

ISSN 1999-6837 (Print)
ISSN 2077-9089 (Online)

**ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ
ВЕСТНИК**

**FAR EASTERN AGRICULTURAL
JOURNAL**

**Том 18
Номер 4
2024**

- *Общее земледелие и растениеводство*
- *Селекция, семеноводство и биотехнология растений*
- *Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений*
- *Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология*
- *Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства*
- *Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса*
- *Пищевые системы*

Тихончук П. В., председатель редакционного совета, главный редактор, д-р с.-х. наук, профессор, ректор ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск
Селихова О. А., заместитель главного редактора, канд. с.-х. наук, доцент, проректор по научной работе ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск
Овчинникова О. Ф., ответственный секретарь, ст. преподаватель кафедры экономики АПК ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск

Редакционный совет:

Асеева Т. А., д-р с.-х. наук, чл.-корр. РАН, директор ФГБНУ ДВ НИИСХ, с. Восточное, Хабаровский край;
Белко А. А., канд. вет. наук, доцент, проректор по научной работе УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», Республика Беларусь;
Владимиров Л. Н., д-р биол. наук, профессор, чл.-корр. РАН, Заслуженный деятель науки РФ и Республики Саха (Якутия), Президент Академии наук Республики Саха (Якутия), г. Якутск;
Друзьянова В. П., д-р техн. наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова, г. Якутск;
Емельянов А. Н., канд. с.-х. наук, ст. науч. сотр., директор ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск;
Клюквин А. Г., д-р биол. наук, профессор, академик РАН, зав. отделом селекции и биотехнологии с.-х. культур, ФГБНУ «ФНЦ агробиотехнологий Дальнего Востока им. А. К. Чайки», г. Уссурийск;
Колбин А. Э., канд. с.-х. наук, доцент, ректор ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ, г. Уссурийск
Ли Хунцэн, д-р с.-х. наук, ст. науч. сотр., Хейлунцзянская академия сельскохозяйственных наук, Китайская Народная Республика;
Остякова М. Е., д-р биол. наук, доцент, директор ФГБНУ ДальЗНИВИ, г. Благовещенск;
Синеговская В. Т., д-р с.-х. наук, профессор, академик РАН, Заслуженный деятель науки РФ, главный научный сотрудник лаборатории физиологии растений ФГБНУ ФНЦ ВНИИ сои, г. Благовещенск;
Тихонов С. Л., д-р техн. наук, профессор кафедры пищевой инженерии аграрного производства ФГБОУ ВО «Уральский государственный аграрный университет», г. Екатеринбург;
Хамзаева И. С., д-р техн. наук, профессор кафедры технологии продуктов животного происхождения ФГБОУ ВО «Восточно-Сибирский государственный университет технологий и управления», г. Улан-Удэ;
Хан Тианфу, д-р наук (PhD), профессор, Китайская академия сельскохозяйственных наук, Институт растениеводства, Китайская Народная Республика;
Чабаев М. Г., д-р с.-х. наук, профессор, главный научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область

Редакционная коллегия:

Громов И. Н., д-р вет. наук, профессор, заведующий кафедрой патологической анатомии и гистологии, УО «Витебская ордена «Знак Почета» государственная академия ветеринарной медицины», Республика Беларусь;
Захарова Е. Б., д-р с.-х. наук, доцент кафедры общего земледелия и растениеводства ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск;
Ключникова Н. Ф., д-р с.-х. наук, заместитель директора по научной работе ФГБНУ ДВ НИИСХ, с. Восточное, Хабаровский край;
Кухаренко Н. С., д-р вет. наук, профессор кафедры патологии, морфологии и физиологии ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск;
Миллер Т. В., канд. биол. наук, доцент кафедры патологии, морфологии и физиологии ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск;
Овчинников А. А., д-р с.-х. наук, профессор, зав. кафедрой кафедры кормления, гигиены животных, технологии производства и переработки сельскохозяйственной продукции ФГАОУ ВО «ЮУрГУ (НИУ)», г. Челябинск;
Решетник Е. И., д-р техн. наук, профессор, зав. кафедрой технологии переработки сельскохозяйственной продукции ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск;
Темираев Р. Б. – д-р с.-х. наук, профессор, заведующий кафедрой биологии ФГБОУ ВО Горский государственный аграрный университет, г. Владикавказ;
Труш Н. В., д-р биол. наук, доцент, профессор кафедры биологии и охотоведения ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск;
Туаева Е. В., д-р с.-х. наук, ведущий научный сотрудник отдела кормления сельскохозяйственных животных Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л. К. Эрнста», пос. Дубровицы, Московская область;
Шарвадзе Р. Л., д-р с.-х. наук, профессор, декан факультета ветеринарной медицины, зоотехнии и биотехнологий ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск;
Шишлов С. А., д-р техн. наук, профессор, ФГБОУ ВО Приморский ГАТУ, г. Уссурийск;
Щитов С. В., д-р техн. наук, профессор кафедры транспортно-энергетических средств и механизации АПК ФГБОУ ВО Дальневосточный ГАУ, г. Благовещенск

Учредитель и издатель –
Федеральное государственное
бюджетное
образовательное учреждение
высшего образования
«Дальневосточный
государственный
аграрный университет»
(ФГБОУ ВО
Дальневосточный ГАУ)

Адрес учредителя и издателя –
675005, Амурская обл.,
г. Благовещенск,
ул. Политехническая, 86

Зарегистрирован Федеральной
службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий
и массовых коммуникаций
(Роскомнадзор)
Запись о регистрации
ПИ № ФС 77-78057
27.03.2020

Подписной индекс
в Объединенном каталоге
«ПРЕССА РОССИИ»
94054 (полугодовая);
Онлайн подписка:
[https://www.pressa-ru/cat/1/
edition/194054/](https://www.pressa-ru/cat/1/edition/194054/)

Журнал представлен в системе
Российского индекса научного
цитирования (РИНЦ)

Распоряжением Высшей
аттестационной комиссии (ВАК)
при Министерстве образования
и науки Российской Федерации
от 1 декабря 2015 года журнал
включен в Перечень
рецензируемых научных изданий,
в которых должны быть
опубликованы основные
результаты диссертаций на
соискание ученой степени
кандидата наук, на соискание
ученой степени доктора наук
(письмо ВАК №13-6518
от 01.12.2015 г.)
**(в Перечне ВАК под № 1113
по состоянию на 30.10.2024)**

Адрес редакции:
675005, Амурская область,
г. Благовещенск,
ул. Политехническая, д. 86,
уч. корп. 1, каб. 301
Тел. (4162) 995147
Тел./факс (4162) 995127
www.vestnik.dalgau.ru
e-mail: DVagrovestnik@dalgau.ru

<p style="text-align: center;">Ministry of Agriculture of the Russian Federation Far Eastern State Agrarian University FAR EASTERN AGRICULTURAL JOURNAL Scientific and Practical Journal Issued since 2007. Issued quarterly</p>	<p style="text-align: center;">Vol. 18. No. 4 October – December 2024</p>
<p>P. V. Tikhonchuk, Chairman of Drafting Committee, Editor-in-Chief, Dr. Agr. Sci., Professor, Rector of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk O. A. Selikhova, Deputy Editor-in-Chief, Cand. Agr. Sci., Associate Professor, Vice-rector for Scientific Work of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk O. F. Ovchinnikova, Executive Secretary, Senior Teacher of the Department of Agro-Industrial Complex Economics, Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk Editorial Council: T. A. Aseeva, Dr. Agr. Sci., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director of the Far Eastern Research Institute of Agriculture, Vostochnoye, Khabarovsk krai; A. A. Belko, Cand. Veterinar. Sci., Associate Professor, Vice-Rector for Scientific Work, Educational Establishment "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine of the Order of "The Badge of Honor", Republic of Belarus; L. N. Vladimirov, Dr. Biol. Sci., Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russia and Sakha Republic (Yakutia), President of the Academy of Sciences of the Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk; V. P. Druzyanova, Dr. Tech. Sci., Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, Yakutsk; A. N. Emelyanov, Cand. Agr. Sci., Senior Researcher, Director of the Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A. K. Chaika, Ussuriysk; A. G. Klykov, Dr. Biol. Sci., Professor, Academician of Russian Academy of Sciences, Head of the Department of Selection and Biotechnology of Agricultural Crops, Federal Scientific Center of Agrobiotechnology in the Far East named after A. K. Chaika, Ussuriysk; A. E. Komin, Cand. Agr. Sci., Assistant Professor, Rector of the Primorsky State Agrarian and Technological University, Ussuriysk; Li Hongpeng, Dr. Agr. Sci., Senior Researcher, Heilongjiang Academy of Agricultural Sciences, China; M. E. Ostyakova, Dr. Biol. Sci., Associate Professor, Director of the Far Eastern Areal Research Veterinary Institute, Blagoveshchensk; V. T. Sinegovskaya, Dr. Agr. Sci., Professor, Academician of the Russian Academy of Sciences, Honoured Scientist of Russia, Chief Researcher of the Plant Physiology Laboratory of the All-Russian Research Institute of Soy, Blagoveshchensk; S. L. Tikhonov, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Food Engineering of Agricultural Production, Ural State Agrarian University, Yekaterinburg; I. S. Khamagaeva, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Technology of Animal Products of the East Siberia State University of Technology and Management, Ulan-Ude; Tianfu Han, PhD, Professor, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Institute of Crop Science, China; M. G. Chabaev – Dr. Agr. Sci., Professor, Chief Researcher of the Department of Farm Animal Feeding of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region Editorial Board: I. N. Gromov, Dr. Veterinar. Sci., Professor, Head of the Department of Pathological Anatomy and Histology, Educational Establishment "Vitebsk State Academy of Veterinary Medicine of the Order of "The Badge of Honor", Republic of Belarus; E. B. Zakharova, Dr. Agr. Sci., Associate Professor of the Department of General Agriculture and Plant Growing of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk; N. F. Klyuchnikova, Dr. Agr. Sci., Deputy Director of Research of the Far Eastern Research Institute of Agriculture, Vostochnoye, Khabarovsk krai; N. S. Kukhareenko, Dr. Veterinar. Sci., Professor of the Department of Pathology, Morphology and Physiology of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk; T. V. Miller, Cand. Biol. Sci., Associate Professor of the Department of Pathology, Morphology and Physiology of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk; A. A. Ovchinnikov, Dr. Agr. Sci., Professor, Head of the Department of Feeding, Animal Hygiene, Technology of Production and Processing of Agricultural Products of the South Ural State Agrarian University, Chelyabinsk; E. I. Reshetnik, Dr. Tech. Sci., Professor, Head of the Department of Agricultural Processing Technology of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk; R. B. Temiraev, Dr. Agr. Sci., Professor, Head of the Department of Biology of the Gorsky State Agrarian University, Vladikavkaz; N. V. Trush, Dr. Biol. Sci., Associate Professor, Professor of the Department of Biology and Hunting of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk; E. V. Tuaeua, Dr. Agr. Sci., Leading Researcher of the Department of Feeding Farm Animals of the Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L. K. Ernst, Dubrovitsy, Moscow region; R. L. Sharvadze, Dr. Agr. Sci., Professor, Dean of the Faculty of Veterinary Medicine and Zootechnics of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk; S. A. Shishlov, Dr. Tech. Sci., Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, Ussuriysk; S. V. Shchitov, Dr. Tech. Sci., Professor of the Department of Transport-Energy Facilities and Mechanization of Agro-Industrial Complex of the Far Eastern State Agrarian University, Blagoveshchensk</p>	<p>Founder and Publisher – Far Eastern State Agrarian University</p> <p>Founder and Publisher Address: 675005, g. Blagoveshchensk, Amur Region, street Polytechnik, 86.</p> <p>Registered by Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology, and Mass Media (Roskommadzor) Registration record ПН № ФЧ 77-78057 dated March 27, 2020</p> <p>Subscription Indices in the Catalogue "PRESS OF RUSSIA" 94054 (semi-annual); Online subscription: https://www.pressa-rf.ru/cat/1/edition/i94054/</p> <p>The Journal is presented in the system of Russian Science Citation Index (RSCI) and on the platform of Scientific Electronic Library www.elibrary.ru</p> <p>By order of the Higher Attestation Commission (HAC) of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation dated December 01, 2015: The Journal has been included in the List of Reviewed Scientific Editions, which shall publish the main findings of theses: Ph.D. thesis; doctoral thesis (HAC's Letter No. 13-6518 from 01.12.2015) (In the HAC List No. 1113 for October 30, 2024)</p> <p>Editorial office address: 86, Politekhnikeskaya Str., Bldg. 1, Rm. 301 Blagoveshchensk, Amur Region, 675005 Tel. (4162) 995147 Tel./fax (4162) 995127 www.vestnik.dalgau.ru e-mail: DVagrovestnik@dalgau.ru</p>
<p style="text-align: center;">Format 60×90/8. Edition 600 copies. Order 124. Signing date 10.12.2024. Publication date 23.12.2024. Free price. Far Eastern State Agrarian University: 86, Politekhnikeskaya str., Blagoveshchensk, Amur Region, 675005 Printing house address: 86, Politekhnikeskaya str., Bldg. 1, Aud. 117, Blagoveshchensk, Amur Region, 675005</p>	
<p>ISSN 1999-6837 (Print), 2077-9089 (Online)</p>	<p style="text-align: right;">© Far Eastern State Agrarian University, 2024</p>

СОДЕРЖАНИЕ

АГРОНОМИЯ.....	5
<i>Вознюк В. П., Ким И. В., Клыков А. Г.</i> Создание новых сортов картофеля с комплексом положительных признаков в условиях Приморского края.....	5
<i>Кибальник О. П.</i> Использование стерильной цитоплазмы А2 в селекции гибридов F1 сахарного сорго.....	16
<i>Панова Л. П.</i> Химические показатели безопасности овощной продукции.....	29
<i>Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Звоникова Ю. Н.</i> Оценка перспективных линий льна-долгунца по основным селекционно-значимым признакам, пластичности и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России.....	36
АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ.....	51
<i>Бондаренко А. М., Иващенко С. Г.</i> Обоснование технологической схемы установки для обеззараживания жидкого навоза.....	51
<i>Докин Б. Д., Алетдинова А. А.</i> Методы оптимизации продолжительности посева зерновых культур в условиях Сибири.....	60
<i>Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Дринча В. М., Друзьянова В. П., Кондакова Н. И.</i> Концептуальные вопросы сохранения качества зерна при послеуборочной обработке и хранении.....	68
<i>Елисеева Л. И., Гоголева П. А., Степанов К. М., Готовцева З. И., Иванова В. В.</i> Разработка технологии рыбного паштета из ряпушки сибирской с голубикой.....	80
<i>Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А.</i> Определение мощности двигателя внутреннего сгорания с топливной системой Common Rail при работе в режиме свободного разгона.....	92
<i>Садов В. В., Сорокин С. А.</i> Системный подход в обосновании оптимальной загрузки молотковой дробилки в технологической линии приготовления комбикормов.....	104
<i>Тихонов С. Л., Тихонова Н. В.</i> Исследование белковых фракций вторичного продовольственного сырья.....	113
<i>Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Тимофеева М. С., Шихалев С. В.</i> Биологически активный гипохолестеринемический пищевой пептид: показатели медицинской химии, биодоступности, распределения и метаболизма.....	120
<i>Шишилов С. А., Шишилов А. Н., Шишилов Д. С.</i> Теоретические предпосылки к определению сопротивления почвы воздействию деформатора.....	130
ТРЕБОВАНИЯ К СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В ЖУРНАЛЕ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК».....	136

CONTENTS

AGRONOMY	5
<i>Voznyuk V. P., Kim I. V., Klykov A. G.</i> Creating new potato varieties with a complex of positive traits under the conditions of Primorsky krai.....	5
<i>Kibalnik O. P.</i> The use of sterile A2 cytoplasm in breeding of hybrids F1 of sugar sorghum.....	16
<i>Panova L. P.</i> Chemical safety indicators of vegetable products.....	29
<i>Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Zvonikova Yu. N.</i> Evaluation of promising long-stalked flax lineages according to the main selective significant traits, plasticity and adaptability in the conditions of the North-West region of Russia.....	36
AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES	51
<i>Bondarenko A. M., Ivashchenko S. G.</i> Substantiation of the technological scheme of the installation for disinfection of liquid manure	51
<i>Dokin B. D., Aletdinova A. A.</i> Methods for optimizing the duration of grain crop sowing in Siberia	60
<i>Dondokov Yu. Zh., Ammosov I. N., Drincha V. M., Druzyanova V. P., Kondakova N. I.</i> Conceptual issues of preserving grain quality during postharvest treatment and storage	68
<i>Eliseeva L. I., Gogoleva P. A., Stepanov K. M., Gotovtseva Z. I., Ivanova V. V.</i> Technology design of fish pate made from the East Siberian vendace with blueberries.....	80
<i>Kurnosov A. F., Guskov Yu. A.</i> Calculating the power of an internal combustion engine with a Common Rail fuel system when operating in free acceleration mode	92
<i>Sadov V. V., Sorokin S. A.</i> A systematic approach to substantiate the optimal loading of a shredder in a feed production line.....	104
<i>Tikhonov S. L., Tikhonova N. V.</i> Study of protein fractions of secondary food raw materials... ..	113
<i>Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Timofeeva M. S., Shikhalev S. V.</i> Biologically active hypocholesterolenic food peptide: indicators of medicinal chemistry, bioavailability, distribution and metabolism.....	120
<i>Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shishlov D. S.</i> Theoretical prerequisites for calculating soil resistance to the action of a deformer	130
THE REQUIREMENTS APPLIED TO THE ARTICLES BEING PUBLISHED IN THE FAR EASTERN AGRARIAN HERALD	136

АГРОНОМИЯ

AGRONOMY

Научная статья

УДК 635.21:631.527(571.63)

EDN NQAЕKY

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-5-15>**Создание новых сортов картофеля
с комплексом положительных признаков в условиях Приморского края****Валентина Петровна Вознюк¹, Ирина Вячеславовна Ким²,
Алексей Григорьевич Клыков³**^{1,2,3} Федеральное научное центр агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки
Приморский край, Тимирязевский, Россия¹ voznyuk.57@list.ru, ² kimira-80@mail.ru

Аннотация. В статье изложены итоги селекционных исследований по созданию перспективных сортов картофеля Орион, Посейдон, Аскольд и Лотос. Цель исследований – оценить гибриды картофеля по основным хозяйственно ценным признакам и создать новые перспективные сорта. За период 2020–2023 гг. физиологическая спелость сортообразцов отмечена через 106–116 дней, что характерно для генотипов среднепоздней группы спелости. Однако по способности накопления и скорости прироста клубневой массы полученные сорта отнесены к среднеранним и среднеспелым срокам спелости, так как формирование продуктивности зафиксировано в пределах 400,0–600,0 г/куст. При дегустационной оценке полученные сорта выделились хорошими и отличными вкусовыми качествами (7,0–8,3 балла), наряду с этим у каждого сорта определился индивидуальный кулинарный тип. Так, сорт Орион отнесен к типу С, Посейдон – к типу В, Аскольд и Лотос имеют промежуточный тип (ВС и СД соответственно). Наиболее крахмалистыми сортами являются Орион (16,61 %) и Лотос (18,30 %). Данные генотипы также выделяются по содержанию витамина С (21,41 и 25,50 мг/100 г соответственно). Новые сорта отличились высокой стабильной урожайностью (43,4–51,0 т/га) и устойчивостью к грибным заболеваниям (5,0 баллов). Генотипы имеют привлекательный внешний вид клубней. Они обладают устойчивостью к возбудителю рака (*S. endobioticum*, Далемский патотип). С 2022 г. сорта Посейдон и Орион находятся на государственном сортоиспытании. В 2023 г. по сортам Аскольд и Лотос поданы заявки на выдачу патента и допуск к использованию в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений.

Ключевые слова: картофель, селекция, сорт, урожайность, биохимический состав, вкусовые качества, скороспелость

Для цитирования: Вознюк В. П., Ким И. В., Клыков А. Г. Создание новых сортов картофеля с комплексом положительных признаков в условиях Приморского края // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 5–15. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-5-15>.

Original article

**Creating new potato varieties
with a complex of positive traits under the conditions of Primorsky krai****Valentina P. Voznyuk¹, Irina V. Kim², Aleksei G. Klykov³**^{1,2,3} Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East

named after A. K. Chaika, Primorsky krai, Timiryazevsky, Russian Federation

¹ voznyuk.57@list.ru, ² kimira-80@mail.ru

Abstract. The paper presents the results of a study on the breeding of new promising potato varieties Orion, Poseidon, Askold and Lotos. The studied potato specimens were observed to reach their physiological maturity on the 106th–116th day in 2020–2023. This is characteristic of potato genotypes from the group of medium-late maturity. However, the obtained varieties could be classified as medium-early and mid-season ones based on their capability for gaining tuber weight and the rate of tuber mass growth because the increase in productivity was estimated to be within 400.0–600.0 g/bush. The obtained varieties were characterized by good and excellent taste according to the taste assessment (7.0–8.3 points). Additionally, the individual culinary type of each variety was determined: type C for variety Orion, type B for variety Poseidon, and varieties Askold and Lotos belonged to intermediate types (BC and CD, respectively). Varieties Orion (16.61%) and Lotos (18.30%) were found to have the highest starch content. These genotypes had a high content of vitamin C as well (21.41 and 25.50 mg/10g, respectively). The new varieties showed a high stable yield of 43.4–51.0 t/ha and resistance to fungal diseases (5.0 points). The genotypes were characterized by marketability of tubers and resistance to potato wart disease (*S. endobioticum*, Dalem pathotype). Varieties Poseidon and Orion were submitted for the State variety testing in 2022. In the case of varieties Askold and Lotos, applications for the issue of a patent and an admission to use were submitted to State Commission of the Russian Federation for Selection Achievements Test and Protection in 2023.

Keywords: potato, breeding, variety, yield, biochemical composition, taste, early maturity

For citation: Voznyuk V. P., Kim I. V., Klykov A. G. Creating new potato varieties with a complex of positive traits under the conditions of Primorsky krai. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:5–15. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-5-15>.

Введение. Важнейшей и широко используемой сельскохозяйственной культурой на территории России выступает картофель. Основным направлением его селекции в настоящее время является создание высокоурожайных сортов с широкой адаптивностью к условиям возделывания [1].

Принято считать, что по важности среди пищевых растений в мире картофель занимает четвертое место после пшеницы, риса и кукурузы. Вместе с тем, в мировой литературе данные относительно содержания в нем основных питательных веществ существенно варьируют. Это обусловлено тем, что биохимический состав клубней зависит от многих факторов: сорта, почвенных и погодных условий, удобрений, технологии выращивания, степени вызревания, условий хранения и др. Сроки проведения анализов (осень или весна) также существенно влияют на полученные результаты [2].

Сорт играет важнейшую роль в производстве картофеля и картофелепродуктов. Доля сорта в увеличении сбора продукции составляет 30–50 %. Правильно подобранный сортимент позволяет уве-

личить не только урожай, но и улучшить качество продукции, растянуть сроки ее поступления, повысить выход готового продукта [3].

При создании новых сортов картофеля, отвечающих требованиям потребителей, выделение исходного селекционного материала основывается на усиленном изучении генетической основы в конкретных почвенно-климатических условиях и в заданном направлении селекции [4].

Стратегия селекции должна учитывать достигнутый уровень урожайности и его возможности. Производству необходимы сорта как с широкой приспособленностью к почвенным, агротехническим, погодным условиям, так и с необходимой адаптивностью к местным условиям, высокой отзывчивостью на повышенный агрофон, устойчивостью к болезням [5].

Климатические условия территории устанавливают требования к сортам картофеля. Это, прежде всего способность к формированию повышенного урожая товарных клубней в сочетании с их высокими показателями. Создаваемые сорта картофеля должны обладать высокой устойчивостью к основным вредоносным

болезням, вредителям и противостоять в целом отрицательным воздействиям факторов внешней среды [6].

Цель исследований – оценить гибриды картофеля по основным хозяйственно ценным признакам и создать новые перспективные сорта.

Объекты, условия и методика исследований. Испытания гибридов картофеля проводились в 2020–2023 гг. на полях селекции и семеноводства Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки (с. Пуцилловка, Уссурийский район Приморского края). При этом за основу приняты методики Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха [7] и Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (ВИР) [8].

Объектом исследований являлись гибриды и районированные сорта Юбиляр, Adretta, Santé.

Сортообразцы были высажены в питомнике конкурсного сортоиспытания на 2-рядковых делянках по 100–120 клубней. Схема посадки – 90×30 см. Площадь делянок составляла 27,0–32,4 м².

Почва опытного участка аллювиальная, по механическому составу – средний суглинок с содержанием в пахотном слое: органического вещества – 1,73±0,34 %; подвижного фосфора, обменного калия и легкогидролизуемого азота – 148±30; 146±22 и 42±5 мг/100 г почвы соответственно; рН солевой вытяжки – 4,9±0,1.

Динамику накопления массы клубней картофеля определяли на 60-й, 70-й и 80-й дни после посадки. Определение биохимических качеств клубней (содержание сухого вещества и крахмала) выполняли по методике удельного веса цифровыми весами РW-2050 (Великобритания) [9]. Содержание витамина С устанавливали в лаборатории агрохимических анализов Федерального научного центра агробиотехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки по методике Б. А. Ягодина (1987) [10]. Столовые качества клубней оценивали по методике Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха. Учет урожая выполняли путем взвешивания клубней с делянки [11].

Метеорологические условия за время проведения исследований (2020–2023 гг.) в вегетационный период растений картофеля характеризовались значительными отличиями как в температурном режиме, так и в распределении осадков, что позволило объективно оценить селекционный материал на устойчивость к стрессовым факторам (табл. 1).

В 2020 г. температура воздуха в среднем за вегетационный период (с мая по сентябрь) была на 0,2–1,3 °С выше среднемноголетних значений. Июнь характеризовался сильным переувлажнением (на 112,5 мм превышение осадков по сравнению со среднемноголетними значениями), что усложнило проводить фенологические и морфологические наблюдения. Значительное переувлажнение в августе (сумма осадков 140,1 мм) и сентябре (129,2 мм)

Таблица 1 – Метеорологические условия в вегетационный период растений картофеля в питомниках конкурсного испытания (2020–2023 гг.)

Table 1 – Meteorological conditions during the growing period of potato plants in the nurseries of comparative testing (2020–2023)

Месяц	Температура воздуха, °С					Сумма осадков, мм				
	в среднем за месяц				средне-много-летняя	в среднем за месяц				средне-много-летняя
	2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.	
Апрель	5,6	7,1	7,5	7,1	5,8	43,9	32,2	45,7	77,6	30,0
Май	12,8	13,0	13,0	13,9	12,3	52,1	65,3	57,1	21,8	51,0
Июнь	17,2	17,7	16,9	18,6	16,7	193,5	78,7	87,1	139,4	81,0
Июль	20,8	23,7	21,4	22,5	20,6	75,6	15,9	174,8	116,7	90,0
Август	22,0	22,1	21,6	22,5	21,1	140,1	79,7	111,5	444,0	134,0
Сентябрь	16,4	16,9	16,1	18,1	15,8	129,2	49,2	108,8	2,4	104,0

способствовало сильному подтоплению селекционного поля, которое повлекло снижение урожайности.

В 2021 г. в фазу клубнеобразования (июль, август) наблюдалась высокая температура воздуха по сравнению со среднемноголетними значениями (превышение на 3,6 °С и 1,3 °С соответственно). Сумма осадков отмечалась ниже нормы: в июле на 74,1 мм и августе на 54,3 мм, при сопоставлении со среднемноголетними показателями 90,0 и 134,0 мм.

В 2022 г. наибольшее количество осадков отмечалось в июле (174,8 мм) при среднемноголетних значениях 90,0 мм; температурный режим воздуха составил 21,4 °С, что превысило среднемноголетнее значение на 0,8 °С. В августе растения картофеля развивались при оптимальных погодных условиях, что благоприятно сказалось на накоплении урожайности в целом.

В 2023 г. с июня по сентябрь сумма осадков превышала среднемноголетние значения на 24,7–310,0 мм. Большое количество дождей (тайфун Ханун) выпало в августе (444,0 мм) при среднемноголетней норме 134,0 мм. Температура воздуха в летний период составляла 18,6–22,5 °С, что выше нормы на 1,9 °С. В связи с неблагоприятными метеорологическими условиями произошло сильное подтопление питомников. Это привело к большим потерям селекционного материала и урожайности гибридов и сортов картофеля.

По метеорологическим данным 2020, 2022, 2023 гг. характеризовались обильным выпадением осадков в период клубнеобразования картофеля. Особенно выделился 2023 г., когда в течении трех месяцев (июнь, июль, август) сумма осадков составила 700,1 мм при норме 305 мм. 2021 г. отличался засухой – с июня по август наблюдался дефицит влаги (количество осадков ниже среднемноголетнего на 130,7 мм); температура воздуха зафиксирована на 1,0–3,1 °С выше среднемноголетних значений. Наиболее благоприятными для формирования урожайности образцов оказались 2020 и 2021 гг.

Результаты исследований и их обсуждение. При оценке сортов следует различать хозяйственную и физиологическую скороспелость. Хозяйственная скороспелость определяется по пробным копкам во время вегетации. Обычно пер-

вые пробные копки выполняют в начале клубнеобразования у раннего стандартного сорта, последующие – через определенное число дней до конца вегетации. Физиологическая скороспелость устанавливается по фазам развития растений (появление всходов, начало и продолжительность цветения, отмирание ботвы). По нашим наблюдениям, физиологическая и хозяйственная группы спелости не всегда совпадают [12].

В таблице 2 представлены результаты динамики накопления продуктивности сортообразцов картофеля в питомнике конкурсного сортоиспытания за исследуемый период.

