of the machinery and tractor fleet. An absolute reduction in the number of key units is observed: the tractor fleet has decreased by 85.5%, and the combine fleet by 88.4%. However, the current dynamics are mixed. The key trend of the last decade has been a qualitative restructuring of the fleet. The stabilization of power supply indicator at 197-203 hp per 100 hectares of arable land indicates an active process of technological optimization, in which low-performance equipment is being replaced by more powerful and efficient models. This is an objective adaptation to modern agricultural technologies and labor shortages. Critical systemic challenges remain in the domestic production of agricultural equipment. Firstly,

domestic production volumes remain extremely low, amounting to only 3-5% of 1990 levels. The sharp decline in shipments in 2023 (by 31.5%), especially in key segments, confirms the industry's high dependence on market factors. Secondly, structural imbalances in product range persist, with a significant shortage of equipment for livestock farming, processing, and indoor crop production. Sanctions pressure has exacerbated systemic risks associated with dependence on imported critical components and high technologies. In this paradigm, the key task at the state level is to transition from targeted support to strategic management of the entire production cycle. This requires the development of comprehensive solutions that go beyond simply increasing funding. The following areas have been proposed for enhancing agricultural machinery production management for the Russian agro-industrial complex: creating incentives for deep localization of production and import substitution of components, reducing the credit burden on agricultural producers to stimulate demand and creating balanced competitive conditions, including in cooperation with partners in the Eurasian Economic Union (EAEU). Without implementation of such coordinated measures, the sustainable development of both domestic agricultural machinery manufacturing and the entire Russian agro-industrial complex is seriously jeopardized.

Key words: reproduction management, agricultural machinery, structural imbalances, technological transformation, energy supply, SWOT analysis.

References

1. Gurnovich TG, Agarkova LV, Kastidi YuK. [Modernization of material and technical base of agricultural production]. Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2022; 94. 23-27 p. doi: 10.21515/1999-1703-94-23-27.

2. Subaeva AK, Nizamutdinov MM, Aleksandrova NR. [Depreciation charges as a source of reproduction of agriculture technical base]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2019; Vol.14. 1 (52). 152-156 p. doi: 10.12737/article_5ccedf79a19fa6.25081121.

3. Litvinova TN, Zemskova OM, Popkova EG, Bogoviz AV. [Technological sovereignty and innovative activity of agricultural enterprises as the basis for food security in Russia]. APK: ekonomika, upravlenie. 2022; 12. 19-24 p. doi: 10.33305/2212-19.

4. Litvinova TN, Zemskova OM. Development of entrepreneurship in the agricultural machinery market in the interests of ensuring agricultural sustainability. Environmental Footprints and Eco-Design of Products and Processes. 2022; 263-271 p. doi:10.1007/978-981-19-1125-5_30.

5. Kalashnikov IB, Ukolova NV, Panov AA, Panova NS. [Innovation policy – a tool for shaping a modern economy]. Nauchnoe obozrenie: teoriya i praktika. 2018; 6. 89-100 p.

6. Murtazaeva RN, Alifanova SE. [Organizational mechanism of technological modernization of small forms of farming]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2017; 1 (45). 285-291 p.

7. Kolpakova EA, Popova SA. [The role of state support in the development of agro-industrial complex in Volgograd region]. Nauchno-metodicheskiy elektronnyy zhurnal "Kontsept". 2017; 2. 54 p.

8. Zvereva GN, Grebneva DA. [The impact of project management on the development of agro-industrial complex of the Russian Federation]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2023; 1 (69). 191-200 p. doi: 10.32786/2071-9485-2023-01-20.

9. Sokolova AP, Sukhareva OA. Directions and efficiency of innovative development of agricultural enterprises. Studies in systems, decision and control. 2020; Vol.282. 401-407 p. doi: 10.1007/978-3-030-44703-8_43.

10. Federal State Statistics Service. [Internet]. [cited 2025, March 01]. Available from: https://rosstat.gov.ru/enterprise_economy

11. Balashova NN, Korabelnikov IS, Ishkin DA. [Economic assessment of agricultural production technologies applying efficiency: regional aspect]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2017; 4 (48). 272-280 p.

12. Popova LV, Dosova AG. [Reproduction of machinery and tractor fleet in agriculture of Volgograd region: problems and trends]. Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professionalnoe obrazovanie. 2017; 3 (47). 274-281 p.

13. Anzilevich D, Balashova N, Kolpakova E, Nemchenko A, Korobeinikov D. ESG ratings of rural areas as a tool for sustainable development of agriculture in the region. V sbornike: III International Conference on Improving Energy Efficiency, Environmental Safety and Sustainable Development in Agriculture (EESTE2023). E3S Web of Conferences. Les Ulis Cedex A, France, 2023; 02038 p. doi: 10.1051/e3sconf/202346302038.

14. HSE University "Agricultural Machinery Market". [Internet]. [cited 2025, March 03]. Available from: https://dcenter.hse.ru/data/2019/12/23/1525051005/Rynok%20sel'skokhozyaistvennykh%20mashin-2019.pdf.

15. Popova LV, Gurnovich TG, Dosova AG. [Reproduction of fixed assets in agriculture: causes of instability]. Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Ekonomika. 2017; 2 (200). 96-104 p.

16. Report of the Russian Academy of Sciences "Increasing the efficiency of resource use in agricultural production - new technologies and new generation equipment for crop and livestock production". [Internet]. [cited 2025, March 03]. Available from: http://vniitin.ru/wp-content/uploads/2021/10/Vniitin-collection-2021.pdf.

17. Rostspetsmash. [Internet]. [cited 2025, March 03]. Available from: https://rostselmash.com/.

18. Smotrova EE. [Efficiency of state regulation of agro-industrial complex and key problems of its development]. Russian Economic Bulletin. 2019; Vol.2. 5. 172-177 p.

19. Morgachev IV, Dosova AG, Daeva TV. [Key problems of the risk management system in agro-industrial complex companies]. Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2023; 3. 34-38 p. doi: 10.31442/0235-2494-2023-0-3-34-38.

Authors:

Popova Larisa Vitalevna – Doctor of Economic Sciences, Professor of Economic Security Department, e-mail: lvpopova@bk.ru

Dosova Ayzhan Galimovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Management and Logistics in agro-industrial complex Department, e-mail: aijanraskalieva@mail.ru

Karpova Anna Aleksandrovna – Ph.D. of Economic Sciences, Head of Management and Logistics in agro-industrial complex Department, e-mail: anna-karpova-72@mail.ru

Daeva Tatyana Viktorovna – Ph.D. of Agricultural Sciences, Associate Professor Management and Logistics in agro-industrial complex Department, e-mail: antoshiki@mail.ru

Smotrova Elena Egorovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor of Department of Accounting and Information Technologies and Audit, e-mail: elena_sm11@mail.ru

Volgograd State Agrarian University, Volgograd, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-121-125
УДК 332.133.6

ПРОГНОЗНЫЙ АНАЛИЗ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫХ СИЛ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ХМЕЛЯ В ЧУВАШСКОЙ РЕСПУБЛИКЕ

М. Л. Толстова, А. Е. Корнилова

Реферат. Возможность достижения показателей валового сбора в 3300 тонн хмеля с площади 2000 га к 2033-2034 годам в Чувашской республике является одним из актуальных вопросов развития отрасли в регионе. Анализ ключевых показателей за 1980-2023 годы: как плодоносящая площадь хмельников, так и валовой сбор, сокращались от максимума, который пришелся на 1980-е годы до минимума в 2017-2018 годы; при этом урожайность варьировалась от 3,9 до 18,5 ц/га, в последние 5 лет урожайность находится на уровне 14,6-18,5 ц/га. Методом регрессионного анализа с применением метода наименьших квадратов была построена прогнозная модель. Точность модели по R2-критерию равна 0,91-0,98. Полученные результаты показали, что для достижения целевых показателей необходим ежегодный прирост валового сбора на 25-43% и увеличение плодоносящих площадей на 27-40% по сравнению с предыдущим годом. Согласно разработанной модели, ежегодный валовой сбор должен увеличиваться в 1,2-1,4 раза по сравнению с предыдущим годом. Для обработки 2000 га потребуется создание парка специализированной техники, включающего 28 хмелеуборочных комбайнов, 36 сушилок, 40 машин для посадки и 80 обрезчиков корневищ. Также необходима инфраструктура для производства и паспортизации сотен миллионов саженцев хмеля в год. Трудовые ресурсы должны быть увеличены более чем на 1000 квалифицированных специалистов (агрономов, механизаторов, рабочих) при трудоемкости обработки 1 га плодоносящей площади 0,5 чел/га, что составляет около 10% от текущей занятости в сфере сельского хозяйства Чувашской Республики. Таким образом, исследование демонстрирует, что достижение целевых показателей возможно при условии планомерного ежегодного наращивания производительных сил и интенсивной государственной поддержки отрасли.

Ключевые слова: хмелеводство, интенсификация, селекция, государственная поддержка, технологический суверенитет, Чувашская Республика, производительные силы.

Введение. Хмелеводство – перспективная отрасль сельского хозяйства, особенно в регионах с благоприятными агроклиматическими условиями. Чувашская Республика обладает значительным потенциалом для развития хмелеводства, однако достижение целевых показателей (3300 т урожая с 2000 га) [1] требует научно обоснованного подхода к прогнозированию производительных сил. Производительные силы можно условно разделить на три категории [2]. Так для обеспечения заявленных показателей особенно в части урожайности и валового сбора следует обеспечить высокий уровень механизации и автоматизации производства, равно как и повышения чистосортности и качества посадочного материала. Увеличение производительности труда возможна при использовании более совершенных орудий труда вместо ручных трудоемких операций [3] и одновременном повышении уровня квалификации и численности персонала. Первая из указанных категорий с учетом необходимости импортозамещения машин и орудий труда отечественными образцами в условиях растущего санкционного давления и ограниченности ресурсов делает важным технологический суверенитет по используемым в производстве машинам и оборудованию, их ремонтопригодность, а также качество их изготовления [4]. В условиях ограниченности ресурсов производства последнее замечание становится особенно актуальным. Вторая категория, связанная с повышением чистосортности и выживаемости посадочного материала связана как с качеством подготовки саженцев, так и с правильно выполненными агротехнологическими процедурами [5, 6, 7]. Здесь с одной стороны важно наличие центров паспортизации хмеля и лабораторий, позволяющих эффективно, качественно и в сжатые сроки в сезон посадки проводить идентификацию посадочного материала, выдавай на него паспорта качества, а с другой стороны важно наличие специалистов агрономов, владеющих технологией выращивания хмеля. Продолжая тему кадрового обеспечения, следует отметить, что третья категория затрагивает не только агрономов, но и специалистов по эксплуатации и ремонту машин и оборудования, проведения сезонных работ, технологов уборки и переработки сырья, а также его правильной транспортировки, хранения и использования [8, 9]. Для достижения намеченных целевых показателей полезно оценить объемы производства машин и оборудования, культивирования посадочного материала, а также подготовки кадров для отрасли хмелеводства. Все указанные показатели рассмотрим в привязке к модели постепенного роста возделываемых и плодоносящих площадей, а также увеличения объемов валового сбора хмеля в динамике 10 лет на примере Чувашской Республики. Если обратиться к историческим данным в годы пиковой производительности хмеля, Чувашия в 80-е годы XX века производила ежегодно около 3800 т, что составляло около 80% всего используемого в СССР хмеля. В этот период использовалось 84 хмелеуборочных машин, 35 хмелесушилок, 90 машин для посадки хмеля, 260 обрезчиков главных корневищ. Общая площадь хмельников составляла 3900 га, а возделыванием хмеля занимались 105 хозяйств. Подготовка кадров для отрасли хмелеводства велась более чем в 10 в учебных пунктах при хмелеводческих хозяйствах [10]. Большая часть из использовавшихся машин и орудий при возделывании хмеля в 80-х годах в Чувашии были закуплены в Чехословакии. В то время как в настоящее время планируется использовать полностью отечественные решения на всех этапах возделывания хмеля.

Следует отметить, что планируемые на

2033-2034 года показатели закладывают большую урожайность хмеля по сравнению с урожайностью в 80-е годы XX века, что накладывает большие требования на качество всех проводимых операций и конечную продукцию достижимые благодаря применению современных методов производства и паспортизации посадочного материала и контроля физико-химических показателей готовой продукции. Целью настоящей работы является трехсторонний анализ производительных сил для достижения целевых показателей по выращиванию хмеля в Чувашской Республике на ближайшие 10 лет.

Условия, материалы и методы. Данные по таким показателям как валовой сбор хмеля, площадь насаждений хмеля и плодоносящей площади хмельников для Чувашской республики были получены из архивов Росстата [11] за период с 1980 по 2023 год. На данных по валовому сбору хмеля, а также площади насаждений и плодоносящей площади хмельников методом регрессионного анализа была построена прогнозная модель. Для аппроксимации данных использовался метод наименьших квадратов [12]. В качестве метрик качества модели были выбраны коэффициент детерминации R2 [13] и среднеквадратичная ошибка. Подбор коэффициентов для моделей проводился методом обобщенного понижающего градиента. Исходные данные использовались для проверки правильности работы модели. Полученная модель верифицировалась также исходя из тенденций в отрасли хмелеводства и экспертных оценок в перспективном направлении, а также на восстановленных данных в ретроспективном направлении с использованием тех же метрик качества модели. Расчеты проводились с использованием MS Excel 2021, а также Python 3.10 и применением библиотек pandas 2.2.3, numpy 2.3, scikitlearn 1.6.1.

Результаты и обсуждение. Представленный ниже анализ проведен на основе официальных данных статистики выращивания и сбора хмеля в Российской Федерации по Чувашской Республике (табл. 1) [11]. Как видно из данных таблицы, как плодоносящая площадь хмельников, так и валовой сбор, сокращались от максимума, который пришелся на 1980-е годы до минимума в 2017-2018 годы. При этом урожайность варьировалась от 3,9 до 18,5 ц/га, в последние 5 лет урожайность находится на уровне 14,6-18,5 ц/га.

Таблица 1 – Статистические данные по выращиванию и сбору хмеля в Чувашской Республике с 1980 по 2023 год

Годы	Валовой сбор, ц	Плодоносящая площадь, га	Урожайность ц/га
1980	12590	2362	5,3
1981	16640	2523	6,6
1982	19250	2625	7,3
1983	25247	2731	9,2
1984	24620	2577	9,6
1985	24620	2549	9,7
1986	21869	2640	8,3
1987	17744	2556	6,9
1988	22872	2477	9,2
1989	34474	2394	14,4
1990	25735	2361	10,9
1991	19563	2357	8,3
1992	23416	2631	8,9
1993	28724	2414	11,9
1994	11502	2212	5,2
1995	15925	2152	7,4
1996	12090	1950	6,2
1997	6135	1350	4,5
1998	4207	1088	3,9
1999	6492	1113	5,8
2000	5100	893	5,7
2001	3144	716	4,4
2002	3193	650	4,9
2003	2929	536	5,5
2004	2417	400	6
2005	2966,1	684,4	4,3
2006	2699,9	456,3	5,9
2007	2032,5	380,2	5,3
2008	2133,7	380,2	5,6
2009	2150,7	304,2	7,0
2010	144,8	152,1	0,9
2011	1924,8	228,1	8,4
2012	1796,0	228,1	7,8
2013	1550,2	228,1	6,7
2014	1310,5	228,1	5,7
2015	1661,9	76,0	21,8
2016	1200,0	76,0	15,7
2017	1571	100	16,6
2018	1292	100	13
2019	1825	120	17,1
2020	1881	130	18,5
2021	1844	120	15,8
2022	2115,97	134,26	16,4
2023	1889,46	132,38	14,7

В результате обработки данных нами построена модельная функция (1) аппроксимирующая текущие статистические данные (табл. 1) и ведущая к целевым значениям в 33000 ц валового сбора хмеля (рис. 1) с 2000 га (рис. 2).

$$g(t)=a\cdot t^7+b\cdot t^6+c\cdot t^5+d\cdot t^4+e\cdot t^3+f\cdot t^2+h\cdot t^1+k \quad (1)$$

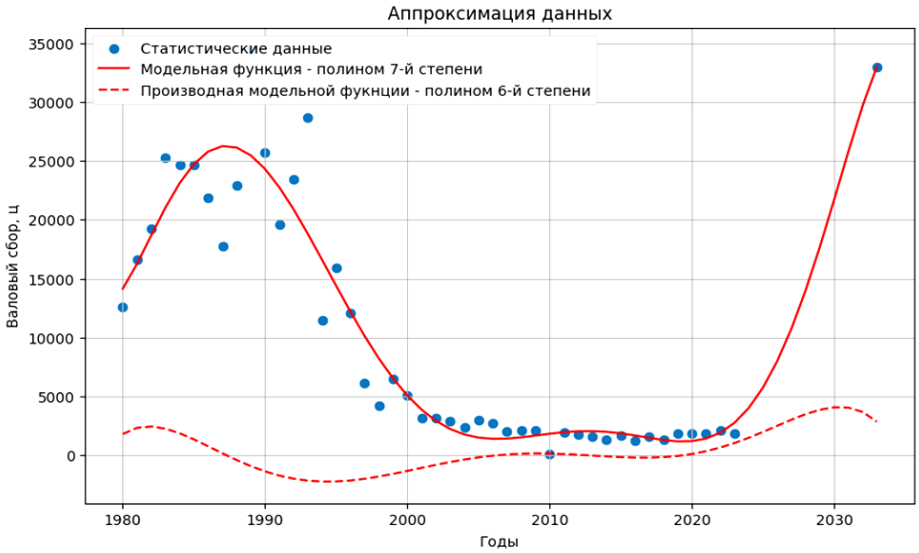


Рис. 1 – Аппроксимация данных валового сбора хмеля на ближайшие 10 лет, полученные по данным прошлых лет, с учетом прогнозных значений согласно модельной функции

Коэффициенты модельной функции найдены методом наименьших квадратов, а рассчитанный R2-критерий равен 0,91. По полученной модельной функции найдена производная модельной функции, которая показывает скорость прироста валового сбора хмеля ц/год. В период времени с 2025 по 2033 год скорость роста должна быть не менее 1488 ц/год и увеличиваться на 25-30% в год, особенно в первые годы, чтобы валовой сбор хмеля к 2033-2034 годам достиг целевых показателей. При этом ежегодный прирост валового сбора хмеля относительно предыдущего года будет составлять до 43% ежегодно в зависимости от года, то есть ежегодно валовой сбор должен увеличиваться в 1,2-1,4 раза по сравнению с предыдущим годом.

Для роста валового сбора хмеля необходимо увеличение плодоносящих площадей. Следует отметить, что поскольку хмель – многолетнее растение, вывод хмельника на «продуктовую шишку» происходит за три года. В связи с этим общие площади хмельников больше, чем плодоносящая площадь, с которой собирают основной урожай хмеля. Таким образом по данным архивов Росстата (табл. 1) была построена модель по динамике плодоносящих площадей, математический вид модели аналогичен формуле (1). График поведения функции плодоносящей площади насаждений хмеля в зависимости от времени приведен на рисунке 2, который так же содержит исходные статистические данные, производную от модельной функции и аппроксимацию модельной функции и ее производной на следующие 10 лет.

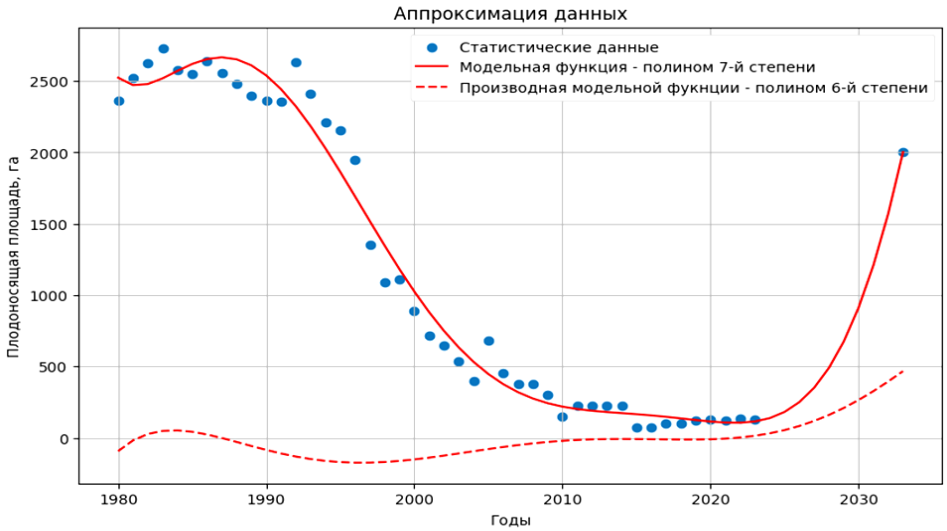


Рис. 2 – Аппроксимация данных плодоносящей площади насаждений хмеля на ближайшие 10 лет, полученные по данным прошлых лет, с учетом прогнозных значений согласно модельной функции

Коэффициенты модельной функции найдены методом наименьших квадратов, а рассчитанный R2-критерий равен 0,98. Ежегодный прирост площади хмельников должен составлять 27-40% по сравнению с предыдущим годом. Таким образом, ежегодное увеличение плодоносящей площади относительно предыдущего года должно происходить в 1,3-1,4 раза.

При этом скорость роста плодоносящей площади должна увеличиваться не менее чем на 20% в год, а в первые несколько лет темп прироста должен составлять от 50 до 70% в год.

Для обеспечения указанных темпов роста плодоносящей площади и валового сбора необходимо увеличивать производительные силы: в первую очередь – число орудий труда, число работников хмелеводческих хозяйств и объемы посадочных материалов.

Закладка одного гектара хмельника требует привлечения трудовых ресурсов в составе одного тракториста и до двух рабочих. Технологический процесс включает механизированную установку шпалер и посадку хмеля. Норма высадки саженцев составляет от 3300 до 4500 единиц на гектар. Для обеспечения посадочным материалом необходимого объема и качества требуется создание инфраструктуры, включающей:

1. Лабораторию микроклонального размножения и паспортизации хмеля для производства сертифицированных саженцев.

2. Тепличный комплекс для доращивания саженцев. Штатная численность персонала для обслуживания одной такой лаборатории составляет 15 человек.

3. Возделывание и уборка урожая. Трудоемкость процессов возделывания и уборки варьируется:

- пиковая нагрузка на этапе возделывания: 1 тракторист и 4 рабочих на 1 га.

- этап уборки: 1 тракторист и 18 рабочих на 1 га.

Технологическая цепочка уборки требует применения специализированной сельскохозяйственной техники: хмелеуборочный комбайн, машины-обрезчики главных корневищ, хмелесушилки.

4. Производительность специализированной техники. Эксплуатация механизированных средств позволяет существенно повысить производительность труда:

- хмелеуборочный комбайн (модель МХ-500 «Аван») – производительность: 500-1000 лоз/час; объем убранного сырья: 290,1-580,2 кг/час;

- ручная уборка (для сравнения): ~ 1,88 кг/час;

- хмелесушилки (передовые модели): производительность до 750 кг/час;

- машина для посадки хмеля: 2-3 га/час;

- машины-обрезчики главных корневищ: 1-2 га/час.