В 2020 г. при первой копке, приходящейся на 60-ый день после посадки, все сортообразцы имели продуктивность выше 500 г/куст, кроме стандарта Santé, где она составила 463,3 г/куст. При анализе контрольных сортов наблюдалось увеличение урожайности от первой до третьей копки. Разница в продуктивности между 60-ым и 80-ым днями составила (г/куст): сорт Юбиляр – 286,5; Adretta – 539,2; Santé – 585,7.

У контрольного сорта Юбиляр и новых сортов Орион и Аскольд на 60-ый день после посадки установлена высокая масса клубней (670,2; 600,8 и 625,2 г/куст соответственно). Сорт Посейдон сформировал массу клубней в пределах 590,9 г/куст. Сорта Орион, Аскольд, Лотос и Посейдон проявили себя как генотипы со способностью раннего накопления продуктивности клубней, несмотря на довольно позднюю физиологическую спелость, составившую от 106 до 116 дней.

В итоге по накоплению массы клубней выделился сорт Аскольд, который при первой копке (на 60-й день после посадки) сформировал 625,2 г/куст и при третьей копке (на 80-й день) – 1 192,4 г/куст.

В 2021 г. у нового сорта Аскольд при первой копке (на 60-ый день после посадки) было зафиксировано высокое накопление массы клубней картофеля, составившее 665,0 г/куст. Продуктивность у сорта Посейдон достигала 585,9; Лотос – 524,2 и Орион – 513,3 г/куст, что находится на уровне стандарта Adretta (541,3 г/куст).

При третьей динамической копке масса клубней на один куст увеличилась у Ориона на 278,4; Посейдона – 362,4; Ас-

Таблица 2 – Динамика накопления продуктивности сортообразцов картофеля (среднее за 2020–2023 гг.)

Table 2 – Dynamics of the productivity increase in potato specimens (the mean over 2020–2023)

Сортообразец	Дни вегетации	Средняя продуктивность, г/куст			
		2020 г.	2021 г.	2022 г.	2023 г.
Юбиляр, st.	60	670,2	456,3	281,3	391,7
	70	929,2	783,8	320,6	414,2
	80	956,7	833,8	647,6	871,7
Adretta, st.	60	547,5	541,3	385,9	525,7
	70	833,3	776,7	618,0	562,5
	80	1 086,7	882,5	746,7	978,4
Santé, st.	60	463,3	470,0	377,1	290,8
	70	690,9	722,2	609,6	397,5
	80	1 049,0	885,9	617,1	649,2
Орион	60	600,8	513,3	368,4	538,8
	70	898,4	745,8	785,9	649,3
	80	1 109,2	791,7	859,2	880,7
Посейдон	60	590,9	585,9	325,0	460,6
	70	953,3	795,0	800,0	595,5
	80	975,0	948,3	845,0	988,1
Аскольд	60	625,2	665,0	409,2	447,5
	70	900,5	937,0	810,0	547,5
	80	1 192,4	1 042,0	825,2	865,9
Лотос	60	502,1	524,2	428,3	445,1
	70	885,8	875,5	773,3	504,2
	80	996,3	870,0	785,0	954,2

кольда – 377,0 и Лотоса – 345,8 г. В этой связи по способности накапливать товарно-значимую продукцию в ранние сроки выделенные сорта можно отнести к среднеранней или среднеспелой группе спелости. В 2021 г. наблюдались дефицит влаги и высокая температура воздуха, но при этом отслеживалось постепенное формирование массы клубней как у стандартов, так и у сортов. При анализе накопления массы клубней при первой и третьей копках выделился сорт Аскольд (соответственно 665,0 и 1 042,0 г/куст).

В вегетационный период 2022 г. первоначальное накопление на 60-ый день после посадки составило у стандартов (г/куст): Юбиляр – 281,3; Adretta – 385,9; Santé – 377,1. Новые сорта также имели пониженную продуктивность (г/куст): Орион – 368,4; Посейдон – 325,0. У сортов картофеля Орион, Посейдон, Аскольд, Ло-

тос на 80-ый день масса клубней составила 785,0–859,2 г/куст.

На 60-й день после посадки наибольшая масса клубней зафиксирована у сорта Лотос (428,3 г/куст), а при последней копке (на 80-й день) по продуктивности массы клубней выделился сорт Орион, у которого она достигала 859,2 г/куст.

В 2023 г. при формировании товарной массы во время первой копки был отмечен контрольный сорт Adretta с продуктивностью 525,7 г/куст и перспективный сорт Орион (538,8 г/куст). Максимальный прирост между 60-ым и 80-ым днем зафиксирован у сорта Лотос (509,2 г).

На 80-ый день динамической копки наибольшая масса накопления клубней картофеля отмечена (г/куст): Посейдон – 988,1; Лотос – 954,9 и контрольный сорт Adretta – 978,4. На раннеспелость сортов

указывает способность формировать достаточную продуктивность уже при первой копке (на 60-ый день после посадки) (в пределах 400–500 г/куст).

В результате проведения первой динамической копки отмечен сорт Орион (538,8 г/куст) (рис. 1). Сорт Посейдон выделился при третьей копке с массой товарных клубней 988,1 г/куст.

По характеру накопления и скорости прироста клубневой массы изучаемые сорта отнесены к среднеранним и среднеспелым срокам спелости, так как они формируют продуктивность в пределах 400,0–600,0 г/куст. Установлено, что на продуктивность и ее составляющие сильное влияние оказали погодные условия.

По метеорологическим данным в годы исследований (2020–2023 гг.), когда наблюдались обильные атмосферные осадки, засуха и повышенная температура воздуха, можно проследить отрицательное воздействие этих факторов на накопление массы клубней картофеля в период вегетации.

Сорта различаются по хозяйственно-биологическим и морфологическим признакам, среди которых наиболее постоянными являются окраска венчика, клубня, глазков и мякоти клубней [3].

За исследуемый период по количеству дней (физиологическая спелость от посадки до отмирания ботвы) сорто-

образцы отнесены к среднепоздней группе спелости (106–116 дней). Новые сорта характеризуются высокой урожайностью (43,4–51,0 т/га) и устойчивостью к грибным заболеваниям (5,0 баллов) (табл. 3).

Наибольшая урожайность (51,0 т/га) и масса товарного клубня (150 г) отмечены у сорта Аскольд. Сорта Орион, Посейдон и Лотос имеют урожайность, составляющую 43,4–45,6 т/га и массу товарных клубней – от 130 до 140 г (рис. 2).

Изученные генотипы различались по морфологическим признакам клубней. Они имеют округло-овальную и овально-удлиненную формы. Сорта Аскольд и Лотос обладают розовым и светло-розовым цветом кожуры с желтой и светло-кремовой мякотью клубней картофеля. Сорта Орион и Посейдон характеризуются желтым цветом кожуры и мякоти.

Содержание крахмала в клубнях является важнейшим показателем качества выращенного урожая [13]. Наиболее крахмалистыми сортами являются Орион (16,61 %) и Лотос (18,30 %). Данные генотипы выделяются также по содержанию витамина С – 21,41 и 25,50 мг/100 г соответственно.

Учитывая изменившиеся требования к повышению качества столового картофеля, используемого для потребления в свежем виде, весьма существенным его приоритетом, по-прежнему, остается вкус

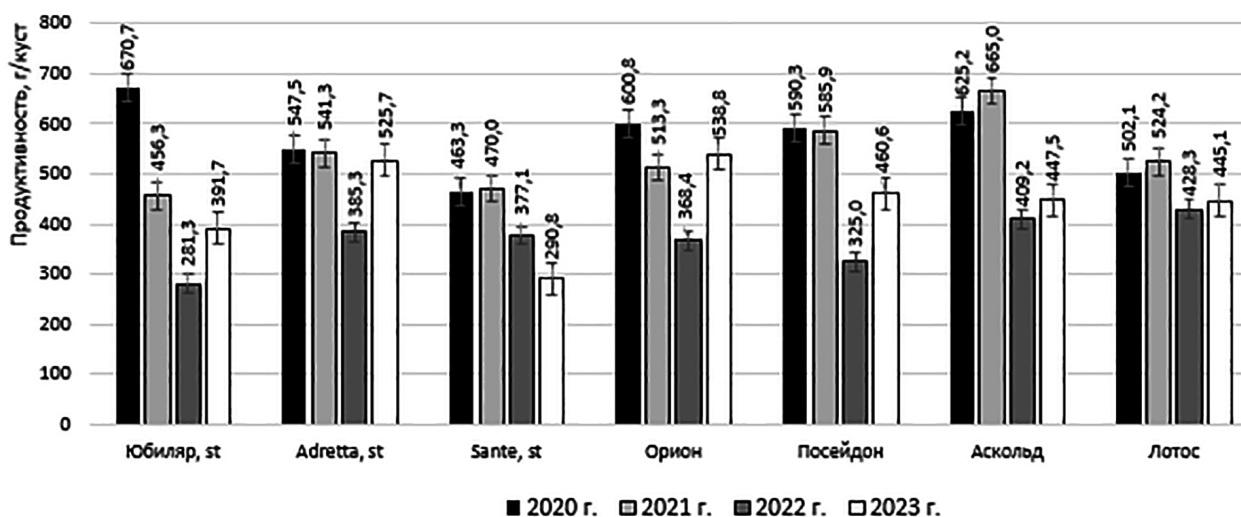


Рисунок 1 – Динамика накопления массы клубней на 60-й день после посадки (2020–2023 гг.)

Figure 1 – Dynamics of potato tuber weight gain on the 60th day after planting (2020–2023)

Таблица 3 – Морфологические и хозяйственные признаки гибридов картофеля (2020–2023 гг.)

Table 3 – Morphological and economically important traits of potato hybrids (2020–2023)

Признаки	Орион	Посейдон	Аскольд	Лотос
Вегетационный период, дней	98–100	110–115	103–125	104–120
Урожайность т/га	43,8	45,6	51,0	43,4
Масса товарного клубня, г	130,0	140,0	150,0	135,0
Форма клубня	овально-удлиненная	округло-овальная	овально-удлиненная	округло-овальная
Глазки, цвет (глубина залегания)	мелкие, желтый	средние, желтый	мелкие, розовый	средние, розовый
Цвет кожуры	желтый	желтый	розовый	светло-розовый
Цвет мякоти	желтый	желтый	желтый	светло-кремовый
Цвет венчика	белый	белый	красно-фиолетовый	красно-фиолетовый
Содержание крахмала, %	16,61	14,63	14,80	18,30
Содержание витамина С, мг/100 г	21,48	18,93	18,10	25,50
Вкус, балл	8,3	7,0	8,2	8,3
Устойчивость к фитофторозу, балл	5,0	5,0	5,0	5,0
Устойчивость к альтернариозу, балл	5,0	5,0	5,0	5,0
Устойчивость к ризоктониозу, балл	1,8	2,9	2,3	2,6
Устойчивость картофеля к возбудителю рака (Далемский патотип)	+	+	+	+
Устойчивость картофеля к золотистой картофельной нематоде (патотип Rol.)	+	+	+	–
Кулинарный тип	С	В	ВС	СД
Примечания: «+» – наличие устойчивости; «–» – отсутствие устойчивости; тип А – салатный картофель; не разваривается, водянистый; тип В – слабо разваривается; мякоть умеренно плотная; тип С – хорошо разваривается; мякоть умеренно мучнистая; тип Д – картофель очень сильно разваривается, очень мучнистый.				

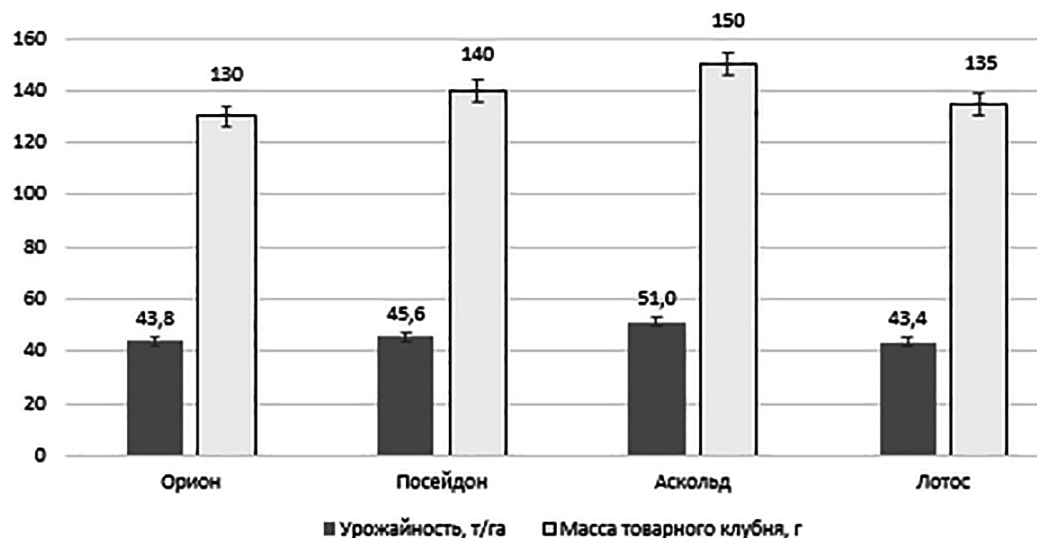


Рисунок 2 – Средняя урожайность и масса товарных клубней перспективных сортообразцов картофеля (2020–2023 гг.)

Figure 2 – Mean yield and weight of marketable tubers of promising potato specimens (2020–2023)

вареных клубней [14]. При дегустационной оценке новые сорта Орион, Посейдон, Аскольд и Лотос характеризовались хорошими и отличными вкусовыми качествами (7,0–8,3 балла). Наряду с этим, у каждого сорта определился свой кулинарный тип: Орион отнесен к типу С; Посейдон – к типу В; Аскольд и Лотос имеют промежуточный тип (ВС и СД соответственно).

По результатам исследований Федерального исследовательского центра картофеля имени А. Г. Лорха (испытания по ракоустойчивости и нематоустойчивости), все изученные генотипы успешно прошли испытание на устойчивость к возбудителю рака (*Sinchytrium endobioticum* Shilb., Далемский патотип). Сорта Орион, Посейдон и Аскольд обладают устойчивостью к золотистой картофельной нематодe (*Globodera rostochiensis* Wollenweber, патотип ROL.).

В настоящее время в Государственном сортоиспытании находятся перспективные сорта Орион и Посейдон. В 2023 г. по сортам Аскольд и Лотос поданы заявки

в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений на выдачу патента и на допуск к использованию.

Заключение. В результате многолетнего селекционного испытания гибридов картофеля, созданы новые перспективные сорта Орион, Посейдон, Аскольд и Лотос с высокой стабильной урожайностью (43,4–51,0 т/га), средним содержанием крахмала (14,63–18,30 %).

Изученные сорта способны формировать раннюю продукцию 400–600 г/куст (на 60-й день после посадки). Они обладают хорошими и отличными потребительскими и вкусовыми качествами. Эти сорта рекомендуются для выращивания по Дальневосточному региону.

По данным генотипам в 2022 г. (сорта Посейдон, Орион) и 2023 г. (сорта Аскольд, Лотос) поданы заявки на выдачу патента и допуск к использованию в Государственную комиссию Российской Федерации по испытанию и охране селекционных достижений.

Список источников

1. Федорова Ю. Н., Лебедева Н. В. Сорты картофеля отечественной селекции в лаборатории микроклонального размножения растений ФГБОУ ВО Великолукская ГСХА // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 3. С. 9–13. EDN VMVJIS.
2. Анисимов Б. В. Пищевая ценность картофеля и его роль в здоровом питании человека // Картофель и овощи. 2006. № 4. С. 9–10. EDN HTSVWR.
3. Картофель России. Том 1. Селекция. Семеноводство. Сертификация / под ред. А. В. Коршунова. М., 2003. 411 с.
4. Симаков Е. А., Митюшкин А. В., Митюшкин А. В., Журавлев А. А. Современные требования к сортам картофеля различного целевого использования // Достижения науки и техники АПК. 2016. Т. 30. № 11. С. 45–48. EDN XRUUWR.
5. Лапшинов Н. А., Куликова В. И., Аношкина Л. С., Ходаева В. П., Рябцева Т. В. Оригинальное семеноводство картофеля в условиях Кемеровской области // Картофелеводство. 2013. Т. 21. № 2. С. 81–90.
6. Рафальский С. В., Рафальская О. М., Мельникова Т. В. Биохимические показатели картофеля в Приамурье // Картофель и овощи. 2018. № 6. С. 27–28. EDN XQXYPB.
7. Андрюшина Н. А., Бацанов Н. С., Будина Л. В. Методика исследований по культуре картофеля. М. : Научно-исследовательский институт картофельного хозяйства, 1967. 263 с.
8. Методические указания по поддержанию и изучению мировой коллекции картофеля. СПб. : ВИР, 2010. 30 с. EDN DLUNCD.
9. Методические указания по технологии селекционного процесса картофеля. М. : Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства, 2006. 72 с. EDN QKYCYN.
10. Практикум по агрохимии / под ред. Б. А. Ягодина. М. : Агропромиздат, 1987. 512 с.
11. Пшеченков К. А., Давыденкова О. Н., Седова В. И., Мальцев С. В., Чулков Б. А. Методические указания по оценке сортов картофеля на пригодность к переработке и хранению. М. : Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства, 2008. 39 с. EDN KNHSDX.
12. Ким И. В., Новоселов А. К., Новоселова Л. А., Вознюк В. П. Результаты агроэкологического испытания сортов картофеля в условиях Приморского края // Дальневосточный аграрный вестник. 2017. № 3 (43). С. 44–49. EDN ZWLVBXN.
13. Фицура Д. Д., Маханько В. Л., Сердюков В. А., Гасило Д. С. Влияние почвенной засухи в период вегетации на продуктивность сортов и гибридов картофеля // Картофелеводство : сб. науч. тр. Минск, 2020. Т. 28. С. 24–35. EDN QEOXBG.
14. Селекция и семеноводство картофеля : монография / под ред. С. В. Жевора, Е. А. Симакова, Б. В. Анисимова. Красково : Всероссийский научно-исследовательский институт картофельного хозяйства, 2020. 189 с. EDN TKHAIY.

References

1. Fedorova Yu. N., Lebedeva N. V. Potato varieties of domestic selection in the laboratory of microclonal plant propagation of Velikoluk State Agricultural Academy. *Izvestiya Velikolukskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2018;3:9–13. EDN VMVJIS (in Russ.).
2. Anisimov B. V. Value and role of potato in the healthy human nutrition. *Kartofel' i ovoshchi*, 2006;4:9–10. EDN HTSVWR (in Russ.).
3. Korshunov A. V. (Eds.). *Potatoes of Russia. Volume 1. Breeding. Seed production. Certification*, Moscow, 2003, 411 p. (in Russ.).
4. Simakov E. A., Mityushkin A. V., Mityushkin A. V., Zhuravlev A. A. Modern requirements to potato varieties of different target use. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2016;30;11:45–48. EDN XRUUWR (in Russ.).

5. Lapshinov N. A., Kulikova V. I., Anoshkina L. S., Hodaeva V. P., Ryabtseva T. V. Original seed potatoes in the field of Kemerovo region. *Kartofelevodstvo*, 2013;21;2:81–90 (in Russ.).
6. Rafalskiy S. V., Rafalskaya O. M., Melnikova T. V. Biochemical indicators of potato tubers in the middle Amur region. *Kartofel' i ovoshchi*, 2018;6:27–28. EDN XQXYPB (in Russ.).
7. Andryushina N. A., Batsanov N. S., Budina L. V. *Methodology of research on potato culture*, Moscow, Nauchno-issledovatel'skii institut kartofel'nogo khozyaistva, 1967, 263 p. (in Russ.).
8. *Methodological guidelines for the maintenance and study of the world potato collection*, Saint-Petersburg, VIR, 2010, 30 p. EDN DLUNCD (in Russ.).
9. *Methodological instructions on potato breeding process technology*, Moscow, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kartofel'nogo khozyaistva, 2006, 72 p. EDN QKYCYN (in Russ.).
10. Yagodin B. A. (Eds.). *Workshop on agrochemistry*, Moscow, Agropromizdat, 1987, 512 p. (in Russ.).
11. Pshechenkov K. A., Davydenkova O. N., Sedova V. I., Maltsev S. V., Chulkov B. A. *Methodological guidelines for evaluation of potato varieties for suitability for processing and storage*, Moscow, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kartofel'nogo khozyaistva, 2008, 39 p. EDN KNHSOX (in Russ.).
12. Kim I. V., Novoselov A. K., Novoselova L. A., Voznyuk V. P. Findings of agroecological potato seed-trial in the climate of the Primorsky krai. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2017;3(43):44–49. EDN ZWL BXH (in Russ.).
13. Fitsuro D. D., Makhanko V. L., Serdyukov V. A., Gastilo D. S. Effect of soil drought during the growing season on productivity of potato varieties and hybrids. *Proceedings from Kartofelevodstvo*. (PP. 24–35), Minsk, 2020. EDN QEOXBG (in Russ.).
14. Zhevora S. V., Simakov E. A., Anisimov B. V. (Eds.). *Potato breeding and seed production: monograph*, Kraskovo, Vserossiiskii nauchno-issledovatel'skii institut kartofel'nogo khozyaistva, 2020, 189 p. EDN TKHAIY (in Russ.).

© Вознюк В. П., Ким И. В., Клыков А. Г., 2024

Статья поступила в редакцию 18.09.2024; одобрена после рецензирования 08.11.2024; принята к публикации 21.11.2024.

The article was submitted 18.09.2024; approved after reviewing 08.11.2024; accepted for publication 21.11.2024.

Информация об авторах

Вознюк Валентина Петровна, научный сотрудник, Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9385-9145>, Author ID: 866181, voznyuk.57@list.ru;

Ким Ирина Вячеславовна, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник, Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>, Author ID: 681163, kimira-@mail.ru;

Клыков Алексей Григорьевич, доктор биологических наук, академик Российской академии наук, Федеральный научный центр агробιοтехнологий Дальнего Востока имени А. К. Чайки, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>, Author ID: 96183, alex.klykov@mail.ru

Information about the authors

Valentina P. Voznyuk, Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9385-9145>, Author ID: 866181, voznyuk.57@list.ru;

Irina V. Kim, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Researcher, Federal Scientific Center of Agricultural Biotechnology of the Far East named after A. K. Chaika, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0656-0645>, Author ID: 681163, kimira-80@mail.ru;

Aleksei G. Klykov, Doctor of Biological Sciences, Academician of the Russian Academy of Sciences, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2390-3486>, Author ID: 96183, alex.klykov@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 633.62

EDN NRMPKI

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-16-28>

Использование стерильной цитоплазмы А2 в селекции гибридов F1 сахарного сорго

Оксана Павловна Кибальник

Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, Саратовская область, Саратов, Россия, kibalnik79@yandex.ru

Аннотация. Одной из перспективных культур с многоцелевым использованием в различных отраслях агропромышленного комплекса считается сахарное сорго. Создание гибридов на основе разных источников стерильности позволит расширить генетическое разнообразие и повысить продуктивность биомассы за счет эффекта гетерозиса. Целью исследований являлось изучение гибридов сахарного сорго на основе цитоплазмы А2 по основным селекционным признакам. Испытание гибридов в сравнении с сортами-стандартами Волжское 51, Флагман проводилось в течение 2022–2024 гг. на опытном поле Российского научно-исследовательского и проектно-технологического института сорго и кукурузы. Гибриды первого поколения получены с участием ЦМС-линий А2 КВВ114, А2 Чайка (материнская форма) и сортообразцов к-64, к-10832, к-54, к-5529, к-581 (отцовская форма) из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова. Исследования показали, что выделенные гибриды А2 КВВ 114/к-10832 и А2 КВВ 114/к-54 рекомендуются для изготовления сочных кормов, благодаря мощному развитию листового аппарата (верхний и средний ярус), урожайности биомассы и среднему содержанию сахаров в соке стебля. Преимущество над сортами-стандартами выявлено в пределах от 7,8 до 67,9 % по ряду основных селекционных признаков (высота растений при созревании, площадь флагового листа, количество листьев, урожайность биомассы). Кроме того, у гибрида А2 КВВ 114/к-54 отмечено превышение над стандартами Волжское 51, Флагман по площади наибольшего листа, составившее от 43,0 до 72,4 %. Таким образом, результаты научной работы свидетельствуют о целесообразности вовлечения стерильной цитоплазмы типа А2 в селекционные программы по выведению продуктивных гибридов сахарного сорго.

Ключевые слова: сорго, гибрид, урожайность, биомасса, селекционные признаки

Финансирование: работа выполнена в рамках федерального бюджетного финансирования государственного задания Министерства сельского хозяйства Российской Федерации (2022 г. – № 082–00084–22–00; 2023 г. – № 082–00205–23–00; 2024 г. – № 082–00266–24–00).

Для цитирования: Кибальник О. П. Использование стерильной цитоплазмы А2 в селекции гибридов F1 сахарного сорго // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 16–28. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-16-28>.

Original article

The use of sterile A2 cytoplasm in breeding of hybrids F1 of sugar sorghum

Oksana P. Kibalnik

Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn
Saratov region, Saratov, Russian Federation, kibalnik79@yandex.ru

Abstract. One of the promising crops with multipurpose use in various branches of the agro-industrial complex is considered to be sugar sorghum. The creation of hybrids based on dif-

ferent sources of sterility will expand their genetic diversity and increase biomass productivity due to the effect of heterosis. The aim of the research was to study sugar sorghum hybrids based on A2 cytoplasm according to the main breeding characteristics. Hybrids were tested in comparison with the standard varieties Volzhskoye 51, Flagman during 2022–2024 at the experimental field of the Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn. Hybrids of the first generation were obtained with the participation of CMS-lines A2 KVV114, A2 Chaika (female form) and cultivars k-64, k-10832, k-54, k-5529, k-581 (paternal form) from the collection of the N. I. Vavilov All-Russian Institute of Plant Genetic Resources. Studies have shown that the isolated hybrids A2 KVV 114/k-10832 and A2 KVV 114/k-54 are recommended for use as succulent feeds due to the powerful development of the leaf apparatus (upper and middle tier), biomass yield and average sugar content in the stem juice. The advantage over standard varieties was revealed in the range of 7.8–67.9% for a number of basic breeding characteristics (plant height at maturity, flag-leaf area, number of leaves, biomass yield). In addition, the A2 KVV 114/k-54 hybrid had an excess over the standards of Volzhskoye 51, Flagman in terms of the largest leaf area, which ranged from 43.0 to 72.4%. Thus, the results of the scientific work indicate the expediency of involving sterile cytoplasm of A2 type in breeding programs for the breeding of productive hybrids sugar sorghum.

Keywords: sorghum, hybrid, yield, biomass, breeding characteristics

Funding: the work was carried out within the framework of financing of the state assignment of the Ministry of Agriculture of the Russian Federation (2022 – No. 082–00084–22–00; 2023 – No. 082–00205–23–00; 2024 – No. 082–00266–24–00).

For citation: Kibalnik O. P. The use of sterile A2 cytoplasm in breeding of hybrids F1 of sugar sorghum. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:16–28. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-16-28>.

Введение. Сорго (*Sorghum Moench*) является одной из древнейших сельскохозяйственных культур в мировом земледелии африканского происхождения (Судан и Эфиопия). С древних времен культивируется в Китае и Индии (вторичный центр распространения), а в настоящее время – в Северной и Южной Америке, Австралии, в ряде европейских стран, странах СНГ.

Благодаря интродукции сорго в новые регионы возделывания, произошло улучшение селекционных признаков: культура стала более продуктивной и скороспелой, чем на родине. В результате сорго занимает большие площади во вторичных центрах выращивания. В России сорго начали возделывать на территории Хабаровского и Приморского краев. В Европейскую часть России сорго было впервые завезено из Маньчжурии на Северный Кавказ в XVIII в. [1, С. 281–286]. В данный момент достижения селекции позволяют выращивать его и в более северных районах страны.

Направления селекции сорго связаны с разнообразным использованием этой культуры в отраслях агропромышленного комплекса. В этой связи главный акцент в селекции сахарного сорго ставится на создание новых высокопродуктивных со-

ртов и гибридов с улучшенным качеством биомассы, предназначенных на зеленый корм, силос, комплексно устойчивых к неблагоприятным факторам среды, с высоким уровнем адаптации к выращиванию в засушливых регионах. Также селекция ведется на увеличение содержания водорастворимых сахаров с целью использования сортов на пищевые или технические цели.

Актуальность использования зеленой массы сахарного сорго заключается в ее энергетической и питательной ценности, не уступающей по своим свойствам кукурузе [2, С. 305]. Биомасса сахарного сорго используется на корм в виде сена, силоса, сенажа, фуража, моноорма, брикетов [3, С. 1].

Уникальность данного растения позволяет использовать его как сахаронос, так как сорго накапливает в соке стебля при физиологической спелости от 10 до 25 % водорастворимых сахаров [4, С. 1670–1679]. В засушливых регионах РФ, где проблемы с влагообеспечением обостряются чрезвычайно остро с каждым годом, сорта с содержанием сахаров в соке стеблей 15,0–17,0 % могут обеспечить получение пищевого сахара до 3–4 т/га. Сахар сока стеблей представлен в основном смесью глюкозы, фруктозы и сахарозы.

Эта особенность исключительно ценна для жаркого и сухого климата в районах, где получение сахара из сахарной свеклы проблематично [5, С. 12].

Кроме того, сахарное сорго рассматривается в качестве перспективного потенциального источника топлива, благодаря следующим отличительным биологическим особенностям: генотипическое разнообразие; высокая эффективность фотосинтеза для преобразования солнечной энергии в биомассу, так как это растение с С4-типом фотосинтеза; высокая эффективность использования воды; высокая адаптация к стрессовым условиям при выращивании на маргинальных землях [6, С. 1899–1900; 7].

Селекционную работу ведут российские и зарубежные учреждения, в том числе Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы «Россорго». В Государственном реестре селекционных достижений, допущенных к использованию, размещено 50 сортов и 8 гибридов первого поколения. Большинство сортов и гибридов районировано по Северо-Кавказскому (всего 25) и Нижневолжскому (всего 22) регионам. Также выведены сорта и гибриды для возделывания в Средневолжском (всего 8), Уральском (всего 6), Западно-Сибирском (всего 3) и Дальневосточном (всего 4) регионах Российской Федерации [8, С. 70].