5. Производственные мощности и расчет потребности в технике. Одно специализированное машиностроительное предприятие способно обеспечить годовое производство от 5 до 10 единиц техники (комбайнов и сушилок).

На основании указанной производительности техники был проведен расчет потребности для обработки массива в 2000 га плодоносящих насаждений:

- машины для посадки хмеля – 40 ед.;
- обрезчики главных корневищ – 80 ед.;
- хмелеуборочные комбайны – 28 ед.;
- хмелесушилки – 36 ед.

С учетом ограниченных мощностей производства техники и целевых значений по годам (рис. 1, 2) обеспечить отрасль всем необходимым оборудованием удастся за 3-6 лет в зависимости от вида оборудования.

Для подготовки и привлечения в отрасль необходимого числа специалистов в каждое предприятие, занятое выращиванием хмеля с учетом задела по подготовке кадров на базе аграрных техникумов и ФГБОУ ВО Чувашский ГАУ удастся за 4-5 лет при интенсификации подготовки.

Выводы. Таким образом, на основе анализа ретроспективного анализа производства хмеля в Чувашской Республике, было показано, что целевые показатели по производству 3300 т хмеля на 2000 га плодоносящей площади к 2033 году возможны при планомерном росте производства в 1,4 раза ежегодно по сравнению с объемами каждого предыдущего года. При этом производство потребует поэтапного привлечения более 1000 человек (при трудоемкости обработки 1га плодоносящей площади 0,5 чел/га), что составляет около 10% от текущей занятости в сфере сельского хозяйства Чувашской Республики. Также для развития отрасли хмелеводства необходимо увеличение парка специализированной техники до 40 машин для посадки хмеля, 80 обрезчиков главных корневищ, 28 хмелеуборочных комбайнов и 36 хмелесушилок. Кроме того, потребуется специальные лаборатории по размножению и культивированию саженцев хмеля и их паспортизации с объемом производства до сотен миллионов штук в год.

Сведения о финансировании. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 24-28-20500, https://rscf.ru/project/24-28-20500/

Литература

1. Олег Николаев: «Эффективность, ответственность и результат» // Ведомости. 2025. https://www.vedomosti.ru/strana/privolzhsky/characters/2025/06/16/1117124-oleg-nikolaev?ysclid=mgz6jpauw7785116937.

2. The Organization and Economics of Hop Production // Developments in Crop Science, Elsevier. 1991. P. 255–264. doi: 10.1016/b978-0-444-98770-9.50008-4.

3. Ruggeri R. et al. Development of hop cultivation in new growing areas: The state of the art and the way forward // European Journal of Agronomy. 2024. Vol. 161. P. 127335. doi: 10.1016/j.eja.2024.127335

4. Машинные технологии для возделывания хмеля / Ю. П. Дмитриев, В. И. Медведев, А. П. Акимов и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2018. Т. 13. № 2(49). С. 86-92. doi: 10.12737/article_5b3506e7938e47.51294573.

5. Leles N.R. et al. Analysis of the Vegetative Growth Development and Phenology of Hop Cultivars Grown in

the Subtropics Under a Two-Crop-a-Year System // Horticulturae. 2025. Vol. 11, № 5. P. 498. doi: 10.3390/horticulturae11050498

6. Dementiev D. et al. Technology of cultivation of Civil hops in Chuvashia // IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021. Vol. 839, № 2. P. 022033. doi: 10.1088/1755-1315/839/2/022033

7. Marceddu R., Carrubba A., Sarno M. Cultivation trials of hop (Humulus lupulus L.) in semi-arid environments // Heliyon. 2020. Vol. 6, № 10. P. e05114. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05114

8. Šrédl K. et al. Hop production in the Czech Republic and its international aspects // Heliyon. 2020. Vol. 6, № 7. P. e04371. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04371

9. Assirelli A., Carbone K., Ciccoritti R. Mechanical Hop-Picking Solutions in Italian Cultivated Areas // Sustainability. 2020. Vol. 12, № 12. P. 5006. doi: 10.3390/su12125006

10. Садовникова Н.И. Аграрный сектор экономики Чувашской АССР во второй половине 60-х - первой половине 80-х гг. XX века: исторический опыт подготовки специалистов: диссертация кандидата исторических наук. Чебоксары: Чувашский государственный университет им. Н.И. Ульянова, 2007. 233 с.

11. Федеральная служба государственной статистики (Росстат). Главный межрегиональный центр. 2025.

12. Aldrich J. Doing Least Squares: Perspectives from Gauss and Yule // Int Statistical Rev. 1998. Vol. 66, № 1. P. 61-81. doi: 10.1111/j.1751-5823.1998.tb00406.x

13. Shieh G. Improved Shrinkage Estimation of Squared Multiple Correlation Coefficient and Squared Cross-Validity Coefficient // Organizational Research Methods. 2008. Vol. 11, № 2. P. 387-407. doi: 10.1177/1094428106292901

Сведения об авторах:

Толстова Мария Леонидовна – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой финансового права, e-mail: maryaleon@yandex.ru

Корнилова Александра Евгеньевна – старший преподаватель кафедры гражданско-правовых дисциплин, e-mail: kornilova_aleksandra@bk.ru

Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия.

FORECAST ANALYSIS OF PRODUCTIVE CAPACITY IN HOP CULTIVATION IN THE CHUVASH REPUBLIC

M. L. Tolstova, A. E. Kornilova

Abstract. The feasibility of achieving a gross hop yield of 3.300 tons from an area of 2.000 hectares by 2033-2034 in the Chuvashia Republic is a pressing issue for the industry's development in the region. Analysis of key indicators for 1980-2023 yeras: both the hop-bearing area and the gross yield declined from a peak in the 1980s to a minimum in 2017-2018; yields ranged from 3.9 to 18.5 centners per hectare; in the last five years yields have remained at 14.6-18.5 centners per hectare. A predictive model was developed using ordinary least squares regression analysis. The model's accuracy, based on the R2-criterion, was 0.91-0.98. The results showed that achieving target indicators requires an annual increase in gross harvest of 25-43% and an increase in fruiting area of 27-40% compared to the previous year. According to the developed model, the annual gross harvest should increase by 1.2-1.4 times compared to the previous year. Processing 2.000 hectares will require a fleet of specialized equipment, including 28 hop harvesters, 36 dryers, 40 planting machines and 80 rootstock trimmers. Infrastructure is also needed to produce and certify hundreds of millions of hop seedlings annually. The labor force must be increased by more than 1.000 qualified specialists (agronomists, machine operators, workers), with a labor intensity of 0.5 people per hectare of fertile land, which represents approximately 10% of current employment in agriculture in the Chuvash Republic. Thus, the study demonstrates that achieving the target indicators is possible with a systematic annual expansion of productive capacity and intensive government support for the industry.

Key words: hop growing, intensification, breeding, state support, technological sovereignty, the Chuvash Republic, productive capacity.

References

1. [Oleg Nikolaev: "Efficiency, responsibility, and results"]. Vedomosti. 2025; https://www.vedomosti.ru/strana/privolzhsky/characters/2025/06/16/1117124-oleg-nikolaev?ysclid=mgz6jpauw7785116937.

2. The organization and economics of hop production. Developments in crop science, Elsevier. 1991; 255-264 p. doi: 10.1016/b978-0-444-98770-9.50008-4.

3. Ruggeri R. Development of hop cultivation in new growing areas: the state of the art and the way forward. European Journal of Agronomy. 2024; Vol.161. 127335 p. doi: 10.1016/j.eja.2024.127335

4. Dmitriev YuP, Medvedev VI, Akimov AP. [Machine technologies for hop cultivation]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2018; Vol.13. 2(49). 86-92 p. doi: 10.12737/article_5b3506e7938e47.51294573.

5. Leles NR. Analysis of the vegetative growth development and phenology of hop cultivars grown in the subtropics under a two-crop-a-year system. Horticulturae. 2025; Vol.11. 5. 498 p. doi: 10.3390/horticulturae11050498

6. Dementiev D. Technology of cultivation of civil hops in Chuvashia. IOP Conf. Ser.: Earth Environ. Sci. 2021; Vol.839. 2. 022033 p. doi: 10.1088/1755-1315/839/2/022033

7. Marceddu R, Carrubba A, Sarno M. Cultivation trials of hop (Humulus lupulus L.) in semi-arid environments. Heliyon. 2020; Vol.6. 10. e05114 p. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e05114

8. Sredl K. Hop production in the Czech Republic and its international aspects. Heliyon. 2020; Vol.6. 7. e04371 p. doi: 10.1016/j.heliyon.2020.e04371

9. Assirelli A, Carbone K, Ciccoritti R. Mechanical hop-picking solutions in Italian cultivated areas. Sustainability. 2020; Vol.12. 12. 5006 p. doi: 10.3390/su12125006

10. Sadovnikova NI. [Agricultural sector of the economy of the Chuvash ASSR in the second half of the 1960s - first half of the 1980s: historical experience in training specialists]. Dissertatsiya kandidata istoricheskikh nauk. Cheboksary: Chuvashskiy gosudarstvennyy universitet im. N.I.Ulyanova. 2007; 233 p.

11. Federalnaya sluzhba gosudarstvennoy statistiki (Rosstat). [Federal State Statistics Service (Rosstat)]. Glavnyy mezhregionalnyy tsentr. 2025.

12. Aldrich J. Doing least squares: perspectives from gauss and yule. Int Statistical Rev. 1998; Vol.66. 1. 61-81 p. doi: 10.1111/j.1751-5823.1998.tb00406.x

13. Shieh G. Improved shrinkage estimation of squared multiple correlation coefficient and squared cross-validity coefficient. Organizational Research Methods. 2008; Vol.11. 2. 387-407 p. doi: 10.1177/1094428106292901

Authors:

Tolstova Mariya Leonidovna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, Head of Financial Law Department, e-mail: maryaleon@yandex.ru

Kornilova Aleksandra Evgenevna – senior lecturer of Department of Civil Law Disciplines, e-mail: kornilova_aleksandra@bk.ru

Chuvash State University named after I.N. Ulyanova, Cheboksary, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-126-137
УДК 338.432

ТОЧНОЕ ЗЕМЛЕДЕЛИЕ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВОЙ ТРАНСФОРМАЦИИ АГРАРНОГО СЕКТОРА РЕГИОНА: УПРАВЛЕНЧЕСКИЙ АСПЕКТ

Т. Н. Тополева

Реферат. На современном этапе цифровая трансформация российского аграрного сектора занимает одно из ключевых мест в стратегии инновационно-ориентированного экономического роста. Точное земледелие, выступающее важнейшей формой реализации цифрового тренда в производстве продукции умного сельского хозяйства, уже получило широкое распространение в странах, обладающих значительным аграрным и технологическим потенциалом. Прогноз мирового рынка точного земледелия к 2032 году оценивается на уровне 34 млрд долл. при среднегодовых темпах роста 13,3%. Для России ресурс роста, заключенный в цифровой трансформации технологических и управленческих процессов, особенно важен с точки зрения обеспечения продовольственной безопасности и достижения технологического суверенитета. В настоящее время только 10% отечественных сельскохозяйственных организаций реализуют цифровые решения на системной основе. Цифровой переход агрохолдингов завершен на 70-90%, в то время как у малых, средних предприятий и фермерских хозяйств для этого зачастую отсутствуют финансовые, кадровые и иные виды ресурсов. В условиях неоднородности уровня цифровой трансформации в разрезе регионов и категорий хозяйств, фрагментарности использования технологий точного земледелия, значительно возрастает роль региональных систем управления аграрным сектором. Представленный в исследовании алгоритм реализации проекта по разработке цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике включает ряд этапов: инициация, подготовка, проектирование, исполнение и контроль. Платформизация точного земледелия направлена, главным образом, на повышение эффективности управления процессами сельскохозяйственного производства в регионе. Через призму цифровых решений, по сути, будет реализована не только цифровая, но и экономическая парадигма, так как детализация процессов, точный учет и анализ данных способствуют максимизации экономического эффекта. Представленный алгоритм реализации проекта может быть использован в качестве базового методического инструментария при разработке дорожной карты цифровой трансформации аграрного сектора региона.

Ключевые слова: точное земледелие, цифровая трансформация, инновации, аграрный сектор, цифровые технологии, платформизация, региональное управление.

Введение. В последние десятилетия точное земледелие (далее ТЗ), основанное на интеграции передовых технологических решений, опосредует новые возможности для повышения конкурентоспособности, эффективности и устойчивости аграрного сектора отдельных стран и регионов. Цифровые технологии, индивидуализируя методы управления применительно к сельскохозяйственным культурам и земельным участкам, способствуют повышению урожайности и рациональному использованию ресурсов. В условиях обострения геополитической обстановки технологическое отставание несет в себе угрозы потери конкурентных преимуществ и повышает риски утраты продовольственной независимости страны. Это предопределяет стратегическое значение цифровых технологий и платформенных решений в реализации национальных целей развития России.

Под точным земледелием (которое все чаще идентифицируется как цифровое), понимается комплекс технологий сельскохозяйственного менеджмента, включающий глобальное позиционирование, оценку урожайности, геоинформационные системы, дистанционное зондирование земли, переменное нормирование [1]. Точный анализ данных позволяет генерировать более эффективные управленческие решения, что в конечном итоге направлено на рост продуктивности посевов, снижение издержек и обеспечение экологической безопасности.

Концептуальный и методологический дискурс по ТЗ был заложен в работах иностранных авторов: П. Роберта, М. Прингла, А. Макбратни, Н. Занга [2, 3, 4] на рубеже XX-XXI вв. В российском научном сегменте проблематику ТЗ рассматривала большая плеяда исследователей по профилям сельскохозяйственных, экономических и технических наук, что указывает на значимый уровень междисциплинарности концепции ТЗ. Управленческий, экономический, агрономический, кадровый и цифровой аспекты внедрения технологий ТЗ раскрыты в трудах В.П. Якушева, В.В. Якушева, Н.В. Гриц, Р.А. Ростовцева, А.К. Субаевой, Н.Р. Александровой и других ученых [5, 6, 7]. Так, Т.Г. Гурнович и Б.З. Дзетль, отмечают, что ТЗ, как менеджмент-система, представляет собой совокупность взаимосвязанных элементов управления всеми этапами возделывания сельскохозяйственных культур [8].

Большинство ученых рассматривают экономические эффекты внедрения цифровых технологий ТЗ через оптимизацию использования ресурсов. За последние годы по региональному сегменту появился целый ряд исследований. Так, Н.В. Сергеева, анализируя опыт применения технологий ТЗ в АО «Совхоз имени Ленина» Московской области на площади 1060 га, рассчитала, что благодаря сокращению величины перекрытия рабочих ходов при использовании приборов точного позиционирования сельскохозяйственной техники,

экономия производственных затрат на внесение удобрений, семенного материала и топлива достигает одной тыс. руб. на га. При этом срок окупаемости единовременных вложений составляет два года [9].

В работе по Нижегородской области кластерный анализ эффективности использования элементов ТЗ показал, что начальные этапы применения ТЗ (фрагментарное использование, первый кластер сельскохозяйственных организаций) приводят к росту себестоимости и не демонстрируют экономического эффекта. В полной мере эффект проявляется в пятом кластере (массовое использование технологий ТЗ), где рост урожайности зерновых культур относительно первого кластера составил 40%, рентабельности – 14 п.п., себестоимость при этом снизилась на 13% [10]. Аналитические расчеты по Саратовской области также показали наличие кумулятивного эффекта и рост экономической эффективности при комплексном внедрении технологий ТЗ. Средний срок окупаемости при фрагментарном внедрении ТЗ составил около четырех лет, при комплексном – два года [11].

Цифровая трансформация аграрного производства предполагает изменение управленческих подходов так как усиливаются горизонтальные коммуникации (сетизация), аналитика больших данных требует особых компетенций, возникают новые формы бизнес-моделей (платформизация). А.Р. Валиев с коллегами констатируют, что цифровая трансформация влияет не только на сельскохозяйственных товаропроизводителей, но и на поставщиков, переработчиков и розничные сети, а следовательно, отражает изменение общего управления ресурсами в сторону индивидуального, интеллектуального и упреждающего управления в режиме реального времени [12]. В работе М.С. Петуховой заявлено о необходимости разработки «цифрового фундамента» в аграрном секторе России и формировании новых «пакетных решений» для рынка, включающих агрохимию, сортовые технологии и цифровые платформы [13].

В настоящее время представители научного сообщества и практики сходятся во мнении, что барьером цифровой трансформации аграрного сектора на уровне регионов является отсутствие системного подхода со стороны региональных органов управления. Данный подход требует проработки финансово-экономических, технологических, кадровых, внедренческих и иных вопросов. Необходима разработка проектов (алгоритмов) по развертыванию и внедрению ИТ-технологий и цифровых платформ. Стратегические установки на федеральном уровне проецируют региональную ответственность за достижение целей цифрового развития.

Актуальность исследования определяется, с одной стороны, возрастающим значением цифровых технологий и платформенных решений для повышения эффективности функционирования российского аграрного сектора в контуре задач обеспечения технологического суверенитета и продовольственной безопасности, с другой – необходимостью совершенствования управленческих стратегий регионов в условиях новых вызовов цифровой экономики.

Целью настоящего исследования является разработка алгоритма реализации проекта по созданию цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике.

Условия, материалы и методы. Исследование проведено на основе аналитического обзора научной литературы и открытых источников по международному и отечественному опыту внедрения технологий ТЗ, что позволило сформировать представление об уровне, передовых практиках, страновых и региональных особенностях, преимуществах и барьерах, сдерживающих процесс внедрения технологий, а также развитие рынка ТЗ в целом. К информационному базису следует отнести нормативно-правовые документы, стратегии, программы, проекты федерального и регионального уровней, открытые данные профильных министерств и ведомств, холдинговых структур (рейтинги, предиктивную аналитику, информацию о действующих цифровых платформах), аналитические отчеты агентств в области цифрового развития аграрного сектора.

При проработке этапов реализации проекта по созданию цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике автор обращался к методологии проектного управления в государственном секторе, что позволило детализировать традиционные этапы проектного процесса применительно к отдельному региону.

Также был использован комплекс общенаучных методов: монографический, аналитический, логический, систематизация, интерпретация, графическая визуализация.

Результаты и обсуждение. Во всем мире устойчивым трендом развития сельского хозяйства становится масштабирование цифровых технологий, динамичное внедрение которых выступает базовой закономерностью функционирования и развития инновационных производственных экосистем. В повестке международных организаций и национальных правительств цифровая трансформация связана с комплексной автоматизацией и роботизацией производств, цифровым проектированием, моделированием и масштабным переходом на платформенные решения. Растущая потребность в увеличении урожайности, внимание практиков к устойчивым методам ведения сельского хозяйства и экологии обуславливают технологический прогресс в области ТЗ.

По данным аналитиков Precedence Research, в текущем 2025 году мировой рынок ТЗ достигнет уровня 14,18 млрд долл., прогнозное значение к 2032 году составляет 34 млрд долл. со среднегодовыми темпами 13,3% [14]. Данные о динамике мирового рынка ТЗ представлены на рис. 1.

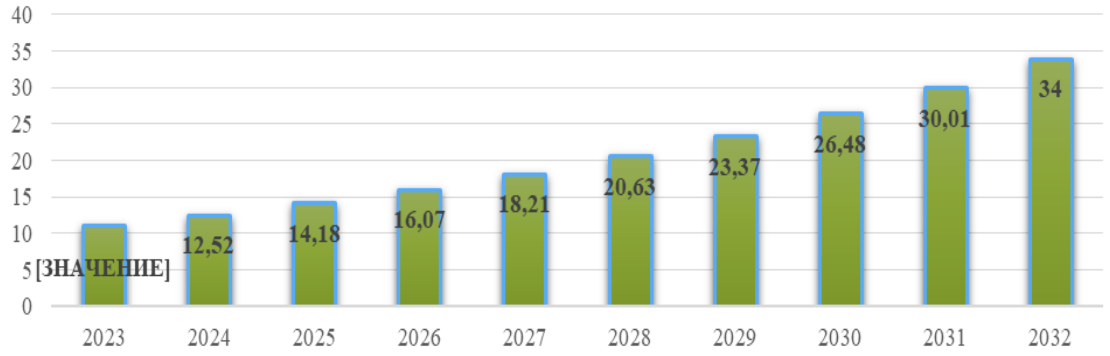


Рис. 1 – Размер мирового рынка точного земледелия, млрд долл.

Проведенный в рамках исследования обзор научной литературы и открытых источников по международному опыту применения технологий ТЗ свидетельствует о доминировании в этом секторе стран Североамериканского континента – США и Канады, где внедрение ТЗ началось еще в 90-х годах прошлого века на фоне появления глобальной системы позиционирования и географических информационных систем. Компании из этих стран являются ключевыми игроками на рынке технологий ТЗ (CropMetrics, AgJunction, AGCO Corporation и др.). Применение технологий ТЗ уменьшило потребность в средствах производства для аграрного сектора США в среднем на 20%. Особенностью является широкое распространение не только отдельных, но и комплексных технологических решений [15]. Содержательные аспекты цифрового развития в области ТЗ по некоторым странам мира систематизированы в таблице 1.

Таблица 1 – Особенности цифровизации аграрного сектора в контексте внедрения технологий точного земледелия по некоторым странам мира

Страна	Содержательные аспекты цифрового развития в области ТЗ
1	2
США	- мировое лидерство по уровню цифровизации сельского хозяйства и развития технологий машинного обучения, искусственного интеллекта, больших данных (как составных частей ТЗ); - весомая господдержка НИОКР в области развития ТЗ, в т.ч. для малого агробизнеса; более 6000 стартапов в области агротехнологий; - реализация национальной программы «Продовольственная и сельскохозяйственная киберинформатика и инструменты»; - 27% фермеров используют технологии ТЗ, в штатах, возделывающих пропашные культуры – до 60%; в среднесрочной перспективе 75-90% фермеров перейдут на технологии ТЗ; - локализация ведущих мировых производителей систем автовождения сельскохозяйственной техники (Autonomous Tractor Corporation, AGRO Corporation); - разработка цифровой экосистемы FarmSight, которая объединяет передовые решения в области ТЗ, предоставляет данные о работе сельскохозяйственной техники в режиме реального времени; - разработка цифровых платформ и мобильных приложений ТЗ: Connected Farm, John Deer Operation, Farm Server, FarmMaps, Geo Bird и др.
Канада	- мировое лидерство по уровню выработки на одного работника в сельском хозяйстве за счет автоматизации и широкого применения технологий Agricultural 4.0, включая ТЗ; - государство до 2028 года инвестирует 87,5 млн долл. в развитие умного сельского хозяйства с привлечением 30 академических учреждений (поддержка 16-ти исследовательских проектов) [16]; - реализация государственной программы по развитию аграрных суперкластеров в интересах повышения эффективности и продуктивности фермерства, создание целого ряда фондов по технологической поддержке цифровой трансформации сельского хозяйства; - бесплатный доступ фермеров к интерактивным картам, формируемым на основе спутниковых снимков; - реализация проекта «Агропродовольственная автоматизированная и интеллектуальная сеть» на базе искусственного интеллекта и робототехники; - разработка цифровых платформ управления фермами (компании Decisive Farming, Farmers Edge), внедрение систем прогнозирования урожая сельскохозяйственных культур (Motorlea).

Продолжение таблицы 1

1	2
Германия	- создание 14 цифровых инновационных агропарков; - реализация проектов на базе университетов, научных организаций и специализированных компаний, в т.ч.: Agrisens-Deminn» (исследовательский центр наук о Земле, Потсдам): разработка систем дистанционного зондирования в растениеводстве; Landnetz (Технический университет Дрездена): облачные сети для Agriculture 4.0 и сельских территорий; «BeSt-SH» (университет прикладных наук Kiel GmbH): цифровизация потоков в сетевых аграрных комплексах; - государственное финансирование проектов в области цифровизации сельского хозяйства; - развитие экономики агрошеринга на цифровых платформах – аренда свободной сельскохозяйственной техники для полевых работ; - создание цифровой платформы Plantix на основе искусственного интеллекта для диагностики болезней сельскохозяйственных культур.
Беларусь	- разработка и реализация комплексного проекта «Точное земледелие»; - создание национальной цифровой платформы «Точное земледелие»; - выход на серийный выпуск сельскохозяйственной техники, оснащенной элементами системы ТЗ (система навигационного управления BelarusTTZ Hidro Pro с функционалом Isobus для тракторов; систем автовождения для уборки злаковых культур, акустических датчиков для копирования рельефа полей, оборудования для отбора почвенных проб, рассеивателей минеральных удобрений и др.); - использование системы агрохимического обследования полей (включая мониторинг и картирование); - создание автоматической агрометеорологической системы; - разработка картографического сервиса для фермеров OneSoil; - внедрение системы картирования урожайности для зерноуборочных комбайнов.
Китай	- реализация национального плана по развитию умного сельского хозяйства с опорой на инновации, цифровые и роботизированные технологии; - реализация инициативы «Сделано в Китае» для снижения зависимости от импорта, национальной программы «Цифровое сельское хозяйство»; - в стране прогнозируется наиболее быстрый рост сектора технологий ТЗ до 2030 года относительно других стран мира (на 12,6% к уровню 2023 года); - локализация мировых лидеров в области ТЗ, в т.ч.: DJI (производство беспилотных авиационных систем), XAG (анализ урожая на основе искусственного интеллекта, блокчейн); Liantronics (интеллектуальные системы орошения); Shanghai AllyNav Technology (системы автовождения); - академия наук КНР разрабатывает национальную цифровую платформу больших данных для анализа и оптимизации использования ресурсов сельскохозяйственного производства.
Индия	- страна является крупнейшим в Азиатско-Тихоокеанском регионе инвестором в агротехнологические инновации; - функционирует государственный сельскохозяйственный акселератор для развития экосистемы агротехнологий; - стремительный рост агротехнологических стартапов; - государственное субсидирование создания фермерско-производственных компаний; - перспективный рынок сегмента агро-БАС; - внедрение государственной программы цифрового картирования почв; - внедрение алгоритмов искусственного интеллекта (Intello labs) для оценки продукции малых фермерских хозяйств, впервые выходящих на рынки; - крупные агротехнопарки (Agrostar, DeHaat) проводят выездные информационные компании для популяризации цифровых решений, обучают фермеров работе с мобильными приложениями в области ТЗ.

Примечание: составлено автором

На долю европейских стран в 2024 году приходилось более 25% доходов мирового рынка ТЗ. Наиболее быстрорастущим направлением является сегмент аграрных беспилотных авиационных систем (агро-БАС). Совершенствование аппаратного и программного обеспечения агро-БАС (увеличение времени автономного функционирования, стабильность полета, искусственный интеллект) выводят данные системы на новый уровень в части выполнения более сложных и разнообразных задач в режиме реального времени. Проекты в области ТЗ реализуются в Европе на базе университетов и научных центров. Лидером по технологиям является Германия, где их используют до 60% как крупных, так и небольших фермерских хозяйств. Значительно продвинулась в области ТЗ Беларусь, 87%

техники и оборудования, используемых в ТЗ, производятся местными компаниями. Разработки отвечают требованиям мирового уровня и задействуются на всех этапах технологического процесса [17].

Китай «размывает» американское технологическое лидерство довольно быстрыми темпами и по патентной активности в области ТЗ находится на уровне США и Германии. По общему объему инновационных решений страна занимает первое месте в мире, в связи с чем США озабочены технологическим сдерживанием Китая. Большинство китайских технологий на сегодняшний день являются имитирующими, при этом государство нацелено на достижение технологической независимости в обозримой перспективе, о чем заявлено в документах стратегического планирования [18]. По прогнозам азиатский рынок ТЗ будет расти наиболее высокими темпами в мире (в среднем на 15,5% в год), благодаря масштабированию государственных инициатив, динамичному росту агротехнологических стартапов и инвестиций, широкому внедрению цифровых платформ.

В Индии – одной из самых быстрорастущих экономик мира, аграрный сектор обладает значительным потенциалом роста. Его развитие связано не просто с расширением потребительской корзины, но с сохранением жизни населения, поскольку в стране актуальна проблема преодоления голода. Государство продвигает инициативы по внедрению искусственного интеллекта в сельское хозяйство (Digital Agriculture Mission 2021-2025 года), стремительно развивается экосистема агростартапов (ежегодный рост 25%). Принимая во внимание вторую по величине площадь сельскохозяйственных угодий в мире и огромное количество фермеров, индийский рынок ТЗ прогнозируется как один из самых перспективных, особенно в области применения агро-БАС.

Анализ международного опыта свидетельствует о значительной вовлеченности государственного сектора в процесс внедрения технологий ТЗ на национальном и региональном уровнях посредством использования финансовых и нефинансовых инструментов поддержки сельскохозяйственных организаций, таких как: реализация целевых государственных проектов и программ, поддержка НИОКР в области цифрового перехода, информационно-аналитическое сопровождение, прямое субсидирование, грантовая поддержка, венчурное финансирование, налоговые преференции, государственно-частное партнерство, акселерация стартапов, консалтинг и др. При этом как для развитых, так и для развивающихся стран ключевым финансовым барьером развития рынка ТЗ являются высокие первоначальные инвестиции. Необходимость расходов на передовое оборудование, программное обеспечение и обучение «задерживает» многих фермеров на уровне традиционных методов ведения сельского хозяйства.

Рисками развития рынка ТЗ также выступают факторы технологической неоднородности, неравномерности доступа к цифровым технологиям и сервисам (цифровой разрыв). Еще одной проблемой является отсутствие у фермеров необходимых компетенций по управлению большими данными. Неспособность использовать современные системы управления и анализа, а, следовательно, интерпретировать данные должным образом, снижает эффективность применения технологий, что также сдерживает потенциал рынка ТЗ.

В доходах фермерских хозяйств западных стран доля государственной финансовой поддержки варьирует в диапазоне 15-80%. Такой уровень объективно способствует большей доступности инновационных решений для широкого применения, в том числе в области платформизации. Положительная прогнозная динамика рынка ТЗ и накопленный передовой опыт стран отражают итоги стратегического сотрудничества, которое многие годы выстраивалось между технологическими компаниями, агробизнесом и исследовательскими институтами.

Временной лаг, разделяющий внедрение элементов ТЗ в России, относительно стран Глобального Запада, составляет более трех десятков лет. Соответственно, уровень технологического проникновения, стадия цифровой трансформации, как и субъективное отношение аграриев к работе с функционалом мониторинговых систем значительно разнятся. В настоящее время цифровизация в той или иной степени затрагивает 30% сельскохозяйственных предприятий, но только 10% из них используют цифровые технологии на системной основе. Тем не менее, потенциал рынка цифровых технологий в сельском хозяйстве оценивается на уровне 360 млрд руб. Ежегодное увеличение площадей пашни, обрабатываемой с использованием технологий ТЗ, составляет около 3,5%.

Ведомственный проект Минсельхоза РФ «Цифровое сельское хозяйство» в рамках одного из ключевых блоков «Агрорешения для агробизнеса», определил целый ряд комплексных цифровых интеллектуальных систем, в том числе: «Умное поле», «Умная теплица», «Умный агроофис» и др. Потенциальные эффекты от реализации технологий ТЗ представлены в таблице 2.

Ключевым инвестором в технологическое развитие российского аграрного сектора является государство. Минсельхоз России позиционируется как ключевой интегрирующий актор национальной цифровой экосистемы сельского хозяйства [19].

Таблица 2 – Эффекты от реализации инновационных решений в области точного земледелия

Инновационные решения в области ТЗ	Эффект от реализации технологии ТЗ
автоматическая обработка полей беспилотной сельскохозяйственной техникой	сокращение потерь урожая до 13% сокращение сроков уборки урожая на 25%
выделение однородных зон в пределах одного поля	рост урожайности на 20%
технология сменной нормы высева и автоматического отключения сева	рост урожайности на 12% (относительно одной нормы сева)
технология дифференцированного внесения удобрений	экономия в пределах 5-40% удобрений
достоверная информация о качестве обрабатываемых почв	сокращение расходов на удобрения до 30%
технология моделирования погодных условий	сокращения потерь урожая до 25%

Источник: по данным аналитики компании Cognitive Pilot

Барьерами сдерживания ТЗ являются финансовые факторы, риски качества и надежности технологических продуктов, неполный (либо нестабильный) охват территорий сетью Интернет, что приводит к некорректной работе оборудования. Большое количество климатических зон и разнообразие почв усложняет разработку универсальных решений для ТЗ, требует пилотного проектирования для тестирования и адаптации к тем или иным пространственным условиям. Остро стоит проблема нехватки квалифицированных специалистов. Значимой детерминантой кадрового обеспечения цифровизации аграрного сектора является система профессионального образования, прежде всего в региональных вузах [20]. Еще одним барьером развития ТЗ является отсутствие единых стандартов передачи данных, что остается ограничивающим фактором в процессе интеграции отдельных технологий, цифровых платформ и экосистем.

Российские агрохолдинги (Мираторг, Русагро и др.) инвестируют в развитие ТЗ своих растениеводческих дивизионов уже более десяти лет и, как правило, имеют в своих структурах департаменты по развитию ТЗ. Переход на качественно новый уровень позволил агробизнесу увеличить эффективность производства. Так, агрохолдинг Агро-Альянс-Сибирь в 2020 году распространил комплекс технологий ТЗ на всю площадь посевов (ранее ТЗ использовалось фрагментарно в течение четырех лет), за счет этого была достигнута рекордная в Красноярском крае урожайность пшеницы и рапса [21].

На фоне запроса на достижение технологического суверенитета в России сделан существенный шаг в области разработки отечественных программно-технических решений, которые все активнее используются в практике аграриев: «Агротоник» (комплекс агросервисов, локализация сельскохозяйственной техники, обработка почвы); «АгроМон» (веб-сервис и мобильное приложение: планирование сезона, управление полевыми работами); SmartAGRO (агроаналитика, направленная на автоматизацию до 90% бизнес-процессов сельскохозяйственной организации); NeuroPlant (сбор, хранение, аналитика данных с использованием искусственного интеллекта).

Возможности цифровой платформы «Агросигнал» (компания-разработчик «ИнфоБиС») по управлению агробизнесом используют более 300 сельскохозяйственных организаций в 24 регионах страны. Выбор информационной системы, основанной на технологии сбора и обработки данных с датчиков на сельскохозяйственной технике и рабочих местах, показал рост рентабельности в среднем на 25%, сокращение затрат до 50%, увеличение урожайности более чем на 15%.

Официальные источники в январе 2025 году сообщили, что российская компания Cognitive Pilot (дочерняя компания экосистемы Сбер) заняла второе место в рейтинге мировых производителей технологических решений для автономного пилотирования всех видов сельскохозяйственной техники на базе искусственного интеллекта [22]. Поскольку это один из наиболее сложных высокотехнологичных сегментов, выход российской компании на глобальный уровень в условиях жесточайших международных санкций безусловно стал успешным примером высокого качества технологий и эффективной бизнес-стратегии. При этом менеджмент компании утверждает, что такие инструменты как маркетинговая поддержка и продвижение на зарубежные рынки, не были использованы.

Можно привести и другие примеры новейших отечественных решений в области ТЗ. В 2024 году Институтом цитологии и генетики СО РАН разработано программное обеспечение для точного подсчета полевых всходов на основе алгоритмов искусственного интеллекта. Ученые Северо-Кавказского федерального университета запатентовали радиолокационный метод оценки состояния почвы. В Казанском государственном аграрном университете завершена разработка аппаратно-программного комплекса 4 уровня ADAS для машинно-тракторных агрегатов – беспилотной системы, сочетающей технологии машинного зрения, искусственного интеллекта и анализа больших данных.

Отрасль БАС является одной из ключевых для развития ТЗ. В 2024 году объем рынка беспилотников на фоне роста заказов оборонной и гражданской сфер показал

стремительный рост – 45% и достиг 36 млрд руб., прогнозное значение на 2025 год превышает 50 млрд руб. В структуре рынка 21% занимают услуги, к ним относится и использование агро-БАС (дистанционный мониторинг, внесение удобрений и др.). Ожидается, что в среднесрочной перспективе отечественный рынок агро-БАС преодолеет стадиальный дисбаланс и станет более сбалансированным [23].

Краснодарский край, Воронежская и Волгоградская области, Республики Татарстан и Башкортостан являются регионами-лидерами по использованию технологий ТЗ. В Республике Татарстан принята Стратегия цифровизации АПК до 2030 года. Продвижением цифровой трансформации комплекса занимается АО РИВЦ, планомерно создавая среду возможностей для успешного развития агрохолдингов, средних и малых хозяйств. Регион стал одним из первых, где внедрение технологий ТЗ началось еще в 2010-х годах. Агрохолдинги республики («Агросила», «Чистополье», «Красный восток») реализовали цифровой переход при взаимодействии с научными коллективами КФУ и Казанского аграрного университета. В настоящее время регион возглавляет российский динамический рейтинг цифровизации АПК. Программы поддержки автоматизации (софинансирование 50% от стоимости внедрения), повышения квалификации руководителей хозяйств для получения цифровых компетенций, подключение дополнительных цифровых сервисов и, как, следствие, динамика улучшения показателей функционирования сельскохозяйственных организаций, свидетельствуют об эффективности региональной системы управления. В 2022 году информационной системе АПК региона присвоен статус государственной. Она содержит более 10 модулей и позволяет сельскохозяйственным и ведомственным организациям получать доступную аналитику и оперативную информацию о состоянии отрасли в онлайн-режиме.

При поддержке Минсельхоза РТ функционирует образовательная платформа «Агрополия». В региональных вузах разработаны уникальные образовательные программы по подготовке специалистов в области ТЗ. Комплекс знаний формирует компетенции по сельскохозяйственному производству, экономике сельского хозяйства, информационным технологиям и другим инновационным методам для роста эффективности аграрного сектора, управлению агробизнесом в условиях цифровой экономики.

В Удмуртской Республике точкой старта развития технологий ТЗ можно считать реализацию проектов по картированию земель сельскохозяйственного назначения на основе данных агрохимических обследований районов. Руководством региона была поставлена задача – довести ТЗ в Удмуртской Республике до уровня регионального отраслевого стандарта. Разработана «Цифровая карта Удмуртской Республики», актуализируемая 4 раза в год. Карта содержит комплексную информацию, используемую управленцами и инвесторами при принятии решений по размещению сельскохозяйственных культур, применению адаптивно-ландшафтных технологий их возделывания с учетом почвенно-климатических особенностей.

Департаментом научно-технологической политики и образования Минсельхоза России в период 2019-2023 года осуществлялся выборочный сбор статистической информации об использовании элементов точного сельского хозяйства в регионах России. По данным обследования за 2023 год, в Удмуртской Республике из 306 сельскохозяйственных организаций, осуществляющих деятельность, элементы ТЗ используют 113 (36,9%), охват площадей составил 446,8 тыс. га. (по данным сельскохозяйственной переписи 2021 года, площадь сельхозугодий в сельскохозяйственных организациях региона составляет 833,7 тыс. га, из них пашни – 763,1 тыс. га).

Несмотря на положительные тенденции, интенсивность цифровой трансформации аграрного сектора Удмуртской Республики на сегодняшний день характеризуется как недостаточная. Низкий уровень бюджетной обеспеченности региона сказывается и на уровне государственной поддержки аграриев. В контексте реализации ТЗ регион значительно уступает лидерам не столько по количеству организаций, применяющих технологии ТЗ, сколько по спектру технологий, т.к. они используются в основном фрагментарно (по большей части связаны с системами отслеживания работы сельскохозяйственной техники и некоторыми элементами «Умной фермы»). В свете реализации стратегических нарративов региональная система управления заинтересована в привлечении лучших практик цифровой трансформации аграрного сектора на основе межрегионального и международного сотрудничества.

Благодаря локализации ведущих российских производителей беспилотников, Удмуртская Республика является одним из перспективных центров развития БАС в России. В 2025 году на развитие научно-производственного центра компетенций БАС «Инмар» в Удмуртской Республике из федерального бюджета будет направлено 1,28 млрд руб. В качестве резидентов заявлено 19 региональных организаций, в перспективе одной из специализаций центра могут стать агро-БАС.

В рамках настоящего исследования разработка цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике рассматривается как проект, инициируемый на уровне региональной системы управления. Реализацию проекта следует осуществлять с помощью методологии проектного управления, в частности, гибридной методики (HM), сочетающей элементы традиционного (Waterfall-подход) и гибкого управления (Agile-подход).

Гибридная методика положительно зарекомендовала себя при решении задач федерального и регионального уровней, т.к. позволяет объединить в единый процесс несколько групп разработчиков. Проектный цикл разработки цифровой платформы предусматривает ряд этапов (рис. 2):

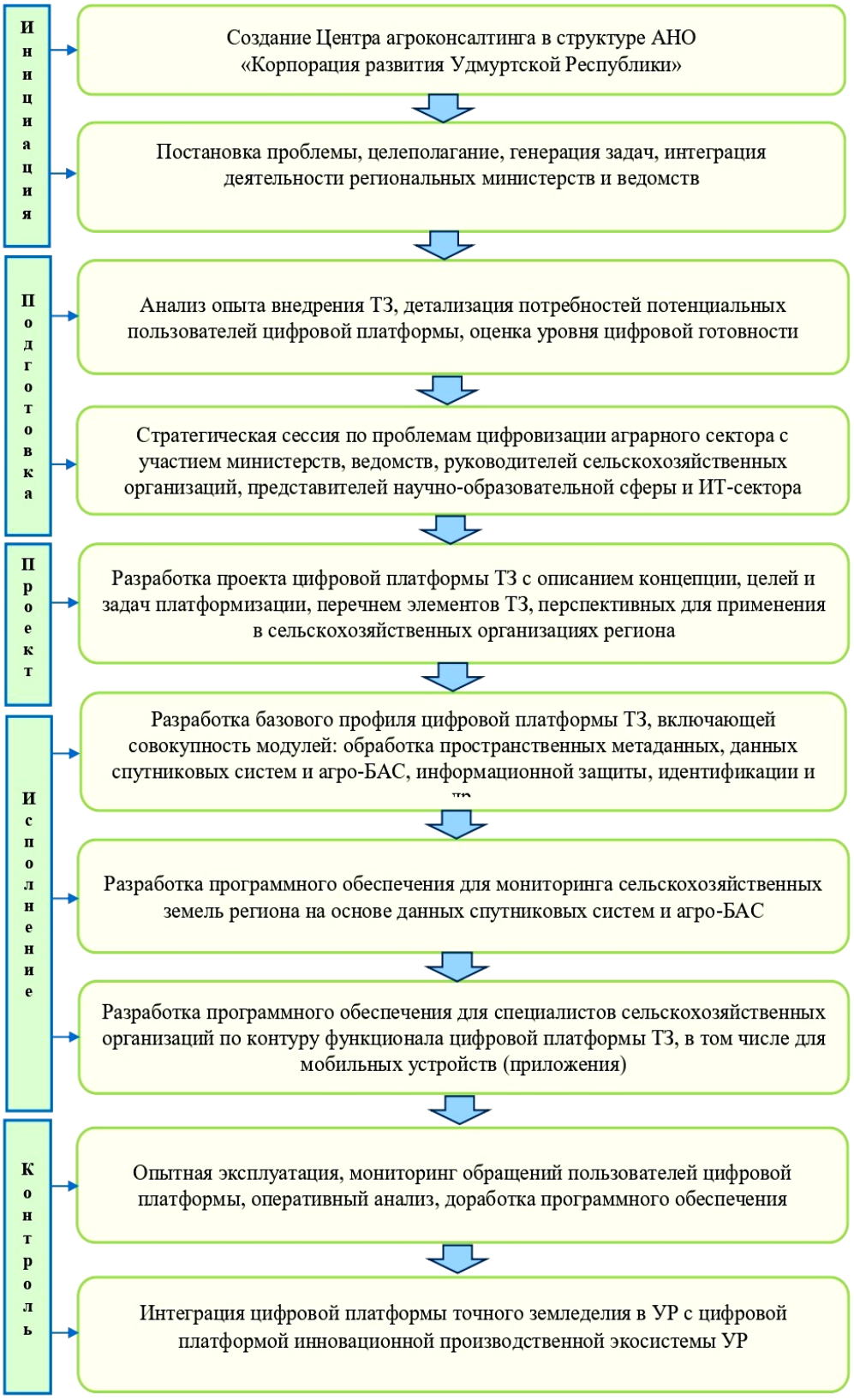


Рис. 2 – Этапы реализации проекта по разработке цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике

1. Этап инициации. Постановка проблемы, целеполагание и перечень соответствующих управленческих задач относятся к сфере компетенций в рамках интеграции деятельности Минсельхоза УР, Минцифры УР и АНО «Корпорация развития УР». Специализированной организационной площадкой может стать новая структура – Центр агроконсалтинга, созданная на базе АНО «Корпорация развития УР».

2. Этап подготовки. Отождествляется с приоритезацией, определением ресурсной обеспеченности и проектной итерацией. На данном этапе необходимо проведение анализа международного и отечественного опыта внедрения технологий ТЗ, особенностей функционирования регионального аграрного сектора, определение уровня использования технологий ТЗ в сельскохозяйственных организациях Удмуртской Республики, цифровой готовности, а также платформенных потребностей с точки зрения необходимых сервисов. Для реализации этапа могут быть привлечены коллективы региональных научных и образовательных организаций (УдмФИЦ УрО РАН, Института экономики УрО РАН, УдГАУ).

Кроме того, в рамках этапа предусмотрено проведение стратегической сессии с участием основных интересантов реализации проекта. По итогам сессии будут определены стратегические приоритеты развития аграрного сектора региона с учетом текущих трендов цифровой трансформации, перспектив развития ТЗ и платформизации. Разработку цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике следует рассматривать в качестве одной из приоритетных задач цифровой трансформации, т.к. платформенный подход является целевым.