Для получения высокогетерозисных коммерческих гибридов в селекции сорго

используется цитоплазматическая мужская стерильность (ЦМС). У сорго ЦМС обусловлена взаимодействием одного рецессивного гена отцовского компонента с цитоплазмой материнского. В настоящее время существует порядка десяти цитоплазматических источников, отличающихся друг от друга [9, С. 2–3]. Однако, представленные в Государственном реестре гибриды созданы на стерильной цитоплазме типа А1. Наличие разных источников стерильности позволит выделить альтернативные традиционному типу цитоплазмы и включить их в селекционный процесс, что является актуальным.

Целью исследований выступает изучение гибридов сахарного сорго на основе цитоплазмы А2 по основным селекционным признакам.

Материалы и методы исследований. Материалом исследований являются родительские формы и гибриды. Гибриды первого поколения были получены на основе ЦМС-линий А2 КВВ114, А2 Чайка; в качестве отцовских форм в скрещивание вовлекались сортообразцы из коллекции Всероссийского института генетических ресурсов растений имени Н. И. Вавилова (к-64, к-10832, к-54, к-5529, к-581).

Всего в течение 2022–2024 гг. прошли испытания 7 гибридов сахарного сорго. В качестве стандартов использовали два районированных по Нижневолжскому региону РФ сорта Волжское 51, Флагман [8, С. 70] (рис. 1).



Волжское 51 в фазу начало цветения
Vozhskoe 51 in the beginning of flowering phase



Флагман в фазу уборочной спелости
Flagman in the harvest ripeness phase

Рисунок 1 – Сорта-стандарты

Figure 1 – Standard varietys

Сорт Волжское 51 рекомендуется для получения зеленого корма, силоса, сенажа, а также получения из сока стеблей или кормовой массы различной сахаросодержащей продукции. Продолжительность периода от всходов до полной спелости зерна до 115 дней. Урожайность зеленой массы – 22,6–29,5 т/га. Высота растения – 197–232 см. В стеблях содержится 16,3–17,2 % сахаров. Теоретический выход сахаров достигает 2,12 т/га. Семенная продуктивность – 1,4–2,1 т/га, масса 1 000 семян – 22,4 г.

Данный сорт устойчив к болезням и вредителям. Способ посева широко-рядный с междурядьем 70 или 45 см. Оптимальная густота стояния составляет 150–170 тыс. растений/га. Весовая норма высева – 8–10 кг/га всхожих семян.

Сорт Флагман является среднеранним. Предназначен для использования на зеленый корм, сенаж, силос, а также на пищевые цели для получения сока, сиропа, спирта. Продолжительность вегетационного периода 110–120 дней. Урожайность зеленой массы – 15,0–20,0 т/га. Растения хорошо облиственные, высотой до 180–190 см. Кустистость средняя и составляет 3–4 стебля на одно растение. В стеблях содержится 17–18 % сахаров. Теоретический выход сахаров – 1,26–1,39 т/га.

Данный сорт среднеустойчив к полеганию. Сорт засухоустойчив. Семенная продуктивность составляет 1,2–1,5 т/га. Масса 1 000 семян – 25,6 г. Посев на все цели использования ведется широко-рядным способом с междурядьем 70 см. Оптимальная густота стояния растений при возделывании на зеленый корм равна 150–200, на силос – 100–120 тыс./га. Весовая норма высева составляет соответственно 12–14 и 8–10 кг/га всхожих семян.

Агротехника выращивания – зональная, разработанная научными учреждениями Нижнего Поволжья [10, С. 3–30]. Предшественником являлся черный пар. Весной перед посевом по мере созревания почвы участки бороновали в два следа, до посева проводили две культивации. Посев образцов сахарного сорго и стандартов выполнен 18–19 мая селекционной кассетной сеялкой СКС-6-10 широко-рядным способом с шириной междурядий 70 см.

Закладка делянок и оценка основных селекционных признаков осуществле-

на согласно методике государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур [11, С. 55–57]. Площадь делянок в питомниках оценки гибридов и исходного материала составила 7,7 м². Повторность опыта трехкратная. Густоту стояния растений корректировали вручную (в пределах 100–150 тыс. растений/га). По мере отрастания сорняков междурядья культивировали.

Обработка экспериментальных данных выполнена методом дисперсионного анализа с применением компьютерной программы Агрос 2.09.

Климатические условия в период проведения исследований. Климат Саратовской области резко континентальный с частым проявлением почвенных и воздушных засух. Температурный режим и условия влагообеспеченности неоднородны. Количество осадков за год варьирует от 250 до 450 мм. Ресурсы тепла за период вегетации сорговых культур достигают от 2 400 до 3 100 °С. При этом наибольшие среднесуточные температуры воздуха (21,0–21,7 °С) и количество выпавших осадков (51 мм) наблюдаются в июле (рис. 2).

Метеорологические условия в течение периода исследований отличались от среднемноголетних показателей. Так, среднемесячная температура воздуха мая 2022 г. оказалась на 3,4 °С ниже среднемноголетнего показателя, а в августе ее превышение составило 4,1 °С. В 2023 г. наблюдалось снижение средней температуры воздуха до 18,3 °С в июне; вегетация растений сорго в июле происходила в условиях повышения температуры воздуха до 22,0 °С; средние показатели температуры воздуха августа (когда у сорго отмечается прохождение фаз выметывания и цветения) оказались выше среднемноголетних на 2,8 °С. Весна 2024 г. оказалась по температурному режиму схожей с условиями 2022 г. В июне, июле и сентябре отмечалось повышение температуры воздуха до 23,2 °С, 25,0 °С и 17,0 °С соответственно (рис. 3).

Также условия 2022 г. характеризовались обильным выпадением осадков в июле (73,5 мм), тогда как их среднемноголетнее количество равно 51,0 мм. Незначительное выпадение осадков отмечено в августе – 12,6 мм (рис. 4).

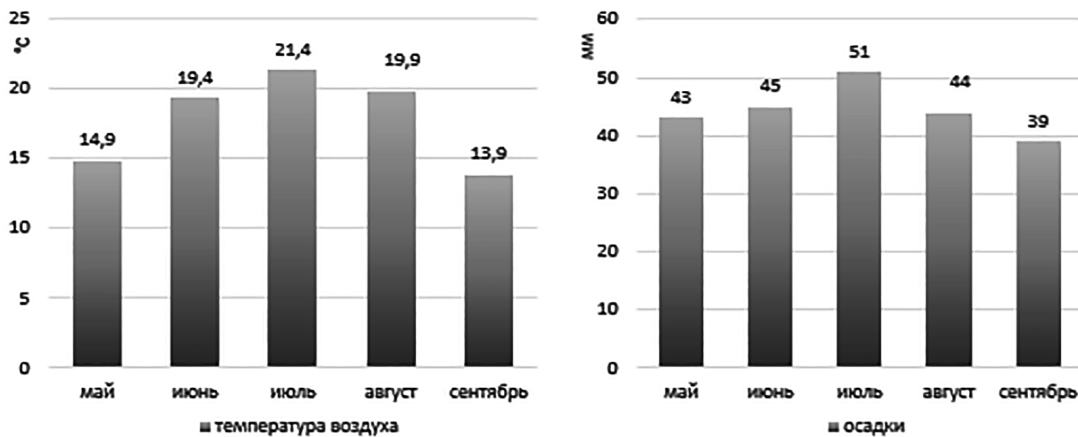


Рисунок 2 – Среднемесячные показатели климатических условий региона
Figure 2 – Average long-term indicators of the climatic conditions of the region

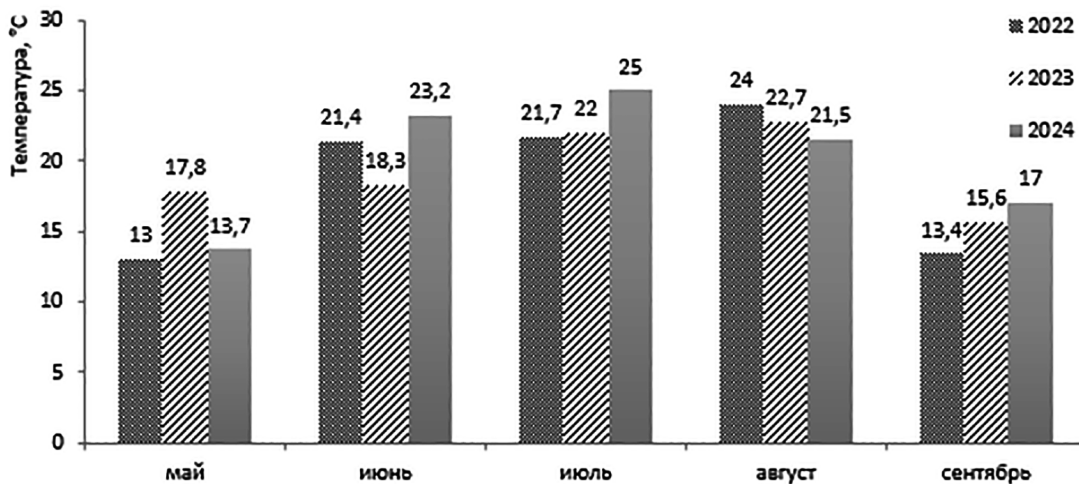


Рисунок 3 – Среднемесячная температура воздуха в течение вегетации сорго, 2022–2024 гг.
Figure 3 – Average monthly air temperature during the sorghum growing season, 2022-2024

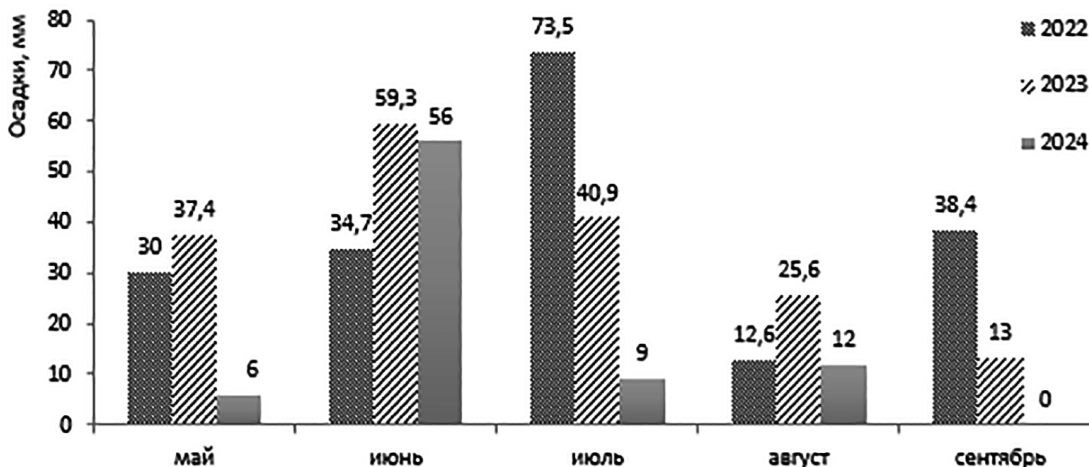


Рисунок 4 – Количество осадков в течение вегетации сорго, 2022–2024 гг.
Figure 4 – Precipitation during the growing season of sorghum, 2022–2024

Отличительными особенностями вегетационного периода сорго 2023 г. являлись: период посева проходил в условиях оптимального для данной зоны температурного режима при выпадении осадков выше среднесезонных показателей на 13,3 мм; период «кущения – начало трубкования» растений (июнь) характеризовался обильными осадками, составившими 59,3 мм. Рост и развитие растений в 2024 г. проходило в более засушливых условиях: в мае количество осадков составило 6 мм; июле – 9 мм; августе – 12 мм и только в июне их выпало 56 мм.

Результаты исследований и их обсуждение. Как известно, на суммарную продуктивность фотосинтеза оказывают влияние параметры листовой пластинки [12, С. 137]. Поэтому в селекции сорго определяют показатели «площадь наибольшего и флагового листьев». Кроме того, между площадью листовой поверхности и урожайностью биомассы отмечена средняя корреляционная зависимость [13, С. 129].

В проведенных нами исследованиях гибрид А2 КВВ 114/к-54 по признаку «площадь наибольшего листа» превысил на 43,0 % сорт Флагман, а на уровне стандарта оказались образцы: А2 Чайка/к-64, А2 КВВ 114/к-64, А2 КВВ 114/к-5529, А2 КВВ 114/к-581. Величина признака в среднем за 2022–2023 гг. составила 301,3 и 210,1–251,6 см соответственно. Причем, в среднем по группе изучаемых образцов более высокие показатели площади наибольшего листа достигали в условиях 2023 г. – 234,5 см (табл. 1).

Гибриды различались и по площади флагового листа. Величина признака варьировала от 127,8 до 190,1 см², тогда как у сортов стандартов – 99,6–122,1 см². Наибольшее превышение признака над сортами оказалось у гибридов на основе материнской формы А2 Чайка и отцовских форм к-581, к-64 – 50,0–91,0 %. Формирование мощной листовой пластинки флагового листа у данных гибридов наблюдалось ежегодно (169,8–197,6 см²). Кроме того, изучаемые образцы достигали более значительных размеров флагового листа в условиях 2022 г. по сравнению с 2023 г.

По количеству листьев выделились следующие гибриды: А2 КВВ 114/к-10832 и А2 КВВ 114/к-54. В среднем за два года

испытаний их количество на растении составило 13,9–14,1 штук (табл. 1).

Оценка гибридов F1 по высоте при созревании проводится с целью определения технологичности образца. Также этот показатель является элементом урожайности биомассы. По данному признаку гибрид А2 КВВ 114/к-10832 превысил сорт Волжское 51 на 22,4 % и сорт Флагман на 17,5 %. Остальные гибриды оказались на уровне сортов-стандартов. Величина признака составила в пределах 179,6–208,7 см и 186,0–193,7 см соответственно. Причем, в среднем по группе изучаемых образцов наибольшей высоты растения достигали в условиях 2023 г. – 210,9 см (табл. 2). Следует отметить, что ранее индийскими исследователями было установлено положительное влияние цитоплазмы А2 на высоту гибридов сорго [14, С. 8].

Гибриды сахарного сорго характеризовались в основном одностебельностью: общая кустистость составила 1,1–1,5 побегов на одном растении, тогда как у сортов Волжское 51 и Флагман – 1,7–1,8 (табл. 2). Следует отметить, что кустистость гибрида А2 КВВ 114/к-581 выросла до 1,9 побегов на одном растении в 2023 г. Очевидно, выпадение большего количества осадков (59,3 мм) по сравнению с 2022 г. (34,7 мм) способствовало формированию дополнительных побегов.

По урожайности биомассы достоверно превысил оба сорта-стандарта гибрид А2 КВВ 114/к-54. При этом преимущество над сортом Волжское 51 составило 14,2 т/га (56,2 %); над сортом Флагман – 15,9 т/га (7,4 %). Также выделился гибрид А2 КВВ 114/к-10832, который в среднем за анализируемый период сформировал 31,0 т/га биомассы и значительно превысил по этому показателю сорт Флагман – 7,4 т/га (31,4 %). Существенное превышение гибридов сахарного сорго над сортами выявлено многими исследователями [15, С. 76].

Анализ урожайности в среднем по группе изучаемых образцов выявил более высокую продуктивность надземной биомассы в условиях 2023 г. – 29,6 т/га. Аналогичную тенденцию наблюдают и другие исследователи [15, С. 76].

Содержание водорастворимых сахаров варьировало у гибридов в пределах 7,7–14,0 %, а у сортов – от 11,0 до 12,5 %.

Таблица 1 – Оценка гибридов F1 по площади листьев и их количеству, 2022–2023 гг.
Table 1 – Evaluation of F1 hybrids by leaf area and number, 2022–2023

Сорт, гибрид	Наибольший, см ²			Флаговый, см ²			Количество листьев, шт.		
	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее	2022 г.	2023 г.	среднее
A2 КВВ 114/к-64	266,8 cd	197,8 ab	232,3 a-d	160,8 a-d	148,0 cd	154,4 bcd	9,1 ab	8,6 a	8,9 ab
A2 КВВ 114/к-10832	100,1 a	236,0 bcd	168,0 a	200,9 d	98,0 ab	151,1 bcd	13,8 cd	14,4 c	14,1 d
A2 КВВ 114/к-54	361,1 e	241,5 bcd	301,3 d	113,6 a	205,6 f	159,6 bcd	14,6 d	13,2 bc	13,9 cd
A2 КВВ 114/к-5529	226,7 bc	257,7 cd	242,2 a-d	135,7 a-d	120,7 bc	128,2 ab	8,2 ab	8,6 a	8,4 ab
A2 КВВ 114/к-581	217,7 bc	285,5 d	251,6 bcd	120,1 a	135,6 cd	127,8 ab	7,2 a	8,4 a	7,8 a
A2 Чайка/к-64	145,1 ab	275,0 d	210,1 abc	197,6 cd	182,7 ef	190,1 d	7,5 a	8,3 a	7,9 ab
A2 Чайка/к-581	331,1 de	247,1 bcd	289,1 cd	194,6 bcd	169,8 de	182,2 cd	9,6 b	8,7 a	9,1 b
Волжское 51 (st)	190,2 abc	159,4 a	174,8 ab	113,4 a	85,7 a	99,6 a	8,7 ab	8,5 a	8,6 ab
Флагман (st)	210,2 bc	210,2 bc	210,8 abc	113,8 a	130,5 bc	122,1 ab	8,3 ab	8,4 a	8,4 ab
Среднее	227,7	234,5	–	150,1	141,9	–	9,7	9,7	–
F ₀₅	7,73*	6,63*	3,26*	3,66*	12,71*	3,55*	19,30*	26,32*	40,71*
НСР ₀₅	89,33	46,15	72,57	60,77	32,91	44,59	1,82	1,38	1,11

* $p \leq 0,05$. Данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой при $p \leq 0,05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

Таблица 2 – Характеристика гибридов F1 по показателям продуктивности биомассы, 2022–2023 гг.
Table 2 – Characteristics of F1 hybrids in terms of biomass productivity, 2022–2023

Сорт, гибрид	Высота растений, см		Общая кустистость		Урожайность биомассы, т/га	
	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.	2022 г.	2023 г.
A2 KBV 114/к-64	175,4 abc	192,9 a	1,3 abc	1,3 a	22,5 a	37,1 de
A2 KBV 114/к-10832	210,1 d	244,9 c	1,2 a	1,1 a	28,6 a	33,5 cde
A2 KBV 114/к-54	202,8 cd	214,6 ab	1,1 a	1,3 a	40,5 b	38,5 e
A2 KBV 114/к-5529	175,9 abc	218,3 ab	1,1 a	1,3 a	25,3 a	30,4 bc
A2 KBV 114/к-581	153,7 a	205,4 ab	1,1 a	1,9 cd	28,6 a	26,0 ab
A2 Чайка/к-64	184,2 a-d	221,6 bc	1,2 a	1,1 a	24,1 a	27,8 abc
A2 Чайка/к-581	166,3 ab	216,6 ab	1,1 a	1,1 a	25,5 a	27,7 abc
Волжское 51 (st)	181,2 a-d	190,8 a	1,6 c	1,9 bcd	27,2 a	23,3 a
Флагман (st)	194,6 bcd	192,8 a	1,6 bc	2,0 d	25,5 a	21,7 a
Среднее	182,7	210,9	1,3	1,4	27,5	29,6
F ₀₅	3,72*	4,61*	5,19*	12,54*	4,54*	9,76*
НСР ₀₅	27,53	24,47	0,26	0,32	7,36	5,58

* $p \leq 0,05$. Данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой при $p \leq 0,05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

Однако существенное превышение гибрида А2 КВВ 114/к-10832 установлено только над сортом Волжское 51. В среднем по образцам количество водорастворимых сахаров в условиях 2023 г. увеличивалось до 12,9 % (табл. 3).

Значительная изменчивость синтеза сахаров в зависимости от климатических условий вегетации сахарного сорго наблюдалась нами и ранее в исследованиях [5, С. 15; 16, С. 162]. При этом к преимуществам гибрида А2 КВВ 114/к-10832 следует отнести стабильное накопление сахаров, не зависимо от складывающихся погодных условий: в 2022 г. – 13,7 %, в 2023 г. – 14,4 %.

В 2024 г. продолжилось изучение содержания сахаров на примере двух гибридных комбинаций – А2 Чайка/к-64 и А2 Чайка/к-581 (рис. 5). Соответствующие гибриды оказались более чувствительными к внешней среде и при значительном снижении осадков, а также среднемесячной температуре воздуха, превышающей среднепогодные показатели, начиная с периода цветения и до спелости зерна, содержание сахаров в соке стебля увеличивалось до 14,5 и 17,9 % соответственно. Представленные сведения важно учиты-

вать в селекции на повышение сахаристости в соке стебля.

Вместе с тем, сравнение зернового и сахарного сорго показало наличие генотипических особенностей у сахарного образца:

1) накопление большего количества сахарозы (в тканях стебля как до, так и после цветения) в нормальных условиях и в условиях солевого стресса;

2) развитие междоузлий (более тяжелые, сахаристые и сочные междоузлия, в которых большую площадь занимает флоэма и меньшую – ксилема); причем, площадь флоэмы и ксилемы в междоузлиях коррелировала с количеством сахара, накопленного в стебле [7, С. 1913].

Заключение. Создание и испытание семи гибридов F1 сахарного сорго на основе цитоплазмы типа А2 показало целесообразность ее использования в практической селекции в качестве альтернативного источника стерильности.

Для применения в производстве сочных кормов (силос, зеленый корм) рекомендуется провести дальнейшее испытание гибридов А2 КВВ 114/К-10832 и А2 КВВ 114/К-54.

Таблица 3 – Содержание сахаров в гибридах F1, 2022–2023 гг.

Table 3 – Sugar content in F1 hybrids, 2022–2023

В процентах (in percent)

Сорт, гибрид	2022 г.	2023 г.	Среднее
А2 КВВ 114/к-64	6,4 a	10,5 ab	8,4 ab
А2 КВВ 114/к-10832	13,7 d	14,4 cd	14,0 f
А2 КВВ 114/к-54	9,7 bc	14,0 cd	11,9 def
А2 КВВ 114/к-5529	8,3 abc	11,9 bc	10,1 bcd
А2 КВВ 114/к-581	5,8 a	12,8 bcd	9,3 abc
А2 Чайка/к-64	6,3 a	9,1 a	7,7 a
А2 Чайка/к-581	6,9 abc	13,6 cd	10,3 b-e
Волжское 51(st)	7,5 abc	14,6 cd	11,0 cde
Флагман(st)	9,8 c	15,1 d	12,5 ef
Среднее	8,3	12,9	–
F ₀₅	7,24*	5,54*	7,30*
НСР ₀₅	2,78	2,58	2,12

* $p \leq 0,05$. Данные, обозначенные разными буквами, значимо различаются между собой при $p \leq 0,05$ в соответствии с тестом множественных сравнений Дункана.

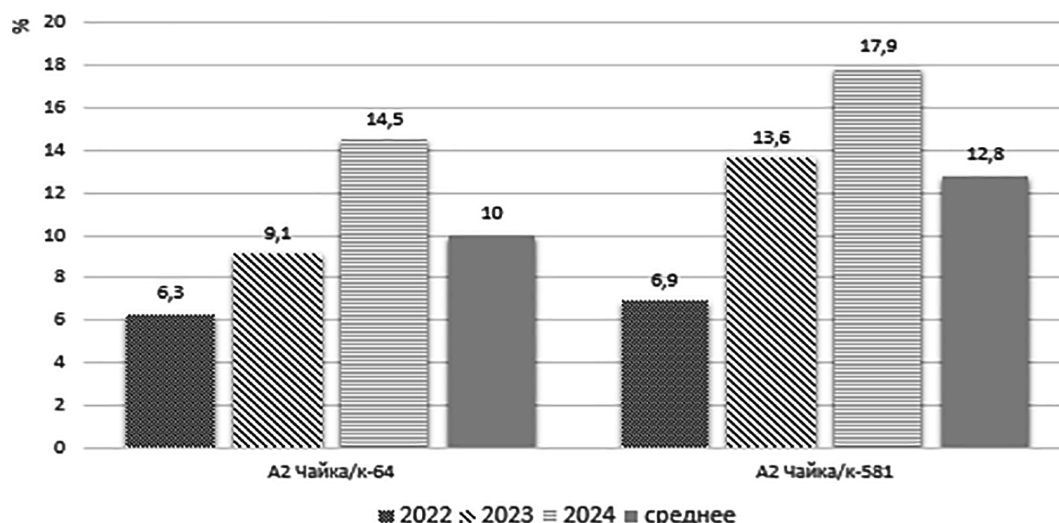


Рисунок 5 – Изменчивость накопления сахаров в соке стебля гибридов сахарного сорго в зависимости от условий вегетации, 2022–2024 гг.

Figure 5 – Variability of sugar accumulation in the stem juice of sugar sorghum hybrids depending on vegetation conditions, 2022–2024

Данные гибриды характеризуются слабой кустистостью и превышением нескольких хозяйственно-ценных признаков над сортами-стандартами Волжское 51 и Флагман:

по высоте растений на 7,8–22,4 %;
 площади флагового листа на 23,8–60,3 %;

количеству листьев на 61,7–67,9 %;
 урожайности биомассы на 22,6–40,3 %.

Также у гибрида A2 KBB 114/К-54 отмечены более мощные листья среднего яруса, а преимущество над стандартами по площади наибольшего листа достигло 43,0–72,4 %.

Список источников

1. Алабушев А. В., Шишова Е. А., Романюкин А. Е., Ермолина Г. М., Горпиниченко С. И. Происхождение сорго и развитие его селекции // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2017. № 127. С. 281–294. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017>. EDN YLZTVJ.
2. Володин А. Б., Капустин С. И., Саварцев М. А. Новые нетрадиционные источники сырья для производства пищевого и кормового сахара // Новые и нетрадиционные растения и перспективы их использования. 2016. № 12. С. 305–308. EDN WEBJJJ.
3. Метлина Г. В., Горпиниченко С. И., Ковтунова Н. А., Васильченко С. А. Агронергетическая эффективность возделывания новых сортов и гибридов сорго сахарного // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. 2015. № 114. С. 1–10. EDN VHFМКТ.
4. Pinnamaneni S. R., Somanna A. K. G., Ramu P., Vanamada J. K. P., Srivastava R. K. Assessment of phenotypic and genotypic diversity in elite temperate and tropical sweet sorghum cultivars // Sugar Technology. 2022. Vol. 24. No. 6. P. 1670–1679. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01117-3>. EDN NWFCZI.
5. Кибальник О. П., Каменева О. Б. Перспектива использования сахарного сорго для получения сахаросодержащей продукции при возделывании в засушливых регионах // Сахар. 2024. № 3. С. 34–39. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-3-34-39>. EDN WGNAOA.

6. Hao H., Li Zh., Leng Ch., Lu Ch., Luo H., Liu Yu. [et al.]. Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges // *Theoretical and Applied Genetics*. 2021. Vol. 134. P. 1899–1924. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03789-z>. EDN XIEGQM.
7. Kanbar A., Shakeri E., Alhajturki D., Riemann M., Bunzel M., Morgano M. T. [et al.]. Sweet versus grain sorghum: Differential sugar transport and accumulation are linked with vascular bundle architecture // *Industrial Crops and Products*. 2021. Vol. 167. P. 113550. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113550>. EDN KEUVRX.
8. Государственный реестр сортов и гибридов сельскохозяйственных растений, допущенных к использованию : официальное издание. М. : Росинформагротех, 2024. 70 с.
9. Reddy P. S. Cytoplasmic nuclear male sterility in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – current status and future prospects // *The Journal Research Professor Jayashankar Telangana State Agricultural University*. 2018. Vol. 46. No. 1. P. 1–14.
10. Горбунов В. С., Ишин А. Г., Костина Г. И., Колов О. В., Буенков А. Ю., Ефремова И. Г. [и др.]. Приемы повышения эффективности возделывания и переработки продукции сахарного сорго на кормовые и технические цели в условиях Нижнего Поволжья : рекомендации. Саратов, 2009. 31 с.
11. Методика государственного сортоиспытания сельскохозяйственных культур. Выпуск 2 / под ред. В. И. Головачева, Е. В. Кириловской. М. : Государственная комиссия по сортоиспытанию сельскохозяйственных культур, 1989. 194 с.
12. Тысленко А. М., Зуев Д. В. Листовая поверхность сортов яровой тритикале в условиях Владимирской области // *Международный журнал гуманитарных и естественных наук*. 2019. № 11–2 (38). С. 134–137. EDN OBHKKS.
13. Ковтунова Н. А., Ковтунов В. В., Романюкин А. Е. Ширина листа – маркерный признак высокой урожайности зеленой массы сорго сахарного // *Аграрная наука*. 2024. № 7. С. 125–129. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-125-129>. EDN GPITHZ.
14. Reddy B. V. S., Ramesh S., Reddy P. S., Ramaiah B. Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) // *Euphytica*. 2007. Vol. 154. No. 1–2. P. 153–164. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9281-6>.
15. Володин А. Б., Жукова М. П., Донец И. А., Голубь А. С., Чухлебова Н. С. Оценка продуктивности и хозяйственно-ценных признаков и свойств гибрида сорго сахарного Ярик // *Вестник АПК Ставрополя*. 2019. № 1 (33). С. 74–77. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-33-74-77>. EDN CPUOKE.
16. Bogarov I., Memeshov S., Kibalnik O., Sagalbekov U. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes assessment for food, fodder and energy values in Northern Kazakhstan // *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*. 2024. Vol. 56. No. 1. P. 156–167. <https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.14>. EDN JRNDMM.