3. Этап проектирования. Формируется команда региональных разработчиков проекта, которые определяют цели, модульный функционал цифровой платформы с учетом запросов сельскохозяйственных организаций региона и планов отраслевого развития. На данном этапе планируется взаимодействие с потенциальными техническими исполнителями цифровой платформы – организациями, осуществляющими администрирование, сопровождение, бесперебойное функционирование и информационную защиту данных. В настоящее время на российском рынке уже существуют интеграторы полного цикла цифровых технологий ТЗ (Агроноут с цифровой платформой True Fields («точные поля»); Ростсельмаш с набором платформенных сервисов агроменеджмента «Агротроник»; цифровые решения экосистемы Сбер для сельского хозяйства и др. В Удмуртской Республике уже внедрено более 40 цифровых платформ в государственном управлении, отраслях экономики и социальной сферы, большинство из них создано именно региональными разработчиками.

4. Этап исполнения. На данном этапе разрабатывается базовый профиль цифровой платформы ТЗ с полным перечнем модулей, программное обеспечение для мониторинга сельскохозяйственных земель региона на основе данных спутников и агро-БАС, а также для специалистов сельскохозяйственных организаций (как для стационарных, так и для мобильных устройств). Настройки цифровой платформы должны учитывать локальные условия региона для формирования наиболее точной аналитики.

Уровень цифровой зрелости и цифровые возможности региональных сельскохозяйственных организаций значительно разнятся, особенно сказываются нехватка ИТ-специалистов и недостаток необходимых цифровых компетенций. В этих условиях на базе Центра агроконсалтинга необходимо организовать обучение по использованию технологий ТЗ для руководителей сельскохозяйственных организаций, агрономов, работников управлений сельского хозяйства районов. Образовательные семинары-практикумы также будут проводиться на территориях сельскохозяйственных организаций, где компании-разработчики смогут презентовать свои технологические решения и обосновывать их применение с точки зрения потенциальных экономических эффектов. Существующий в регионе опыт проведения обучения необходимо трансформировать в системный, т.е. создать инфраструктуру непрерывной подготовки кадров. Консалтинг по технологиям ТЗ также должен быть организован на постоянной основе с привлечением ведущих экспертов в этой области. При этом возможности цифровой платформы ТЗ должны включать обучающий сервис, доступ к сельскохозяйственным знаниям с онлайн программами, а также сервис для коммуникаций и сотрудничества по обмену опытом на межрегиональном и международном уровнях.

5. Этап контроля. Тестовый запуск цифровой платформы ТЗ организуется параллельно с мониторингом обращений пользователей. Это один из ключевых этапов, его длительность зависит от заданной системной сложности и функционала и, как правило, продолжается несколько недель. Происходит оптимизация программного обеспечения и архитектуры. Цифровая платформа доводится до уровня релиза и имеет возможности расширения сервисных возможностей. Совершенствуется алгоритм технической поддержки. В перспективе цифровая платформа точного земледелия в Удмуртской Республике может быть интегрирована с цифровой платформой инновационной производственной экосистемы Удмуртской Республики, некоторые аспекты моделирования которой представлены в более раннем исследовании автора [24].

Выводы. Таким образом, высокая социальная и стратегическая значимость аграрного сектора России на фоне возрастания глобальных вызовов современности предопределяет необходимость более активной

государственной поддержки и вовлеченности региональных систем управления в реализацию программ цифровой трансформации, в том числе в сфере продвижения технологий ТЗ. Преимущества, генерируемые технологиями машинного обучения и искусственного интеллекта, повышают инвестиционную ценность платформизации. Разработка цифровых платформ и совершенствование их возможностей, создание более эффективных, доступных цифровых сервисов, увеличение охвата пользователей, наряду с повышением надежности и информационной безопасности, являются важными направлениями перспектив ТЗ.

Представленный алгоритм реализации проекта по созданию цифровой платформы точного земледелия в Удмуртской Республике может быть использован в качестве базового методического инструментария при разработке дорожной карты по развитию ТЗ в регионе (включая разработку паспорта и планаграфика проекта), а также в процессе разработки иных региональных проектов в области цифровой трансформации сельского хозяйства и АПК в целом.

Сведения о финансировании. Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов. Исследование выполнено в рамках выполнения государственного задания Института экономики Уральского отделения РАН «Методология формирования и развития инновационных производственных экосистем регионов в условиях цифровой трансформации экономики», НИОКТР № 0327-2024-0022 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

Литература

1. Труфляк Е.В. Основные элементы системы точного земледелия / Е.В. Труфляк. Краснодар: КубГАУ. 2016. 39 с.

2. Robert P.C. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management // Plant and Soil. 2002. Vol. 247. P. 143-149. doi:10.1023/A:1021171514148.

3. Mcbratney A.B., Pringle M.J. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture // Precision Agriculture. 1999. No. 1. P. 125-152. doi:10.1023/a:1009995404447.

4. Zhang N., Wang M., Wang N. Precision agriculture – a worldwide review // Computers & Electronics in Agriculture. 2002. Vol. 36. P. 113-132. doi:10.1016/s0168-1699(02)00096-0.

5. О совершенствовании реализации агротехнологических решений в точном земледелии / Якушев В.П., Якушев В.В., Конев А.В. и др. // Вестник российской сельскохозяйственной науки. 2018. № 1. С. 13-17.

6. Гриц Н.В., Ростовцев Р.А., Диченский А.В. Использование элементов точного сельского хозяйства для получения климатически обоснованной урожайности сельскохозяйственных культур в специализированных севооборотах. // Аграрная наука. 2023. № 10. С. 88-94. doi 10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94.

7. Субаева А.К., Александрова Н.Р. Теория и практика цифровизации сельского хозяйства Республики Татарстан // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2020. Т. 15. № 3(59). С. 133-138. doi:10.12737/2073-0462-2020-133-138.

8. Гурнович Т.Г., Дзетль Б.З. Точное земледелие как инструмент повышения эффективности производственных процессов в условиях цифровизации // Деловой вестник предпринимателя. 2023. №4(14). С. 21-23.

9. Сергеева Н.В. Экономическое обоснование элементов точного земледелия // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 5. С. 2-7. doi: 10.32651/245-2.

10. Завиваев Н.С., Якимова О.Ю., Мансуров А.П. Кластерный анализ эффективности использования элементов точного сельского хозяйства // Вестник НГИЭИ. 2021. № 12(127). С. 82-94. doi:10.24412/2227-9407-2021-12-82-94.

11. Нейфельд В.В., Алиева Д.М. Обоснование экономической эффективности применения технологий точного земледелия (на примере Саратовской области) // Закономерности развития региональных агропродовольственных систем. 2021. № 1. С. 51-53.

12. Приоритеты развития агропромышленного комплекса и задачи аграрной науки и образования / Валиев А.Р., Низамов Р.М., Сафин Р.И. и др. // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2022. Т. 17. № 1(65). С. 97-107. doi:10.12737/2073-0462-2022-97-107.

13. Петухова М.С. Прогнозная оценка рынков инновационных технологий для зерновой отрасли России // АПК: экономика, управление. 2021. № 4. С. 51-56. doi:10.33305/214-51.

14. Размер рынка точного земледелия, доля и тенденции с 2024 по 2034 годы. URL: https://www.precedenceresearch.com/precision-farming-market (Дата обращения 10.02.2025).

15. Минсельхоз США исследовал использование точного земледелия. URL: https://agriecomission.com/news/minselhoz-ssha-issledoval-ispolzovanie-tochnogo-zemledeliya (Дата обращения 10.02.2025).

16. Романцева Ю.Н., Кагирова М.В. Совершенствование цифровизации сельского хозяйства на основе опыта Канады // Экономика и управление: проблемы, решения. 2021. Т. 4. № 12. С. 47-54. doi:10.36871/ek.up.p.r.2021.12.04.007.

17. Юхнюк П.П. Тенденции изучения современных информационно-коммуникационных технологий сельского хозяйства в странах постсоветского пространства: библиометрический анализ // АПК: экономика, управление. 2023. № 5. С. 114-126. doi:10.33305/235-114.

18. Нестеренко Н.Ю. Возможности и барьеры устойчивого развития сельского хозяйства в странах БРИКС // АПК: экономика, управление. 2023. № 12. С. 110-121. doi:10.33305/2312-110.

19. Сутыгина А.И. Агропроизводственные экосистемы и их особенности // Экономика сельского хозяйства России. 2024. № 7. С. 32-38. doi:10.32651/247-32.

20. Ермакова Ж.А., Спешилова Н.В., Шепель В.Н. Детерминанты кадрового обеспечения региона с учетом отраслевой специализации // Экономика региона. 2023. Т. 19. № 2. С. 355-369. doi:10.17059/ekon.reg.2023-2-5.

21. Минусинский агрохолдинг с помощью современных технологий добился рекордной

урожайности. URL: https://sreda24.ru/index.php/novosti/aktualno/item/18245-minusinskij-agrokholding-s-pomoshchyu-sovremennykh-tekhnologij-dobilsya-rekordnoj-urozhajnosti (Дата обращения 20.02.2025).

22. Global Agricultural Machinery Auto Drive System Market Demand and Supply Dynamics 2025-2032. URL: https://www.statsndata.org/report/agricultural-machinery-auto-drive-system-market-112850 (Дата обращения 20.02.2025).

23. Значимые факторы развития рынка сельскохозяйственных беспилотных летательных аппаратов в новых реалиях / Зубарев Н.Ю., Урасова А.А., Глезман Л.В. и др. // Аграрный вестник Урала. 2024. Т. 24. № 1. С. 139-150. doi:10.32417/1997-4868-2024-24-01-139-150.

24. Тополева Т.Н. Моделирование цифровой платформы инновационной производственной экосистемы региона // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. № 4(76). С. 135-143. doi: 10.12737/2073-0462-2024-135-143.

Сведения об авторе:

Тополева Татьяна Николаевна - кандидат экономических наук, старший научный сотрудник, e-mail: tn-topoleva@mail.ru

Удмуртский филиал Института экономики Уральского отделения Российской академии наук, Ижевск, Россия.

PRECISION FARMING IN THE CONTEXT OF DIGITAL TRANSFORMATION OF THE REGIONAL AGRICULTURAL SECTOR: A MANAGEMENT ASPECT

T. N. Topoleva

Abstract. Currently, the digital transformation of the Russian agricultural sector occupies a key place in the strategy of innovation-oriented economic growth. Precision farming, as a key form of implementing the digital trend in smart agriculture production, has already become widespread in countries with significant agricultural and technological potential. The forecast for the global precision farming market is projected to reach $34 billion by 2032, with an average annual growth rate of 13.3%. For Russia, the growth potential inherent in the digital transformation of technological and management processes is particularly important in terms of ensuring food security and achieving technological sovereignty. Currently, only 10% of domestic agricultural organizations are systematically implementing digital solutions. The digital transition of agricultural holdings reaches 70-90%, while small and medium-sized enterprises and farms often lack financial, human and other resources to achieve this. In the context of heterogeneity of the level of digital transformation across regions and farm categories, and the fragmented use of precision farming technologies, the role of regional agricultural management systems is significantly increasing. The project implementation algorithm for developing a digital precision farming platform in the Udmurt Republic presented in the study includes several stages: initiation, preparation, design, implementation and monitoring. The platformization of precision farming is primarily aimed at improving the efficiency of agricultural production management in the region. Through the prism of digital solutions, in fact, not only a digital but also an economic paradigm will be implemented, as detailed process detailing, accurate accounting and analysis of data contribute to maximizing economic impact. The presented project implementation algorithm can be used as a basic methodological tool in developing a roadmap for the digital transformation of the regional agricultural sector.

Key words: precision farming, digital transformation, innovation, agricultural sector, digital technologies, platformization, regional governance.

References

1. Truflyak EV. Osnovnye elementy sistemy tochnogo zemledeliya [Basic elements of precision farming system]. Krasnodar: KubGAU. 2016; 39 p.

2. Robert PC. Precision agriculture: a challenge for crop nutrition management. Plant and Soil. 2002; Vol. 247. 143-149 p. doi:10.1023/A:1021171514148.

3. Mcbratney AB, Pringle MJ. Estimating average and proportional variograms of soil properties and their potential use in precision agriculture. Precision Agriculture. 1999; 1. 125-152 p. doi:10.1023/a:1009995404447.

4. Zhang N, Wang M, Wang N. 2002. Precision agriculture – a worldwide review. Computers & Electronics in Agriculture. 2002; Vol. 36. 113-132 p. doi:10.1016/s0168-1699(02)00096-0

5. Yakushev VP, Yakushev VV, Konev AV and others. [On improving the implementation of agro-technological solutions in precision farming]. Vestnik Rossiyskoy selskokhozyaystvennoy nauki. 2018; 1. 13-17 p.

6. Grits NV, Rostovtsev RA, Dichenskiy AV. [Using elements of precision agriculture to obtain climate-based crop yields in specialized crop rotations.]. Agrarnaya nauka. 2023; 10. 88-94 p. doi 10.32634/0869-8155-2023-375-10-88-94

7. Subaeva AK, Aleksandrova NR. [Theory and practice of digitalization of agriculture in the Republic of Tatarstan]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2020; Vol. 3(59). 133-138 p. doi:10.12737/2073-0462-2020-133-138.

8. Gurnovich TG, Dzetl BZ. [Precision farming as a tool for increasing the efficiency of production processes in the context of digitalization]. Delovoy vestnik predprinimatelya. 2023; 4(14). 21-23 p.

9. Sergeeva NV. [Economic justification of precision farming elements]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2024; 5. 2-7 p. doi: 10.32651/245-2.

10. Zavivaev NS, Yakimova OYu, Mansurov AP. [Cluster analysis of the efficiency of using precision agriculture elements]. Vestnik NGIEI. 2021; 12(127). 82-94 p. doi: 10.24412/2227-9407-2021-12-82-94.

11. Neyfeld VV, Alieva DM. [Justification of the economic efficiency of using precision farming technologies (using the example of Saratov region)]. Zakonomernosti razvitiya regionalnykh agroprodovolstvennykh sistem. 2021; 1. 51-53 p.

12. Valiev AR, Nizamov RM, Safin RI and others. [Priorities for the development of agro-industrial complex and tasks of agricultural science and education]. Vestnik KazGAU. 2022; Vol. 17. 1(65). 97-107 p. doi:10.12737/2073-0462-2022-97-107.

13. Petukhova MS. [Forecast assessment of innovative technology markets for the Russian grain industry]. APK: ekonomika, upravlenie. 2021; 4. 51-56 p. doi:10.33305/214-51.

14. Precision farming market size, share and trends from 2024 to 2034. [Internet]. Precedence Research. [cited 2025, February 10]. Available from: https://www.precedenceresearch.com/precision-farming-market

15. The US Department of Agriculture has studied the use of precision agriculture. [Internet]. AgriEcoMission. [cited 2025, February 10]. Available from: https://agriecomission.com/news/minselhoz-ssha-issledoval-ispolzovanie-tochnogo-zemledeliya

16. Romantseva YuN., Kagirova MV. [Improving of agriculture digitalization based on Canada's experience].

Ekonomika i upravlenie: problemy, resheniya. 2021; Vol. 4. 12. 47-54 p. doi:10.36871/ek.up.p.r.2021.12.04.007

17. Yukhnyuk PP. [Trends in the study of modern information and communication technologies in agriculture in the post-Soviet countries: bibliometric analysis]. APK: ekonomika, upravlenie. 2023; 5.114-126 p. doi:10.33305/235-114.

18. Nesterenko NYu. [Opportunities and barriers to sustainable agricultural development in BRICS countries]. APK: ekonomika, upravlenie. 2023; 12. 110-121 p. doi:10.33305/2312-110.

19. Sutygina AI. [Agro-production ecosystems and their features]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2024; 7. 32-38 p. doi: 10.32651/247-32.

20. Ermakova ZhA, Speshilova NV, Shepel VN. [Determinants of regional human resource provision taking into account industry specialization]. Ekonomika regiona. 2023; Vol.19. 2. 355-369 p. doi:10.17059/ekon.reg.2023-2-5

21. Minusinsk agroholding achieved record yields with the help of modern technologies. [Internet]. Online publication "Sreda24". [cited 2025, February 20]. Available from: https://sreda24.ru/index.php/novosti/aktualno/item/18245-minusinskij-agrokholding-s-pomoshchyu-sovremennykh-tekhnologij-dobilsya-rekordnoj-urozhajnosti

22. Global agricultural machinery auto drive system market demand and supply dynamics 2025-2032. [Internet]. [cited 2025, February 20]. Available from: https://www.statsndata.org/report/agricultural-machinery-auto-drive-system-market-112850

23. Zubarev NYu, Urasova AA, Glezman LV, Fedoseeva SS, Zubarev YuN. [Significant factors in the development of the agricultural unmanned aerial vehicles market in the new realities]. Agrarnyy vestnik Urala. 2024; Vol.24. 1. 139-150 p. doi:10.32417/1997-4868-2024-24-01-139-150.

24. Topoleva TN. [Modeling a digital platform for a regional innovative production ecosystem]. Vestnik KazGAU. 2024; 4 (76). 135-143 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-135-143

Author:

Topoleva Tatyana Nikolaevna – Ph.D. of Economic Sciences, senior researcher, e-mail: tn-topoleva@mail.ru
Udmurt branch of Institute of Economics of Ural Branch of the Russian Academy of Science, Izhevsk, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-138-145
УДК 338.439:332.12

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ МЕЖРЕГИОНАЛЬНЫХ РАЗЛИЧИЙ НА РАЗВИТИЕ ПИЩЕВОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИИ

Е. Н. Трифонова

Реферат. Пищевая промышленность России является ключевым элементом в системе АПК страны, обеспечивающим переработку сельскохозяйственного сырья и удовлетворение внутренних потребностей населения в продовольствии. Предложенный автором подход к оценке межрегиональных различий в уровнях развития пищевой промышленности, основанный на аппроксимации региональных значений коэффициента специализации с использованием функции плотности вероятности гамма-распределения, выявил тенденцию к усилению роли пищевой отрасли в экономических результатах основной доли регионов. Несмотря на то, что пищевая отрасль в большинстве субъектов РФ является ведущей со значением коэффициента специализации больше или равно единице, ее вклад в развитие экономики региона варьируется в зависимости от фактического значения показателя. Для регионов со значением коэффициента специализации выше 2, характерна ситуация, когда высокие показатели пищевой отрасли достигаются за счет ускоренного развития одной или нескольких отраслей. В частности, ведущей отраслью пищевой промышленности Камчатского края (=5,671) и Калининградской области (=4,893) является рыбная и рыбоперерабатывающая промышленность. Значение коэффициента от 1 до 2 характерно для 24 регионов. При этом для 37 субъектов РФ пищевая промышленность не является ведущей, к ним относятся, в частности, Тюменская, Иркутская области, Республики Дагестан, Коми и т.д. При этом коэффициент специализации демонстрирует достаточно низкую вариативность и относительную инертность в динамике для отдельно взятого региона. Практически треть субъектов РФ (36,8%), у которых значение коэффициента специализации близко к нормативному, обладают внутренним производственным потенциалом в отраслях пищевой промышленности, достаточным для изменения степени влияния пищевой промышленности на локальную экономику. В качестве основных резервов роста потенциала выделены увеличение удельной доли производства пищевой продукции на душу населения, денежных доходов населения, а также объемов производства в сельском хозяйстве. Выявление ключевых точек роста производства отдельных отраслей пищевой промышленности будет способствовать перераспределению ресурсов внутри региона, а также привлечению финансовых средств как за счет господдержки непосредственных производителей продовольствия, так и инвестиционных вложений в развитие перспективных производств.

Ключевые слова: агропродовольственный комплекс, пищевая и перерабатывающая промышленность, регионально-отраслевой подход, стратегия развития, коэффициент специализации, производственный потенциал, продовольственная безопасность, регионы РФ, гамма-распределение.

Введение. Современные геополитические условия функционирования отечественной экономики предполагают разработку мер, ориентированных на выстраивание грамотной научно обоснованной политики присутствия на международных рынках при условии обеспечения всех норм национальной безопасности. Одним их главных направлений обеспечения национальной безопасности является достижение продовольственной безопасности страны [1], что может быть реализовано за счет эффективного функционирования агропромышленного комплекса. Пищевая промышленность осуществляет заключительный этап переработки сельхозпродукции, реализуя тем самым свою основную задачу – удовлетворение потребности населения в качественных продуктах питания. При этом пищевая отрасль, относящаяся к отраслям с быстрорастущей производительностью труда [2] (среднегодовой темп роста показателя к началу 2023 года составил, порядка, 104,2% против 101,9%, в среднем, по основным видам экономической деятельности), по сути, является драйвером развития смежных отраслей сельского хозяйства, поскольку обеспечивает стабильный спрос на сельхозсырье. Учитывая изменяющиеся внешние экономико-политические условия, трансформацию тенденцией внутреннего потребления продуктов питания, необходима разработка современных подходов к адаптивной структурной перестройке отечественной пищевой отрасли [3, 4, 5], с учетом ее регионально-отраслевой специфики. В связи с чем, целью настоящего исследования является разработка инструментария, позволяющего выявить межрегиональную дифференциацию в отраслях пищевой промышленности.

Региональная экономика, как самостоятельная прикладная экономическая наука, сформировалась относительно недавно, ее основы были заложены такими учеными, как И. Тюнен, А. Вебер, А. Лёш, В. Кристаллер, которые рассматривали различные аспекты пространственного размещения факторов производства и формирования спроса. К наиболее выдающимся советским ученым, положившим начало отечественной региональной экономики, и предлагающим различные решения задачи территориального планирования хозяйственной деятельности с учетом разнообразия в социально-экономических условиях функционирования регионов, можно отнести

Г.М. Кржижановского, Н.Н. Колосовского, А.Г. Гранберга, Н.Н. Некрасова, Н.Н. Баранского, П.М. Алампиева, А.Е. Пробста и др. Большой вклад в развитие современной региональной экономики внесли такие ученые, как А.И. Татаркин, Н.Н. Михеева, А.А. Широв, А.Н. Пилясов и др. Одной из задач региональной экономики является качественное и количественное обоснование различий в функционировании отраслей субъектов национальной экономики. Распространенным способом решения данной задачи является целевое использование различных коэффициентов регионально-отраслевой специализации и концентрации, в частности, индекса специализации, коэффициента локализации, коэффициента межрайонной товарности, индексов концентрации (Кругмана, Линда, Херфендаля-Хиршмана и т.п.). Успешное применение различных коэффициентов специализации и концентрации для решения отдельных вопросов, связанных с повышением эффективности экономики регионов, представлено в работах отечественных [6, 7, 8] и зарубежных [9, 10] экономистов. Между тем остается до конца не решенной проблема выявления общих принципов и критериев управления отраслевыми подкомплексами на федеральном и региональном уровнях.

Условия, материалы и методы. Материалами настоящего исследования послужили труды отечественных и зарубежных специалистов в областях региональной экономики, экономики отраслей пищевой и перерабатывающей промышленности, экономико-статистического анализа. В качестве информационной базы использованы нормативно-правовые акты федеральных и региональных органов управления; официальные статистические данные Федеральной службы государственной статистики Росстат РФ, Минсельхоза РФ, Правительства РФ, а также региональных и отраслевых ведомств. Методологической основой исследования послужили абстрактно-логический, графический методы, методы анализа и синтеза, статистического анализа.