References

1. Alabushev A. V., Shishova E. A., Romanyukin A. E., Ermolina G. M., Gorpichenko S. I. Origin of sorghum and development of its breeding. *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2017;127:281–294. <https://doi.org/10.21515/1990-4665-127-017>. EDN YLZTVJ (in Russ.).
2. Volodin A. B., Kapustin S. I., Savartsev M. A. New non-traditional sources of raw materials for the production of food and feed sugar. *Novye i netraditsionnye rasteniya i perspektivy ih ispol'zovaniya*, 2016;12:305–308. EDN WEBJJJ (in Russ.).
3. Metlina G. V., Gorpichenko S. I., Kovtunova N. A., Vasilchenko S. A. Agro-energy efficiency of cultivation of new varieties and hybrids of sweet sorghum. *Politematicheskii setevoi ehlektronnyi nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2015;114:1–10. EDN VHFMMK (in Russ.).

4. Pinnamaneni S. R., Somanna A. K. G., Ramu P., Vanamada J. K. P., Srivastava R. K. Assessment of phenotypic and genotypic diversity in elite temperate and tropical sweet sorghum cultivars. *Sugar Technology*, 2022;24;6:1670–1679. <https://doi.org/10.1007/s12355-022-01117-3>. EDN NWFCZI.
5. Kibalnik O. P., Kameneva O. B. Prospects for the use of sugar sorghum for obtaining sugar-containing products under cultivation in arid regions. *Suhar*, 2024;3:34–39. <https://doi.org/10.24412/2413-5518-2024-3-34-39>. EDN WGNAOA (in Russ.).
6. Hao H., Li Zh., Leng Ch., Lu Ch., Luo H., Liu Yu. [et al.]. Sorghum breeding in the genomic era: opportunities and challenges. *Theoretical and Applied Genetics*, 2021;134:1899–1924. <https://doi.org/10.1007/s00122-021-03789-z>. EDN XIEGQM.
7. Kanbar A., Shakeri E., Alhajturki D., Riemann M., Bunzel M., Morgano M. T. [et al.]. Sweet versus grain sorghum: Differential sugar transport and accumulation are linked with vascular bundle architecture. *Industrial Crops and Products*, 2021;167:113550. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2021.113550>. EDN KEUVRX.
8. *State Register of varieties and hybrids of agricultural plants approved for use*, Moscow, Rosinformagrotech, 2024, 70 p. (in Russ.).
9. Reddy P. S. Cytoplasmic nuclear male sterility in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) – current status and future prospects. *The Journal Research Professor Jayashankar Telangana State Agricultural University*, 2018;46;1:1–14.
10. Gorbunov V. S., Ishin A. G., Kostina G. I., Kolov O. V., Buenkov A. Yu., Efremova I. G. [et al.]. *Techniques for increasing the efficiency of cultivation and processing of sugar sorghum products for fodder and technical purposes in the conditions of the Lower Volga region: recommendations*, Saratov, 2009, 31 p. (in Russ.).
11. Golovochev V. I., Kirilovskaya E. V. (Eds.). *Methods of state variety testing of agricultural crops*. Issue 2, Moscow, Gosudarstvennaya komissiya po sortoispytaniyu sel'skokhozyaistvennykh kul'tur, 1989, 194 p. (in Russ.).
12. Tyslenko A. M., Zuev D. V. Sheet surface of varieties of spring triticum in the conditions of the Vladimir region. *Mezhdunarodnyy zhurnal gumanitarnykh i yestestvennykh nauk*, 2019;11–2(38):134–137. EDN OBHKKS (in Russ.).
13. Kovtunova N. A., Kovtunov V. V., Romanyukin A. E. Leaf width as a marker trait of high productivity of sweet sorghum green mass. *Agrarnaya nauka*, 2024;7:125–129. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-384-7-125-129>. EDN GPITHZ (in Russ.).
14. Reddy B. V. S., Ramesh S., Reddy P. S., Ramaiah B. Combining ability and heterosis as influenced by male-sterility inducing cytoplasm in sorghum (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). *Euphytica*, 2007;154;1–2:153–164. <https://doi.org/10.1007/s10681-006-9281-6>.
15. Volodin A. B., Zhukova M. P., Donets I. A., Golub A. S., Chukhlebova N. S. Assessment of productivity and economic and valuable features and properties of the hybrid sargo sugar Yarik. *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2019;1(33):74–77. <https://doi.org/10.31279/2222-9345-2019-8-33-74-77>. EDN CPUOKE (in Russ.).
16. Bogapov I., Memeshov S., Kibalnik O., Sagalbekov U. Sweet sorghum (*Sorghum bicolor* L.) genotypes assessment for food, fodder and energy values in Northern Kazakhstan. *Sabrao Journal of Breeding and Genetics*, 2024;56;1:156–167. <https://doi.org/10.54910/sabrao2024.56.1.14>. EDN JRNDMM.

© Кибальник О. П., 2024

Статья поступила в редакцию 23.10.2024; одобрена после рецензирования 25.11.2024; принята к публикации 27.11.2024.

The article was submitted 23.10.2024; approved after reviewing 25.11.2024; accepted for publication 27.11.2024.

Информация об авторе

Кибальник Оксана Павловна, кандидат биологических наук, главный научный сотрудник, отдел сорговых культур, Российский научно-исследовательский и проектно-технологический институт сорго и кукурузы, ORCID: 0000-0002-1808-8974, SCOPUS: 35776594600, Author ID: 182454, kibalnik79@yandex.ru

Information about the author

Oksana P. Kibalnik, Candidate of Biological Sciences, Chief Researcher, Department of Sorghum Crops, Russian Research and Design-Technological Institute of Sorghum and Corn, ORCID: 0000-0002-1808-8974, SCOPUS: 35776594600, Author ID: 182454, kibalnik79@yandex.ru

Научная статья

УДК 635.1

EDN MNTNTF

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35>

Химические показатели безопасности овощной продукции

Людмила Петровна Панова

Благовещенский государственный педагогический университет

Амурская область, Благовещенск, Россия, panovaljuda.71@mail.ru

Аннотация. В статье рассмотрены результаты исследований химических показателей безопасности овощной продукции, урожай которой получен в КФХ Корнеев А. П. (с. Каникурган Благовещенского района), расположенного в южной сельскохозяйственной зоне Зейско-Буреинской равнины. Содержание тяжелых металлов в овощах (свекла столовая F1 Пабло, морковь F1 Абасо, картофель Винета, капуста белокочанная F1 Атрия) было ниже допустимых уровней и варьировало в пределах (мг/кг): медь – 1,1–1,25; цинк – 0,42–0,54; свинец – 0,25–0,28; кадмий – 0,011–0,016. Содержание в овощах пестицидов (ДДТ и его метаболитов, ГХЦГ и его изомеров) не превышало допустимых уровней и находилось в пределах 0,005–0,008 и 0,005–0,006 мг/кг соответственно. Содержание нитратов в овощах оказалось значительно ниже допустимых уровней. Таким образом, овощная продукция богата биологически активными веществами и не содержит загрязняющие вещества.

Ключевые слова: свекла столовая, морковь, капуста белокочанная, картофель, корнеплоды, содержание тяжелых металлов, содержание пестицидов, содержание нитратов

Для цитирования: Панова Л. П. Химические показатели безопасности овощной продукции // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 29–35. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35>.

Original article

Chemical safety indicators of vegetable products

Ludmila P. Panova

Blagoveshchensk State Pedagogical University

Amur region, Blagoveshchensk, Russian Federation, panovaljuda.71@mail.ru

Abstract. The article considers the results of research on chemical safety indicators of vegetable products. The harvest of vegetables was obtained in the peasant farm of A. P. Korneev (Kanikurgan, Blagoveshchensk district), located in the southern agricultural zone of the Zeysko-Bureinskaya plain. The content of heavy metals in vegetables (beetroot F1 Pablo, carrots F1 Abaco, potatoes Vineta, cabbage F1 Atria) was below acceptable levels and varied within (mg/kg): copper – 1.1–1.25; zinc – 0.42–0.54; plumbum – 0.25–0.28; cadmium – 0.011–0.016. The content of pesticides (DDT and its metabolites, HCH and its isomers) in vegetables did not exceed acceptable levels and was within 0.005 – 0.008 and 0.005 – 0.006 mg/kg, respectively. The content of nitrates in vegetables was significantly lower than the acceptable levels. Vegetable products were rich in vitamins, dietary fibers and biologically active substances and did not contain pollutants.

Keywords: table beetroot, carrots, white cabbage, potatoes, root vegetables, heavy metal content, pesticide content, nitrate content

For citation: Panova L. P. Chemical safety indicators of vegetable products. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:29–35. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-29-35>.

Введение. Важнейшими сельскохозяйственными культурами, которые используются для рационального питания, являются такие виды овощей, как капуста, морковь, свекла, картофель [1, 2]. В составе овощей присутствуют пищевые волокна, витамины, микроэлементы. При этом достаточно обоснованы их противовоспалительные, антиоксидантные и другие полезные свойства [3].

Рекомендациями по рациональным нормам потребления пищевых продуктов, отвечающих современным требованиям здорового питания (приказ Минздрава РФ от 01.12.2020 № 1276) приведены рациональные нормы потребления овощей, отвечающие требованиям здорового питания для человека (килограмм в год): капуста – 40; морковь – 17; свекла – 18; картофель – 90. Для жителей Амурской области успешно решается проблема обеспечения населения овощами на основе внедрения научных исследований по овощеводству и увеличения производства растениеводческой продукции крестьянско-фермерскими хозяйствами [4].

При этом актуальной задачей выступает получение экологически чистых овощей, поскольку вследствие внесения удобрений и пестицидов при выращивании сельскохозяйственной продукции в настоящее время интенсивность антропогенного загрязнения окружающей среды значительно возросла.

Целью данной работы явилась оценка химической безопасности овощей, выращенных в крестьянско-фермерском хозяйстве.

Методика и объекты исследования. Для изучения были отобраны овощи урожая 2023 и 2024 гг., выращенные в грунте на базе КФХ Корнеев А. П. (с. Каникурган Благовещенского района Амурской области).

Оригинатором картофеля сорта Винета выступает компания Europlant pflanzenzucht (Германия); моркови гибрида F1 Abaco и капусты белокочанной гибрида F1 Атрия – Monsanto Holland (Нидерланды); свеклы столовой гибрида F1 Пабло – Bejo Zaden (Голландия).

Отбор проб проводился согласно требований ГОСТ 17.4.4.02–2017 «Охрана природы. Почвы. Методы отбора и

подготовки проб для химического, бактериологического, гельминтологического анализа», ГОСТ 34668–2020 «Продукция пищевая. Методы отбора и подготовка образцов (проб) для определения показателей безопасности».

Исследования проводились в аналитической лаборатории Благовещенского государственного педагогического университета.

Содержание тяжелых металлов в овощной продукции определялось по требованиям ГОСТ 33824–2016 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)», нитратов – по ГОСТ 34570–2019 «Фрукты, овощи и продукты их переработки. Потенциометрический метод определения нитратов», пестицидов – по ГОСТ 30349–96 «Плоды, овощи и продукты их переработки. Методы определения остаточных количеств хлорорганических пестицидов».

Пестициды экстрагировали этилацетатом, экстракт очищали силикагелем АСК и анализировали содержание хлорорганических пестицидов на газовом хроматографе Газхром 1109 с детектором захвата электронов.

При определении содержания сухих веществ в овощах, показателя зольности, содержания массовой доли витамина С, сахаров, а также титруемой кислотности использовались действующие государственные стандарты.

Результаты исследований и их обсуждение. Урожайность моркови гибрида F1 Abaco достигала уровней 620 ц/га в 2023 г. и 150 ц/га в 2024 г., выход товарной продукции составил 85 %. Товарная масса корнеплодов моркови варьировала от 120 до 222 г; средняя длина корнеплода оказалась равна 17,5 см, диаметр корнеплода – от 2,3 см до 3,7 см. Корнеплоды моркови не травмировались при транспортировке.

Корнеплоды моркови данного гибрида были сочные и сладкие, имели яркую окраску и терпкий привкус морковной горечи. Как правило, ощущение вкуса горечи моркови зависит от содержания фенольных соединений, содержание которых увеличивается при хранении.

Фенольные вещества проявляют антиоксидантные свойства и в сочетании с органическими кислотами и сахарами определяют гармоничность вкуса моркови [5].

Урожайность капусты белокачанной гибрида F1 Атрия составила 600 ц/га в 2023 и 2024 гг. Данный продукт рекомендуется для длительного зимнего хранения, промышленной переработки и потребления в свежем виде.

Урожайность свеклы столовой гибрида F1 Пабло в 2023 и 2024 гг. составила 400 и 350 ц/га соответственно, выход товарной продукции достигал 96 %. Масса корнеплода свеклы – 199 г. Корнеплод имел округлую форму, опробковение головки слабое, кольца выражены слабо, мякоть красная. Вкусовые качества отличные. Средняя масса товарного корнеплода свеклы, выращенной в исследуемом КФХ в 2022 г., варьировала от 294,7 г (сорт Успех) до 168,5 г (сорт Валента) [6].

Урожайность картофеля сорта Винета в 2023 и 2024 гг. оказалась равной 240 и 170 ц/га соответственно.

Урожайность представленных для анализа овощей соответствовала ежегодным данным. Низкую урожайность моркови в 2024 г. можно объяснить отсутствием влаги жарким летом в периоды наибольшего развития листьев и интенсивного корнеобразования.

Важнейшим потребительским свойством продуктов питания является их безопасность. Выделяют общие и специфические показатели химической безопасности. К общим показателям относится содержание нитратов, токсичных элементов, пестицидов ГХЦГ и его изомеров, ДДТ и его метаболитов.

Загрязнение сельскохозяйственных полей тяжелыми металлами снижает качество и урожайность сельскохозяйственных культур, а также представляет серьезную угрозу для здоровья человека, поскольку загрязнители попадают в пищевую цепочку. Критерием степени загрязнения почв являются предельно допустимые концентрации (ПДК) и ориентировочные допустимые концентрации (ОДК) химических веществ, загрязняющих почву.

Как видно из таблицы 1, содержание в почве меди, цинка и кадмия превышало ПДК, однако концентрация тяжелых металлов была ниже ОДК. При этом в сравнении с фоновым уровнем [7] загрязнение почв цинком, кадмием, свинцом и медью было выше.

Для определения содержания тяжелых металлов в почвах и овощах успешно применяется вольтамперометрический метод [8], по результатам которого можно сделать вывод о безопасных концентрациях тяжелых металлов в растениеводческой продукции КФХ (табл. 2).

Коэффициент биологического поглощения, как частное содержания металлов в овощах к содержанию в почве, оказался меньше единицы. Он указывает на то, что в овощной продукции не накапливались цинк, кадмий, свинец и медь.

Содержание нитратов в овощной продукции, выращенной в КФХ в 2023 и 2024 гг., не превышало допустимые уровни (табл. 3). При этом необходимо отметить, что в капусте, свекле и моркови урожая 2022 г. также не было высоких концентраций нитратов [6, 10, 11].

Содержание пестицидов (ДДТ и его метаболитов, ГХЦГ и его изомеров) в ово-

Таблица 1 – Содержание тяжелых металлов в черноземовидной почве крестьянско-фермерского хозяйства в 2023–2024 гг. (P = 0,95)

Table 1 – Heavy metal content in chernozem-like soil of peasant farm in 2023–2024 (P = 0.95)

В миллиграммах на килограмм (in milligrams per kilogram)

Объект	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Почва	26,6±5,5	1,1±0,2	14,2±3,0	8,9±1,8
Фон	25	0,9	12,5	8,5
Предельно допустимая концентрация (ГН 2.1.7.2041–06)	23	–	32	3
Ориентировочная допустимая концентрация (ГН 2.1.7.2511–09)	220	2	130	132

Таблица 2 – Содержание тяжелых металлов в овощах в 2023–2024 гг. (P = 0,95)

Table 2 – Heavy metal content in vegetables in 2023–2024 (P = 0.95)

В миллиграммах на килограмм (in milligrams per kilogram)

Виды овощей	Цинк	Кадмий	Свинец	Медь
Свекла столовая F1 Пабло	0,61±0,12	0,012±0,006	0,25±0,05	1,10±0,20
Морковь F1 Абасо	0,62±0,12	0,011±0,006	0,33±0,07	1,23±0,26
Картофель Винета	0,57±0,11	0,015±0,008	0,38±0,08	1,21±0,25
Капуста белокочанная F1 Атрия	0,54±0,11	0,016±0,008	0,35±0,08	1,25±0,26
Допустимые уровни [9]	10	0,03	0,5	5

Таблица 3 – Содержание нитратов в овощной продукции

Table 3 – Nitrate content in vegetable products

В миллиграммах на килограмм (in milligrams per kilogram)

Виды овощей	Содержание нитратов	Допустимые уровни [9]
Свекла столовая F1 Пабло	480	1 400
Морковь F1 Абасо	28	250
Картофель Винета	140	250
Капуста белокочанная F1 Атрия	400	500

щам было ниже допустимых уровней, что следует из данных таблицы 4.

Рассматриваемые овощи характеризуются низкой энергетической ценностью. Физиологическая ценность свежих овощей определяется содержанием витаминов, минеральных веществ, пищевых волокон. В овощах определено содержание сахаров и органических кислот, аскорбиновой кислоты, сухих веществ (табл. 5).

Биохимические показатели овощей урожая 2023 и 2024 гг. достаточно близки по значениям к полученным результатам исследований биохимических особенно-

стей гибридов моркови, свеклы и капусты урожая 2022 г. [6, 10, 11].

Заключение. В современных условиях важнейшей задачей является решение вопросов продовольственной безопасности, чтобы население было обеспечено экологически чистой растениеводческой продукцией. В этой связи в настоящей статье предпринято исследование общих показателей безопасности овощей, урожаем которых получен в 2023 и 2024 гг. в условиях крестьянско-фермерского хозяйства, расположенного в южной сельскохозяйственной зоне Амурской области.

Таблица 4 – Содержание пестицидов в овощной продукции

Table 4 – Pesticide content in vegetable products

В миллиграммах на килограмм (in milligrams per kilogram)

Виды овощей	Наименование пестицида			
	ДДТ и его метаболиты		ГХЦГ и его изомеры	
	фактическое наличие	допустимые уровни [9]	фактическое наличие	допустимые уровни [9]
Свекла столовая F1 Пабло	0,005±0,0008	0,2	0,005±0,0008	0,2
Морковь F1 Абасо	0,008±0,0012	0,2	0,006±0,0009	0,2
Картофель Винета	0,006±0,0009	0,1	0,005±0,0008	0,1
Капуста белокочанная F1 Атрия	0,005±0,0008	0,1	0,005±0,0008	0,5

Таблица 5 – Биохимические показатели овощей
Table 5 – Biochemical indicators of vegetables

Виды овощей	Сахара, %	Кислотность титруемая в пересчете на яблочную кислоту, %	Витамин С, мг/100г	Сухое вещество, %	Зольность, %
Свекла столовая F1 Пабло	11,5	0,4	10,6	20,1	0,8
Морковь F1 Авасо	9,4	0,2	8,8	11,1	0,7
Картофель Винета	1,5	0,2	10,8	24,5	0,9
Капуста белокочанная F1 Атрия	8,1	0,3	38,1	10,8	0,8

Полученные результаты позволяют сформулировать выводы:

1. Содержание меди, цинка и кадмия в черноземовидной почве хозяйства превышало предельно допустимые концентрации, но было ниже ориентировочных допустимых концентраций. Содержание меди, цинка, свинца и кадмия в овощной продукции значительно меньше допустимых уровней.

2. Содержание нитратов и пестицидов (ДДТ и его метаболитов, ГХЦГ и его изомеров) в исследованных овощах было ниже допустимых уровней.

Таким образом, можно утверждать об обеспеченности населения региона овощной продукцией, достаточно богатой биологически активными веществами и не содержащей загрязняющие вещества.

Список источников

1. Решетник Е. И., Пакулина А. П., Платонова Т. П., Грибанова С. Л., Бабухадия К. Р., Школьников П. Н. Применение сырьевых ингредиентов из корнеплодов свеклы в пищевой промышленности // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2024. Т. 86. № 2. С.132–138. EDN YNRNVS.
2. Колдаев В. М., Кропотов А. В., Ли О. Н. Беталаины в практической медицине // Тихоокеанский медицинский журнал. 2023. № 2 (92). С. 20–24. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2023-2-20-24>. EDN QNHVYB.
3. Melim C., Cabral C., Oliveira P. J., Lauro I. M., Pires I. M. The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (Brassicaceae) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics // Pharmaceutics. 2022. Vol. 14. No. 1. P. 190. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010190>. EDN OJTJKU.
4. Сакара Н. А., Леунов В. И., Тарасова Т. А., Николаев В. А. Столовая свекла в овощекартофельных севооборотах на юге Дальнего Востока России // Картофель и овощи. 2021. № 4. С. 17–21. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.48.98.002>. EDN SSKXEA.
5. Зеленкова Е. Н., Егорова З. Е. Влияние содержания фенольных соединений на вкусовые характеристики столовой моркови // Известия вузов. Пищевая технология. 2021. № 5–6 (383–384). С. 6–11. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.5-6.1>. EDN DBWWYI.
6. Пакулина А. П., Оборская Ю. В., Сакара Н. А., Михеев Ю. Г., Платонова Т. П. Межсортные различия хозяйственно ценных признаков и биохимических показателей свеклы столовой // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Т. 18. № 2. С. 55–63. EDN XEZLFI.
7. Голов В. И. Содержание микроэлементов и тяжелых металлов в пахотных почвах Дальнего Востока // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2010. № 4. С. 16–19. EDN MUPMCN.

8. Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Klimenko V. S. Voltammetric determination of heavy metals in soil and vegetable produce // Russian Journal of Physical Chemistry. 2024. Vol. 98. No. 7. P. 1396–1399. <https://doi.org/10.1134/S0036024424700390>. EDN JVCJGI.
9. Технический регламент Таможенного союза ТР ТС 021/2011. О безопасности пищевой продукции // Техэксперт. URL: <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (дата обращения: 15.11.2024).
10. Пакулина А. П., Тимошенко Э. В., Платонова Т. П. Биохимические особенности сортов и гибридов моркови в условиях Приамурья // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 3. С. 36–42. EDN WDMGLM.
11. Пакулина А. П., Ран О. П., Платонова Т. П. Характеристика сортов и гибридов капусты белокочанной по биохимическим показателям в условиях Приамурья // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 1. С. 22–29. https://doi.org/10.22450/19996837_2023_1_22. EDN ZCFKLZ.

References

1. Reshetnik E. I., Pakusina A. P., Platonova T. P., Griбанова S. L., Babukhadiya K. R., Shkolnikov P. N. Application of raw ingredients from beet roots in the food industry. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta inzhenernykh tekhnologii*, 2024;86;2:132–138. EDN YNRNVS (in Russ.).
2. Koldaev V. M., Kropotov A. V., Li O. N. Betalains in practical medicine. *Tikhookeanskiy meditsinskiy zhurnal*, 2023;2:(92):20–24. <https://doi.org/10.34215/1609-1175-2023-2-20-24>. EDN QHHVYB (in Russ.).
3. Melim C., Cabral C., Oliveira P. J., Lauro I. M., Pires I. M. The role of glucosinolates from cruciferous vegetables (Brassicaceae) in gastrointestinal cancers: from prevention to therapeutics. *Pharmaceutics*, 2022;14;1:190. <https://doi.org/10.3390/pharmaceutics14010190>. EDN OJTJKU.
4. Sakara N. A., Leunov V. I., Tarasova T. A., Nikolaev V. A. The table beet in vegetable potato crop rotations in the south of the Far East of Russia. *Kartofel' i ovoshchi*, 2021;4:17–21. <https://doi.org/10.25630/PAV.2021.48.98.002>. EDN SSKXEA (in Russ.).
5. Zelenkova E. N., Egorova Z. E. Influence of the content of phenolic compounds on the taste characteristics of food carrots. *Izvestiya vuzov. Pishchevaya tekhnologiya*, 2021;5–6 (383–384):6–11. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2021.5-6.1>. EDN DBWWYI (in Russ.).
6. Pakusina A. P., Oborskaya Yu. V., Sakara N. A., Mikheev Yu. G., Platonova T. P. Intervarietal differences in economically valuable traits and biochemical parameters of red beets. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2024;18;2:55–63. EDN XEZLFI (in Russ.).
7. Golov V. I. Contents of trace elements and heavy metals in plowed soils of the Far East. *Vestnik Rossiyskoy akademii sel'skokhozyaystvennykh nauk*, 2010;4:16–19. EDN MUPMCN (in Russ.).
8. Egorova I. V., Panova L. P., Rodionova N. A., Klimenko V. S. Voltammetric determination of heavy metals in soil and vegetable produce. *Russian Journal of Physical Chemistry*, 2024;98;7: 1396–1399. <https://doi.org/10.1134/S0036024424700390>. EDN JVCJGI.
9. On the safety of food products. *TR TS 021/2011 (2011) docs.cntd.ru* Retrieved from <https://docs.cntd.ru/document/902320560> (Accessed 15 November 2024) (in Russ.).
10. Pakusina A. P., Timoshenko E. V., Platonova T. P. Biochemical features of carrot varieties and hybrids in the conditions of Priamurye. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2023;17;3:36–42. EDN WDMGLM (in Russ.).
11. Pakusina A. P., Ran O. P., Platonova T. P. Characteristics of white cabbage varieties and hybrids according to the biochemical parameters in Priamurye. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2023;17;1:22–29. https://doi.org/10.22450/19996837_2023_1_22. EDN ZCFKLZ (in Russ.).

© Панова Л. П., 2024

Статья поступила в редакцию 17.11.2024; одобрена после рецензирования 26.11.2024; принята к публикации 29.11.2024.

The article was submitted 17.11.2024; approved after reviewing 26.11.2024; accepted for publication 29.11.2024.

Информация об авторе

Панова Людмила Петровна, кандидат химических наук, доцент кафедры химии, Благовещенский государственный педагогический университет, panovaljuda.71@mail.ru

Information about the author

Ludmila P. Panova, Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of Chemistry, Blagoveshchensk State Pedagogical University, panovaljuda.71@mail.ru

Научная статья
УДК 633.52(470.2)
EDN JOKICC

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-36-50>

**Оценка перспективных линий льна-долгунца
по основным селекционно-значимым признакам, пластичности
и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России**

**Александр Дмитриевич Степин¹, Михаил Николаевич Рысев²,
Тамара Андреевна Рысева³, Светлана Владимировна Уткина⁴,
Юлия Николаевна Звоникова⁵**

^{1, 2, 3, 4, 5} Федеральний научный центр лубяных культур, Тверская область, Тверь, Россия

¹ info.psk@fncl.ru, ² m.rysev.psk@fncl.ru, ³ t.ryseva.psk@fncl.ru,

⁴ s.utkina.psk@fncl.ru, ⁵ j.zvonikova.psk@fncl.ru

Аннотация. Целью сравнительных исследований являлась оценка перспективных линий льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по комплексу селекционно-значимых признаков и их адаптивности в условиях Северо-Западного региона России. Исследования проводились в 2020–2022 г. на дерново-подзолистой, окультуренной, легкосуглинистой почве. Метеорологические условия в эти годы заметно различались: гидротермический коэффициент за период вегетации был равен в 2020 г. – 1,05; в 2021 г. – 2,07; а в 2022 г. – 1,43. Доля влияния условий года достоверно преобладала на формирование высоты растений (76,4 %), продолжительности вегетационного периода (59,7 %), урожайности льносемян (71,9 %), соломы (56,2 %) и волокна (39,2 %), а доля генотипа – в формировании содержания волокна в стебле (69,9 %). На основании трехлетних данных по комплексу признаков выделены две лучшие линии: П-4880-6-3в-5 и П-4828-1-5б-7, раннеспелые (74; 72 дня), с устойчивостью к полеганию (4,7; 4,8 балла) и болезням (90,3; 98,8 %); превосходящие стандарт по урожайности соломы (43,8 ц/га) на 8 и 2 ц/га; с высоким содержанием волокна (38,2; 39,4 %) и урожайностью волокна (19,7; 18,0 ц/га), достоверно превосходя стандарт на 7,3 и 10,7; 27,1 и 16,1 % соответственно. Эти линии обладают наибольшим адаптивным потенциалом: низкой вариабельностью признаков, высокой реализацией потенциала продуктивности, пластичностью, стрессоустойчивостью и общей адаптивной способностью. Их использование в качестве исходного материала позволит создавать новые высокопродуктивные сорта льна-долгунца с широким адаптивным потенциалом в условиях Северо-Западного региона РФ.

Ключевые слова: *Linum usitatissimum* L., сорт, линия, урожайность, волокно, семена, пластичность, стабильность, адаптивность, стрессоустойчивость

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам статьи за их вклад в экспертную оценку данной работы.

Финансирование: работа выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ в рамках государственного задания Федеральному научному центру лубяных культур в соответствии с темой № FGSS-2024-0001.

Для цитирования: Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Звоникова Ю. Н. Оценка перспективных линий льна-долгунца по основным селекционно-значимым признакам, пластичности и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 36–50. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-36-50>.