В рамках настоящего исследования в качестве методологического инструмента реализации задачи по выявлению качественных и количественных различий в функционировании пищевой промышленности в регионах РФ предложено использование коэффициента специализации региона на выпуске пищевой продукции (в дальнейшем, «коэффициент специализации»), показывающий долю продукции пищевой промышленности в общем объеме промышленного производства отдельно взятого региона (формула 1).

$$К_{ср} = \frac{V_{рег}/V_{РФ}}{ВРП_{рег}/ВВП} \qquad (1)$$

где $К_{ср}$ – коэффициент специализации региона на выпуске пищевой продукции; $V_{рег}$ – объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами при производстве пищевых продуктов, включая напитки, и табака, в конкретном регионе РФ, млн. руб.; $V_{РФ}$ – объем отгруженных товаров собственного производства, выполненных работ и услуг собственными силами при производстве пищевых продуктов, включая напитки, и табака, в целом в РФ, млн. руб.; $ВРП_{рег}$ – валовый региональный продукт конкретного региона РФ, млн. руб.; ВВП – валовый внутренний продукт, млн. руб.

В качестве нормативного значения коэффициента специализации на выпуске продукции пищевой промышленности принята единица. В случае превышения индекса специализации нормативного значения, пищевая отрасль в регионе признается одной из ведущих, обеспечивающая существенный вклад в развитие региона, а также обладающая значимым потенциалом для роста агроэкспорта. Результаты расчетов коэффициента специализации субъектов РФ на выпуске пищевой продукции за 2023 год, а также, для сравнения, за 2015 год, приведены на рисунках 1 и 2. В процессе исследования были использованы статистические данные по 82 регионам РФ: отдельно не учитывались Ненецкий АО, Ханты-Мансийский АО, Ямало-Ненецкий АО, а также не использовалась информация по территориям ДНР, ЛНР, Запорожской и Херсонской областей. Реализация вычислительного эксперимента осуществлена с помощью программных продуктов MSExcel и Statistica 10.0.

Результаты и обсуждение. Стабильное функционирование пищевой и перерабатывающей промышленности России является одной из приоритетных задач развития отечественной экономики, поскольку обеспечивает не только удовлетворение внутреннего спроса населения на продовольствие, но и открывает дополнительные возможности для притока денежных средств в бюджет страны за счет увеличения денежных потоков от агроэкспорта продукции глубокой промышленной переработки с высокой добавленной стоимостью, что предполагается продлением реализации ФП «Экспорт продукции АПК» [11]. Планируется, что прогнозируемое увеличение агроэкспорта России к 2030 году по отношению к 2021 году увеличится в 1,5 раза, что потребует трансформации его структуры в сторону роста доли продукции пищевой промышленности с высокой добавленной стоимостью. Таким образом, сложились объективные предпосылки для наращивания объемов конкурентоспособного производства продовольственных товаров, что требует обеспечения условий для выявления и реализации экспортного потенциала регионов [12] на всех уровнях управления. Учитывая широкую географию российских регионов, обуславливающую их различия по климатическим, экономическим, технологическим, социальным и прочим параметрам, особую важность приобретает корректировка

стратегии развития пищевой промышленности, основанная на учете регионально-отраслевых различий субъектов РФ [13].

Из рисунков 1 и 2 видно, что за период с 2015 по 2023 годы в большинстве регионов диапазон изменения коэффициента специализации достаточно узкий, за исключением, например, существенного роста в республике Мордовия (с 3,5 до 4,82), Камчатском крае (с 4,08 до 5,67), Тамбовской области (с 2,05 до 4,13), а также относительного снижения в Челябинской области (с 1,12 до 0,91), Кабардино-Балкарской республики (с 1,82 до 1,1), а также в городах Санкт-Петербург (с 1,1 до 0,58) и Севастополь (с 1,16 до 0,4). При этом прослеживается явно выраженная тенденция к усилению роли пищевой отрасли в результатах функционирования промышленности большинства регионов, что свидетельствует о наличии производственного потенциала и расширении возможностей удовлетворения как внутренних продовольственных рынков, так и резервов роста агроэкспорта.

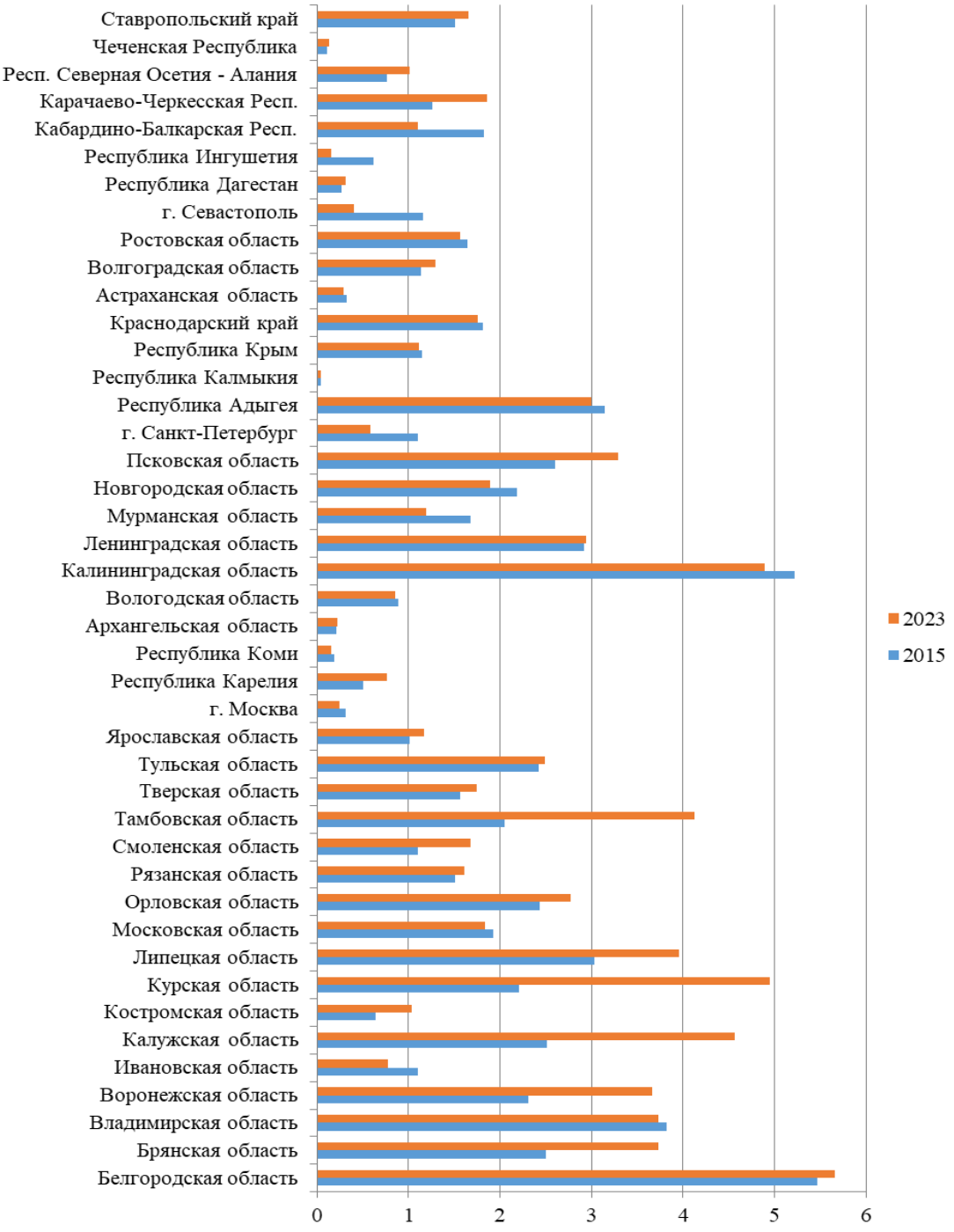


Рис. 1 – Коэффициенты специализации на выпуске пищевой продукции регионов ЦФО, СЗФО, ЮФО, СКФО в 2015 и 2023 годы

Для анализа рассчитанных значений коэффициента специализации регионов РФ за 2023 год была проведена проверка данных на нормальность распределения. Проверка показала невозможность дальнейшего использования параметрических методов статистического анализа, поскольку ни по одному из проведенных количественных и графических тестов не подтвердилась выдвинутая гипотеза.

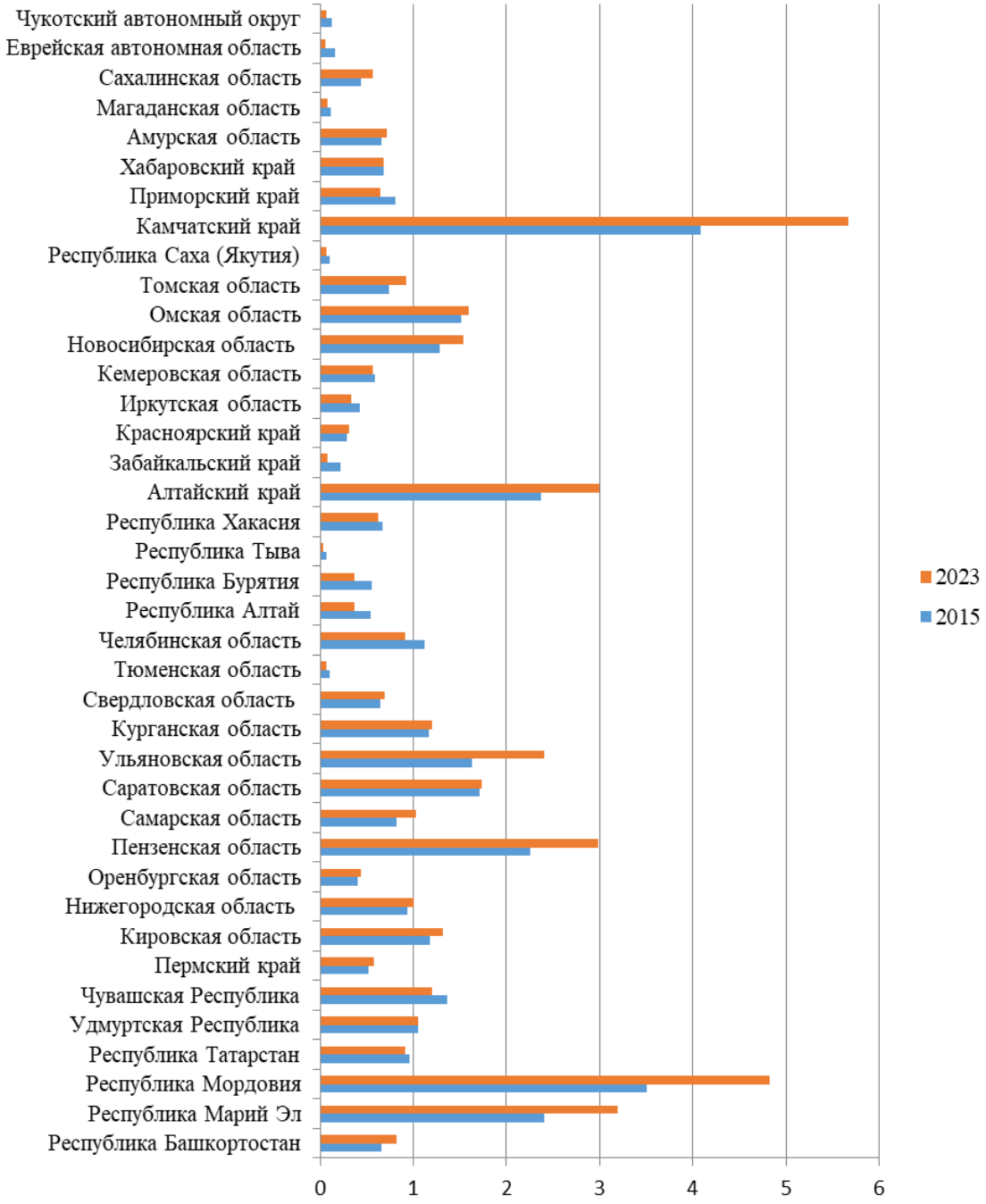


Рис.2 - Коэффициенты специализации на выпуске пищевой продукции регионов ПФО, УФО, СФО, ДФО в 2015 и 2023 годы

С помощью программной функции подгонки распределений и проведения контрольных тестов Колмогорова-Смирнова и критерия Хи-квадрат путем сопоставления рассчитанных значений с соответствующими критическими табличными значениями при уровне значимости p = 0,05, было установлено, что массив используемых данных соответствует гамма-распределению. В связи с чем, была осуществлена аппроксимация исходных данных с использованием функции плотности вероятности гамма-распределения.

Гамма-распределение имеет широкое практическое применение для моделирования и прогнозирования различных экономических явлений и процессов [14, 15, 16]. Согласно

теории вероятностей, гамма-распределение является универсальным двухпараметрическим семейством непрерывных распределений вероятностей и является распределением вероятностей максимальной энтропии [17]. Функция плотности распределения дает возможность учесть изменение сразу двух параметров в изменении случайной величины: параметра формы α и параметра масштаба β. В результате реализации алгоритма статистического анализа массива первичных данных была получена функция, описывающая плотность распределения регионального коэффициента специализации на выпуске пищевой продукции за 2023 год, которая описывается зависимостью:

$$F(x) = \frac{x^{0,13} \cdot e^{-\frac{x}{1,38}}}{1,439 \cdot \int_0^{\infty} x^{0,13} e^{-x} dx}, \; x \geq 0 \quad (2)$$

где x – значение коэффициента специализации каждого региона на выпуске пищевой продукции за определенный период времени. При этом часть знаменателя формулы, находящейся под знаком интеграла, описывает непосредственно гамма-функцию. Графики функций гамма-распределения и плотности вероятности гамма-распределения приведены на рисунке 3.

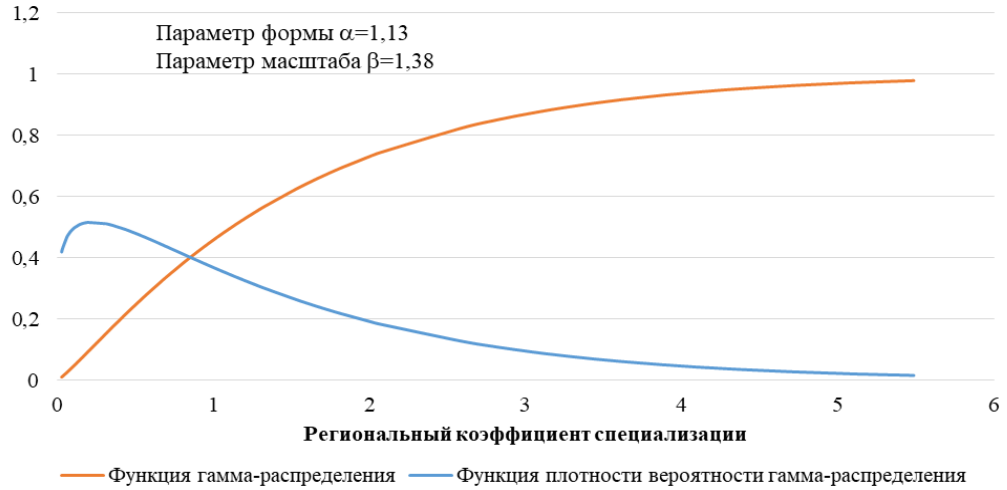


Рис. 3 – Функции гамма-распределения и плотности вероятности гамма-распределения для коэффициентов специализации регионов на выпуске пищевой продукции за 2023 год

Динамика изменения функции плотности распределения показывает, что с увеличением значения случайной величины относительная вероятность наступления данного события снижается, т.е. вероятность того, что региональный коэффициент специализации будет принимать большие значения снижается по мере роста величины этого значения. При этом, каждое значение гамма-функции демонстрирует относительную вероятность того, что случайная величина примет значение, меньшее, чем при расчете гамма-функции в конкретной точке. Таким образом, модельные расчеты (формула 2), а также совокупность таких графических признаков, как положение точки пересечения функций, экстремума функции плотности распределения, максимальная скорость роста гамма-функции и максимальные значения функции плотности распределения приходятся на диапазон значений коэффициента специализации меньше единицы, свидетельствуют о том, что вероятность ситуации, когда можно наблюдать принципиальный рост значения коэффициента специализации отдельно взятого региона является достаточно низкой, что так же подтверждается сопоставлением значений показателя за период 2015-2023 годы (рис. 1 и 2). Несмотря на то, что в большинстве рассмотренных регионов (в 45 из 82) пищевая отрасль является ведущей (≥1), ее вклад в развитие экономики региона существенно отличается в зависимости от значения коэффициента. Максимальные значения коэффициента специализации (≥5) зафиксированы только у двух регионов (Белгородская область и Камчатский край). Значение коэффициента региональной специализации, находящиеся в диапазоне от 4 до 5 – у пяти регионов (Калининградская, Тамбовская, Калужская, Курская области и Республика Мордовия). В группах со значением коэффициента специализации в диапазонах от 3 до 4 – восемь регионов, а от 2 до 3 – пять субъектов РФ. Большинство регионов характеризуются значением коэффициента от 1 до 2 (25 регионов). В 37 субъектах РФ пищевая отрасль не является ведущей, о чем свидетельствует значение коэффициента специализации меньше единицы, в частности, к ним относятся, Тюменская, Астраханская, Иркутская области, Республики Дагестан, Коми, Ингушетия и т.д. Соответственно, вероятность того, что значение коэффициента специализации случайно взятого региона окажется меньше или равно 1 составляет 45,8%, а вероятность попадания в диапазон от 0 до 2 – 73,1%, т.е.

абсолютное большинство случаев. При этом теоретическая вероятность того, что коэффициент специализации региона примет нормативное значение (=1), являющееся пограничным между двумя самыми многочисленными группами регионов, составляет 36,8%, т.е. практически каждый третий регион РФ обладает потенциалом либо к усилению специализации на выпуске пищевой продукции, если изначально значение коэффициента было меньше 1, либо к сокращению степени влияния пищевой отрасли на экономику региона, что может быть характерно, в первую очередь, для субъектов со значением коэффициента специализации в интервале от 1 до 2. Для регионов, у которых значение коэффициента выше двух, как правило, характерна ситуация, когда высокие показатели функционирования пищевой отрасли в целом, достигаются за счет ускоренного развития одной или нескольких отраслей. Например, ведущей отраслью пищевой промышленности Камчатского края (=5,671) и Калининградской области (=4,893) является рыбная и рыбоперерабатывающая промышленность, Владимирской области (=3,732) – мясоперерабатывающая, кондитерская, макаронная промышленности, Воронежской области (=3,667) – мясная, сахарная, мукомольно-крупяная и т.п.

В процессе статистического анализа массива данных коэффициента специализации на выпуске пищевой продукции по регионам РФ в 2023 году, аппроксимированных под гамма-распределение, были получены следующие результаты. Среднее значение (математическое ожидание) регионального коэффициента специализации составляет 1,55, медиана равна 1,046. Значение медианы указывает на то, что величина коэффициента специализации, стремящаяся к единице, является, с одной стороны, условной границей, делящей всю совокупность значений пополам, а, с другой стороны, принимает значение, близкое к нормативному. При этом минимальное значение коэффициента специализации зафиксировано на уровне 0,0312 (Республика Тыва), а максимальное – 5,671 (Камчатский край). Половина всех значений анализируемого показателя попадает в диапазон от 0,44 до 1,89. Бóльшая вариативность значений признаков наблюдается выше уровня третьего квартиля (1,89), чем под границей первого квартиля (0,44). В частности, в диапазон выше третьего квартиля попали значения коэффициента специализации таких регионов, как Ульяновская (2,409), Тульская (2,495), Воронежская (3,667) области, в диапазон ниже первого квартиля – Астраханская область (0,289), Забайкальский край (0,079), Республика Бурятия (0,364). Стандартное отклонение, характеризующее среднее отклонение индивидуальных значений выборки от математического ожидания, равно 1,46, что демонстрирует, в целом, достаточно низкую вариативность значений коэффициента региональной специализации.

С целью демонстрации возможных резервов роста производственного потенциала в пищевой отрасли (табл. 1) представлены несколько регионов из разных федеральных округов, которые за анализируемый период времени продемонстрировали рост коэффициента специализации.

Таблица 1 – Изменение некоторых региональных показателей за период с 2015 по 2023 годы

Регионы	Изменение регионального коэффициента специализации*	Изменение объема производства пищевой продукции на душу населения (кг на чел.)**	Изменение среднедушевых денежных доходов населения (руб. в год на чел.)**	Соотношение объема производства в пищевой промышленности к объёму производства в сельском хозяйстве		Изменение соотношения производства в пищевой промышленности к сельскому хозяйству*
				2015	2023	
Тамбовская область	2,08	2,91	1,56	0,49	0,83	0,33
Ярославская область	0,15	2,11	1,71	1,16	1,29	0,13
Псковская область	0,68	2,65	1,84	1,21	1,28	0,07
Пензенская область	0,73	2,46	1,67	0,9	0,95	0,05
Курская область	2,74	4,58	1,69	0,55	1,21	0,66
Новосибирская область	0,25	2,33	2,06	1,33	2,03	0,7

* Рассчитывается как разница в значениях показателя за 2023 и 2015 годы

** Рассчитывается как отношение значения показателя за 2023 год к значению показателя за 2015 год

В качестве основных резервов роста можно выделить рост удельной доли производства пищевой продукции на душу населения, что призвано обеспечить удовлетворение внутреннего спроса на продукты питания и создать производственные излишки для межрегионального и международного экспорта; увеличение денежных доходов населения,

что позволит создать условия для увеличения спроса на продовольствие. При этом рост объемов производства в сельском хозяйстве, как основы для расширения сырьевой базы, также является существенным резервом для укрепления положения отраслей пищевой промышленности [18], однако, в данном случае необходимо учитывать специализацию конкретного региона на аграрном или промышленном производстве, а также существующие производственные кооперационные межрегиональные связи.

Выводы. Изучение динамики коэффициента специализации, а также анализ аппроксимированных данных под гамма-распределение позволили установить зависимости и закономерности в развитии отраслей пищевой промышленности на региональном уровне. Выявлено, что для большей части регионов пищевая промышленность является одной из ведущих отраслей. Однако, если брать во внимание, что экономический смысл специализации региона заключается в возможности аккумулировать в отраслях специализации максимально возможное количество ресурсов с целью увеличения валового регионального продукта, то возникают определенные сложности с прогнозированием агломерационного эффекта, поскольку не все регионы могут эффективно использовать сложившийся уровень и характер специализации. Данный вывод во многом подтверждается результатами данного исследования. Коэффициент региональной специализации на выпуске пищевой продукции имеет, с одной стороны, достаточно низкую вариативность значений и инертность к резкому изменению в рамках отдельно взятого региона, а с другой стороны, практически каждый третий регион имеет внутренний потенциал для изменения степени влияния пищевой промышленности на локальную экономику. Как показал анализ статистической информации, к числу таких регионов относятся субъекты РФ, в которых коэффициент специализации близок к нормативному значению.