Original article

Evaluation of promising long-stalked flax lineages according to the main selective significant traits, plasticity and adaptability in the conditions of the North-West region of Russia

Alexander D. Stepin¹, Mikhail N. Rysev², Tamara A. Ryseva³,
Svetlana V. Utkina⁴, Yulia N. Zvonikova⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Federal Research Center for Bast Fiber Crops, Tver region, Tver, Russian Federation

¹ info.psk@fncl.ru, ² m.rysev.psk@fncl.ru, ³ t.ryseva.psk@fncl.ru,

⁴ s.utkina.psk@fncl.ru, ⁵ j.zvonikova.psk@fncl.ru

Abstract. The purpose of comparative studies was to evaluate promising lineages of long-stalked flax (*Linum usitatissimum* L.) according to a set of selective significant traits and their adaptability in the conditions of the North-West region of the Russian Federation. The research was carried out in 2020–2022 on sod-podzolic, cultivated, light loamy soil. Meteorological conditions in these years differed markedly: the HTC for the growing season was 1,05 in 2020; 2,07 in 2021; 1,43 in 2022. The share of the influence of the conditions of the year significantly prevailed on the plant height formation (76,4%), the growing season duration (59,7%), the flax seed yield (71,9%), straw (56,2%) and fiber (39,2%); and the share of genotype in the formation of fiber content in the stem (69,9%). Based on three-year data on the set of traits, two best lineages were identified: P-4880-6-3b-5 and P-4828-1-5b-7, early maturing (74; 72 days), with resistance to lodging (4,7; 4,8 points) and diseases (90,3; 98,8%); exceeding the standard in straw yield (43,8 c/ha) by 8 and 2 c/ha; with a high fiber content (38,2; 39,4%) and fiber yield (19,7; 18,0 c/ha), significantly exceeding the standard by 7,3 and 10,7%; 27,1 and 16,1%, respectively. These lineages had the greatest adaptive potential: low variability of traits, high realization of productivity potential, plasticity, stress resistance and general adaptive ability. Using these lineages as a starting material will make it possible to create new highly productive varieties of long-stalked flax with a wide adaptive potential in the conditions of the North-West region of the Russian Federation.

Keywords: *Linum usitatissimum* L., variety, line, yield, fiber, seeds, plasticity, stability, adaptability, stress resistance

Acknowledgments: the authors express their gratitude to the reviewers of the article for their contribution to the expert evaluation of this work.

Funding: the work was carried out with the financial support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the framework of the state assignment to the Federal Scientific Center for Bast Crops in accordance with the topic No. FGSS-2024-0001.

For citation: Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Zvonikova Yu. N. Evaluation of promising long-stalked flax lineages according to the main selective significant traits, plasticity and adaptability in the conditions of the North-West region of Russia. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:36–50. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-36-50>.

Введение. В последние годы во всем мире значимость льна-долгунца для народного хозяйства все более возрастает, продукция из натуральных волокон пользуется большим спросом. Лен-долгунец является важнейшей безотходной технической прядильной культурой, которая дает три вида продукции: семена, волокно и костру. Волокно обладает набором уникальных свойств, из него изготавливают различные бытовые и технические ткани, характеризующиеся большой прочностью

и долговечностью. Им свойственны высокие гигиенические качества [1–3].

Льняное масло стало больше использоваться в пищу как источник полиненасыщенных жирных кислот, а также на технические цели для приготовления красок, лаков и олифы. Образующиеся при обмолаоте и переработке льносемян жмых и мякина могут быть ценным источником белка для животных. Льняная костра, которая на 64 % состоит из целлюлозы, служит сырьем для производства бумаги, упаковоч-

ного и технического картона, фурфурола, вискозы, целлулоида. Из костры соломы изготавливают костроплиты, технический этиловый спирт, ацетон [4].

Производимая из льна-долгунца продукция широко используется в различных отраслях народного хозяйства, в том числе в высокотехнологичных отраслях экономики и оборонной промышленности [5, 6]. Однако объемы ее производства не удовлетворяют потребности перерабатывающей промышленности.

В последние десятилетия посевы льна-долгунца сократились до 40 тыс. га, а объемы производства волокнистой продукции снизились до 37 тыс. тонн, при ежегодной потребности внутреннего рынка более 130 тыс. тонн [7, 8]. Низким остается и качество льнотресты, соответствующее первому сортономеру.

В развитии льноводства, повышении его эффективности, увеличении валовых сборов льноволокна важную роль играет использование в посевах современных высокопродуктивных сортов льна-долгунца, что позволяет в короткий срок и без дополнительных затрат повысить урожайность льнопродукции на 25–30 % и более, улучшить ее качество [9–11].

В настоящее время имеется достаточно сортов льна-долгунца, как отечественной, так и иностранной селекции, с урожайностью волокна 20–25 ц/га, льносемян – 10–12 ц/га и более. Однако в производственных условиях их биологический потенциал реализуется не более чем на 30–45 %. Средняя урожайность льноволокна в последние годы находится в пределах 7–9 ц/га.

Это в большей степени обусловлено влиянием неблагоприятных факторов среды [12, 13]. При этом нередки случаи возврата холодов в весенний период и начале лета, краткосрочные засухи, сильная жара, обильные осадки со шквалистыми ветрами и другое [13, 14]. В последнее время наблюдается увеличение частоты и продолжительности указанных явлений.

В создавшихся современных условиях урожайность и качество льнопродукции во многом будут зависеть от успехов селекции в создании сортов и гибридов, устойчивых к этим неблагоприятным явлениям погоды [11].

Данное направление селекции сельскохозяйственных культур является приоритетным в настоящее время [15]. Задача по созданию высокопродуктивных, раннеспелых сортов льна-долгунца с высоким содержанием и качеством волокна, устойчивых к полеганию и опасным болезням, а также к неблагоприятным факторам среды является актуальной [16–18]. При этом отдавать предпочтение следует сортам с максимальной экологической пластичностью [19, 20].

Селекционные методы в льноводстве основаны на традиционных приемах – гибридизации с последующим целенаправленным индивидуальным отбором в расщепляющихся популяциях [21–23]. Для создания конкурентоспособных сортов важно подобрать в качестве родительских форм источники, адаптированные к почвенно-климатическим условиям конкретной зоны; иметь представление о варьировании того или иного признака, корреляционных связей между ними. Это позволит ускорить селекционный процесс, проводить целенаправленный отбор нужных генотипов, повысить его результативность. Таких исследований в области селекции льна-долгунца проводится недостаточно, что и предопределило актуальность нашей работы.

Целью исследований явилась комплексная оценка сортов и перспективных линий льна-долгунца по основным селекционно-значимым признакам, пластичности и адаптивности в условиях Северо-Западного региона России.

Научная новизна исследований состоит в выделении перспективных линий льна-долгунца, обладающих наибольшей продуктивностью и адаптивностью, использование которых в дальнейшей селекционной работе в качестве исходного материала будет способствовать созданию новых высокопродуктивных сортов льна-долгунца с широким адаптивным потенциалом.

Материал и методы исследований. Исследования проводились на опытном поле Псковского научно-исследовательского института сельского хозяйства (обособленное подразделение Федерального научного центра лубяных культур) в течение 2020–2022 г.

Объектом исследований являлись перспективные линии, изучавшиеся в питомнике селекционного сортоиспытания:

П-4528-1-56-7 (М-61×Хваля);

П-4877-11-1в-7 (Добрыня × П-4120 т-3);

П-4880-6-3в-5 (П-4120 т-3 × Пересвет).

Также объектом исследований выступал ультра раннеспелый сорт Восход селекции института. В качестве стандарта использовался районированный в регионе раннеспелый сорт Добрыня селекции института.

Опыты закладывались на дерново-слабоподзолистой, легкосуглинистой почве, с высоким и очень высоким содержанием подвижного фосфора (P_2O_5) – 190–366 мг/кг почвы; средним и повышенным содержанием обменного калия (K_2O) – 89–146 мг/кг почвы (по Кирсанову); средним содержанием гумуса – 2,3–2,6 % (по Тюрину); со слабокислой реакцией почвенного раствора ($pH_{\text{сол.}}$ – 5,0–5,2).

Предшественник – многолетние травы. После уборки многолетних трав поле было обработано гербицидом сплошного действия Торнадо-540 (действующее вещество – глифосат) с нормой расхода, составляющей 2,5 л/га. Затем проводили дискование пласта многолетних трав дисковым БДМ-У-3×2П и зяблевую вспашку на глубину 20–22 см. Весной выполняли боронование для закрытия влаги в почве, обработку дисковым с планчатыми катками и прикатывание гладкими катками перед посевом и после посева. В качестве удобрений использовали азофоску (16:16:16) в дозе 1,5 ц/га, которую вносили перед дискованием.

Исследования проводились в соответствии с методическими указаниями по селекции и первичному семеноводству льна-долгунца [8]. Питомники закладывали во второй декаде мая, норма высева составляла 21 млн. всхожих семян на гектар. Площадь делянки – 25 м², повторность опыта – четырехкратная. Убирали лен-долгунец вручную. Использован сплошной, поделяночный метод учета. Определение содержания льноволокна в стеблях проводили методом тепловой мочки; качество оценивали по стандартной методике.

При статистической обработке данных урожайности определяли коэффици-

ент вариации (CV%), долю влияния сорта и абиотических условий на формирование признаков продуктивности, проводили дисперсионный анализ по методике, изложенной Б. А. Доспеховым [24].

Также нами были использованы следующие методики расчета показателей:

индекс условий среды (I_j) – по методике S. A. Eberhart, W. A. Russell [25];

стрессоустойчивость ($Y_2 - Y_1$) и генетическая гибкость ($(Y_1 + Y_2)/2$) – по уравнениям A. A. Rosielle, J. Hamblin [26];

коэффициент адаптивности (КА) – по методу Л. А. Животкова [27];

общая адаптивная способность (ОАС) – по методике А. В. Кильчевского, Л. В. Хотылевой [28].

Метеорологические условия в период исследований. В годы проведения исследований метеорологические условия существенно различались как по температурному режиму, так и по количеству выпавших осадков (табл. 1).

Одной из особенностей вегетационного периода 2020 г. была недостаточная увлажненность. Среднесуточная температура воздуха в целом за сезон находилась на уровне среднемноголетней (16,0 °C), а количество осадков составило 206,5 мм (65 % от нормы); гидротермический коэффициент (ГТК) равен 1,05.

Особенно засушливые условия сложились в июне (ГТК = 0,74), когда среднесуточная температура воздуха превышала среднемноголетнюю (15,8 °C) на 3,7 °C, а количество осадков было почти в два раза ниже нормы. Гидротермический коэффициент июля близок к оптимальному (1,25). Отмечено, что среднесуточная температура августа была на уровне среднемноголетней (16,0 °C), осадков выпало 50 мм (53 % от нормы). Условия для формирования и созревания семян, уборки урожая были нормальными.

Большой контрастностью отличались метеоусловия в 2021 г. Среднесуточная температура воздуха в целом за вегетационный период (17,4 °C) была выше среднемноголетней на 1,6 °C; сумма осадков составила 376,4 мм (118 % от нормы). При этом гидротермический коэффициент оказался равен 2,07 (при оптимальных значениях для льна-долгунца от 1,3 до 1,6). Метеоусловия в целом можно харак-

Таблица 1 – Метеорологические условия в период исследований (2020–2022 гг.)
Table 1 – Meteorological conditions during the research period (2020–2022)

Годы	Месяцы				В среднем (в сумме)	
	май	июнь	июль	август	май–август	июнь–июль
<i>Среднесуточная температура, °С</i>						
2020	10,2	19,5	17,3	16,9	16,0	18,4
2021	11,6	20,2	22,1	16,0	17,5	21,1
2022	10,7	17,9	18,3	19,9	16,7	18,1
средняя многолетняя	12,2	15,8	18,3	16,5	15,7	17,1
<i>Месячное количество осадков, мм</i>						
2020	46,0	43,5	67,0	50,0	206,0	110,0
2021	141,7	41,1	43,9	149,7	376,4	85,0
2022	36,2	103	55,9	103	298,1	158,9
средние многолетние	55	92	76	94	317	168
<i>Гидротермический коэффициент Селянинова (ГТК)</i>						
2020	1,45	0,74	1,25	0,95	1,05	0,97
2021	3,94	0,68	0,64	3,02	2,07	0,66
2022	1,13	1,92	1,02	1,67	1,43	1,45
средний многолетний	1,45	1,94	1,34	1,84	1,64	1,64

теризовать как избыточно увлажненными, но июнь и июль были жаркими и засушливыми (ГТК составил 0,68 и 0,64 соответственно). За эти месяцы среднесуточная температура воздуха была на 4,0 °С выше, а осадков выпало на 45,9 и 32,1 мм или на 52,7 и 42,2 % ниже нормы, что ускорило созревание льна-долгунца и отрицательно сказалось на урожайности льнопродукции, высоте и выживаемости растений. В то же время август оказался холодным и дождливым (ГТК равен 3,02), что затрудняло уборку льна.

Вегетационный период в 2022 г. можно охарактеризовать как в меру увлажненный. Среднесуточная температура воздуха в целом за период вегетации льна составила 16,7 °С, сумма осадков – 298,4 мм, ГТК – 1,43. Эти показатели были на уровне среднемноголетних (табл. 1).

При этом менее обеспеченными влагой были май и июль (ГТК = 1,02–1,13), а избыточно увлажненными июнь и август (ГТК = 1,92–1,67). В июле и первой декаде августа дожди носили ливневой характер,

что привело к частичному полеганию стеблей и дало возможность оценить сортообразцы на устойчивость к полеганию.

Результаты исследований и их обсуждение. Метеорологические условия за годы исследований по-разному влияли на формирование отдельных хозяйственных признаков, прежде всего на урожайность соломы и семян льна-долгунца.

По результатам двухфакторного дисперсионного анализа, наибольшее влияние на формирование большинства признаков льна-долгунца оказали условия года, где их доля колебалась в пределах 39,2–76,4 % (табл. 2).

Следует отметить, что условия выращивания и наследственные особенности сортов достоверно (при 95-процентном уровне значимости) влияли на все признаки, тогда как взаимодействие генотипа и среды было достоверным только для урожайности льносемян и льноволокна. Влияние генотипа на эти показатели находилось на уровне 10,7–69,9 %. В большей

Таблица 2 – Влияние генотипа и условий года на хозяйственно-ценные признаки льна-долгунца (2020–2022 гг.)

Table 2 – Influence of genotype and year conditions on the economic valuable traits of long-stalked flax (2020–2022)

Показатели	Доля влияния, %		Сочетание факторов	Случайная изменчивость
	генотип	год		
Вегетационный период, дни	36,3*	59,7*	7,6	3,8
Высота растений, см	12,8*	76,4*	4,5	2,6
Содержание льноволокна, %	69,9*	12,3*	8,7	3,2
Урожайность льносолумы, ц/га	14,4*	56,2*	3,6	18,0*
Урожайность льносемян, ц/га	10,7*	71,9*	9,7*	7,9
Урожайность льноволокна, ц/га	29,2*	39,2*	11,7*	12,3*
* достоверно при 95-процентном уровне значимости.				

степени оно проявилось на содержании волокна в стебле (69,9 %).

Об этом же говорят и данные по оценке сезонных эффектов с помощью коэффициентов корреляции, рассчитанных между показателями одноименных признаков, полученных в разные годы. В наших исследованиях установлены высокие межсезонные корреляционные связи (коэффициенты корреляции r), показанные в таблице 3 по показателям:

- продолжительности вегетационного периода (0,96–0,99);
- высоте растений (0,68–0,92);
- содержанию волокна (0,85–0,98);
- урожайности льносолумы (0,83–0,87);
- урожайности волокна (0,76–0,94).

В различные годы по этим показателям испытываемые генотипы занимали, в основном, одинаковые места.

Наиболее слабые межсезонные корреляционные связи получены по признаку урожайности семян (0,61; 0,36 и 0,28), соответственно между 2020 и 2021 гг., 2020 и 2022 гг., 2021 и 2022 гг., что свидетельствует о нестабильности данного показателя в различные по метеоусловиям годы (сильное взаимное действие «генотип × среда» – сорта в разные годы меняются рангами). Линия П-4628-1-56-7 по урожайности льносемян в 2020 г. занимала 2; в 2021 г. – 4 и в 2022 г. – 5 место, а сорт Восход – 1; 5 и 4 места соответственно.

Все сорта и линии, представленные в селекционном сортоиспытании, харак-

Таблица 3 – Сезонные эффекты по критериям селекционно-ценных признаков льна-долгунца на основе корреляционного анализа (2020–2022 гг.)

Table 3 – Seasonal effects according to the criteria of selective significant traits of long-stalked flax based on correlation analysis (2020–2022)

Показатели	Коэффициенты корреляции		
	2020–2021 гг.	2020–2022 гг.	2021–2022 гг.
Вегетационный период, дни	0,99*	0,96*	0,97*
Высота растений, см	0,92*	0,68	0,78
Содержание льноволокна, %	0,91*	0,98*	0,85*
Урожайность льносолумы, ц/га	0,84	0,87*	0,83
Урожайность льносемян, ц/га	0,83	0,94*	0,76
Урожайность льноволокна, ц/га	0,64	0,36	0,28
* достоверно при 95-процентном уровне значимости.			

теризуются высокими показателями селекционно-значимых признаков, но по их величине и реакции на условия среды отличаются между собой (табл. 4).

За годы исследований *вегетационный период* у изучаемых сортообразцов варьировал от 60 (сорт Восход, 2021 г.) до 84 суток (линия П-4877-11-1в-7, 2022 г.), а по средним данным от 69 до 75 суток. Степень изменчивости данного показателя по годам периода у всех сортообразцов находилась на среднем уровне (10,1–12,4 %); при этом продолжительность вегетационного периода в большей степени (59,7 %) зависела от погодных условий, тогда как от генотипа и взаимодействия указанных факторов на 26,3 и 17,6 % соответственно.

В жарком и засушливом 2021 г. продолжительность вегетационного периода в разрезе сортов варьировала в пределах 60–68 суток. При этом самым коротким он был у сорта Восход (60 суток); у линии П-4628-1-56-7 он был длиннее на 4 дня; а у линий П-4877-11-1в-7, П-4880-5-3в-5 и стандарта Добрыня – на 7–8 дней. Наиболее продолжительным вегетационный период был в прохладном и дождливом 2022 г. (77–84 суток). Распределение по рангам среди сортообразцов было аналогичным 2021 г. У сорта Восход он составил 77 суток, у линии П-4628-1-56-7 – 79 суток и у остальных – 83–84 суток.

Такая же картина наблюдалась и по средним данным за годы исследований. Наиболее короткий вегетационный период был у сорта Восход (69 суток), а наиболее длинный у сорта-стандарта Добрыня и линии П-4877-11-1в-7 (75 суток). Из испытываемых образцов самым коротким он был у линии П-4628-1-56-7 (72 суток).

Сухая и жаркая погода в 2021 г. отрицательно сказалась на *высоте растений*. Среднесортная высота растений в этом году составила всего 63 см. Только одна линия (П-4880-5-3в-5) достоверно превысила по высоте среднесортную на 4,0 см и стандарт на 8 см. Это может свидетельствовать о ее большей засухоустойчивости в сравнении с другими. Данная линия была самой высокорослой и в более благоприятные по метеоусловиям 2020 и 2022 гг. (83; 76 см), превысила стандарт на 8,0 и 6,0 см (10,7; 8,6 %), соответственно.

По средним данным за 2020–2022 гг. высота растений у линии П-4880-5-3в-5

составила 75,3 см, что превышает стандарт на 10,7 % и среднесортную на 5,9 %.

Устойчивость растений к полеганию, которая во многом определяет пригодность сорта к механизированной уборке и получению льнопродукции высокого качества, приобретает особое значение при селекции льна-долгунца. В 2021 г. полегание растений не наблюдалось, а в 2020 и 2022 гг. оно было незначительным.

Все сортообразцы, наряду со стандартом, характеризовались высокой и очень высокой устойчивостью к полеганию (4–5 баллов). При этом все они превосходили стандарт на 0,4–0,5 баллов в 2020 г. и на 0,3–0,7 баллов в 2022 г.

По средним данным за три года устойчивость к полеганию у стандарта Добрыня составила 4,4 балла; у линий П-4828-1-56-7 и П-4877-11-1в-7 – 4,8 балла; линии П-4880-6-3в-5 – 4,7 балла. Испытываемые в опыте линии отличались слабой степенью изменчивости данного признака (CV), равной 5,2–6,0 %, тогда как сорта Восход и Добрыня – средней (11,5; 11,81 %).

Все изучаемые генотипы отличались довольно высокой степенью *устойчивости к фузариозному увяданию*. В среднем по годам она колебалась от 88 до 95 %. Наиболее высокие показатели по данному признаку наблюдались у сорта Восход (95 %) и стандарта Добрыня (93,7 %), тогда как новые линии несколько уступали (88–90,3 %). У всех сортообразцов степень изменчивости данного признака (CV) по годам исследований была слабой, составив 4,1–6,5 %, что может свидетельствовать о стабильности показателя.

Показатель содержания волокна является наиболее стабильным в процессе репродукции. Степень изменчивости его у изучаемых образцов находилась на низком уровне (0,3–5,9 %). Варьирование данного признака, по данным дисперсионного анализа, зависело в основном от генотипа (69,9 %), но и влияние условий среды было значимым (12,3 %). На долю взаимодействия генотипа и среды приходилось 8,7 %.

По содержанию льноволокна в стеблях выделились линии П-4828-1-56-7 (39,4 %) и П-4880-6-3в-5 (38,2 %), которые превосходили стандартный сорт Добрыня

Таблица 4 – Оценка сортообразцов льна-долгунца по основным хозяйственно-ценным признакам и адаптивности (2020–2022 гг.)

Table 4 – Evaluation of long-stalked flax varieties according to the main economic valuable traits and adaptability (2020–2022)

Названия сортообразцов и показатели	Годы				CV, %	КА	Реализация потенциала, %
	2020	2021	2022	среднее			
<i>Урожайность льносоломы, ц/га</i>							
П-4628-1-56-7	55,9	32,6	48,8	45,8	26,1	0,98	81,9
П-4877-11-1в-7	57,4	34,4	46,7	46,2	24,9	0,99	80,5
П – 4880-6-3в-5	59,7	38,8	56,8	51,8	21,9	1,11	86,8
Восход	55,8	33,0	47,8	45,5	25,4	0,98	81,5
Добрыня (стандарт)	53,8	33,6	43,9	43,8	23,1	0,94	81,4
Средняя сортовая	56,5	34,5	48,8	46,6	–	1,00	–
Индекс среды (Ij)	9,9	–12,1	2,2	–	–	–	–
<i>Урожайность льносемян, ц/га</i>							
П-4628-1-56-7	11,0	5,4	9,0	8,5	33,4	0,97	77,2
П-4877-11-1в-7	9,9	5,9	10,7	8,8	29,2	1,0	82,2
П-4880-6-3в-5	9,5	5,5	10,9	8,3	32,6	0,94	76,1
Восход	12,2	4,9	10,6	9,2	41,7	1,05	75,4
Добрыня (стандарт)	10,1	6,1	10,9	9,0	28,6	1,02	82,5
Средняя сортовая	10,5	5,6	10,4	8,8	–	1,00	–
Индекс среды (Ij)	1,7	–3,2	1,6	–	–	–	–
<i>Содержание льноволокна, %</i>							
П-4628-1-56-7	39,0	39,9	39,3	39,4	1,2	1,07	98,7
П-4877-11-1в-7	36,4	38,2	35,2	36,6	4,1	0,99	95,8
П-4880-6-3в-5	38,1	38,2	38,3	38,2	0,3	1,04	99,7
Восход	34,4	35,7	33,1	34,4	3,8	0,94	96,4
Добрыня (стандарт)	35,6	37,7	33,5	35,6	5,9	0,97	94,4
Средняя сортовая	36,7	37,9	35,9	36,8	–	1,00	–
Индекс среды (Ij)	–0,1	1,1	–0,9	–	–	–	–
<i>Урожайность льноволокна, ц/га</i>							
П-4628-1-56-7	21,8*	13	19,2*	18*	25,2	1,05	82,6
П-4877-11-1в-7	20,9*	13,1	16,4*	16,8	23,3	0,98	80,4
П-4880-6-3в-5	22,7*	14,8*	21,7*	19,7*	21,9	1,15	86,8
Восход	19,2	11,8	15,9	15,6	23,8	0,91	81,2
Добрыня (стандарт)	19,1	12,7	14,7	15,5	29,9	0,91	81,2
Средняя сортовая	20,7	13,1	17,6	17,1	–	1,00	–
Индекс среды (Ij)	3,6	–4,0	0,5	–	–	–	–
* достоверно при 95-процентном уровне значимости. CV – показатель вариации, %; КА – коэффициент адаптивности.							

на 10,7 и 7,3 % соответственно. У линии П-4877-11-1в-7 содержание волокна было несколько ниже (36,6 %), но она также превосходила стандарт на 2,8 %. К тому же, данное превосходство наблюдалось во все годы проведения опыта.

Качество льноволокна оценивали по показателям прочности и гибкости. От прочности волокна зависит крепость пряжи и ткани. Наиболее высокой крепостью волокна характеризовались линии П-4880-6-3в-5 (21,7 кгс) и П-4828 1-56-7 (20,6 кгс); у стандарта Добрыня она равнялась 19,8 кгс.

Другим важным свойством волокна является гибкость. Чем она больше, тем выше прядильные качества волокна. Показатель гибкости стандарта Добрыня (46,5 мм) превысили линии П-4828-1-56-7 (49,8 мм), П-4877-11-1в-7 (52,3 мм) и сорт Восход (49,6 мм). В соответствии с международным классификатором СЭВ, все выделенные образцы отличаются высокими прочностью и гибкостью.

Урожайность льносолумы у стандартного сорта Добрыня в среднем за годы исследований составила 43,8 ц/га. У изучаемых сортономеров и сорта Восход она варьировала от 45,5 до 51,8 ц/га, превышая стандарт на 1,7–8,0 ц/га или на 3,9–18,3 %.

Но лишь у линии П-4880-6-3в-5 прибавка урожая была достоверной и составила 5,2 ц/га ($НСР_{0,95} = 3,45$ ц/га). К тому же, показатели урожайности льносолумы были более высокими и достоверными как в благоприятные, так и неблагоприятные по погодным условиям годы.

У всех образцов наблюдалось сильное варьирование данного показателя за годы исследований (21,8–26,1 %). При этом оно на 56,2 % зависело от условий среды, на 14,4 % от генотипа и на 3,6 % от взаимодействия факторов. Наименьшая изменчивость признака отмечалась у линии П-4880-6-3в-5 (21,9 %).

По урожайности льносемян все исследуемые линии, по средним данным, незначительно уступали стандарту Добрыня (9,0 ц/га) на 0,2–0,7 ц/га или на 2,2–7,8 %. У сорта Восход она находилась на уровне стандарта (9,2 ц/га).

Степень изменчивости этого признака была высокой и составляла от 28,6 до

41,7 %. Она на 71,9 % зависела от условий среды и на 10,7 % от генотипа.

Основным видом прядильного льна является волокно. Урожайность льноволокна в опыте у сортообразцов под влиянием складывающихся погодных условий сильно варьировала по годам (от 21,9 до 29,9 %). Благоприятными для формирования урожайности волокна были 2020 и 2022 гг., индекс среды (I_j) которых составил соответственно 3,6 и 0,5; а неблагоприятным – 2021 г. ($I_j = -4,0$).

Среднесортная урожайность в опыте по годам составила соответственно 20,7; 17,6; 13,1 ц/га. При этом в благоприятные по метеоусловиям 2020 и 2022 гг. достоверно превзошли стандарт Добрыня по урожайности льноволокна (14,7; 19,1 ц/га) все три исследуемые линии, а среднесортную урожайность (17,6; 20,1 ц/га) – лишь линия П-4880-6-3в-5 (21,7; 22,7 ц/га). В неблагоприятном 2021 г. наиболее высокая урожайность льноволокна была также получена у линии П-4880-6-3в-5, которая составила 14,8 ц/га, что достоверно выше стандарта на 2,1 ц/га (16,5 %) и выше среднесортной на 1,7 ц/га (13,0 %).

Таким образом, линия П-4880-6-3в-5 дает хороший урожай волокна в благоприятные и обладает высокой адаптивностью в неблагоприятные по погодным условиям годы, что имеет немаловажное значение для производства.

Изучаемые сорта и линии не в полной мере использовали свой потенциал продуктивности. Его реализация по отдельным селекционно-значимым признакам находилась на уровне 75,4–99,7 %, что является следствием влияния неблагоприятных факторов среды. Наиболее высокой она была по признаку «содержание волокна» (94,4–99,7 %), а наименьшей по признаку «урожайность льносемян» (75,4–82,3 %). По признакам «урожайность льноволокна» и «урожайность льносолумы» она находилась примерно на одном уровне – соответственно 80,4–86,8 и 80,5–86,8 %. При этом следует отметить, что по большинству признаков наиболее высокие показатели по реализации потенциала продуктивности были у линии П-4880-6-3в-5 (по соломе – 86 %, по содержанию волокна – 99,7 %, по урожайности волокна – 86,8 %). Близка к ней по этим показателям и линия П-4828-1-56-7.

По признаку урожайности льносемян наиболее высокие показатели по реализации потенциала были у линии П-4877-11-1в-7 (82,2 %).

Согласно методике Л. А. Животкова, *наибольшая адаптивность* по большинству признаков волокнистой продукции отмечена у исследуемых линий П-4880-6-3в-5, П-4828-1-5б-7, коэффициент адаптивности которых равен соответственно 1,15; 1,05. У стандарта Добрыня данный показатель составил 0,95.

Наиболее высокой *стрессоустойчивостью* (минус 6,4), представляющей разницу между минимальной и максимальной урожайностью, в условиях опыта обладал стандарт Добрыня, а из новых рассматриваемых образцов – линии П-4880-6-3в-5 и П-4877-11-1в-7 (минус 7,9 и минус 7,8). При этом наименьшая устойчивость к стрессу (минус 8,8) наблюдалась у линии П-4628-1-5б-7.

Наибольшей *генетической гибкостью* (урожайностью льноволокна в контрастных условиях) характеризовались линии П-4880-6-3в-5 и П-4628-1-5б-7 (18,8; 17,4 ц/га), превысившие стандарт Добрыня (15,9 ц/га) на 18,2 и 4,8 % соответственно. У линии П-4877-11-1в-7 она находилась на уровне 17,0 ц/га.

Новые линии отличались и более высокой *общей адаптивной способностью*. Более высокие значения имели сортообразцы П-4880-6-3в-5 (2,6) и П-4628-1-5б-7 (0,9), которые превышали среднесорттовую урожайность льноволокна за годы исследований на 0,9 и 2,6 ц/га соответственно.