Результаты данного исследования открывают широкие возможности для корректировки стратегии развития пищевой и перерабатывающей промышленности России с учетом регионально-отраслевого подхода к развитию отраслей АПК как на федеральном, так и на региональном уровнях. В частности, выявление ключевых точек роста производства отдельных отраслей пищевой промышленности, а также перспективных направлений увеличения агроэкспорта, позволяет сформулировать предпосылки для перераспределения ресурсов внутри региона, а также привлечь финансовые средства как за счет государственной поддержки непосредственных производителей продовольствия, так и инвестиционные средства в развитие перспективных производств, что является логическим продолжением настоящего научного исследования.

Литература

1. Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации: указ Президента РФ от 21.01.2020 г. № 20 // Гарант.ру: [сайт]. – URL: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/ (дата обращения: 30.06.2025).
2. Россия 2035: к новому качеству национальной экономики: научный доклад / под ред. А. А. Широва. М.: Артик Принт, 2024. 264 с. (Научный доклад ИНП РАН). doi: 10.47711/sr1-2024.
3. Mahamatova M. Oziq-ovqat sanoatida tadbirkorlik faoliyatini rivojlantirishda bozor infratuzilmasini shakllantirish yo‘llari // Iqtisodiy Taraqqiyot va Tahlil. 2024. Jild. 2. № 5. S. 200-210. doi: 10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss5-pp200-210.
4. Телегина Ж.А. Региональные особенности формирования программ социально-экономического развития сельских территорий // Экономика сельского хозяйства России. 2018. № 3. С.75-79.
5. Факторы и ориентиры эффективного функционирования и развития пищевой промышленности / Шаповал В.М., Миргородская М.Г., Аничкина О.А., Меликян А.В. // Экономические науки. 2022. №214. С.113-119. doi: 10.14451/1.214.113.
6. Пиньковецкая Ю.С. Региональная специализация и отраслевая концентрация численности работников малых и средних предприятий // Вестник НГУЭУ. 2018. № 3. С.208-222.
7. Силаева Л.П. Основные тенденции пространственного развития сельского хозяйства России // Экономика сельского хозяйства России. 2022. №3. С.94-98. doi 10.32651/223-94.
8. Мельников Б.А. Оценка рисков межрегионального обмена и импорта продовольствия // Экономика сельского хозяйства России. 2024. №1. С.85-92. doi: 10.32651/241-85.
9. Grande M. J. G., Morales J. M. L. The Agri-Food trade in Spain: specialization and international competition // 55th Congress of the European Regional Science Association: «World Renaissance: Changing roles for people and places», 25-28 August 2015, Lisbon, Portugal.
10. Voinova E. Specialization of countries in the global market of financial services // Економічний часопис-XXI. 2017. №168 (11-12). S.9-13. doi: 10.21003/ea.V168-02.
11. Паспорт федерального проекта «Экспорт продукции АПК» : утв. протоколом заседания проектного комитета национального проекта «Международная кооперация и экспорт» от 14.12.2018 г. № 5 // Минсельхоз России : [сайт]. – URL: http://mcx.ru/ministry/departments/departament-informatsionnoy-politikii-spetsialnykh-proektov/industry-information/info-federalnyiproekt-eksport/ (дата обращения: 10.05.2025).
12. Минаков А.В., Сафиуллин И.Н., Амирова Э.Ф. Реализация экспортного потенциала агропромышленного комплекса России в условиях развития цифровой экономики // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2024. № 2(74). С.140-147. doi: 10.12737/2073-0462-2024-140-147.
13. Трифонова Е.Н. Оценка факторов, влияющих на экспорт продовольствия российских регионов // Экономика региона. 2023. №19(4). С. 1209-1223. doi: 10.17059/ekon.reg.2023-4-19.
14. Scafetta N., Picozzi S., West B.J. An out-of-equilibrium model of the distributions of wealth // Quantitative Finance. 2004. Vol.4. №3. P.353-364.
15. Смирнов А.Д. «Обеспеченный» рубль: deus ex machina? // Экономический журнал Высшей школы экономики. 2022. Т.26. №4. С.497-522. doi: 10.17323/1813-8691-2022-26-4-497-522.
16. Шабров Н.В., Нестеров Р.О. Рефлексивная модель фондового рынка // Экономика и математические методы. 2020. Т.56. №1. С.114-127. doi: 10.31857/S042473880008565-0.

17. Sung Y. Parka, Anil K. Bera. Maximum entropy autoregressive conditional heteroskedasticity model // Journal of Econometrics. 150 (2009) 219–230. doi:10.1016/j.jeconom.2008.12.014.

18. Растворцева С.Н., Снитко Л.Т. Региональная специализация и агломерационные эффекты в экономике России // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т.13. № 3. С.46–58. doi: 10.15838/esc.2020.3.69.4.

Сведения об авторе:

Трифонова Елена Николаевна — кандидат экономических наук, доцент, старший научный сотрудник лаборатории инновационного развития производственного потенциала агропромышленного комплекса, e-mail: trif-elena@yandex.ru

Институт аграрных проблем ФИЦ «Саратовский научный центр РАН», Саратов, Россия.

ASSESSMENT OF IMPACT OF INTERREGIONAL DIFFERENCES ON DEVELOPMENT OF THE RUSSIAN FOOD INDUSTRY

E. N. Trifonova

Abstract. Russia's food industry is a key element in the country's agro-industrial complex, processing agricultural raw materials and satisfying the population's domestic food needs. The author's proposed approach to assessing interregional differences in food industry development, based on approximating regional specialization coefficient values using a gamma probability density function, revealed a trend toward an increasing role of food industry in the economic performance of most regions. Although food industry is the leading sector in most Russian regions, with a specialization coefficient greater than or equal to one, its contribution to regional economic development varies depending on the actual value of indicator. Regions with a specialization coefficient greater than 2 typically achieve high food industry performance through the accelerated development of one or more sectors. In particular, the leading food industry sector in Kamchatka Krai (K_avg=5.671) and Kaliningrad region (K_avg=4.893) is the fishing and fish processing industry. A coefficient value from 1 to 2 is typical for 24 regions. However, for 37 constituent entities of the Russian Federation, the food industry is not a leading one, including, in particular, Tyumen and Irkutsk regions, the Republics of Dagestan and Komi, etc. Moreover, the specialization coefficient demonstrates relatively low variability and relative inertia in dynamics for an individual region. Almost a third of the constituent entities of the Russian Federation (36.8%), whose specialization coefficient value is close to the standard, have internal production potential in the food industry sectors sufficient to change the degree of influence of food industry on the local economy. The main reserves for potential growth are identified as an increase in the specific share of food production per capita, cash income of the population and the volume of production in agriculture. Identifying key growth points for individual food industry sectors will facilitate the redistribution of resources within the region, as well as attracting financial resources through both government support for direct food producers and investment in the development of promising industries.

Key words: agri-food complex, food and processing industry, regional-industry approach, development strategy, specialization coefficient, production potential, food security, regions of the Russian Federation, gamma distribution.

References

1. On approval of Food Security Doctrine of the Russian Federation: Decree of the President of the Russian Federation of January 21, 2020, No.20. [Internet]. Garant.ru. [cited 2025, June 30]. Available from: https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/73338425/.

2. Shirov AA. Rossiya 2035: k novomu kachestvu natsionalnoy ekonomiki: nauchnyy doklad. [Russia 2035: towards a new quality of the national economy: scientific report]. Moscow: Artik Print. 2024; 264 p. (Nauchnyy doklad INP RAN). doi: 10.47711/sr1-2024.

3. Mahamatova M. Oziq-ovqat sanoatida tadbirkorlik faoliyatini rivojlantirishda bozor infratuzilmasini shakllantirish yo'llari. Iqtisodiy Taraqqiyot va Tahlil. 2024; Jild. 2. № 5. 200-210 p. Uzbek. doi: 10.60078/2992-877X-2024-vol2-iss5-pp200-210.

4. Telegina ZhA. [Regional features of formation of programs for social and economic development of rural areas]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2018; 3. 75-79 p.

5. Shapoval VM, Mirgorodskaya MG, Anichkina OA, Melikyan AV. [Factors and benchmarks for the effective functioning and development of food industry]. Ekonomicheskie nauki. 2022; 214. 113-119 p. doi: 10.14451/1.214.113.

6. Pinkovetskaya YuS. [Regional specialization and industry concentration of the number of employees of small and medium-sized enterprises]. Vestnik NGUEU. 2018; 3. 208-222 p.

7. Silaeva LP. [Main trends in the spatial development of agriculture in Russia]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 3. 94-98 p. doi 10.32651/223-94.

8. Melnikov BA. [Assessing the risks of interregional food exchange and imports]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2024; 1. 85-92 p. doi: 10.32651/241-85.

9. Grande MJG, Morales JML. The agri-food trade in Spain: specialization and international competition. 55th Congress of the European Regional Science Association: "World Renaissance: Changing roles for people and places", 25-28 August 2015, Lisbon, Portugal.

10. Voinova E. Specialization of countries in the global market of financial services. Ekonomichnii chasopis-XXI. 2017; 168 (11-12). 9-13 p. doi: 10.21003/ea.V168-02.

11. Passport of federal project "Agricultural products export": approved by the minutes of project committee meeting of the national project "International cooperation and export" dated 14.12.2018 No.5. [Internet]. Minselkhoz Rossii. [cited 2025, May 10]. Available from: http://mcx.ru/ministry/departments/departament-informatsionnoy-politikii-spetsialnykh-proektov/industry-information/info-federalnyiproekt-eksport/.

12. Minakov AV, Safiullin IN, Amirova EF. [Realization of the export potential of Russian agro-industrial complex in the context of digital economy development]. Vestnik Kazanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2024; 2(74). 140-147 p. doi: 10.12737/2073-0462-2024-140-147.

13. Trifonova EN. [Assessment of factors affecting on food exports of Russian regions]. Ekonomika regiona. 2023; 19(4). 1209-1223 p. doi: 10.17059/ekon.reg.2023-4-19.

14. Scafetta N, Picozzi S, West BJ. An out-of-equilibrium model of the distributions of wealth. Quantitative Finance. 2004; Vol.4. 3. 353-364 p.

15. Smirnov AD. The "Secured" ruble: deus ex machina? Ekonomicheskiy zhurnal Vysshey shkoly ekonomiki. 2022; Vol.26. 4. 497-522 p. doi: 10.17323/1813-8691-2022-26-4-497-522.

16. Shabrov NV, Nesterov RO. [Reflexive model of the stock market]. Ekonomika i matematicheskie metody. 2020; Vol.56. 1. 114-127 p. doi: 10.31857/S042473880008565-0.

17. Sung Y. Parka, Anil K. Bera. Maximum entropy autoregressive conditional heteroskedasticity model. Journal of Econometrics. 150. 2009; 219-230 p. doi:10.1016/j.jeconom.2008.12.014.

18. Rastvortseva SN, Snitko LT. [Regional specialization and agglomeration effects in the Russian economy]. Ekonomicheskie i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz. 2020; Vol.13. 3. 46-58 p. doi: 10.15838/esc.2020.3.69.4.

Author:

Trifonova Elena Nikolaevna – Ph.D. of Economic Sciences, Associate Professor, senior researcher of Laboratory for Innovative Development of Production Potential of Agro-Industrial Complex, e-mail: trif-elena@yandex.ru

Institute of Agrarian Problems, Saratov Scientific Center, Russian Academy of Sciences, Saratov, Russia.

DOI 10.12737/2073-0462-2025-20-3-146-154
УДК 332.122.5:631.145

ОСНОВНЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ И НАПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЗЕРНОВОГО ПОДКОМПЛЕКСА В ЮЖНОМ ФЕДЕРАЛЬНОМ ОКРУГЕ

Л. И. Хоружий, А. А. Быков, Д. Г. Сергеев

Реферат. Одной из важнейших задач обеспечения продовольственной безопасности является оптимизация механизмов и выбор направлений регулирования зернового подкомплекса, играющего ключевую роль в устойчивом развитии агропромышленного комплекса. Оценка основных тенденций развития зернового подкомплекса в Южном федеральном округе (ЮФО) за 2020-2024 годы свидетельствует о колебании урожайности в пределах 35,1-45,8 ц/га, валового сбора – 31,8-41,1 млн т, снижении посевных площадей под зерновыми и зернобобовыми культурами на 2,1%. Результаты сравнительного анализа демонстрируют, что среднегодовая урожайность зерновых и зернобобовых культур в ЮФО на протяжении анализируемого периода превышает среднероссийский показатель на 33,9%. Доля округа в общероссийском производстве зерна варьируется в пределах 23,9-29,1%, что указывает на его значительный вклад в обеспечение зерновой безопасности страны. Результаты исследований показали, что реализация федеральных и региональных программ государственной поддержки АПК ЮФО обеспечили рост энергетических мощностей на 8,0% и обновление парка сельскохозяйственной техники. Это способствует повышению технологической оснащенности отрасли, снижению ресурсоемкости производства и, как следствие, укреплению конкурентных позиций зернового подкомплекса ЮФО на внутреннем и внешнем рынках. Однако, по состоянию на 2024 год сохраняется зависимость зернового подкомплекса от поставок импортной техники. В рамках исследования, направленного на определение векторов регулирования зернового подкомплекса ЮФО выявлено, что существующие проблемы и диспропорции в развитии подкомплекса обуславливают необходимость разработки комплекса мер, ориентированных на повышение эффективности и устойчивости производственных процессов. Представлены основные направления государственного регулирования зернового подкомплекса, включающие ценовое регулирование, субсидирование, реализацию государственных программ, закупочные интервенции, антимонопольные меры и инвестиции в инфраструктуру. Подчеркивается необходимость учета специфики зерновой отрасли и региональных особенностей, а также важность партнерства между всеми звеньями системы продовольственного обеспечения для достижения максимальной эффективности регулирующих мероприятий.

Ключевые слова: зерновой подкомплекс, зерновой рынок, цифровая трансформация, Южный федеральный округ.

Введение. Актуальность исследования обусловлена ролью зернового подкомплекса в обеспечении продовольственной безопасности страны [1]. Его эффективное функционирование является основой устойчивого развития связанных отраслей и определяет конкурентоспособность зернового производства, детерминантами которой выступают качество зерновой продукции, себестоимость ее производства и рыночная цена реализации [2]. Следовательно, разработка и совершенствование механизмов и направлений регулирования зернового подкомплекса с целью оптимизации производственных процессов и повышения его эффективности является важнейшей задачей.

Объем производства зерна и экономическая эффективность зернового подкомплекса все больше определяется трансакционными издержками и цифровой трансформацией, при которой хозяйственная деятельность основана на использовании данных в цифровом формате. Это обуславливает необходимость поиска новых подходов к управлению зерновым производством и выбора технологии его реализации [3].

Приоритетными направлениями развития зернового подкомплекса в ЮФО, как в целом по России, являются рост урожайности, оптимизация структуры посевных площадей, развитие инфраструктуры, наращивание объемов производства продуктов с высокой добавленной стоимостью и экспорт [4]. В сложившихся условиях мировой конъюнктуры рынка зерна перед зерновой отраслью стоит задача не только сохранения существующих позиций, что представляется затруднительным ввиду значительного международного давления, но и расширения географии экспортных поставок [5]. Данная стратегия позволит диверсифицировать направления деятельности и минимизировать риски.

Целью исследования является оценка основных тенденций развития и определение направлений регулирования зернового подкомплекса в Южном федеральном округе.

Одним из главных регуляторов успешного функционирования зернопроизводителей считается эффективно действующий организационно-экономический механизм хозяйствования предприятий зернового подкомплекса [6].

Условия, материалы и методы. Объектом исследования является зерновое производство в Южном федеральном округе Российской Федерации за период с 2020 по 2024 год. Исследование опирается на работы ученых Всероссийского научно-исследовательского института экономики сельского хозяйства, Воронежского федерального аграрного научного центра имени В.В. Докучаева, Воронежского государственного аграрного университета, Омского государственного аграрного университета имени П.А. Столыпина,

Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН. Информационной основой служат данные Федеральной службы государственной статистики, включая данные по посевным площадям, урожайности, валовому сбору зерновых и зернобобовых культур.

При выполнении исследования применялись монографический, экономико-статистический, абстрактно-логический, системный и другие методы экономических исследований.

Результаты и обсуждение. Ключевую роль в развитии зернового подкомплекса играют природные и производственные ресурсы, обеспечивающие устойчивость и эффективность его функционирования. Кадровый потенциал и машинно-тракторный парк выступают ключевыми факторами, определяющими своевременность и качество выполнения агротехнических мероприятий, включая посевную кампанию, обработки посевов и уборочные работы.

В условиях цифровой трансформации возросший дисбаланс между существующей профессионально-квалификационной структурой кадров и потребностями зерновой отрасли в инновационных компетенциях выступает сдерживающим фактором в развитии зернового подкомплекса [7]. Соблюдение регламентированных агротехнических сроков в сочетании с высоким качеством выполнения работ является ключевым фактором минимизации количественных потерь урожая сельскохозяйственных культур.

Техническое оснащение играет определяющую роль в интенсификации процессов производства зерна. Анализ машинно-тракторного парка ЮФО позволил выявить такие положительные тенденции, как рост количества зерноуборочных комбайнов на 2,5% до 10567 шт., тракторов на 3,0% до 39 806 шт. и плугов на 5,6% до 12877 шт. Среди негативных тенденций наблюдается сокращение количества тракторных прицепов на 0,8% до 13335 шт., борон на 15,6% до 54293 шт., культиваторов на 0,7% до 21220 шт., машин для посева на 6,0% до 16012 шт. Наибольшую обеспеченность техникой имеют Краснодарский край, Ростовская и Волгоградская области.

Положительной тенденцией в ЮФО является обновление парка сельскохозяйственной техники, обусловленное эффективным сочетанием федеральных и региональных программ государственной поддержки:

- субсидирование приобретения техники (предоставление скидки до 20% от стоимости новой сельскохозяйственной техники);
- предоставление техники в лизинг с процентной ставкой до 6% годовых;
- льготное кредитование на приобретение агротехники со ставкой до 5% годовых на срок до 7 лет.

Крупные агропредприятия имеют преимущество в виде возможности эффективного применения сельхозтехники и современных технологий, что позволяет им использовать севообороты и наращивать объемы производства [8].

В субъектах ЮФО реализуется Государственная программа «Развитие сельского хозяйства и регулирование рынков сельскохозяйственной продукции, сырья и продовольствия».

В рамках данной программы в Краснодарском крае сельскохозяйственным товаропроизводителям возмещается часть затрат на осуществление компенсации ущерба, погибших посевов на площади 15 тыс. га, причиненного в результате чрезвычайной ситуации. Также предусмотрен механизм грантовой поддержки научных и образовательных организаций, специализирующихся на производстве и реализации зерновых культур. Детализированный порядок предоставления грантов в форме субсидии регламентируется нормативно-правовым актом, утверждаемым Губернатором Краснодарского края. В рамках реализации подпрограммы № 10 «Развитие селекции и семеноводства в Краснодарском крае» запланировано увеличение валового сбора зерновых и зернобобовых культур до 15,35 млн тонн в 2025 году.

В Ростовской области повышается уровень технической оснащенности агропромышленного комплекса посредством субсидирования части затрат на модернизацию производства и переработки сельскохозяйственной продукции, приобретение сельскохозяйственной техники, развитие системы пропаганды применения современной ресурсосберегающей сельскохозяйственной техники. В рамках подпрограммы «Развитие отраслей агропромышленного комплекса» валовой сбор должен достигнуть 9,44 млн т.

В Волгоградской области в подпрограмме «Техническая и технологическая модернизация, инновационное развитие» – модернизация и обновление машинно-тракторного парка подотраслей сельского хозяйства.

Однако проблемой для российской экономики является низкая доля приобретенной отечественной сельскохозяйственной техники – комбайнов, тракторов и др. Так, например, в 2024 году производителями сельскохозяйственной продукции ЮФО приобретено 338 зерноуборочных комбайна, из них 188 шт. отечественного производства, 1301 трактор, из которых 468 шт. отечественного производства.

В ЮФО отмечается более низкий, чем в среднем по России, коэффициент ликвидации сельскохозяйственной техники. Так, в 2024 году коэффициент ликвидации зерноуборочных комбайнов в ЮФО составил 1,7 (против 2,1 в среднем по России), тракторов – 2,0 (против 2,1), плугов – 2,6 (против 2,8), машин для посева – 2,6 (против 3,1), сеялок – 2,9 (против 3,5). Коэффициент обновления парка зерноуборочных комбайнов в ЮФО составил 3,2 (в России – 4,1), тракторов – 3,2 (в России – 3,6), машин для посева – 2,1 (в России – 2,6) [9].

Вместе с тем за анализируемый период

положительной тенденцией в зерновом подкомплексе округа стал рост энергетических мощностей на 8,0% до 17068,7 тыс. л.с.

Транспортное обеспечение в зерновом подкомплексе возложено на самих производителей. Они принимают решения исходя из текущей конъюнктуры, включающей объем урожая, доступность транспортных средств, наличия экспортно-импортных обязательств, а также наличия и своевременность договорных отношений с перевозчиками [10].

Многочисленные научные исследования отечественных авторов (А.И. Алтухов, А.В. Гордеев, О.В. Сидоренко, др.) характеризуют производство зерновых культур как комплексную динамическую систему, подверженную влиянию широкого спектра факторов – зональные особенности, определяемые региональными климатическими условиями и характеристиками почв, технико-технологические параметры производственного процесса, включающие используемые сорта, технологии возделывания и систему удобрений, а также организационные аспекты, такие как структура управления и логистика [11]. В то время как техническое оснащение играет важную роль в развитии зернового подкомплекса, определяя скорость и качество выполнения сельскохозяйственных работ, конечной целью отрасли является эффективное производство.

ЮФО характеризуется неравномерным распределением посевных площадей под зерновые и зернобобовые культуры по своим субъектам. При наличии благоприятных природно-климатических условий и внедрении современных агротехнологий, указанные культуры возделываются во всех регионах ЮФО. Это определяет потенциал для дальнейшего увеличения объемов и улучшения качества продукции зернового производства (табл. 1).

Таблица 1 – Посевные площади зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий, тыс. га

Субъект Российской Федерации	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024/2020 гг.(%)
Республика Адыгея	143,6	141,5	124,0	130,2	131,7	91,7
Республика Калмыкия	276,8	267,6	290,6	297,4	287,9	104,0
Республика Крым	571,9	576,4	533,9	585,6	522,3	91,3
Краснодарский край	2532,4	2587,7	2440,1	2518,3	2436,1	96,2
Астраханская область	15,2	17,0	23,0	21,2	22,1	145,4
Волгоградская область	2083,7	1831,1	2197,8	2135,5	2111,0	101,3
Ростовская область	3639,5	3598,1	3673,4	3655,2	3553,3	97,6
г. Севастополь	0,4	0,6	0,5	0,3	0,3	75,0
Южный федеральный округ	9263,4	9020,1	9283,2	9344,0	9065,6	97,9
Российская Федерация	47899,8	47007,4	47504,2	47893,8	46087,5	96,2

Источник: рассчитано по данным Федеральной службы государственной статистики [9]

Несмотря на общероссийскую тенденцию к сокращению посевных площадей под зерновыми и зернобобовыми культурами (3,8% за 2020-2024 годы) и незначительное снижение в ЮФО (2,1%). Однако, в Республике Калмыкия, Астраханской и Волгоградской областях отмечается рост посевных площадей соответственно на 4,0; 145,4 и 1,3%, что указывает на отсутствие единого тренда снижения в регионе.