Низкими значениями показателя характеризовались стандарт Добрыня (минус 1,6) и сорт Восход (минус 1,5).

При оценке сортообразцов в процессе селекции необходимо учитывать не только отдельные хозяйственно-ценные признаки и влияние на них условий выращивания, но и характер взаимодействия между ними. Сильные корреляционные связи между признаками говорят о том, что, осуществляя отбор по одному из них, будет изменяться и другой. Отсутствие корреляции указывает на возможность независимой селекции на их улучшение. В условиях опыта отдельные хозяйственно-ценные признаки в различной степени коррелировали между собой; при этом связь была как положительной, так и отрицательной (табл. 5).

На основании проведенных исследований нами установлены:

сильная положительная зависимость урожайности льносолумы с высотой растений, урожайностью льноволокна, где коэффициенты корреляции (*r*) составили 0,93 и 0,95 соответственно;

средняя положительная зависимость урожайности соломы с содержанием волокна (0,46), урожайности льноволокна с содержанием волокна и общей высотой растений (0,55), содержания волокна с общей высотой растений (0,40) и длиной вегетационного периода (0,32);

слабая положительная зависимость урожайности льносемян с урожайностью соломы (0,06) и урожайностью волокна

Таблица 5 – Корреляция урожайности и селекционно-значимых признаков у сортов и перспективных линий льна-долгунца (2020–2022 гг.)

Table 5 – Correlation of yield and selective significant traits in varieties and promising lineages of long-stalked flax (2020–2022)

Признаки	1	2	3	4	5	6
1	×	0,95	0,03	0,55	0,55	–0,03
2	0,95	×	0,06	0,46	0,93	0,15
3	0,03	0,06	×	–0,10	–0,07	–0,09
4	0,55	0,46	–0,10	×	0,40	0,32
5	0,55	0,93	–0,07	0,40	×	–0,11
6	–0,03	0,15	–0,09	0,32	–0,11	×

Примечания: 1 – урожайность волокна; 2 – урожайность соломы; 3 – урожайность семян; 4 – содержание волокна; 5 – высота растений; 6 – вегетационный период.

(0,03); вегетационного периода с урожайностью льносолумы (0,15);

слабая отрицательная зависимость урожайности льносемян с общей высотой растений (–0,07), содержанием волокна (–0,10) и длиной вегетационного периода (–0,09).

Заключение. На основании проведенных исследований выделены две лучшие линии (генотипа) по комплексу основных хозяйственно-ценных признаков: П-4880-6-3в-5 и П-4628-1-5б-7, представляющие практический интерес.

Линии скороспелые (вегетационный период 74; 72 дней), созревают на 1; 3 дня раньше стандартного сорта Добрыня; обладают высокой степенью устойчивости к полеганию (4,7; 4,8 балла) и фузариозному увяданию (90,3; 88,0 %).

Они превосходят стандарт по урожайности льносолумы на 8,0; 2,0 ц/га, но

несколько уступают ему по урожайности льносемян (на 0,5; 0,7 ц/га). Отличаются очень высоким содержанием волокна в растениях (38,2; 39,4 %) и урожайностью волокна (19,7; 18,0 ц/га), что достоверно превышает стандарт Добрыня на 7,3 и 10,7; 27,1 и 16,1 % соответственно.

Одновременно исследуемые линии отличаются и наиболее высокими адаптивными свойствами: меньшей изменчивостью, стрессоустойчивостью, пластичностью и реализацией потенциала (практически по всем показателям продуктивности).

Линия П-4880-6-3в-5 в настоящее время готовится к передаче в государственное сортоиспытание и наряду с линией П-4628-1-5б-7 будет использоваться в дальнейшей селекционной работе по созданию новых сортов льна-долгунца, адаптированных к условиям Северо-Западного региона.

Список источников

1. Ростовцев Р. А. Повышение эффективности уборки льна-долгунца путем разработки технологических процессов и технических средств для их осуществления : автореф. дис. ... докт. техн. наук. СПб., 2010. 38 с. EDN QGUNDV.
2. Понажев В. П., Павлова Л. Н., Павлов Е. И., Матюхин А. П., Сорокина Е. Ю., Кудрявцев Е. А. [и др.]. Технология и организация производства высококачественной продукции льна-долгунца. М. : Росинформагротех, 2004. 148 с. EDN QKWNRV.
3. Смирнова Л. А., Поздняков Б. А., Рожмина Т. А., Понажев В. П., Павлова Л. Н. Льняной комплекс России: факторы и условия эффективного развития. М. : Росинформагротех, 2013. 142 с.
4. Голуб И. А., Снопов А. Н., Рубаник А. Н., Самсонов В. П., Кукреш С. П., Прудников В. А. [и др.]. Лен Беларуси : монография. Минск : Орех, 2003. 245 с. EDN DMDRSI.
5. Ущাপовский И. В., Новиков Э. В., Басова Н. В., Безбабченко А. А., Галкин А. В. Системные проблемы льнокомплекса России и зарубежья, возможности их решения // Молочнохозяйственный вестник. 2017. № 1 (25). С. 166–186. EDN YITDCX.
6. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current uses and future applications // Australian Journal of Basic and Applied Sciences. 2010. Vol. 4. No. 9. P. 4304–4312.
7. Рожмина Т. А., Павлова Л. Н., Понажев В. П., Захарова Л. М. Льняная отрасль на пути к возрождению // Защита и карантин растений. 2018. № 1. С. 3–8. EDN YNMXFE.
8. Павлова Л. Н., Рожмина Т. А., Лошакова Н. И. Селекция и первичное семеноводство льна-долгунца : методические указания. Тверь : Тверской государственный университет, 2014. 140 с.
9. Павлова Л. Н., Герасимова Е. Г., Румянцева В. Н., Кудрявцева Л. П. Новые сорта льна-долгунца – основа повышения эффективности отрасли льноводства // Научное обеспечение производства прядильных культур: состояние, проблемы и перспективы : сб. науч. тр. Тверь : Тверской государственный университет, 2018. С. 23–24. EDN YXRELJ.
10. Степин А. Д., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Внедрение новых сортов льна-долгунца Псковской селекции в производство // Инновационные разработки для производства и переработки лубяных культур : материалы междунар. науч.-практ. конф. Тверь : Тверской государственный университет, 2016. С. 66–71. EDN XEVAGP.

11. Жученко А. А. Адаптивная система селекции растений (эколого-генетические основы). Том 1. М. : Российский университет дружбы народов, 2001. 780 с.
12. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А. Изучение коллекционных образцов коллекции льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) // Достижения науки и техники АПК. 2018. Т. 32. № 11. С. 40–42. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11110>. EDN YTALOP.
13. Степин А. Д., Рысев М. Н., Кострова Г. А., Рысева Т. А., Уткина С. В. Основные направления и результаты научных исследований Псковского НИУ по селекции льна-долгунца // Известия Великолукской государственной сельскохозяйственной академии. 2019. № 2. С. 14–21. EDN TZRKQJ.
14. Гордеев А. В., Клещенко А. Д., Черняков Б. А., Сиротенко О. Д., Сиптиц С. О., Романенко И. А. [и др.]. Биоклиматический потенциал России: продуктивность и рациональное размещение сельскохозяйственных культур в условиях изменения климата. М. : Россельхозакадемия, 2012. 203 с. EDN TMKBEN.
15. Жученко А. А., Рожмина Т. А. Генетические ресурсы и селекция растений – главные механизмы адаптации в сельском хозяйстве // Вестник аграрной науки. 2019. № 6 (81). С. 3–8. <https://doi.org/10.15217/ISSN2587-666X.2019.6.3>. EDN MSUTYT.
16. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J., Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania // Agronomy Research. 2009. Vol. 7. No. 1. P. 59–72.
17. Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Романова Н. В. Скрининг сортообразцов льна-долгунца коллекции ВИР по урожайности льноволокна и параметрам адаптивности в условиях Северо-Западного региона // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 2. С. 141–151. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151>. EDN AYBNKH.
18. Трабурова Е. А., Рожмина Т. А., Андреева И. А. Скрининг образцов генофонда льна по урожайности волокна и их адаптивности к условиям Центрального Нечерноземья // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2020. Т. 21. № 6. С. 688–696. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696>. EDN EFQTXZ.
19. Королев К. П., Боме Н. А. Оценка генотипов льна-долгунца (*Linum usitatissimum* L.) по экологической адаптивности и стабильности в условиях северо-восточной части Беларуси // Сельскохозяйственная биология. 2017. Т. 52. № 3. С. 615–621. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>. EDN YZKVMH.
20. Рыбась И. А. Повышение адаптивности в селекции зерновых культур // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51. № 5. С. 617–626. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>. EDN WZJQEN.
21. Кощеева Н. С., Лыскова И. В., Баталова Г. А., Краева С. Н. Исходный материал для селекции льна-долгунца в условиях Волго-Вятского региона // Российская сельскохозяйственная наука. 2017. № 3. С. 6–9. EDN TQMRMD.
22. Пакуль В. Н. Изменчивость и связи хозяйственно ценных признаков яровой мягкой пшеницы в условиях северной лесостепи Западной Сибири // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2022. Т. 23. № 1. С. 44–53. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.44-53>. EDN DADYRS.
23. Жученко А. А., Рожмина Т. А., Понажев В. П., Павлова Л. Н., Тихомирова В. Я., Сорокина О. Ю. [и др.]. Эколого-генетические основы селекции льна-долгунца. Тверь : Тверской государственный университет, 2009. 272 с.
24. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта: с основами статистической обработки результатов исследований. М. : Агропромиздат, 1985. 351 с. EDN ZJQBUD.
25. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties // Crop Science. 1966. Vol. 6. No. 1. P. 38–40.
26. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments // Crop Science. 1981. Vol. 21. No. 6. P. 27–29.
27. Животков Л. А., Морозова З. А., Секатуева Л. И. Методика выявления потенциальной продуктивности и адаптивности сортов и селекционных форм озимой пшеницы по показателю «урожайность» // Селекция и семеноводство. 1994. № 2. С. 3–6.

28. Кильчевский А. В., Хотылева Л. В. Экологическая селекция растений. Минск : Технология, 1997. 372 с.

References

1. Rostovtsev R. A. Improving the efficiency of harvesting flax by developing technological processes and technical means for their implementation. *Extended abstract of candidate's thesis*. Saint-Petersburg, 2010, 38 p. EDN QGUNDV (in Russ.).
2. Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Pavlov E. I., Matyukhin A. P., Sorokina E. Yu., Kudryavtsev E. A. [et al.]. *Technology and organization of production of high quality long-flax products*, Moscow, Rosinformagrotekh, 2004, 148 p. EDN QKWNRV (in Russ.).
3. Smirnova L. A., Pozdnyakov B. A., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pavlova L. N. *Russian flax complex: factors and conditions for effective development*, Moscow, Rosinformagrotekh, 2013. 142 p. (in Russ.).
4. Golub I. A., Snopov A. N., Rubanik A. N., Samsonov V. P., Kukresh S. P., Prudnikov V. A. [et al.]. *Flax of Belarus: monograph*, Minsk, Orekh, 2003, 245 p. EDN DMDRSI (in Russ.).
5. Ushchapovsky I. V., Novikov E. V., Basova N. V., Bezbabchenko A. A., Galkin A. V. System problems of flax growing in Russia and abroad, the possibilities of their solutionedn. *Molochnokhozyaystvennyi vestnik*, 2017;1(25):166–186. EDN YITDCX (in Russ.).
6. Jhala A. J., Hall L. M. Flax (*Linum usitatissimum* L.): Current uses and future applications. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 2010;4;9:4304–4312.
7. Rozhmina T. A., Pavlova L. N., Ponazhev V. P., Zakharova L. M. Linen industry on the way to revival. *Zashchita i karantin rasteniy*, 2018;1:3–8. EDN YNMXFE (in Russ.).
8. Pavlova L. N., Rozhmina T. A., Loshakova N. I. *Selection and primary seed production of long-staple flax: methodological guidelines*, Tver', Tverskoi gosudarstvennyi universitet, 2014, 140 p. (in Russ.).
9. Pavlova L. N., Gerasimova E. G., Rumyantseva V. N., Kudryavtseva L. P. New varieties of flax are the basis for improving the efficiency of the flax industry. Proceedings from *Nauchnoye obespecheniye proizvodstva pryadil'nykh kul'tur: sostoyaniye, problemy i perspektivy*. (PP. 23–25), Tver', Tverskoy gosudarstvennyy universitet, 2018. EDN YXRELJ (in Russ.).
10. Stepin A. D., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Introduction of new flax varieties of Pskov breeding into production. Proceedings from *Innovative developments for the production and processing of bast crops: Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 66–71), Tver', Tverskoy gosudarstvennyy universitet. 2016. EDN XEVAGP (in Russ.).
11. Zhuchenko A. A. *Adaptive plant breeding system (ecological and genetic foundations). Volume 1*, Moscow, Rossiiskii universitet druzhby narodov, 2001. 780 p. (in Russ.).
12. Traburova E. A., Rozhmina T. A. Examination of collection samples of flax (*Linum usitatissimum* L.). *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 2018;32;11:40–42. <https://doi.org/10.24411/0235-2451-2018-11110>. EDN YTALOP (in Russ.).
13. Stepin A. D., Rysev M. N., Kostrova G. A., Ryseva T. A., Utkina S. V. Main directions and results of scientific research of the Pskov Research Institute of flax breeding and long-flax breeding. *Izvestiya Velikolukskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2019;2:14–21. EDN TZRKQJ (in Russ.).
14. Gordeyev A. V., Kleshchenko A. D., Chernyakov B. A., Sirotenko O. D., Siptits S. O., Romanenko I. A. [et al.]. *Bioclimatic potential of Russia: productivity and rational placement of crops in conditions of climate change*, Moscow, Rossel'khozakademiya, 2012, 203 p. EDN TMKBEN (in Russ.).
15. Zhuchenko A. A., Rozhmina T. A. Genetic resources and plant breeding as the main mechanisms of adaptation in agriculture. *Vestnik agrarnoy nauki*, 2019;6(81):3–8. <https://doi.org/10.15217/ISSN2587-666X.2019.6.3>. EDN MSUTYT (in Russ.).
16. Rasukas A., Jankauskiene Z., Jundulas J., Asakaviciute R. Research of technical crops (polato and flax) genetic resources in Lithuania. *Agronomy Research*, 2009;7;1:59–72.

17. Stepin A. D., Rysev M. N., Ryseva T. A., Utkina S. V., Romanova N. V. Screening of fiber flax varieties from the VIR collection according to flax fiber yield and adaptability parameters in the conditions of the North-Western region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2020;21;2:141–151. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.2.141-151>. EDN AYBHKH (in Russ.).
18. Traburova E. A., Rozhmina T. A., Andreeva I. A. Screening of flax gene pool samples by fiber yield and their adaptability to the conditions of the Central Non-Chernozem region. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2020;21;6:688–696. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2020.21.6.688-696>. EDN EFQTXZ (in Russ.).
19. Korolev K. P., Bome N. A. Evaluation of flax (*Linum usitatissimum* L.) genotypes on environmental adaptability and stability in the North-Eastern Belarus. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2017;52;3:615–621. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2017.3.615rus>. EDN YZKVMH (in Russ.).
20. Rybas I. A. Breeding grain crops to increase adaptability. *Sel'skokhozyaystvennaya biologiya*, 2016;51;5:617–626. <https://doi.org/10.15389/agrobiology.2016.5.617rus>. EDN WZJQEN (in Russ.).
21. Koshcheeva N. S., Lyskova I. V., Batalova G. A., Kraeva S. N. Initial material for breeding of long-fibred flax in conditions of Volga-Vyatka region. *Rossiyskaya sel'skokhozyaystvennaya nauka*, 2017;3:6–9. EDN TQMRMD (in Russ.).
22. Pakul V. N. Variability and relationships of agronomic traits of spring soft wheat in the conditions of the northern forest-steppe of Western Siberia. *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka*, 2022;23;1:44–53. <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2022.23.1.44-53>. EDN DADYRS (in Russ.).
23. Zhuchenko A. A., Rozhmina T. A., Ponazhev V. P., Pavlova L. N., Tikhomirova V. Ya., Sorokina O. Yu. [et al.]. *Ecological and genetic foundations of flax breeding*, Tver', Tverskoy gosudarstvennyy universitet, 2009, 272 p. (in Russ.).
24. Dospekhov B. A. *Field experience methodology: with the basics of statistical processing of research results*, Moscow, Agropromizdat, 1985, 351 p. EDN ZJQBUD (in Russ.).
25. Eberhart S. A., Russell W. A. Stability parameters for comparing varieties. *Crop Science*, 1966;6;1:38–40.
26. Rossielle A. A., Hamblin J. Theoretical aspects of selection for yield in stress and non-stress environments. *Crop Science*, 1981;21;6:27–29.
27. Zhivotkov L. A., Morozova Z. A., Sekatueva L. I. Methodology of identification of potential productivity and adaptability of varieties and breeding forms of winter wheat by the indicator "yield". *Seleksiya i semenovodstvo*, 1994;2:3–6 (in Russ.).
28. Kilchevsky A. V., Khotyleva L. V. *Ecological plant breeding*, Minsk, Tekhnologiya, 1997, 372 p. (in Russ.).

© Степин А. Д., Рысев М. Н., Рысева Т. А., Уткина С. В., Звоникова Ю. Н., 2024

Статья поступила в редакцию 28.10.2024; одобрена после рецензирования 28.11.2024; принята к публикации 02.12.2024.

The article was submitted 28.10.2024; approved after reviewing 28.11.2024; accepted for publication 02.12.2024.

Информация об авторах

Степин Александр Дмитриевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, заместитель директора обособленного подразделения «Псковский научно-исследовательский институт сельского хозяйства», Федеральный научный центр лубяных культур, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, Author ID: 786404, info.psk@fncl.ru;

Рысев Михаил Николаевич, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-7593>, Author ID: 137541, m.rysev.psk@fncl.ru;

Рысева Тамара Андреевна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5420-8419>, Author ID: 991206, t.ryseva.psk@fncl.ru;

Уткина Светлана Владимировна, старший научный сотрудник лаборатории селекционных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7006-6713>, Author ID: 993608, s.utkina.psk@fncl.ru;

Звоникова Юлия Николаевна, аспирант, инженер-исследователь лаборатории селекционных технологий, Федеральный научный центр лубяных культур, j.zvonikova.psk@fncl.ru

Information about the authors

Alexander D. Stepin, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Deputy Director of the Separate Division "Pskov Research Institute of Agriculture", Federal Research Center for Bast Fiber Crops, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9009-878X>, Author ID: 786404, info.psk@fncl.ru;

Mikhail N. Rysev, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9291-7593>, Author ID: 137541, m.rysev.psk@fncl.ru;

Tamara A. Ryseva, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher of the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-5420-8419>, Author ID: 991206, t.ryseva.psk@fncl.ru;

Svetlana V. Utkina, Senior Researcher of the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7006-6713>, Author ID: 993608, s.utkina.psk@fncl.ru;

Yulia N. Zvonikova, Postgraduate Student, Research Engineer of the Laboratory of Breeding Technologies, Federal Research Center for Bast Fiber Crops, j.zvonikova.psk@fncl.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

АГРОИНЖЕНЕРИЯ И ПИЩЕВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

AGRO-ENGINEERING AND FOOD TECHNOLOGIES

Научная статья

УДК 631.86

EDN JPMWDV

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-51-59>**Обоснование технологической схемы
установки для обеззараживания жидкого навоза****Анатолий Михайлович Бондаренко¹, Сергей Григорьевич Иващенко²**^{1,2} Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Ростовская область, Зерноград, Россия¹ bondanmih@rambler.ru, ² s_g_ivawenko@mail.ru

Аннотация. Увеличение поголовья животных в Российской Федерации приводит к образованию значительных объемов выхода навоза различной консистенции. Свежий навоз, с одной стороны, является разносчиком патогенной микрофлоры, пагубно влияющей на флору и фауну, с другой стороны – основным исходным компонентом для производства высококачественных органических удобрений, необходимых для поддержания почвенного плодородия растениеводческой отрасли АПК России. Отсутствие высокоэффективных технологий переработки жидкого навоза приводит к нарушению санитарно-эпидемиологических норм в местах его накопления и хранения. В этой связи важно решение основных задач: обеззараживание жидкого навоза и устранение неприятных запахов. Для этого предлагается установка, которая в проточном режиме производит на принципах магнитострикции полное обеззараживание жидкого навоза от патогенной микрофлоры и значительно снижает наличие неприятных запахов. Разработана функциональная схема установки, состоящая из трех базовых блоков: подготовка исходного навоза к обеззараживанию; обеззараживание; накопление готового (обеззараженного) продукта. Основным технологическим параметром выступает производительность установки. Конструктивными параметрами являются длина зоны обеззараживания, диаметр трубы, количество иголок, форма индуктора. Режимные параметры включают скорость подачи жидкого навоза, время цикла обеззараживания. Критерии функционирования установки состоят в максимальной степени обеззараживания навоза и устранения неприятных запахов, минимизации эксплуатационных затрат.

Ключевые слова: жидкий навоз, технологическая схема, метод магнитострикции, функциональная схема установки, степень обеззараживания

Для цитирования: Бондаренко А. М., Иващенко С. Г. Обоснование технологической схемы установки для обеззараживания жидкого навоза // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 51–59. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-51-59>.

Original article

**Substantiation of the technological scheme
of the installation for disinfection of liquid manure****Anatoly M. Bondarenko¹, Sergey G. Ivashchenko²**^{1,2} Azov Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agrarian University
Rostov region, Zernograd, Russian Federation¹ bondanmih@rambler.ru, ² s_g_ivawenko@mail.ru

Abstract. An increase in the number of animals in the Russian Federation leads to the formation of significant volumes of manure output of various consistencies. On the one hand, fresh manure is a carrier of pathogenic microflora, which adversely affects flora and fauna. On the other hand, it is the main starting component for the production of high-quality organic fertilizers necessary to maintain soil fertility of the crop industry of the agro-industrial complex of the Russia. The lack of highly efficient technologies for processing liquid manure leads to a violation of sanitary and epidemiological standards in places of its accumulation and storage. In this regard, it is important to solve the main tasks, disinfection of liquid manure and elimination of unpleasant odors. To implement this task, an installation is proposed that, in flow mode, performs complete disinfection of liquid manure from pathogenic microflora on the principles of magnetostriction and significantly reduces the presence of unpleasant odors. A functional scheme of the installation has been developed, which consists of three basic blocks: preparation of the initial manure for disinfection, disinfection and accumulation of the finished (disinfected) product. The main technological parameter is the performance of the installation. The design parameters are the length of the disinfection zone, the diameter of the pipe, the number of needles, and the shape of the inductor. The operating parameters are the feed rate of liquid manure, the time of the disinfection cycle. The criteria for the operation of the installation are the maximum degree of disinfection of manure and the elimination of unpleasant odors, minimizing operating costs.

Keywords: liquid manure, technological scheme, magnetostriction method, functional scheme of the installation, disinfection degree

For citation: Bondarenko A. M., Ivashchenko S. G. Substantiation of the technological scheme of the installation for disinfection of liquid manure. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:51–59. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-51-59>.

Введение. Сельское хозяйство России – динамично развивающаяся отрасль страны. За последние пять лет российская отрасль животноводства продемонстрировала устойчивую положительную динамику развития, как в мясном, так и в молочном направлениях. При этом увеличение поголовья в промышленном животноводстве вызывает образование огромных объемов жидкого навоза, что, в свою очередь, приводит к опасности попадания в окружающую среду большого количества вредных химических веществ, связанных с эксплуатацией животноводческих комплексов [1, 2].

Так, в животноводческих стоках содержание нерастворимых веществ может достигать 30 тыс. мг/л, общий сухой остаток до 4 тыс. мг/л, при уровне показателя БПК₅, равном 10 тыс. мг О₂/л. Попадание таких стоков в окружающие водоемы вызывает ухудшение санитарно-гигиенических показателей питьевой воды. Большое количество стоков попадает в грунтовые воды и почву по причине неправильного хранения или утилизации навоза.

Федеральным законом от 14.07.2022 № 248-ФЗ «О побочных продуктах животноводства» определены подходы к повышению эффективности вовлечения побочных продуктов животноводства в

сельскохозяйственное производство, в том числе для обеспечения воспроизводства плодородия земель сельскохозяйственного назначения.

Существующие методы, применяемые на животноводческих фермах и комплексах России, не имеют надежных и эффективных способов обеззараживания навоза. Известно, что навоз, прошедший биотермическую обработку, содержит опасные микроорганизмы, например, сальмонеллу. После 1,5-годовой выдержки сохраняют свою жизнеспособность 30–80 % яиц гельминтов трихоцефалюсов, трихостронгилид и др., а также 1–17 % семян сорняков, которые способны резко снизить урожай культурных растений. Для биотермической обработки навоза используют хранилища жидкого и полужидкого навоза шириной 12; 18; 24 м и глубиной до 6 м.

Известны способы обеззараживания жидкого или полужидкого навоза обработкой жидким аммиаком, который вводят в объем навозохранилища при помощи иглы, опускаемой до дна. Обеззараживание проводят в течение 5 суток при расходе аммиака 30 кг/м³ навоза. Обеззараживание проводят также формалином (расход – 7,5 л/м³ навоза). Содержание в формалине формальдегида – 38 %. Необ-

ходимо осуществлять перемешивание на протяжении 6 часов и выдержку в течение 72 часов.

Твердый навоз, зараженный возбудителями болезней, также подвергают термической обработке в пароструйных аппаратах.

Все эти способы предполагают использование дорогостоящих и больших по размерам сооружений. При этом время обеззараживания навоза варьирует от 12 месяцев до 3-х суток. Также используются небезопасные для окружающей среды и человека химические реагенты. Наблюдается нерациональное использование энергетических ресурсов, транспортных средств, которые тратятся на неоднократное внутриплощадочное перемещение навозной массы по территории животноводческих предприятий [3].

В настоящее время экологами и производителями животноводческой продукции поднят вопрос снижения неприятных запахов в местах накопления и хранения навоза и помета любой консистенции. Следовательно, вопросы, связанные с совершенствованием технологических и технических решений переработки и обеззараживания жидкого навоза с устранением неприятных запахов, являются актуальными, представляют научный и практический интерес.

Обеззараживание навоза выступает базовой операцией при производстве на его основе высококачественных органических удобрений, нехватка которых наблюдается во всех регионах страны, что приводит к снижению почвенного плодородия, эффективности технологических операций по производству сельскохозяйственной продукции и рентабельности растениеводческой отрасли [3–5].

На основе проведенного ранее анализа технических средств для обеззараживания жидкого навоза установлено, что наиболее целесообразно в качестве базового принципа использовать метод магнитострикции [6, 8, 9].

Целью исследования является обоснование технологической схемы установки для обеззараживания жидкого навоза методом магнитострикции.

Материал и методы исследования. Предлагается аппаратная схема установки

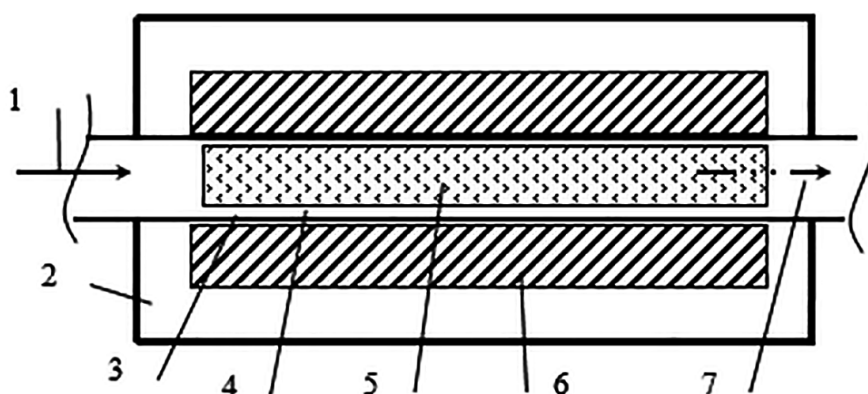
на основе физико-химического обеззараживания бесподстилочного жидкого навоза, которая позволяет в проточном режиме, за один проход решить задачу по обеззараживанию навоза нормативного качества согласно требуемых санитарно-эпидемиологических норм безопасности. При этом обеспечиваются разрушение и лишение всхожести семян сорных растений, а также обезвреживание всей патогенной микрофлоры и гельминтов, находящихся в навозе. В предлагаемом аппаратном решении впервые применяется одновременное использование нескольких способов физико-химического воздействия при обеззараживании навоза: энергия вращающегося электромагнитного поля с размещенными в нем ферромагнитными элементами; гидродинамическая кавитация; термическое воздействие на навозные стоки.

Применяемый в данной разработке физико-химический способ обеззараживания навоза обеспечивает повышение производительности разработанного многоблочного аппарата; сокращение количественного состава оборудования, применяемого при обеззараживании навоза; снижение материалоемкости при изготовлении оборудования и уменьшение его габаритных размеров.

Аппарат и его реакционная камера состоят из корпуса, заключенного в рубашку охлаждения, в котором размещены индукционные катушки, вокруг трубы из парамагнитного материала (рис. 1).

Принцип работы проточного реактора предлагаемой установки. При подаче напряжения на обмотки индукционных катушек 6 (рис. 1) внутри полости трубы 3 создается мощное электромагнитное поле, которое вращает ферромагнитные элементы 5. Иголки 5 под воздействием мощного электромагнитного поля за счет своих ферромагнитных свойств взаимодействуют с основным вращающимся полем, создавая в то же время свои локальные поля. В результате указанного взаимодействия происходит изменение свойств обрабатываемых жидкостей, проходящих через зону обработки 3.

Одним из важных параметров физических явлений, которые имеют место при работе установки и играют важную роль в воздействии на жидкий навоз, является эффект магнитострикции. В магнитном



1 – входящий поток жидкости на обработку; 2 – корпус рубашки охлаждения; 3 – рабочая зона; 4 – сменная вставка; 5 – рабочие тела (ферромагнетики (иголки)); 6 – индукционные катушки; 7 – обработанный поток

1 – incoming liquid flow for processing; 2 – cooling jacket housing; 3 – working area; 4 – replaceable insert; 5 – working bodies (ferromagnetic needles); 6 – induction coils; 7 – processed flow

Рисунок 1 – Схема участка обеззараживания жидкого навоза на установке методом магнитострикции

Figure 1 – Scheme of the section for disinfection of liquid manure at the magnetostriction method installation

поле индуктора иголки могут намагничиваться до полного насыщения. В результате сами иголки становятся магнитами и взаимодействуют с вращающимся магнитным полем, которое стремится повернуть их в направлении своего вектора. При столкновениях иголок между собой, со стенками рабочей зоны или другими иголками имеет место их поворот на разные углы. При повороте иголки на угол, превышающий 90 град., произойдет изменение полярности иголки. Иголка с ярко выраженными полюсами (*S*) и (*N*) меняет свою полярность. При этом происходит перемагничивание иголки и возникает эффект магнитострикции. Данный эффект и его воздействие на компоненты жидкого навоза обеспечивают их измельчение и гомогенизацию.

Измельчение компонентов навоза обеспечивается как свободным их соударением с ферромагнитными элементами, так и в результате стесненного соударения между двумя элементами или элементом и корпусом. Степень измельчения компонентов навоза составляет 0,5 мкм (при начальном размере фракции 20 мм).

Одновременно с магнитострикцией, зависящей от наложения внешнего магнитного поля, при соударениях иголок

может возникнуть механострикция. Эти два эффекта обеспечивают проведение качественных процессов гомогенизации и измельчения всех компонентов навозных стоков. Кроме того, при гомогенизации навоза и вносимых химических реагентов под воздействием магнитострикционного воздействия ферромагнитных элементов происходит также их равномерное распределение по всему объему навозных стоков, что положительно влияет на скорость и качество обеззараживания навоза. Также в рабочей зоне аппарата намагниченная иголка при движении несет свое поле, которое является пульсирующим. Следовательно, вся зона заполнена пульсирующими магнитными мини-полями, положительно воздействующими на эффективность обеззараживания.

Результаты исследования. Для полного исследования процесса обеззараживания жидкого навоза на установке методом магнитострикции необходимо выделить технологические, режимные и конструктивные параметры на основе ее функциональной схемы.

Функциональная схема установки представлена на рисунке 2. На каждый элемент системы воздействуют входные параметры – внешние и внутренние.

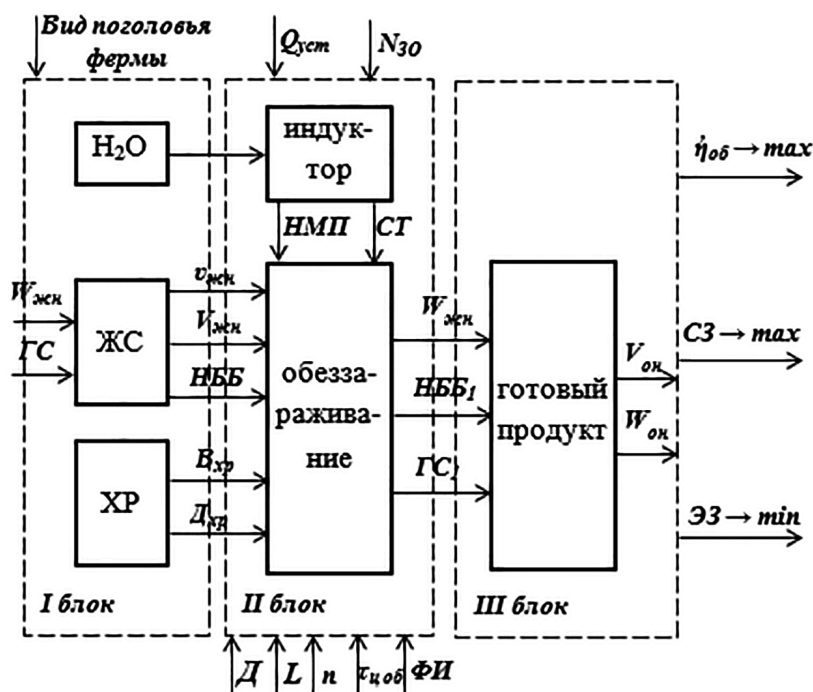


Рисунок 2 – Функциональная схема установки для обеззараживания жидкого навоза методом магнитострикции
Figure 2 – Functional scheme of the installation for disinfection of liquid manure using the magnetostriction method

Установка включает в себя три основных блока. Первый блок предусматривает наличие исходных компонентов и их подачу во второй блок. Второй блок представляет участок обеззараживания жидкого навоза с консистенцией от 92 % и более. В третьем блоке предусмотрено накопление порций обеззараженного навоза и их последующая подача в лагуны для дальнейшего накопления и временного хранения готового продукта.

Входными параметрами I блока являются влажность поступающего на переработку жидкого навоза ($W_{жн}$), его гранулометрический состав (ГС). В данном блоке находятся системы подачи воды для охлаждения индуктора и оборудование для подачи химических реагентов (ХР) в зону обеззараживания, которые представляют емкости с насосами и трубопроводами, соединенными с соответствующими системами установки.

Выходными параметрами I блока выступают скорость подачи жидкого навоза в зону обеззараживания ($v_{жн}$), объемы подачи жидкого навоза ($V_{жн}$) и наличие болезнетворных бактерий (НББ). Для устранения неприятного запаха в зону обезза-

раживания подается химический реагент (ХР) определенного вида ($B_{хр}$).

Во II блоке происходит процесс обеззараживания поступающего жидкого навоза методом магнитострикции в камере, представляющей установленную горизонтально трубу заданной длины (L) и диаметра (D). Процесс обеззараживания обеспечивается за счет воздействия напряжения магнитного поля и силы тока от индуктора заданной формы ($\Phi И$) на расположенные в зоне воздействия иглы определенного диаметра и длины, мгновенное изменение полюсов которых создает в камере вихревые потоки при их движении. Соприкасаясь с частицами поступающего навоза, происходит мгновенное разрушение этих частиц до молекулярного уровня, в том числе обеспечивается гибель болезнетворных микроорганизмов. Входными параметрами II блока являются выходные параметры I блока – $v_{жн}$, НББ, $B_{хр}$, доза химического реагента ($D_{хр}$).

Внешними технологическими параметрами II блока выступают производительность установки ($Q_{уст}$) и количество зон обеззараживания в блоке ($N_{зо}$). Внешними конструктивными параметрами яв-

ляются диаметр трубы (D), длина зоны обеззараживания (L), количество иголок в зоне воздействия электромагнитных полей (n). Внешние режимные параметры включают $v_{\text{жн}}$ и время цикла обеззараживания ($\tau_{\text{ц об}}$).

Выходными параметрами II блока являются: влажность жидкого навоза ($W_{\text{жн}}$), наличие болезнетворных бактерий после обеззараживания (НББ₁), гранулометрический состав обеззараженного навоза (ГС₁).

Входные параметры III блока совпадают с выходными параметрами II блока. Зона накопления готового продукта представляет собой участок трубы для порционного накопления обеззараженного навоза и его последующего транспортирования в лагуну, а также участок для улавливания иголок, попадающих из зоны обеззараживания.

Выходными параметрами III блока выступают: объем обеззараженного навоза ($V_{\text{он}}$), влажность обеззараженного навоза ($W_{\text{он}}$), качество обеззараживания ($\dot{\eta}_{\text{об}}$), снижение неприятного запаха (СЗ) и минимизация затрат на рассматриваемый технологический процесс (ЭЗ).

Граничные условия работы функциональной схемы установки для обеззараживания жидкого навоза методом магнитострикции предполагают:

$$\dot{\eta}_{\text{об}} \rightarrow \max; \text{СЗ} \rightarrow \max; \text{ЭЗ} \rightarrow \min$$

Важным технологическим показателем работы установки является производительность ($Q_{\text{уст}}$), которая зависит от скорости подачи навоза в зону обеззараживания и площади сечения камеры обеззараживания. В общем виде *производительность установки определяется по формуле (1)*:

$$Q_{\text{уст}} = v_{\text{жн}} \cdot F_{\text{сеч}} \quad (1)$$

где $F_{\text{сеч}}$ – площадь сечения трубы в рабочей зоне, м².

Скорость подачи жидкого навоза в рабочую зону ограничивается временем обеззараживания частиц ($\tau_{\text{ц об}}$). Тогда, данная скорость определяется формулой (2):

$$v_{\text{жн}} = \frac{M_{\text{жн}}}{\tau_{\text{ц об}}} \quad (2)$$

где $M_{\text{жн}}$ – масса жидкого навоза, подаваемого в зону обеззараживания, т.

Критерием оценки условия прекращения движения ферромагнитных частиц (иголок) выступает *критический коэффициент заполнения рабочего объема камеры в зоне обеззараживания ($K_{\text{кр}}$)*, устанавливаемый по формуле (3) [7]:

$$K_{\text{кр}} = j(x, l/d, V, \dot{\omega}, \dot{\eta}, \rho, H, I, \rho_{\text{и}}) \quad (3)$$

где x – магнитная восприимчивость материала иголок;

l/d – параметрический критерий подобия (l – длина иголки, d – диаметр иголки);

V – объем отдельной иголки;

$\dot{\omega}$ – угловая скорость вращения магнитного поля;

$\dot{\eta}$ – вязкость среды;

ρ – плотность среды;

H – напряженность магнитного поля;

I – момент инерции иголок;

$\rho_{\text{и}}$ – плотность материала иголок.

Аналитически описать сложное взаимодействие параметров в выражении (3) невозможно, так как они все взаимосвязаны друг с другом.

В упрощенном виде данное выражение можно представить формулой (4):

$$K_{\text{кр}} = \frac{V_{\text{сум}}}{V_{\text{вк}}} \quad (4)$$

где $V_{\text{сум}}$ – суммарный объем всех ферромагнитных иголок, при которых они прекращают свое движение;

$V_{\text{вк}}$ – внутренний объем камеры, находящейся в зоне действия вращающегося магнитного поля.

В зависимости от заданной производительности установки, которая должна быть не менее 5 м³/ч, экспериментально будет определен внутренний объем камеры, находящейся в зоне действия вращающегося магнитного поля, что позволит подобрать размеры иголок и впоследствии рассчитать суммарный объем всех ферромагнитных иголок, при которых они прекращают свое движение.

Эффективным приемом устранения неприятных запахов является использование раствора гидроксида калия (КОН).

Для этого в подающий трубопровод, через смесительную камеру (рис. 1) и специальные штуцера, подается химический реагент в виде раствора гидроокиси калия из дозирующего комплекса. Этот реагент участвует в процессах по обеззараживанию навозных стоков в реакционной камере аппарата и способствует нейтрализации неприятных запахов.

Заключение. 1. Применение аппаратов на основе методов магнитострикции проводилось ранее на жидких средах в химической, металлургической промышленности и других отраслях. Полученные данные не могут быть исполь-

зованы для обеззараживания сточных вод животноводческих предприятий в связи с существенной разницей их физико-механических свойств и бактерицидной зараженности.

2. На основе разработанной функциональной схемы установки для обеззараживания жидкого навоза методом магнитострикции будут проведены исследования по определению конструктивных, режимных и технологических параметров, обеспечивающих качественное обеззараживание навоза и одновременное устранение неприятных запахов с использованием раствора гидроокиси калия.

Список источников

1. Бондаренко А. М., Качанова Л. С., Головки А. Н., Барышников А. В. Биотехнологии подготовки органических отходов животноводства для орошения пастбищ и удобрения полей под кормовые культуры: от интенсивных, ресурсосберегающих до цифровых : монография. зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт, 2021. 236 с.
2. Брюханов А. Ю., Максимов Д. А., Хухта Х., Васильев Э. В., Минин В. Б., Субботин И. А. Рекомендации по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования навоза (помета) (порядок разработки технологического регламента). СПб. : Северо-Западный научно-исследовательской институт механизации и электрификации сельского хозяйства, 2012. 56 с.
3. Качанова Л. С. Управление технологическими процессами производства и применения органических удобрений в аграрном секторе экономики : монография. зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт, 2016. 207 с.
4. Леонов В. В., Кушнарев А. Н., Маршанин Е. В., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение производительности экспериментального колесного агрегата на полевых работах // Дальневосточный аграрный вестник. 2023. Т. 17. № 2. С. 112–120. EDN EXGUPO.
5. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 272 с. EDN XONHXU.
6. Логвиненко Д. Д., Шеляков О. П. Интенсификация технологических процессов в аппаратах с вихревым слоем. Киев : Техника, 1976. 144 с.
7. Месхи Б. Ч., Лимаренко Н. В., Жарков В. П., Шаповал Б. Г. Создание математической модели для оценки энергоёмкости процесса обеззараживания стоков животноводства // Вестник Донского государственного технического университета. 2017. Т. 17. № 4. С. 129–135. <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135>. EDN YNOFOY.
8. Kachanova L., Bondarenko A. Economic efficiency of innovation in the restoration of soil resources in organic agricultural production // E3S Web of Conferences : Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020). Rostov-on-Don : EDP Sciences, 2020. P. 04004. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004004>. EDN GJSXKU.
9. Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Baryshnikov A. V., Novikov S. A. Technologies for the production and application of organic fertilizers in agriculture // The challenge of sustainability in agricultural systems. Heidelberg : Springer International Publishing, 2021. P. 897–906. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72110-7_98. EDN SCEIWQ.

References

1. Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Golovko A. N., Baryshnikov A. V. *Biotechnologies of preparation of organic wastes of animal husbandry for irrigation of pastures and fertilization of fields for forage crops: from intensive, resource-saving to digital ones: monograph*, Zernograd, Azovo-Chernomorskii inzhenernyi institut, 2021, 236 p. (in Russ.).
2. Bryukhanov A. Yu., Maksimov D. A., Khukhta Kh., Vasiliev E. V., Minin V. B., Subbotin I. A. *Recommendations on organization and implementation of industrial environmental control of manure (dung) processing and utilization systems (the procedure for the development of technological regulations)*, Saint-Petersburg, Severo-Zapadnyi nauchno-issledovatel'skoi institut mekhanizatsii i ehlektrifikatsii sel'skogo khozyaistva, 2012, 56 p. (in Russ.).
3. Kachanova L. S. *Management of technological processes of production and application of organic fertilizers in the agricultural sector of the economy: monograph*, Zernograd, Azovo-Chernomorskii inzhenernyi institut, 2016, 207 p. (in Russ.).
4. Leonov V. V., Kushnarev A. N., Marshanin E. V., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Improving the performance of an experimental wheeled unit in the field. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2023;17;2:112–120. EDN EXGUPO (in Russ.).
5. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. *Increase of efficiency of mobile energy means utilization in crop cultivation technology: monograph*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2017, 272 p. EDN XONHXY (in Russ.).
6. Logvinenko D. D., Shelyakov O. P. *Intensification of technological processes in vortex bed apparatuses*, Kiev, Tekhnika, 1976, 144 p. (in Russ.).
7. Meskhi B. Ch., Limarenko N. V., Zharov V. P., Shapoval B. G. Creation of mathematical model for estimating energy intensity of livestock wastes disinfection. *Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2017;17;4:129–135. <https://doi.org/10.23947/1992-5980-2017-17-4-129-135>. EDN YNOFOY (in Russ.).
8. Kachanova L., Bondarenko A. Economic efficiency of innovation in the restoration of soil resources in organic agricultural production. Proceedings from E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Science and Education (ITSE-2020). (PP. 04004), Rostov-on-Don, EDP Sciences, 2020. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202021004004>. EDN GJSXKU.
9. Bondarenko A. M., Kachanova L. S., Baryshnikov A. V., Novikov S. A. Technologies for the production and application of organic fertilizers in agriculture. In.: The challenge of sustainability in agricultural systems, Heidelberg, Springer International Publishing, 2021, P. 897–906. https://doi.org/10.1007/978-3-030-72110-7_98. EDN SCEIWQ.

© Бондаренко А. М., Иващенко С. Г., 2024

Статья поступила в редакцию 01.09.2024; одобрена после рецензирования 07.11.2024; принята к публикации 27.11.2024.

The article was submitted 01.09.2024; approved after reviewing 07.11.2024; accepted for publication 27.11.2024.

Информация об авторах

Бондаренко Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, bondanmih@rambler.ru;

Иващенко Сергей Григорьевич, соискатель, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, s_g_ivawenko@mail.ru

Information about the authors

Anatoly M. Bondarenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Azov Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agricultural University, bondanmih@rambler.ru;

Sergey G. Ivashchenko, Degree Seeker, Azov Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agricultural University, s_g_ivawenko@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 631.3.06(571.1/.5)

EDN AVWYTW

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-60-67>

Методы оптимизации продолжительности посева зерновых культур в условиях Сибири

Борис Дмитриевич Докин¹, Анна Александровна Алетдинова²

¹ Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук
Новосибирская область, Краснообск, Россия

² Новосибирский государственный технический университет
Новосибирская область, Новосибирск, Россия

¹ dokin38@mail.ru, ² aletdinova@corp.nstu.ru

Аннотация. Цель исследования заключается в обобщении подходов к расчету оптимальной продолжительности посева зерновых культур. Приведена историческая хронология использования в задаче оптимизации машинно-тракторного парка прямых эксплуатационных затрат, совокупных и полных затрат. Обычно исследователи считали, что потери урожая от затягивания посевных работ пропорциональны их продолжительности, а амортизационные отчисления на технику – обратно пропорциональны оптимальной продолжительности посевных работ. Однако после введения в 2018 г. государственного стандарта, регламентирующего экономическую оценку сельскохозяйственной техники, все прямые эксплуатационные затраты на технику, в том числе и амортизационные отчисления на технику, стали величиной постоянной (в рублях на час работы машинно-тракторного агрегата) и не зависят от продолжительности посевных работ. С другой стороны, необходимо учитывать затраты, связанные с содержанием сельскохозяйственной техники, выплатами на страхование и кредитование. Авторы привели примеры апробации. Поставленный имитационный эксперимент для посева пшеницы на пару по нормальной технологии для Сибири в зависимости от выбора агрегатов показывает наличие вероятности в 2,5–9,5 % невыполнения операции в заданные агротехнические сроки. Дан расчет оптимальной продолжительности прямого посева пшеницы в условиях Сибири при использовании трактора John Deere 96 и посевного комплекса John Deere 730 по формуле на основе производной полных затрат.

Ключевые слова: посевные работы, продолжительность, оценка затрат, техническое обеспечение, методы оптимизации, потери урожая

Для цитирования: Докин Б. Д., Алетдинова А. А. Методы оптимизации продолжительности посева зерновых культур в условиях Сибири // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 60–67. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-60-67>.

Original article

Methods for optimizing the duration of grain crop sowing in Siberia

Boris D. Dokin¹, Anna A. Aletdinova²

¹ Siberian Federal Research Centre of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russian Federation

² Novosibirsk State Technical University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russian Federation

¹ dokin38@mail.ru, ² aletdinova@corp.nstu.ru

Abstract. The purpose of the study is to generalize approaches to calculating the optimal duration of grain crop sowing. The authors provided a historical chronology of the use of direct operating costs, cumulative and complete costs. Generally, researchers believed that crop losses from delaying sowing operations were proportional to their duration, and from depreciation charges on machinery were inversely proportional to optimizing the duration of sowing operations. However, after the introduction in 2018 of the state standard regulating the economic assessment of agricultural machinery, all direct operating costs for machinery, including depreciation charges for machinery, became constant in rubles per hour of operation of the machine and tractor unit and do not depend on the duration of sowing operations. On the other hand, it is necessary to take into account the costs associated with the maintenance of agricultural machinery, insurance payments and loans. The authors gave examples of approbation. The simulation experiment for steam-treated wheat using normal technology for Siberia, depending on the choice of aggregates, shows a probability of 2.5–9.5% failure to perform the operation within the specified agrotechnical time. There is a calculation of the optimal duration of direct sowing of wheat in Siberia using the John Deere 96 tractor and the John Deere 730 sowing complex using a formula based on the derivative of total costs.

Keywords: sowing operations, duration, cost estimation, technical support, optimization methods, crop losses

For citation: Dokin B. D., Aletdinova A. A. Methods for optimizing the duration of grain crop sowing in Siberia. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:60–67. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-60-67>.

Введение. В мире не зря считают, что один день весной год кормит. Поэтому зарубежные и отечественные исследователи занимались оптимизацией сроков и продолжительности проведения полевых работ при посеве зерновых культур. Если в 1977 г. посевной агрегат, состоящий из трактора ДТ-75, сцепки СП-16 и 4-х сеялок СЗ-3,6, засеивал 50 га в день, в 2015 г. агрегат, состоящий из трактора мощностью 500 л. с. и 12-ти метрового посевного комплекса, засеивал уже 200–250 га в день. Кроме того, в результате научно-технического прогресса в производстве зерновых культур в Сибири, наряду с экстенсивными, нормальными и интенсивными технологиями, достойное место заняли ресурсосберегающие технологии на базе минимальной и нулевой обработки почвы.

Как отмечают исследователи, затягивание продолжительности посева или выбор неоптимального периода приводят к недобору и потере урожая [1–3]; при этом наблюдается прямая сильная связь между данными показателями [4] и обратная сильная связь между амортизационными отчислениями на технику и оптимальной продолжительностью посевных работ.

Использование научного подхода к оценке сроков и продолжительности посева зерновых культур обычно базируется на оптимизационных методах, чаще всего

реализации задачи линейного программирования.

Цель исследования – обобщить методы оптимизации продолжительности посевных работ и предложить собственный подход с учетом изменившихся экономических условий. В этой связи нами поставлены и решены задачи исследования: рассмотреть историческое развитие методов оптимизации продолжительности посева зерновых культур; обосновать изменение целевой функции, отражающей затраты; провести имитационный эксперимент, показывающий сложность выполнения операции посева в заданные агротехнические сроки; рассчитать оптимальную продолжительность посева пшеницы на основе учета полных затрат.

Материалы и методы исследования. Первые научные работы о взаимосвязи потерь урожая, продолжительности работ и затрат на технику появились в 1963–1966 гг.

D. Hunt опубликовал серию работ (один и с соавторами), последняя из которых датируется 2015 г. [5].

Р. Ш. Хабатов в 1966 г. предложил ввести формулы коэффициентов потерь урожая в зависимости от продолжительности проведения полевых работ. Они были разработаны для различных технологических операций для природных зон

Украины [6], а в дальнейшем использовались и для других территорий.

В том же году В. С. Антошкевич в своей докторской диссертации [7] привел выражение для определения оптимальной продолжительности уборки зерновых культур в виде квадратного корня. Числитель подкоренного выражения имел вид:

$$\frac{2J_{\Pi} t_n t_{\text{экс}}}{\Pi_{\text{экс}}} \quad (1)$$

где J_{Π} – переменная часть приведенных затрат при t_n – нормативной продолжительности выполнения работ, руб/га;

$t_{\text{экс}}$ – количество дней, прошедших со времени возможной даты начала работ до времени получения экспериментальных данных о потерях урожая;

$\Pi_{\text{экс}}$ – экспериментальные данные о потерях урожая на конечную дату анализируемого срока проведения работ, руб/га.

Следующий прорыв в исследованиях совершили М. П. Сергеев и В. Д. Саклаков. Они в 1973 г. предложили выражение для определения оптимальной продолжительности посева в виде квадратного корня, где в числителе подкоренного выражения только часть переменных приведенных затрат, учитываемых через удельный вес данной работы в общем объеме работ, выполняемых данным агрегатом (по времени), а в знаменателе – потери от недобора урожая при растягивании сроков работы, которые можно рассчитать по формуле (2) [8]:

$$\Pi_y = K_y U C_{\Pi} D_p \quad (2)$$

где Π_y – потери от недобора урожая при растягивании сроков работы, ц;

K_y – коэффициент учета потерь урожая при растягивании срока работы от оптимального на один день;

U – урожайность культуры, ц /га;

C_{Π} – закупочная цена продукта, руб/ц;

D_p – продолжительность выполнения данной работы, дни.

В 1977 г. автор данной статьи привел практический пример по нахождению оптимальной продолжительности посева для посевного агрегата, состоящего из трактора ДТ-75М, четырех сеялок СЗ-3.6 и сцеп-

ки СП-16. При этом стоимость трактора составила 3 245 руб, сеялки – 750 руб, сцепки – 1 060 руб; урожайность – 15 ц/га; стоимость продукции – 10 руб/ц; дневная производительность машинно-тракторного агрегата – 50 га. В результате, оптимальная продолжительность посева составила один день [9].

Согласно руководству [10], функция совокупных затрат на выполнение технологических операций определяется при использовании формулы (3):

$$f(D_p) = \frac{\alpha_T \times B_T \times \gamma_T^i \times \gamma_{\text{соз}}^i}{D_p} + \frac{\alpha_{\text{ПК}} \times B_{\text{ПК}} \times \gamma_{\text{ПК}}^i \times \gamma_{\text{соз}}^i}{D_p} + K_{\text{СП}} \times U \times C \times W_{\text{сут}} \times D_p + C \quad (3)$$

где $\alpha_T, \gamma_{\text{ПК}}$ – норма отчислений на реновацию трактора и посевного комплекса;

$\gamma_T^i, \gamma_{\text{ПК}}^i$ – часть удельных отчислений на реновацию трактора и посевного комплекса в зависимости от того, какие работы выполняют трактор и посевной комплекс (для простоты взят удельный вес этой работы в годовом объеме работ, выполняемых трактором и посевным комплексом);

$K_{\text{СП}}$ – средний коэффициент потерь урожая в зависимости от продолжительности работ;

C – цена реализации, руб/ц;

$W_{\text{сут}}$ – суточная производительность машинно-тракторного агрегата;

C – затраты на техобслуживание, ремонт техники, ГСМ, зарплату, а также другие затраты, не зависящие от D_p , руб/га.

Если от функции (3) взять производную, приравняв ее к нулю и выразить показатель $D_{p \text{ опт}}$, получим выражение (4):

$$D_{p \text{ опт}} = \sqrt{\frac{\alpha_T \times B_T \times \gamma_T^i \times \gamma_{\text{соз}}^i + \alpha_{\text{ПК}} \times B_{\text{ПК}} \times \gamma_{\text{ПК}}^i \times \gamma_{\text{соз}}^i}{K_{\text{СП}} \times U \times C \times W_{\text{сут}}}} \quad (4)$$

В 2015 г. авторы публикации [11] привели еще один практический пример для определения оптимальной продолжительности выполнения работы для посевного агрегата, состоящего из трактора John Deere 9650 и посевного комплекса John Deere 730. При этом было установлено ее значение, составившее один день, с учетом условий: балансовая стоимость трактора – 10,6 млн. руб; балансовая стоимость посевного комплекса – 8 млн. руб;

значение среднего коэффициента потерь урожая в зависимости от длительности работ – 0,01 часть/день; урожайность культуры – 2,6 т/га; цена реализации продукции – 5 000 руб/т.; суточная производительности агрегата – 200 га, при соответствующих значениях коэффициентов.

После введения ГОСТ 34393–2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки» все прямые эксплуатационные затраты на технику, в том числе и амортизационные отчисления, стали величиной постоянной. Их выражают в рублях на один час работы машинно-тракторного агрегата и они не зависят от продолжительности посевных работ [12]. Но как показывает мировой опыт [13–15], существуют затраты на технику, связанные только с содержанием ее в парке. Они связаны с кредитованием, страхованием и хранением техники. Поэтому при учете содержания техники в парке такие затраты обратно пропорциональны продолжительности проведения посевных работ для зерновых культур.

После дифференцирования общей функции затрат, связанных с кредитованием, страхованием и хранением техники в зависимости от продолжительности по-

сева зерновых культур, приравняв первую производную к нулю и выполнив преобразования, получили еще один вариант выражения для определения оптимальной продолжительности выполнения посевной работы. При этом данное выражение представляет квадратный корень из дроби, в числителе которой находятся затраты на содержание техники в парке, а в знаменателе – потери урожая от затягивания сроков посевных работ.

В хозяйствах Краснозёрского района Новосибирской области при высоком уровне химизации урожайность пшеницы достигает 4 т/га, а потери урожая составляют 80 тыс. рублей в день. Это означает, что поле, подготовленное под посев, необходимо засеять за один день.

Результаты исследования и их обсуждение. В современных условиях для определения оптимальной продолжительности посева зерновых культур необходимо наиболее полно учитывать затраты, а, следовательно, нужно производить расчеты функции затрат.

Проведем их на основе имитационной модели, реализованной в Anylogic для операции посева пшеницы на пару при нормальной технологии (табл. 1).

Таблица 1 – Результаты прогона имитационной модели для операции посева пшеницы на пару в зависимости от выбранных агрегатов (усредненные значения)

Table 1 – Results of the simulation model run for the operation of steam-treated wheat sowing, depending on the selected aggregates (average values)

Агрегат	Модельное выполнение операции, дни	Выполненный объем работ, усл. эт. га	Загрузка техники за период, %	Вероятность выполнения операции, %
John Deere 730 + John Deere 1910 (посевной комплекс + трактор)	5	52	88,6	80,23
МТЗ-82 + СПЗ-3,6 (трактор и сеялка)		57	95	90,51
John Deere 1895 + John Deere 1910 (посевной комплекс + трактор)		57	95	96,70
New Holland T8040 + Salford (трактор + культиватор)		57	95	91,42
John Deere + DMC 602		57	95	95,29
К-700 + Оптима (трактор и сеялка)		57	95	97,54

В начале эксперимента предположим, что объем работ равен 60 усл. эт. га. Норма агротехнических сроков проведения работ установлена 5 дней. Проведем варьирование наборов сельскохозяйственной техники.