В 2010 году низкая урожайность зерновых и зернобобовых культур в России (18,3 ц/га), более чем в 2,5 раза уступавшая показателям развитых стран, считалась одним из ключевых факторов, сдерживающих развитие зернового подкомплекса [12]. Однако, благодаря достижениям отечественной селекции, увеличению внесению сельскохозяйственными организациями минеральных удобрений и средств химической защиты растений, к 2024 году урожайность удалось повысить до 27,9 ц/га.

Оценка урожайности зерновых и зернобобовых культур в среднем в Южном федеральном округе за 2020-2024 годы показала, что она выше на 33,9%, чем в среднем по России. Это связано с более благоприятными природно-климатическими условиями и технологией производства (табл. 2).

Таблица 2 – Урожайность зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий, ц/га

Субъект Российской Федерации	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	В среднем за 2024/2020 гг.
Республика Адыгея	51,2	46,5	50,0	43,1	45,8	47,3
Республика Калмыкия	22,1	22,6	26,0	27,8	25,9	24,9
Республика Крым	16,4	25,5	37,1	35,3	27,6	28,4
Краснодарский край	48,1	58,4	65,5	55,8	55,9	56,7
Астраханская область	31,2	37,2	38,6	32,1	34,8	34,8
Волгоградская область	25,5	23,2	33,0	30,2	19,4	26,3
Ростовская область	34,5	38,3	43,1	44,5	32,7	38,6
г. Севастополь	16,6	23,3	30,3	44,0	34,4	29,7
Южный федеральный округ	35,1	39,9	45,8	43,2	35,6	39,9
Российская Федерация	28,6	27,1	34,3	31,0	27,9	29,8

Источник: рассчитано по данным Федеральной службы государственной статистики [9]

Рост урожайности зерновых в ЮФО обусловлен влиянием комплекса взаимосвязанных факторов. Важнейшую роль играет внедрение в сельскохозяйственную практику сортов, характеризующихся повышенным генетическим потенциалом продуктивности и устойчивостью к стрессорам. Кроме того, значительное влияние оказывает интенсификация земледелия, включающая оптимизацию минерального питания растений посредством применения сбалансированных доз удобрений, а также эффективную защиту от вредителей, болезней и сорняков. Это позволяет округу получать 31,8-41,1 млн т (табл. 3).

Таблица 3 – Валовой сбор зерновых и зернобобовых культур в хозяйствах всех категорий, тыс. т

Субъект Российской Федерации	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	2024 г.	2024/2020 гг. (%)
Республика Адыгея	734,7	654,9	618,3	559,6	603,0	82,1
Республика Калмыкия	584,0	599,0	707,3	806,6	742,9	127,2
Республика Крым	908,3	1432,8	1926,8	2041,6	1427,5	157,2
Краснодарский край	12105,0	14798,7	15461,3	13986,9	13507,0	115,6
Астраханская область	46,8	63,0	81,5	68,1	76,9	164,3
Волгоградская область	5110,1	4126,1	7008,5	6373,1	4017,1	78,6
Ростовская область	12464,5	13597,4	15252,0	16170,3	114 44,8	91,8
г. Севастополь	0,6	1,2	1,4	н/д	1,0	166,7
Южный федеральный округ	31954,0	35273,1	41057,0	40004,7	31820,1	99,6
Российская Федерация	133463,0	121399,4	157614,3	144956,3	125856,0	94,3

Источник: рассчитано по данным Федеральной службы государственной статистики [9]

В отраслевой структуре зернового производства ЮФО выделяются Краснодарский край и Ростовская область, характеризующиеся как основные центры зернопроизводства. При этом отмечается динамика снижения объемов производства зерна в Волгоградской области на 21,4% и Республике Адыгея на 17,8%, в то время как Астраханская область с незначительным удельным весом в совокупном объеме производства зерна в округе, демонстрирует динамику роста на 64,3%.

Развитие зернового подкомплекса ЮФО детерминировано комплексом факторов, включающих специфику производственной структуры субъектов, уровень развития инфраструктуры, географическое положение и доминирующие потребительские предпочтения в отношении продовольственной продукции.

Применение проблемно-ориентированного анализа позволило выявить основные проблемные области, сдерживающие развитие зернового подкомплекса (рис.1).



Рис. 1 – Проблемы развития зернового подкомплекса

Информационная асимметрия, проявляющаяся в дефиците сведений о ценовой конъюнктуре и контрагентах на агропродовольственном рынке, приводит к заключению экономически неоптимальных сделок сельскохозяйственными предприятиями. Данный фактор обуславливает увеличение трансакционных издержек, связанных с недостаточным развитием информационных компонентов рыночной инфраструктуры и пролонгацией посреднических каналов [13].

Инфраструктурные ограничения представляют собой серьезный вызов для развития зернового подкомплекса. Неудовлетворительное состояние транспортной инфраструктуры, а также ограниченность пропускной способности портовых терминалов создают узкие места в логистической цепочке, увеличивают сроки доставки и приводят к потерям зерна. Это, в свою очередь, повышает трансакционные издержки и снижает конкурентоспособность продукции.

В рамках заявленной темы, для преодоления обозначенных проблемных аспектов развития зернового подкомплекса ЮФО, представляется необходимым разработать и внедрить усовершенствованный организационно-экономический механизм. В рамках данной разработки целесообразно акцентировать внимание на следующих ключевых направлениях: обеспечение сбалансированности рыночного спроса и предложения зерна путем осуществления закупочных и товарных интервенций, квотирования экспорта, развития биржевой торговли; переориентация производственных процессов на удовлетворение потребностей конечного потребителя с целью максимизации прибыльности; также согласование интересов всех участников агропродовольственной системы [14].

Многие выявленные проблемы вызваны недостаточным уровнем государственного регулирования. Действие механизмов рыночной саморегуляции негативно отразились на экономических отношениях, сложившихся между государственными органами и другими субъектами рынка [15]. Принципы саморегулирования в зерновом подкомплексе действуют эффективно лишь при условии наличия конкуренции, соблюдения антимонопольной политики и высокого платежеспособного спроса. Неэффективность систем государственного регулирования в зерновом подкомплексе привела к доминированию посреднических монополий. Это обернулось убытками для производителей зерна и негативно сказалось на формировании доходной части бюджетов ключевых зернопроизводящих регионов округа.

В то время как государственная политика в большинстве зернопроизводящих стран ориентирована на обеспечение продовольственной безопасности, защиту отечественных фермеров от иностранной конкуренции и стимулирование экспорта зерна и зернопродуктов [16, 17], в России приоритетными направлениями и механизмами государственной поддержки зернового подкомплекса в ближайшей перспективе должны стать: регулирование ценообразования, разработка и реализация программ развития отрасли, контроль качества продукции и активизация научных исследований (табл. 4).

Таблица 4 – Основные направления регулирования зернового подкомплекса

Направление	Механизм
Регулирование цен	- установление индикативных цен (минимальной и максимальной) на зерно на основе мониторинга рыночной конъюнктуры и себестоимости производства; - применение механизмов компенсации затрат производителям при снижении цен ниже минимального уровня.
Субсидирование	- предоставление прямых субсидий на приобретение семян элитных сортов, минеральных удобрений и средств защиты растений; - льготное кредитование сезонных полевых работ; - компенсация части затрат на приобретение сельскохозяйственной техники.
Государственные программы и подпрограммы	- реализация комплексных программ поддержки зернового производства, включающих меры по развитию селекции и семеноводства, модернизации технической базы, стимулированию внедрения инновационных технологий; - целевые программы подготовки и переподготовки кадров для отрасли.
Закупочные и товарные интервенции	- проведение закупочных и товарных интервенций на зерновом рынке с целью стабилизации цен и поддержания доходности сельхозпроизводителей; - формирование государственных резервов зерна для обеспечения продовольственной безопасности.
Антимонопольные меры	- мониторинг деятельности крупных зерноторговых компаний и перерабатывающих предприятий с целью предотвращения монополизации рынка и необоснованного повышения цен; - обеспечение прозрачности ценообразования и доступа к торговым площадкам для всех участников рынка.
Инвестиции в инфраструктуру	- развитие современной элеваторной сети для хранения и подработки зерна; - строительство и модернизация транспортной инфраструктуры (автомобильные и железные дороги, речные порты) для снижения логистических издержек; - создание оптово-распределительных центров для повышения эффективности сбыта зерновой продукции.

При разработке направлений регулирования развития зернового подкомплекса необходимо учитывать специфику зерновой отрасли и особенности развития региона. Все звенья системы продовольственного обеспечения взаимосвязаны, в связи с чем следует обеспечить максимально возможное партнерство.

Вместе с тем, необходимо учитывать стратегическую важность зернового подкомплекса, как для обеспечения продовольственной безопасности страны, так и для экспортного потенциала.

Исследователи, включая А.И. Алтухова, П.М. Першукевича и Д.А. Зюкина, полагают, что ориентация на экспорт зерна является вынужденной стратегией развития зернового подкомплекса России, обусловленной низким уровнем внутреннего потребления, в частности, вызванным сокращением поголовья скота. Экспорт обеспечивается путем существенных структурных сдвигов в посевных площадях в пользу экспортоориентированных зерновых культур [18]. Это негативно отразилось на качестве хлебобулочных изделий и кормовой базы для животноводства. В связи с этим поддерживаем точку зрения многих отечественных исследователей (В.И. Векленко, А.В. Панин, И.Ф. Петрова, В.В. Чибис, Е.В. Фалеева) о необходимости оптимизации структуры посевных площадей и повышения плодородия земель путем интенсификации и соблюдением технологического процесса с учетом особенностей региона [19].

Развитие зернового подкомплекса ЮФО в условиях глобализации требует систематического выявления резервов повышения его доходности, а также определения приоритетных направлений, определяющих данное развитие. В качестве ключевого индикатора динамики развития зернового подкомплекса выступает увеличение объемов экспорта зерна [20].

Государственная ценовая политика в зерновом секторе должна быть направлена на создание благоприятных условий для производителей зерна, обеспечивающих стабильный доход, позволяющий вести расширенное воспроизводство и создание условий для формирования рыночных цен на зерно, отражающих фактические затраты на его производство, а также текущий спрос и предложение.

Инновационное развитие зернового подкомплекса оказывает мультипликативный эффект на развитие смежных технологически взаимосвязанных отраслей и способствует увеличению занятости в соответствующих секторах экономики.

Решение проблемы инфраструктурных ограничений требует комплексного подхода, включающего инвестиции в модернизацию и строительство новых объектов хранения и транспортировки зерна, совершенствование логистических схем, а также развитие информационных систем для оптимизации потоков зерна.

Разработка направлений регулирования зернового подкомплекса Южного федерального округа через призму когнитивного подхода и учёта трансакционных издержек представляет собой инновационный подход к управлению аграрным сектором. Когнитивный подход позволяет сосредоточиться на моделях и представлениях субъектов хозяйствования, что дает возможность глубже понять их мотивацию, поведение и адаптацию к рыночным изменениям. В контексте регулирования это означает, что принимаемые решения будут более эффективными, так как они будут основываться на реальных потребностях участников рынка.

Не менее важным аспектом является оптимизация взаимодействия между субъектами зернового подкомплекса, что напрямую связано с минимизацией трансакционных издержек. Их учет позволяет оптимизировать взаимодействие в цепи поставок, ведет к снижению потерь и повышению эффективности ведения хозяйственной деятельности [21]. Без учета трансакционных издержек управление зерновым подкомплексом может страдать от неэффективных решений, что приводит к росту затрат и снижению конкуренто способности.

Повышение эффективности производства зерна, реализуемое преимущественно посредством внедрения современных технологических решений и передовых научных достижений, способствует достижению национальной самодостаточности и снижению зависимости от импорта, а также способствует превращению страны в одного из ведущих мировых экспортеров сельскохозяйственной продукции [22].

Развитие зернового подкомплекса в ближайшей перспективе неразрывно связано с процессами цифровой трансформации, что обусловлено необходимостью повышения эффективности производства и оптимизации логистических цепочек. Цифровая трансформация (Цифровое сельское хозяйство, ФГИС «Зерно», ФГИС «Аргус-Фито», ФГИС «Семеноводство», цифровое землепользование, точное земледелие) позволяет осуществлять мониторинг состояния посевов, прогнозировать урожайность и управлять ресурсами на основе анализа больших данных и применения информационных технологий, государственное регулирование движения зерна.

Внедрение цифровых технологий в зерновой подкомплекс обеспечивает повышение прозрачности рынка, что особенно важно в условиях неэластичного спроса на зерно. Оптимизация производственных и логистических процессов, достигаемая за счет цифровизации, позволяет повысить конкурентоспособность производителей и обеспечить их адаптацию к динамично меняющимся конъюнктуре глобального рынка.

В контексте развития зернового подкомплекса ЮФО, одним из перспективных направлений выступает имплементация

когнитивного подхода, предполагающего интеграцию интеллектуальных систем и технологий в процессы принятия управленческих решений на всех уровнях, от производства зерна до логистики и сбыта.

Считаем, что применение когнитивного подхода позволит:

- оптимизировать процессы планирования и прогнозирования урожайности на основе анализа больших данных;
- повысить эффективность использования ресурсов (трудовых, материальных, финансовых) за счет автоматизации и роботизации производственных процессов;
- улучшить качество принимаемых решений в области маркетинга и логистики посредством анализа потребительских предпочтений и динамики рыночной конъюнктуры.

Его реализация обеспечит рост конкурентоспособности зернового подкомплекса в ЮФО и устойчивое развитие зерновой отрасли.

Выводы. Проведенное исследование позволило оценить основные тенденции развития и определить направления регулирования зернового подкомплекса в ЮФО. Анализ показал, что, несмотря на положительные тенденции в обновлении машинно-тракторного парка и росте урожайности, остаются нерешенными проблемы, сдерживающие его развитие. Среди них можно выделить зависимость от импортной техники, разнонаправленную динамику посевных площадей и объемов производства в различных субъектах округа, а также наличие инфраструктурных ограничений.

Для обеспечения устойчивого развития зернового подкомплекса ЮФО необходимо совершенствование организационно-экономического механизма, направленного на:

- стимулирование приобретения отечественной сельскохозяйственной техники путем расширения мер государственной поддержки и развития собственного производства;
- оптимизацию региональных программ развития сельского хозяйства с учетом специфики каждого субъекта округа, фокусируясь на приоритетных направлениях развития и решении ключевых проблем;
- развитие инфраструктуры зернового рынка, включая элеваторные мощности, транспортную логистику и системы хранения, с целью снижения трансакционных издержек и повышения доступности рынков сбыта;
- повышение эффективности земледелия за счет внедрения инновационных технологий, использования качественных семян и удобрений, а также совершенствования методов защиты растений;
- разработку научно обоснованных рекомендаций по формированию структуры посевных площадей с учетом агроклиматических условий и рыночной конъюнктуры;
- применение когнитивного подхода, позволяющего повысить точность прогнозирования урожайности, оптимизировать использование ресурсов и улучшить процесс принятия решений в сфере маркетинга и логистики.

Реализация предложенных направлений позволит повысить конкурентоспособность зернового подкомплекса Южного федерального округа, обеспечить продовольственную безопасность страны и внести весомый вклад в социально-экономическое развитие региона.

Литература

1.Tokenova S. M. Economic efficiency of introduction of innovative technologies in grain sub-complex of Kazakhstan // Problems of AgriMarket. 2020. No. 4. P. 169-174. doi: 10.46666/2020-4-2708-9991.21.

2. Александрова Н. Р., Настин А. А. Информационные технологии в исследовании факторов конкурентоспособности производства зерна // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 5. С. 72-77. doi: 10.32651/225-72.

3. Ушачев И. Г., Колесников А. В. Развитие цифровых технологий в сельском хозяйстве как составная часть аграрной политики // АПК: экономика, управление. 2020. № 10. С. 4-16. doi: 10.33305/2010-4.

4. Долгосрочная стратегия развития зернового комплекса Российской Федерации до 2035 года, утверждённой распоряжением Правительства РФ от 10.08.2019 №1796-р.

5. Бесшапошный М. Н., Ковалева Е. В., Энкина Е. В. Перспективы производства и экспорта зерна в условиях трансформации аграрного производства // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 9. С. 86-91. doi: 10.32651/229-86.

6. Фарвазова Э. А., Медведева Т. Н., Шарапова В. М. Методические подходы к оценке эффективности организационно-экономического механизма хозяйствования аграрных предприятий // Вестник Сургутского государственного университета. 2020. № 1(27). С. 102-111. doi: 10.34822/2312-3419-2020-1-102-111.

7. Леликова Е. И. Оценка эффективности использования трудовых ресурсов в зерновом подкомплексе Ставропольского края // Экономика сельского хозяйства России. 2022. № 3. С. 49-55. doi: 10.32651/223-49.

8. Перспективы развития крупнотоварного сельскохозяйственного производства на примере зернового подкомплекса Белгородской области / А. В. Колесников, Ю. И. Здоровец, О. О. Шинкаренко, Д. Ю. Федюшин // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2019. № 1(46). С. 70-78.

9. Федеральная служба государственной статистики [Электронный ресурс] – URL: https://rosstat.gov.ru/ (дата обращения 20.05.2025).

10. Севостьянов А. Л. Проблемы развития транспортной инфраструктуры экспорта зерна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2021. Т. 14. № 3(70). С. 162-167. doi: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_162.

11. Водянников В. Т., Макарова О. В., Гаспарян С. В. Экономическая оценка потерь зерна с учетом погодных условий и сроков уборки // Вестник Федерального государственного образовательного учреждения высшего профессионального образования «Московский государственный агроинженерный университет имени В.П. Горячкина». 2019. № 2(90). С. 45-47.

12. Буздалов И. Н. О роли и месте зернопродуктового компонента в агропроизводственной структуре и политике // Агропродовольственная политика России. 2018. № 2(74). С. 7-18

13. Быков А. А. Обеспечение устойчивого производства и стабильного экономического роста зернового подкомплекса Республики Казахстан на основе применения инновационных методов повышения конкурентоспособности // Актуальные вопросы развития современного общества: сборник статей 4-ой Международной научно-практической конференции: в 4-х томах. Том 1. – Курск: Закрытое акционерное общество «Университетская книга», 2014. С. 181-185.

14. Методическое обеспечение совершенствования организационно-экономических механизмов развития агропромышленного комплекса и сельских территорий Сибири / В. Г. Басарева, О. В. Борисова, Н. Ф. Вернигор и др. – Новосибирск: Сибирское отделение РАН, 2022. 266 с. – ISBN 978-5-6047823-2-3. doi: 10.53954/9785604782323.

15. Афанасьев Е. В., Быков А. А., Головатюк С. М. Концептуальные основы развития агропродовольственного рынка Сибири // АПК: экономика, управление. 2019. № 8. С. 40-49. doi: 10.33305/198-40.

16. Luo PF. and Tanaka T. Food Import Dependency and National Food Security: A Price Transmission Analysis for the Wheat Sector / Foods. – Aug 2021. – Vol. 10 (8). – URL: https://www.mdpi.com/2304-8158/10/8/1715 (дата обращения: 21.04.2025).

17. Martin W., Laborde D. The Free Flow of Goods and Food Security and Nutrition in the book Global Food Policy Report 2018 / International Food Policy Research Institute. 2018. Pp. 20–28. URL: https:// gfpr.ifpri.info/2018/02/16/chapter-3/ (дата обращения: 22.04.2025).

18. Зюкин Д. А. Развитие экспортного потенциала зернового хозяйства России // Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий. 2019. № 1. С. 58-61.

19. Тимакова Р. Т., Ильюхин Р. В. Цифровые технологии: новые подходы к прослеживаемости зерновых потоков в России // Цифровые модели и решения. 2023. Т. 2. № 2. С. 6. doi:10.29141/2782-4934-2023-2-2-6.

20. Сидоренко О. В., Федотенкова О. А., Федюшин Д. Ю. Зерновое производство России: долгосрочные тренды, возможности развития // Экономика, труд, управление в сельском хозяйстве. 2021. № 5(74). С. 106-113. doi:10.33938/215-106.

21. Быков А.А., Хоружий Л.И. Учет и оценка трансакционных издержек в зерновом подкомплексе // Бухучет в сельском хозяйстве. 2024. № 9. С. 594-604.

22. Алабушев А. В. Экспортные поставки и современное состояние рынка зерна пшеницы в России и мире // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 68-74. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10216.

Сведения об авторах:

Хоружий Людмила Ивановна - доктор экономических наук, профессор, директор Института экономики и управления АПК, e-mail: hli@rgau-msha.ru

Быков Александр Александрович - доктор экономических наук, доцент, заведующий кафедрой экономики и организации производства, e-mail: a.bykov@rgau-msha.ru

Сергеев Дмитрий Геннадьевич – аспирант, e-mail: sergeeevdg@gmail.com

Российский государственный аграрный университет – Московская сельскохозяйственная академия имени К.А. Тимирязева, Москва, Россия.

MAIN DEVELOPMENT TRENDS AND DIRECTIONS FOR GRAIN SUBCOMPLEX REGULATION IN SOUTHERN FEDERAL DISTRICT

L. I. Khoruzhiy, A. A. Bykov, D. G. Sergeev

Abstract. One of the most important tasks in ensuring food security is the optimization of mechanisms and selection of regulatory directions for grain subcomplex, which plays a key role in the sustainable development of agro-industrial complex. An assessment of main development trends of grain subcomplex in Southern Federal District for 2020-2024 reveals yield fluctuations within the range of 35.1-45.8 c/ha, gross harvest of 31.8-41.1 million tons and a decrease in the area sown to grain and leguminous crops by 2.1%. A comparative analysis demonstrates that the average annual yield of grain and legume crops in Southern Federal District exceeded the national average by 33.9% during the analyzed period. The district's share of total Russian grain production ranges from 23.9% to 29.1%, indicating its significant contribution to the country's grain security. Research results indicate that implementation of federal and regional government support programs for Southern Federal District's agro-industrial complex has resulted in an 8.0% increase in energy capacity and an upgrade of the agricultural machinery fleet. This contributes to an increase in the technological sophistication of the industry, a reduction in the resource intensity of production and, consequently, to a stronger competitive position for Southern Federal District's grain subcomplex in domestic and foreign markets. However, as of 2024, the grain subcomplex remains dependent on imported equipment. A study aimed at identifying regulatory vectors for Southern Federal District's grain subcomplex revealed that existing problems and imbalances in its development necessitate the development of a set of measures aimed at improving the efficiency and sustainability of production processes. The article presents the key areas of government regulation of the grain subcomplex, including price regulation, subsidies, implementation of government programs, procurement interventions, antitrust measures, and infrastructure investments. It emphasizes the need to consider the specifics of the grain industry and regional characteristics, as well as the importance of partnerships between all elements of the food supply system to achieve maximum regulatory effectiveness.

Key words: grain subcomplex, grain market, digital transformation, Southern Federal District.

References

1. Tokenova SM. Economic efficiency of introduction of innovative technologies in grain sub-complex of Kazakhstan. Problems of AgriMarket. 2020; No.4. 169-174 p. doi: 10.46666/2020-4-2708-9991.21.

2. Aleksandrova NR, Nastin AA. [Information technologies in the study of factors determining the competitiveness of grain production]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 5. 72-77 p. doi: 10.32651/225-72.

3. Ushachev IG, Kolesnikov AV. [Development of digital technologies in agriculture as an integral part of agricultural policy]. APK: ekonomika, upravlenie. 2020; 10. 4-16 p. doi: 10.33305/2010-4.

4. Dolgosrochnaya strategiya razvitiya zernovogo kompleksa Rossiyskoy Federatsii do 2035 goda. [Long-term strategy of grain complex development of the Russian Federation until 2035]. Approved by the Order of the Government of the Russian Federation dated 10.08.2019 No.1796-r.

5. Besshaposhnyy MN, Kovaleva EV, Enkina EV. [Prospects for grain production and export in the context of

agricultural production transformation]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 9. 86-91 p. doi: 10.32651/229-86.

6. Farvazova EA, Medvedeva TN, Sharapova VM. [Methodological approaches to assessing the efficiency of organizational and economic mechanism for managing agricultural enterprises]. Vestnik Surgutskogo gosudarstvennogo universiteta. 2020; 1(27). 102-111 p. doi: 10.34822/2312-3419-2020-1-102-111.

7. Lelikova EI. [Assessing the efficiency of using labor resources in the grain subcomplex of Stavropol Krai]. Ekonomika selskogo khozyaystva Rossii. 2022; 3. 49-55 p. doi: 10.32651/223-49.

8. Kolesnikov AV, Zdorovets YuI, Shinkarenko OO, Fedyushin DYu. [Prospects for the development of large-commodity agricultural production on the example of grain subcomplex of Belgorod refion]. Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve. 2019; 1(46). 70-78 p.

9. Federal State Statistics Service. [Internet]. [cited 2025, May 20]. Available from: https://rosstat.gov.ru/.

10. Sevostyanov AL. [Problems of development of transport infrastructure for grain exports]. Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. 2021; Vol.14. 3(70). 162-167 p. doi: 10.53914/issn2071-2243_2021_3_162.

11. Vodyannikov VT, Makarova OV, Gasparyan SV. [Economic assessment of grain losses, taking into account weather conditions and harvest timing]. Vestnik Federalnogo gosudarstvennogo obrazovatelnogo uchrezhdeniya vysshego professionalnogo obrazovaniya “Moskovskiy gosudarstvennyy agroinzhenernyy universitet imeni V.P. Goryachkina”. 2019; 2(90). 45-47 p.

12. Buzdalov IN. [On the role and place of grain product component in the agro-industrial structure and policy]. Agroprodovolstvennaya politika Rossii. 2018; 2(74). 7-18 p.

13. Bykov AA. [Ensuring sustainable production and stable economic growth of grain subcomplex of the Republic of Kazakhstan based on the application of innovative methods of enhancement of competitiveness. Actual issues of modern society development]. Sbornik statey 4-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii: v 4-kh tomakh. Tom 1. Kursk: Zakrytoe aktsionernoe obshchestvo “Universitetskaya kniga”. 2014; 181-185 p.

14. Basareva VG, Borisova OV, Vernigor NF. [Methodological support for improving organizational and economic mechanisms for the development of agro-industrial complex and rural territories of Siberia]. Novosibirsk: Sibirskoe otdelenie RAN. 2022; 266 p. – ISBN 978-5-6047823-2-3. doi: 10.53954/9785604782323.

15. Afanasev EV, Bykov AA, Golovatyuk SM. [Conceptual foundations of Siberian agro-food market development]. APK: ekonomika, upravlenie. 2019; 8. 40-49 p. doi: 10.33305/198-40.

16. Luo PF and Tanaka T. Food import dependency and national food security: a price transmission analysis for the wheat sector foods. Aug 2021. Vol.10 (8). [cited 2025, April 21]. Available from: https://www.mdpi.com/2304-8158/10/8/1715.

17. Martin W, Laborde D. The free flow of goods and food security and nutrition in the book global food policy report 2018. [Internet]. International Food Policy Research Institute. 2018; 20-28 p. [cited 2025, April 22]. Available from: https://gfpr.ifpri.info/2018/02/16/chapter-3/.

18. Zyukin DA. [Export potential development of Russia’s grain industry]. Ekonomika selskokhozyaystvennykh i pererabatyvayushchikh predpriyatiy. 2019; 1. 58-61 p.

19. Timakova RT, Ilyukhin RV. [Digital technologies: new approaches to traceability of grain flows in Russia]. Tsifrovye modeli i resheniya. 2023; Vol.2. 2. 6 p. doi:10.29141/2782-4934-2023-2-2-6.

20. Sidorenko OV, Fedotenkova OA, Fedyushin DYu. [Grain production in Russia: long-term trends, development opportunities]. Ekonomika, trud, upravlenie v selskom khozyaystve. 2021; 5(74). 106-113 p. doi:10.33938/215-106.

21. Bykov AA, Khoruzhiy LI. [Accounting and assessment of transaction costs in the grain subcomplex]. Bukhuchet v selskom khozyaystve. 2024; 9. 594-604 p.

22. Alabushev AV. [Export supplies and current state of wheat grain market in Russia and the world]. Dostizheniya nauki i tekhniki APK. 2019; Vol.33. 2. 68-74 p. doi: 10.24411/0235-2451-2019-10216.

Authors:

Khoruzhiy Lyudmila Ivanovna - Doctor of Economics, Professor, Director of Institute of Economics and Management of Agro-Industrial Complex, e-mail: hli@rgau-msha.ru

Bykov Aleksandr Aleksandrovich - Doctor of Economics, Associate Professor, Head of Department of Economics and Production Organization, e-mail: a.bykov@rgau-msha.ru

Sergeev Dmitriy Gennadevich – post-graduate student, e-mail: sergeeevdg@gmail.com

Russian Timiryazev State Agrarian University, Moscow, Russia.

К сведению авторов

Предоставляемые к публикации статьи, должны содержать результаты научных исследований в области экономики агропромышленного комплекса, механизации и технического сервиса, агрономии. Статьи проходят отбор на критерий актуальности и новизны рассматриваемых научных проблем.

Предполагается проверка предоставленного авторами материала в системе «Антиплагиат». Рекомендуемый объем статьи, включая приложения, должен составлять не менее 9 и не более 14 страниц. Статьи должны быть оформлены на листах формата А4, шрифт – Times New Roman, размер – 14 пт, межстрочный интервал – 1,0. Поля (обычные) сверху и снизу – 2 см, слева – 3 см справа – 1,5 см, абзац (отступ) – 0,5 см (не задавать пробелами), формат – книжный.

Если статья была или будет отправлена в другое издание необходимо сообщить об этом редакции.

Оформление статьи.

1. Слева в верхнем углу без абзаца печатается УДК статьи (проверяйте корректность выбранного УДК на сайте Всероссийского Института Научной и Технической Информации – ВИНиТИ).

2. Ниже, по-центру строки название статьи (название статьи должно отражать основную идею выполненного исследования, быть по возможности кратким) жирным шрифтом заглавными буквами.

3. Затем жирными строчными буквами –инициалы и фамилия автора (ов). Пропускается одна строка.

4. После этого через пробел – реферат статьи (рекомендуемый объем – 200–250 слов) отражает тематику статьи, ценность, новизну, основные положения и выводы исследований с использованием цифровых данных. Запрещается разбивка реферата на абзацы, использование вводных слов и оборотов. Реферат может публиковаться самостоятельно и, следовательно, должна быть понятной без обращения к тексту статьи. По реферату публикации читатель должен иметь возможность определить, стоит ли обращаться к полному тексту статьи для получения более подробной, интересующей его информации.

5. С нового абзаца – ключевые слова (не более 9 слов).

Слева строчными буквами печатается «Ключевые слова:» (без кавычек) и через запятую приводятся ключевые слова или словосочетания. Пропускается одна строка.

6. При написании научной статьи необходимо придерживаться следующей структуры изложения: «Введение», «Условия, материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Выводы».

7. В случае если ваша статья подготовлена при выполнении гранта и есть необходимость прописать данный источник, добавляем после выводов раздел, «**Сведения об источнике финансирования». К примеру – Сведения об источнике финансирования:** Работа выполнена по государственному заданию НИОКТР № 0477–2019–0005 при финансовой поддержке Минобрнауки РФ.

В разделе «Введение» предлагается постановка проблемы, должна быть сформулирована и обоснована цель работы и, если необходимо, рассмотрена ее связь с важными научными и практическими направлениями, дается теоретическое обоснование исследования. Должны присутствовать ссылки на публикации последних лет, в данной области включая зарубежных авторов.

В следующем разделе раскрываются особенности данного исследования, приводятся условия, материалы и методы исследований. Место исследования уточняется до области (края). Следует отразить время, место, методику и условия проведения опытов.

Главный раздел статьи посвящается представлению, анализу и обсуждению результатов. Полученные результаты должны быть освещены с точки зрения их научной новизны и сопоставлены с соответствующими известными данными.

В завершении представляются выводы и рекомендации.

Подзаголовки и заголовки набираются жирным шрифтом с заглавной буквы. Нумерация ссылок на библиографический список в тексте располагается в порядке упоминания источников. Ссылки на литературу в тексте приводятся в квадратных скобках, например: [1].

8. После основного текста статьи пропускается одна строка и по центру печатается заглавие «Литература» (без кавычек). Через одну строку помещается пронумерованный перечень источников в порядке ссылок по тексту. Список литературы (не менее **десяти** источников, в том числе не менее **трех** зарубежных) оформляется в соответствии с ГОСТ Р 7.0.5–2008 и требованиями журнала, тщательно проверяется авторами и приводится в конце статьи. Нумерация ссылок в списке приводится в соответствии с порядком их упоминания в тексте. В одном пункте перечня следует указывать только один источник информации. Злоупотребление самоцитированием не допускается. Доля ссылок на собственные публикации авторов должна составлять не более 25% списка литературы. Цитирование работ какого-либо одного автора, не входящего в состав авторского коллектива рукописи, также не должно превышать 25%. Рекомендуется ссылаться не более чем на 2 публикации каждого из авторов. Доля ссылок на источники старше 10 лет не должна превышать 30% списка литературы, доля ссылок на публикации в журналах из ядра РИНЦ за последние 8 лет должна составлять не менее 50% списка литературы. Ссылки на учебники, учебные пособия, авторефераты диссертаций не принимаются. Также не принимаются ссылки на материалы конференций старше 2 лет. Число источников в «сериальных» ссылках должно быть не более трех.

Все источники должны иметь ссылку в тексте статьи.

9. «Сведения об авторах» Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, указать кафедру или отдел, адрес для связи, e-mail и полное наименование организации.

Пропускается одна строка.

10. На английском языке печатается по центру печатается название статьи.

Так же на английском языке слева печатается реферат, затем ключевые слова.

11. Приводится библиографический список на латинице (путем транслитерации) под заголовком References. (Переводить только названия статей, остальное – в латинской транслитерации)

12. «Authors:» – информация на английском языке.

Иллюстрации к статье (при наличии) в формате JPEG, PNG, TIF должны быть четко выполненными, хорошего качества, наглядно иллюстрирующими текст. В тексте статьи обязательно должны быть ссылки на представленные рисунки. Нумерация рисунков производится в порядке ссылок по тексту. Нумерационный заголовок набирается выравниванием по центру. Тематический заголовок в той же строке, сразу после нумерационного (например: Рис. 1 –. Ссылка на рисунок в основном тексте оформляется в скобках: (рис. 1), если а тексте только один рисунок, то не нумеруется.

Таблицы представляются в редакторе WORD. Нумерация таблиц производится в порядке ссылок по тексту. В тексте статьи обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные таблицы. Нумерационный заголовок набирается с выравниванием по центру (например: Таблица 1. …). Ссылка на таблицу в основном тексте оформляется в скобках, например: (табл. 1), если в тексте только одна таблица, то не нумеруется.

Простые **формулы**, не содержащие специальных символов (отсутствующих на клавиатуре), должны быть набраны символами с клавиатуры без использования специальных редакторов. Формулы, содержащие специальные символы (отсутствующие на клавиатуре), а также сложные и многострочные формулы должны быть целиком набраны в редакторе формул Microsoft Equation 2.0, 3.0 или MathType equation. Не допускается набор части формулы символами, а части – в редакторе формул. Не рекомендуется вставлять в текст формулы в виде рисунков. Ссылка на формулы в основном тексте оформляется в скобках, например: (1). В тексте обязательно должны быть указаны ссылки на все представленные формулы. Если в тексте статьи формулы нумеруются, то эту нумерацию следует выполнить ручным набором чисел. Автоматическая нумерация не допускается.

Авторы предоставляют в редакцию (одновременно):

– электронная версия статьи (по электронной почте: vestnik@kazgau.com) (шаблон ниже). Файл со статьей следует называть по фамилии первого автора (Иванов И.И. – Определение силы);

– сведения об авторах (в электронном виде): Ф.И.О. (полностью), ученая степень, учёное звание, должность, указать кафедру или отдел, адрес для связи, телефон, e-mail и полное наименование организации, эти же сведения на английском языке.

Звездочкой отмечается фамилия автора, с которым необходимо вести переписку;

– сопроводительное письмо на имя главного редактора журнала на бланке направляющей организации с заключением об актуальности работы и рекомендациями к опубликованию, с подписью руководителя учреждения.

– аспиранты предоставляют справку подтверждающую место учебы.

Поступившие и принятые к публикации статьи не возвращаются.

При условии выполнения формальных требований к материалам на публикацию, предоставленная автором рукопись статьи рецензируется, согласно установленного порядка рецензирования рукописей, поступающих в редакцию журнала. Решение о целесообразности публикации после рецензирования принимается главным редактором (заместителями главного редактора), а при необходимости – редколлегией в целом.

Редакция оставляет за собой право не регистрировать статьи, не отвечающие настоящим требованиям, а также право на воспроизведение материалов (опубликование, тиражирование) без ограничения тиража. Рукописи статей подвергаются редакционной обработке. Редакция оставляет за собой право вносить изменения, имеющие редакционный характер и не затрагивающие содержания статьи. Все статьи проходят институт рецензирования (экспертной оценки), по результатам которого редакционная коллегия принимает окончательное решение о целесообразности опубликования. За содержание статей юридическую и иную ответственность несут авторы. Статьи, направленные в редакцию без выполнения основных требований к публикуемым статьям, не рассматриваются. В случае отклонения статьи редакция направляет автору мотивированный отказ.

Публикация статей в журнале платная, авторы статьи оплачивают по стандартной тарификации.

Статьи отправлять на электронный адрес: vestnik@kazgau.com

For Authors

Articles submitted for publication must contain the results of scientific research in the field of economics of the agro-industrial complex, mechanization and technical service, agronomy. Articles are selected for the criterion of relevance and novelty of the scientific problems under consideration.

It is supposed to check the material provided by the authors in the "Antiplagiat" system. The recommended length of an article, including annexes, should be at least 9 and no more than 14 pages. Articles should be formatted on A4 sheets, font - Times New Roman, size - 14 pt, line spacing - 1.0. Margins (usual) above and below - 2 cm, on the left - 3 cm on the right - 1.5 cm, paragraph (indentation) - 0.5 cm (do not use spaces), format - book.

If the article was or will be sent to another publication, it is necessary to notify the editorial office about it.

Article design.

1. In the upper left corner, without a paragraph, the UDC of the article is printed (check the correctness of the selected UDC on the website of the All-Russian Institute of Scientific and Technical Information - VINiTI).

2. Below, in the center of the line, the title of the article (the title of the article should reflect the main idea of the research, be as short as possible) in bold capital letters.

3. Then, in bold lowercase letters, the initials and surname of the author (s). One line is skipped.

4. After that, through a gap - the abstract of the article (the recommended volume is 200–250 words) reflects the topic of the article, value, novelty, main provisions and conclusions of research using digital data. It is forbidden to break the abstract into paragraphs, the use of introductory words and phrases. The abstract can be published independently and, therefore, should be understandable without referring to the text of the article. According to the abstract of the publication, the reader should be able to determine whether it is worth referring to the full text of the article to obtain more detailed information of interest to him.

5. From a new paragraph - keywords (no more than 9 words).

On the left, “Keywords:” is printed in lowercase letters (without quotes) and keywords or phrases are separated by commas. One line is skipped.

6. When writing a scientific article, it is necessary to adhere to the following structure of presentation: "Introduction", "Conditions, materials and methods", "Results and discussion", "Conclusions".

7. If your article was prepared during the implementation of the grant and there is a need to register this source, add the section "Information about the source of funding" after the conclusions. For example - Information about the source of funding: The work was carried out according to the state order of R&D

No. 0477–2019–0005 with the financial support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation.

In the "Introduction" section, a statement of the problem is proposed, the purpose of the work should be formulated and substantiated, and, if necessary, its connection with important scientific and practical areas should be considered, and a theoretical basis for the study is given. There should be links to publications of recent years, in this area, including foreign authors.

In the next section, the features of this research are revealed, conditions, materials and research methods are given. The place of research is specified to the area (edge). The time, place, methodology and conditions of the experiments should be reflected.

The main section of the article is devoted to the presentation, analysis and discussion of the results. The results obtained should be highlighted from the point of view of their scientific novelty and compared with the corresponding known data.

Finally, conclusions and recommendations are presented.

Subheadings and headings are capitalized in bold type. The numbering of references to the bibliographic list in the text is arranged in the order in which the sources are mentioned. Literature references in the text are given in square brackets, for example: [1].

8. After the main text of the article, one line is skipped and the title "Literature" is printed in the center (without quotes). A numbered list of sources in the order of links in the text is placed in one line. The list of literature (at least ten sources, including at least three foreign) is drawn up in accordance with GOST R 7.0.5-2008 and the requirements of the journal, carefully checked by the authors and given at the end of the article. References are numbered in the list in accordance with the order in which they appear in the text. Only one source of information should be indicated in one item on the list. Abuse of self-citation is not allowed. The share of references to the authors' own publications should be no more than 25% of the list of references. Citation of the works of any one author who is not part of the author's collective of the manuscript should also not exceed 25%. It is recommended to refer to no more than 2 publications of each of the authors. The share of references to sources older than 10 years should not exceed 30% of the list of references, the share of references to publications in journals from the RSCI core over the past 8 years should be at least 50% of the list of references. Links to textbooks, teaching aids, dissertation abstracts are not accepted. Also, links to materials are not accepted. conferences over 2 years old. The number of sources in "serial" links should be no more than three.

All sources must have a link in the text of the article.

9. "Information about the authors" (in full), academic degree, academic title, position, indicate the department or department, contact address, e-mail and full name of the organization

One line is skipped.

10. In English, the title of the article is printed in the center.

The abstract is also printed in English on the left, then the keywords.

11. There is a bibliographic list in Latin (by transliteration) under the heading References. (Translate only the titles of articles, the rest - in Latin transliteration)

12. "Authors:" - information in English.

Illustrations for the article (if any) in JPEG, PNG, TIF format must be clearly executed, of good quality, clearly illustrating the text. The text of the article must contain links to the presented figures. Figures are numbered in the order of references in the text. The numbered heading is set by center alignment. Thematic heading in the same line, immediately after the numbering (for example: Fig. 1 -. The link to the figure in the main text is made out in brackets: (Fig. 1), if there is only one figure in the text, then it is not numbered.

Tables are presented in a WORD editor. Tables are numbered in the order of links in the text. The text of the article must contain references to all the tables presented. The numbered heading is set with center alignment (for example: Table 1.…). The link to the table in the main text is made in brackets, for example: (Table 1), if there is only one table in the text, then it is not numbered.

Simple formulas that do not contain special characters (absent on the keyboard) must be typed in characters from the keyboard without using special editors. Formulas containing special characters (absent on the keyboard), as well as complex and multi-line formulas must be typed entirely in the Microsoft Equation 2.0, 3.0 or Math-Type equation editor. It is not allowed to type a part of a formula with symbols, and a part in the formula editor. It is not recommended to insert formulas in the form of pictures into the text. References to formulas in the main text are made in brackets, for example: (1). The text must contain references to all presented formulas. If formulas are numbered in the text of the article, then this numbering should be performed by manually dialing numbers. Automatic numbering is not allowed.

The authors submit to the editor (at the same time):

- an electronic version of the article (by e-mail: vestnik@kazgau.com) (template below). The file with the article should be named by the name of the first author (Ivanov I.I. - Determination of force);
- information about the authors (in electronic form): full name (in full), academic degree, academic rank, position, indicate the department or department, contact address, telephone, e-mail and full name of the organization, the same information in English.

The asterisk marks the surname of the author with whom it is necessary to carry out the census

- a cover letter addressed to the editor-in-chief of the journal on the letterhead of the sending organization with a conclusion on the relevance of the work and recommendations for publication, signed by the head of the institution.
- graduate students provide a certificate confirming the place of study.

Articles received and accepted for publication will not be returned.

Subject to the fulfillment of the formal requirements for the materials for publication, the manuscript of the article provided by the author is reviewed in accordance with the established procedure for reviewing manuscripts submitted to the editorial office of the journal. The decision on the expediency of publication after reviewing is made by the editor-in-chief (deputy editor-in-chief), and, if necessary, by the editorial board as a whole.

The editors reserve the right not to register articles that do not meet these requirements, as well as the right to reproduce materials (publication, duplication) without limiting the circulation. Manuscripts of articles are subject to editorial processing. The editors reserve the right to make changes that are editorial in nature and do not affect the content of the article. All articles go through the institute of peer review (peer review), as a result of which the editorial board makes the final decision on the appropriateness of the publication. The authors are legally and otherwise responsible for the content of the articles. Articles sent to the editorial office without fulfilling the basic requirements for published articles are not considered. In case of rejection of the article, the editorial board sends a reasoned refusal to the author.

The publication of articles in the journal for a charge, the authors of the article pay according to the standard tariffication.

Articles should be sent to the email address: vestnik@kazgau.com

Ежеквартальный научный журнал

Вестник Казанского ГАУ

№ 3 (79), ноябрь 2025 г.

Редактор – Михайлова Л.В.
Технический редактор – Шумков Т.А.
Коррекция переводов – Галлямова Н.Р.
Корректор – Барсукова Р.С.

ISSN 2073-0462

Формат 60x84/8. Тираж 500. Дата выхода в свет: 28.11.2025
Печать офсетная. Усл. п. л. 20 Заказ 31. Цена свободная.
Издательство Казанского ГАУ / 420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Лицензия на издательскую деятельность код 221 ИД № 06342 от 28.11.2001.
Отпечатано в типографии Казанского ГАУ.
420015 г. Казань, ул. К. Маркса, д. 65.
Казанский государственный аграрный университет