Как показали расчеты, в случае применения стандартных нормативов на выполнение операций останутся без посевов 3–8 усл. эт. га в зависимости от использованного набора техники.

В современных условиях актуально для сельскохозяйственных предприятий использование функции полных затрат, которая определяется в зависимости от продолжительности выполнения технологической операции по формуле (5):

$$f(D_p) = K_{сн} U_{Ц} W_{сн} D_p + \frac{B_T^i p y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн}}{D_p} + \frac{B_{пк} p y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн}}{D_p} + \frac{B_T^i s y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн}}{D_p} + \frac{B_{пк} s y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн}}{D_p} \quad (5)$$

Рассмотрим пример прямого посева зерновых с использованием трактора John Deere 96 и посевного комплекса John Deere 730.

Для определения оптимальной продолжительности посева пшеницы возьмем первую производную функции $f(D_p)$ по D_p и приравняем ее к нулю. После соответствующих преобразований получим оптимальную продолжительность посева пшеницы в виде выражения (6) (см. ниже).

Нами определена оптимальная продолжительность выполнения посева пшеницы, равная 1,15 смен, из условий:

средний коэффициент потерь урожая в зависимости от продолжительности работ – 0,01 часть/день;

урожайность культуры – 1,49 т/га (по данным инвестиционного портала Новосибирской области данное значение составляет среднюю урожайность пшеницы на территории области в 2023 г. [16]);

цена реализации – 10 000 руб/т;

балансовая стоимость трактора i -й марки (B_T^i) – 55 млн. руб;

балансовая стоимость посевного комплекса i -ой марки ($B_{пк}$) – 30 млн. руб (стоимость техники искусственно завышена из-за экономических санкций);

ставка кредитования на период пять лет (p) – 30 %;

отчисления на страхование и хранение техники (s) – 15 %;

продолжительность смены – 10 час;

коэффициент, учитывающий долю посевов пшеницы в зерновом клине, для трактора и посевного комплекса – 0,6;

коэффициент, учитывающий неравномерность «созревания полей» для j -ой операции (y_{\cos}) – 0,01.

Вторая производная функции $f(D_p)$ имеет положительное значение. Это означает, что данная функция в точке «А» приобретает минимальное значение.

Заключение. Задача оптимизации машинно-тракторного парка имеет в качестве целевой функции минимум затрат. Исторически оптимизационные модели совершенствовались, расширялось количество показателей. Как показывает анализ, можно использовать разные виды затрат (эксплуатационные, совокупные, полные). На их основе определяется оптимальная продолжительность посевов культур.

За тридцать лет изменились технологии возделывания зерновых культур и особенно их техническое обеспечение. При этом оптимальная продолжительность посева зерновых на поле, готовом под посев, осталась прежней – в течение одних суток. Поэтому искусство агронома заключается в том, чтобы обеспечить величину коэффициента, учитывающего неравномерность «созревания полей» для операции, в пределах 0,07–0,1, то есть уложиться с посевной за 10–15 дней.

$$D_{p \text{ опт}} = \sqrt{\frac{B_T^i p y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн} + B_{пк} p y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн} + B_T^i s y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн} + B_{пк} s y^j y_{\cos} 10^{-2} T_{сн}}{K_{сн} U_{Ц} W_{сн}}} \quad (6)$$

Список источников

1. Степук Л. Я., Бегун П. П., Лепешкин Н. Д. Недобор и потери урожая как следствие отсутствия стратегии технического обеспечения сельского хозяйства страны // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве : материалы междунар. науч.-техн. конф. Минск : Белорусская наука, 2017. С. 53–59. EDN ZWCVTF.
2. Степных Н. В. Резервы повышения эффективности зернового производства // Аграрный вестник Урала. 2017. № 6 (160). С. 93–100. EDN ZHDBDP.
3. Коношин И. В., Булавинцев Р. А., Пулавцев И. Е. Опыт эксплуатации посевного комплекса Джон Дир 730 // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 173–178. EDN YTASEX.
4. Батудаев А. П., Цыдыпов Б. С., Соболев В. А. Научные исследования сроков посева яровой пшеницы в условиях Забайкалья // Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В. Р. Филиппова. 2020. № 2. С. 160–168. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.59.2.022>. EDN YFCGNY.
5. Hunt D., Wilson D. Farm power and machinery management. Waveland Press, 2015. 360 p.
6. Хабатов Р. Ш. Методика определения оптимальной структуры и рациональной организации использования машинно-тракторного парка. Киев : ВЦ Госплана УССР, 1969. Вып. 1. 76 с.
7. Антошкевич В. С. Экономический анализ при проектировании сельскохозяйственных машин : автореф. дис. ... докт. экон. наук. М. : ВНИПТИМЭСХ, 1970. 40 с.
8. Саклаков В. Д., Сергеев М. П. Техничко-экономическое обоснование выбора средств механизации. М. : Колос, 1973. 199 с.
9. Докин Б. Д. Механизм «обратной связи» при оптимизации состава МТП и сроков проведения полевых работ // Методические принципы оценки системы машин для комплексной механизации растениеводства и животноводства. Новосибирск : Сибирское отделение ВАСХНИЛ, 1977. С. 11–16. EDN ZRVAFL.
10. Системы земледелия и агротехнологии в Новосибирской области : руководство. Новосибирск : Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, 2016. 232 с.
11. Докин Б. Д., Ёлкин О. В., Лапченко Е., Исакова С. П. Техническое обеспечение сроков проведения полевых работ в условиях Сибири // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2014. № 2 (237). С. 60–64. EDN SDFTYZ.
12. Докин Б. Д., Ёлкин О. В., Алетдинова А. А., Никифорова А. А. Анализ критериев оптимальности при обосновании состава МТП сельскохозяйственных предприятий // Развитие сельского хозяйства на основе современных научных достижений и интеллектуальных цифровых технологий «Сибирь – Агробиотехнологии» : материалы междунар. науч.-практ. конф. Краснообск : Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий РАН, 2019. С. 153–155. EDN MZSHRC.
13. Ленский А. В. Формирование эффективной системы машин для механизации растениеводства. Минск : Научно-производственный центр Национальной академии наук Беларуси по механизации сельского хозяйства, 2018. 377 с.
14. Пронин В. М., Прокопенко В. А. Методика оценки технико-экономических показателей сельскохозяйственной техники по критерию часовых эксплуатационных затрат // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 3. С. 10–14. EDN QINCPZ.
15. Ларионов В. И. Повышение эффективности использования сельскохозяйственной техники на современном этапе // Актуальные вопросы аграрной науки. 2015. № 15. С. 49–57. EDN ХАТВНН.
16. Инвестиционный портал Новосибирской области : [сайт]. URL: <https://invest.nso.ru/ru/content/ekonomika> (дата обращения 04.05.2024).

References

1. Stepuk L. Ya., Begun P. P., Lepeshkin N. D. Income and loss harvest as a consequence of the strategy of technical support for the agricultural economy of the country. Proceedings from Scientific and technological progress in agricultural production: *Mezhdunarodnaya nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya*. (PP. 53–59), Minsk, Belorusskaya nauka, 2017. EDN ZWCVTF (in Russ.).
2. Stepnykh N. V. Reserves for increasing the efficiency of grain production. *Agrarnyy vestnik Urala*, 2017;6(160):93–100. EDN ZHDBDP (in Russ.).
3. Konoshin I. V., Bulavintsev R. A., Pupavtsev I. E. Operating experience of John Deere 730 seeding complex. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*, 2018;9:173–178. EDN YTASEX (in Russ.).
4. Batudaev A. P., Tsydyrov B. S., Sobolev V. A. Farming systems research of spring wheat sowing dates in Transbaikalia. *Vestnik Buryatskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii imeni V. R. Filippova*, 2020;2:160–168. <https://doi.org/10.34655/bgsha.2020.59.2.022>. EDN YFCGNY (in Russ.).
5. Hunt D., Wilson D. Farm power and machinery management, Waveland Press, 2015, 360 p.
6. Khabatov R. Sh. *Methodology for determining the optimal structure and rational organization of machine and tractor fleet use*, Kiev, VTs Gosplana USSR, 1969, 76 p. (in Russ.).
7. Antoshkevich V. S. Economic analysis in the design of agricultural machinery. *Extended abstract of doctor's thesis*. Moscow, VNIPTIMESKh, 1970, 40 p. (in Russ.).
8. Saklakov V. D., Sergeev M. P. *Feasibility study of the choice of mechanization means*, Moscow, Kolos, 1973, 199 p. (in Russ.).
9. Dokin B. D. Feedback mechanism for optimizing the composition of the machine and tractor fleet and the timing of field operations. In.: *Metodicheskie printsipy otsenki sistemy mashin dlya kompleksnoy mekhanizatsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*, Novosibirsk, Sibirskoe otdelenie VASKhNIL, 1977, P. 11–16. EDN ZRVAFL (in Russ.).
10. *Farming systems and agro-technologies in the Novosibirsk region*, Novosibirsk, Sibirskii federal'nyi nauchnyi tsentr agrobiotekhnologii RAN, 2016, 232 p. (in Russ.).
11. Dokin B. D., Elkin O. V., Lapchenko E. A., Isakova S. P. Provision of technical support for timely cultivations in Siberia. *Sibirskiy vestnik sel'skokozyaystvennoy nauki*, 2014;2(237):60–64. EDN SDFTYZ (in Russ.).
12. Dokin B. D., Elkin O. V., Aletdinova A. A., Nikiforova A. A. Analysis of optimality criteria for justification of the composition of machine and tractor fleet of agricultural enterprises. Proceedings from Development of agriculture based on modern scientific achievements and intelligent digital technologies "Siberia – Agrobiotechnology": *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 153–155), Krasnoobsk, Sibirskii federal'nyi nauchnyi tsentr agrobiotekhnologii RAN, 2019. EDN MZSHRC (in Russ.).
13. Lenskiy A. V. *Formation of an effective system of machines for crop mechanization*, Minsk, Nauchno-proizvodstvennyi tsentr Natsional'noi akademii nauk Belarusi po mekhanizatsii sel'skogo khozyaistva, 2018, 377 p. (in Russ.).
14. Pronin V. M., Prokopenko V. A. Methodology for assessing technical and economic performance of agricultural machinery by the criterion of hourly operating costs. *Sel'skokhozyaystvennyye mashiny i tekhnologii*, 2013;3:10–14. EDN QINCPZ (in Russ.).
15. Larionov V. I. Improving the efficiency of agricultural machinery at the present stage. *Aktual'nyye voprosy agrarnoy nauki*, 2015;15:49–57. EDN XATBHJ (in Russ.).
16. Investment portal of the Novosibirsk region. *Invest.nso.ru* Retrieved from <https://invest.nso.ru/ru/content/ekonomika> (Accessed 04 May 2024) (in Russ.).

© Докин Б. Д., Алетдинова А. А., 2024

Статья поступила в редакцию 30.08.2024; одобрена после рецензирования 10.10.2024; принята к публикации 06.11.2024.

The article was submitted 30.08.2024; approved after reviewing 10.10.2024; accepted for publication 06.11.2024.

Информация об авторах

Докин Борис Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, Author ID: 702048, dokin38@mail.ru;

Алетдинова Анна Александровна, профессор, доктор экономических наук; кандидат технических наук, доцент, Новосибирский государственный технический университет, ORCID: 0000-0002-9257-4735, Author ID: 257678, aletdinova@corp.nstu.ru

Information about the authors

Boris D. Dokin, Doctor of Technical Sciences, Professor, Senior Researcher, Siberian Federal Research Centre of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, AuthorID: 702048, dokin38@mail.ru;

Anna A. Aletdinova, Doctor of Economic Sciences, Professor; Candidate of Technical Sciences, Associated Professor, Novosibirsk State Technical University, ORCID: 0000-0002-9257-4735, Author ID: 257678, aletdinova@corp.nstu.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 631.563

EDN BBXARI

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-68-79>

Концептуальные вопросы сохранения качества зерна при послеуборочной обработке и хранении

Юрий Жигмитович Дондоков¹, Иннокентий Николаевич Аммосов²,
Василий Михайлович Дринча³, Варвара Петровна Друзьянова⁴,
Надежда Ивановна Кондакова⁵

^{1, 2, 3, 5} Арктический государственный агротехнологический университет
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

⁴ Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова
Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ ooo-centaurus@mail.ru, ² amminnik@yandex.ru, ³ vdrincha@list.ru, ⁵ Konadiv57@mail.ru

Аннотация. Уменьшение потерь в процессе производства зерна является наиболее перспективным направлением обеспечения потребностей населения в продовольствии. Выявлено, что существенное влияние на потери зерна оказывают технологии его производства, уровень которых зависит от экономического развития стран. Минимальные потери зерна, около 5 %, в процессе послеуборочной обработки и хранения имеют место при высоком уровне технологий, которые применяются преимущественно в развитых странах. В то же время в развивающихся странах потери зерна составляют около 20 %. При неблагоприятных условиях, например, при ожидании обработки влажного зерна на токах, потери могут достигать до 30–50 %. Целью исследований явился анализ концептуальных технологических положений минимизации потерь и сохранения качества зерна в процессах его послеуборочной обработки и хранения. Основным методом исследований включал ретроспективный и системный анализ технологических процессов послеуборочной обработки зерна основных зерновых культур, а также биотических и абиотических факторов, влияющих на качество зерна и его сохранность. Рассмотрено изменение качества зерна в процессе его послеуборочной обработки, которое характеризовали внутренними и приобретенными свойствами. Обсуждены параметры ухудшения качества зерна, роль аэрации и сушки в сохранении качества. Особое внимание обращено на необходимость тщательного анализа влияния способа сушки на качество зерна при разработке стратегии сушки зерна и послеуборочной обработки. Представленные схемы конструктивных особенностей хранилища для безопасного хранения семян в мешках и система мониторинга зерновой массы в насыпи являются научно значимыми и могут быть применены в конструкторских бюро, разрабатывающих технологии и машины для обработки и хранения зерна.

Ключевые слова: зерно, показатели качества зерна, послеуборочная обработка зерна, хранение зерна, конструкция зернохранилища, мониторинг зерновой массы

Для цитирования: Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Дринча В. М., Друзьянова В. П., Кондакова Н. И. Концептуальные вопросы сохранения качества зерна при послеуборочной обработке и хранении // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 68–79. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-68-79>.

Original article

Conceptual issues of preserving grain quality during post-harvest treatment and storage

Yuriy Zh. Dondokov¹, Innokentiy N. Ammosov², Vasilii M. Drincha³,
Varvara P. Druzyanova⁴, Nadezhda I. Kondakova⁵

^{1, 2, 3, 5} Arctic State Agrotechnological University

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

⁴ North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ ooo-centaurus@mail.ru, ² amminnik@yandex.ru, ³ vdrincha@list.ru, ⁵ Konadiv57@mail.ru

Abstract. Reduction of losses in the process of grain production is the most promising direction for meeting the needs of the population for food. It was revealed that grain losses are significantly affected by production technologies, the level of which depends on the economic development of countries. Minimal grain losses, about 5%, during post-harvest processing and storage occur with high technologies, which are used mainly in industrial countries. At the same time, grain losses in developing countries amount to about 20%. Under unfavorable conditions, for example, when waiting for wet grain to be processed on threshing floors, losses can reach 30–50%. The aim of the research is to analyze the conceptual technological provisions for minimizing losses and maintaining grain quality during its post-harvest processing and storage. The main research method included retrospective and system analysis of technological processes of post-harvest grain handling of main cereal crops, as well as biotic and abiotic factors affecting grain quality and its safety. The change in grain quality during its post-harvest handling, which was characterized by internal and acquired properties, was considered. The parameters of grain quality deterioration during post-harvest handling and storage, the role of aeration and drying in maintaining quality were discussed. Particular attention was paid to the need for a thorough analysis of the effect of the drying method on grain quality when developing a grain drying strategy and post-harvest handling. The presented schemes of the design features of a storage facility for safe storage of seeds in bags and a system for monitoring grain mass in bulk are scientifically significant and can be applied in design bureaus developing technologies and machines for grain handling and storage.

Keywords: grain, grain quality indicators, post-harvest grain processing, grain storage, granary design, grain mass monitoring

For citation: Dondokov Yu. Zh., Ammosov I. N., Drincha V. M., Druzyanova V. P., Kondakova N. I. Conceptual issues of preserving grain quality during post-harvest treatment and storage. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:68–79. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-68-79>.

Введение. Продовольственная безопасность предполагает доступ всех людей в любое время к достаточному количеству продовольствия для здоровой и активной жизни. Она является важным обязательством для каждой страны.

Учитывая значимость производства зерновых в обеспечении продовольственной безопасности, увеличение объемов их производства должно основываться на научных основах послеуборочной обработки и сохранности зерна, чтобы минимизировать потери зерна и снижение его качества [1].

Период уборки урожая имеет относительно короткую продолжительность, а потребление зерна продолжается в течение всего года. Зерно хранится в хозяйствах для собственного потребления, обычно на корм скоту или для семенных целей. Трейдеры и маркетинговые агентства хранят зерно для получения финансовой выгоды путем приобретения его в

период уборки и продажи весной, когда цены на зерно существенно выше, чем в уборочный период.

Мировое производство зерна в 2023–2024 гг. увеличилось на 70 млн. тонн и достигло 2,3 млрд. тонн, в основном за счет увеличения производства пшеницы и кукурузы. Известно, что более половины глобального ежедневного потребления калорий обеспечивается продуктами из зерна основных зерновых культур. Уменьшение потерь в процессе производства зерна является наиболее перспективным направлением удовлетворения потребностей населения в продовольствии [2].

Потери зерна в процессе послеуборочной обработки и хранения оцениваются количественными и качественными показателями. Количественные потери зерна обычно связывают с уменьшением его веса, тогда как качественные – с ухудшением биологических и физических свойств зерна [3, 4].

Минимальные потери основных зерновых культур, около 5 %, в процессе послеуборочной обработки зерна и хранения имеют место при высоких технологиях, которые применяются преимущественно в развитых странах. В то же время в развивающихся странах потери достигают около 20 %. В неблагоприятных условиях, например, при ожидании обработки влажного зерна на токах, потери могут достигнуть до 30–50 % [5, 6].

Послеуборочная обработка зерна в развивающихся странах характеризуется следующими свойствами: в подавляющем большинстве случаев отсутствуют поточные технологии, зерно обрабатывается на разрозненных машинах; сушка зерна происходит под действием солнечных лучей; хранение зерна осуществляется в условиях доступности грызунам, птицам и другим вредителям; предпосевная подготовка семян осуществляется на простейших машинах, зачастую неспециализированных.

В результате, технологии послеуборочной обработки зерна и его хранения характеризуются большими количественными и качественными потерями.

Для соответствующих технологий, применяемых в промышленно развитых странах, характерны следующие свойства: все зерно обрабатывается с применением поточных технологий; консервация зерна осуществляется с применением сушки, управляемой газовой средой в зернохранилищах, а также консервации органическими кислотами; все более широкое распространение получает способ хранения зерна с применением установок для искусственного охлаждения воздуха; практически все зернохранилища оснащены эффективными системами аэрации зерна; высокий уровень мониторинга и управления путем автоматизации всех процессов с применением технологий контроля промышленного оборудования через Интернет; высокий уровень стратегического управления технологиями с применением систем внутреннего контроля качества всей цепочки производства зерна [7].

Проблемы сохранения качества зерна в процессе хранения становятся все более значимыми, поскольку стандарты качества зерна в отношении вредителей, пестицидов и других загрязняющих веществ на национальных и междуна-

рных рынках включают все более строгие нормы. Повышение стойкости зерна при хранении является постоянной проблемой как для промышленно развитых, так и для развивающихся стран. В отечественном зернопроизводстве сохранение качества зерна на всех этапах послеуборочной обработки выступает одной из главнейших задач повышения конкурентоспособности зернового производства.

Целью работы явилось исследование концептуальных технологических положений минимизации потерь и сохранения качества зерна в процессах его послеуборочной обработки и хранения.

Представленные материалы являются обобщенным результатом многолетних экспериментальных исследований авторов статьи, посвященных повышению эффективности технологий послеуборочной обработки зерна и подготовки семян, а также стойкости зерна при хранении.

Объектом исследований стали технологические процессы послеуборочной обработки зерна основных зерновых культур, а также биотические и абиотические факторы, влияющие на качество зерна и его сохранность.

Результаты исследований и их обсуждение. Термин «качество» имеет разное значение для разных субъектов, занимающихся обработкой зерна, хранением, переработкой и использованием зерна, хотя для все их важно получение зерна высокого качества. Например, зерновые трейдеры нуждаются в сухом, без насекомых и поврежденной зерне, которое обладает высокой стойкостью при хранении; мукомолы заинтересованы в зерне с хорошим внешним видом, вкусовыми и кулинарными свойствами; семеноводы нуждаются в семенном зерне с высокими посевными свойствами (всхожестью, силой роста, энергией прорастания и др.).

Различия в качестве зерна начинаются с сорта, выбранного производителем, а затем на него влияют климатические и почвенные условия в период вегетации, методы возделывания, погодные условия во время уборки урожая и способ уборки.

Принято считать, что каким бы ни было состояние зерна при уборке урожая, качество зерна в целом не может быть улучшено при хранении, транспортировке

и переработке; напротив, данное качество легко теряется.

Поскольку насекомые-вредители и микроорганизмы размножаются в зерне, своим присутствием они увеличивают количество посторонних примесей и загрязнение зерна. При этом вырабатывается метаболическое тепло, масса зерна уменьшается, образуется дробленая фракция и зерновая пыль. Загрязнение и посторонние вещества – терминны, которые часто используются как синонимы, но их важно различать. Посторонние примеси из зернового материала могут быть выделены при помощи воздушно-решетных машин и пневматических сортировальных столов, тогда как загрязнители зерна (такие как растворимые отходы жизнедеятельности вредителей; горюче-смазочные материалы; пестициды; патогенные микроорганизмы, распространяемые грызунами и насекомыми; токсины, образуемые плесеньями) не могут быть выделены из зерна и они приводят к существенному снижению его качества.

Физическое повреждение зерна, то есть дробление, расщепление или растрескивание зерновок, делает его более подверженным заражению насекомыми и микроорганизмами. Такие повреждения могут возникнуть на любом этапе послеуборочной обработки, но особенно во время обмолота, сушки и межоперационной транспортировке.

Зерно может быть повреждено вредителями, если оно восприимчиво к заражению и не защищено от них. Ряд насекомых-вредителей повреждают зерно путем жевания или сверления. Плесень и бактерии развиваются как внутри зерен, так и на их поверхности, вызывая изменение цвета и очаговые повреждения, которые могут быть единственными проявлениями инфекции. Зерно также может обесцветиться в результате теплового повреждения, вызванного, например, образованием «очагов самосогревания» в зерне, хранящемся насыпью.

Для сохранения качества зерна чрезвычайно важно поддержание его влажности в оптимальном диапазоне. Если процентное содержание влаги в зерне выше или ниже ожидаемого в условиях окружающего климата, или выходит за пределы требований стандартов, считается, что ка-

чество зерна может снижаться. Данное явление может возникнуть из-за недостаточной или чрезмерно интенсивной сушки.

Высокое содержание влаги в зерне способствует заражению его как насекомыми, так и микроорганизмами, и ускоряет процессы метаболизма, что приводит к нежелательным химическим изменениям, прорастанию, старению или повышению температуры, а, следовательно, к тотальному снижению качества зерна. Ненормально низкое процентное содержание влаги, как правило, представляет меньше проблем. Зерно вряд ли будет сильно заражено насекомыми, если оно очень сухое, а риск микробиологического заражения низок или незначителен. Однако при слишком интенсивной сушке или пересушенном зерне оно может стать очень хрупким, что приводит к расщеплению зерновок, образованию трещин и увеличению количества мелкого дробленого зерна. Величина влагосъема (снижения влажности за один пропуск через сушилку) существенно влияет на образование трещиноватости зерновок [8].

Так, при уменьшении влажности зерна кукурузы с 22 до 18 % при температуре сушки 71 °С, вследствие теплового напряжения образуется около 5 % зерновок с многочисленными трещинами; при уменьшении влажности до 16 % количество таких зерновок составляет 86,9 %; при уменьшении влажности до 14 % многочисленные трещины получает все зерно.

Снижение влагосъема кукурузы в процессе высокотемпературной сушки до 4–5 % за один пропуск влажного зерна через сушилку, особенно в критически важном диапазоне 15–20 %, позволяет существенно ограничить образование трещин от температурного напряжения. На образование трещин в процессе сушки оказывает не только тип зерна, но и его сорт, а также изначальная исходная влажность.

Зерно злаковых культур достигает физиологической и функциональной зрелости при влажности от 35 до 45 % в зависимости от культуры. Оптимальное значение влажности для безопасного хранения составляет от 10 до 14 % в зависимости не только от урожая, но и от температуры зерна в процессе хранения.

Вместе с тем качество зерна, стойкость его при хранении зависят не только

от средней влажности, но и от влажности отдельных зерен.

Средняя влажность свежесобранного зерна зависит в основном от метеорологических условий в период уборки и может колебаться в широких пределах (от 13 до 35 %). Влажность же отдельных зерен в момент уборки значительно отличается от среднего значения. Как видно из графика на рисунке 1, при среднем значении влажности, равной 22 %, около 10 % зерен имеют влажность ниже 17 % и более 20 % зерен – выше 25 % [8].

Неоднородность влажности зерна может служить причиной его самосогревания даже при средней влажности, соответствующей кондиционной. На неоднородность влажности зерна влияют условия созревания и уборки, а также сорт. Для уменьшения неоднородности зерна по влажности рекомендуется подвергать его аэрированию или сушке.

Самый дешевый способ сушки – естественная сушка с использованием солнечного тепла и испаряющего эффекта воздушного потока (ветра). Зерно можно хранить в открытых продуваемых сооружениях или разложить тонким сло-

ем на земле, подносах или матах для сушки. Естественная сушка, хотя и приемлема для традиционных нужд сельского хозяйства, оставляет зерно открытым для пыли, заражения насекомыми, нападения птиц и других позвоночных, что может привести к потерям качества и количества.

Сушка естественным воздухом возможна, когда равновесная относительная влажность воздуха ниже такого значения, при котором зерно находится в состоянии равновесной влажности. Во влажных зонах естественная сушка позволяет удалить значительное количество влаги из зерна, хотя количество удаляемой влаги из зерна естественной сушкой, как правило, никогда не бывает достаточным для безопасного уровня.

При применении естественной сушки, например, вороха семян трав, рекомендуется применять двухступенчатую технологию сушки, при которой на первом этапе используют естественную сушку атмосферным воздухом (щадящую), а на втором – применяется сушка с подогревом воздуха.

Способы сушки зерна нагретым воздухом классифицируются на два типа:

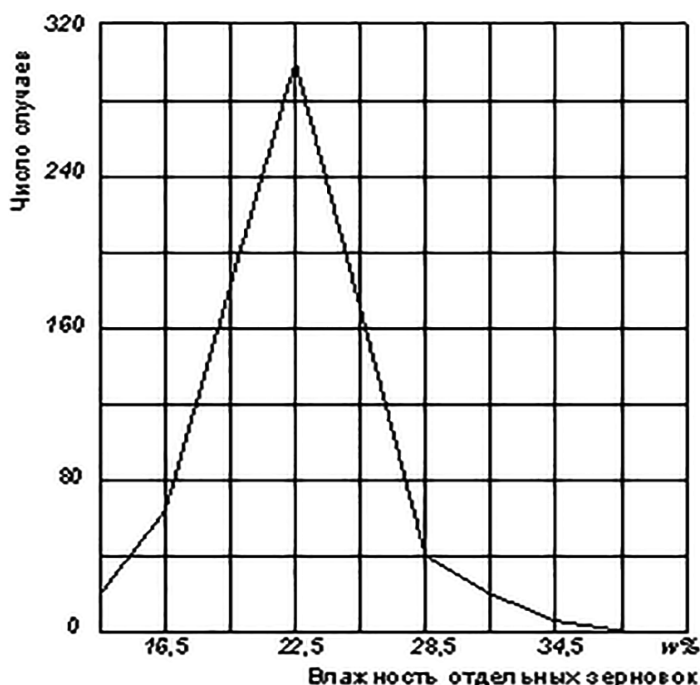


Рисунок 1 – Распределение зерновок свежесобранного комбайнового зерна по влажности [8]

Figure 1 – Distribution of grains of freshly harvested combine grain by moisture content [8]

низкотемпературная сушка при одновременной обработке больших объемов зерна и высокотемпературная при одновременной сушке малых объемов зерна. *Низкотемпературная сушка* (атмосферным воздухом, подогретым на 5–10 °С выше окружающей среды) может применяться на этапах временного или долгосрочного хранения. *Высокотемпературная сушка* обычно осуществляется в специально разработанных сушилках для облегчения воздействия на зерно агента сушки.

При низкотемпературной сушке основным ограничивающим фактором ее продолжительности является ухудшение качества зерна, вызванное, как правило, ростом плесени. Однако, управление толщиной слоя зерна и расходом воздуха является важным ресурсом для предотвращения роста плесени. Максимально допустимое время сушки при низкотемпературной сушке зависит от типа зерна, а также от его исходной влажности и температуры.

Высокотемпературная сушка целесообразна в тех случаях, когда необходимо высушить большие объемы зерна за короткое время. Однако для сохранения высокого качества зерна следует контролировать максимальные температуры сушки и ее интенсивность. Если во время сушки зерно перегревается, его качество может пострадать несколькими способами. При температуре теплового агента (воздуха) выше 45 °С зародыш зерновки будет уничтожен, что сделает непригодным зерно в качестве посевного материала. Кукурузу для крахмальной промышленности нельзя сушить при температуре выше 60 °С; в противном случае процесс отделения крахмала будет нарушен, поскольку клейковина затвердеет или станет жесткой и прилипнет к крахмалу. Изменения качества пшеницы, которая подвергается перегреву, могут проявиться в виде муки низкого качества, которая становится неприятной на вкус или имеет плохие хлебопекарные свойства.

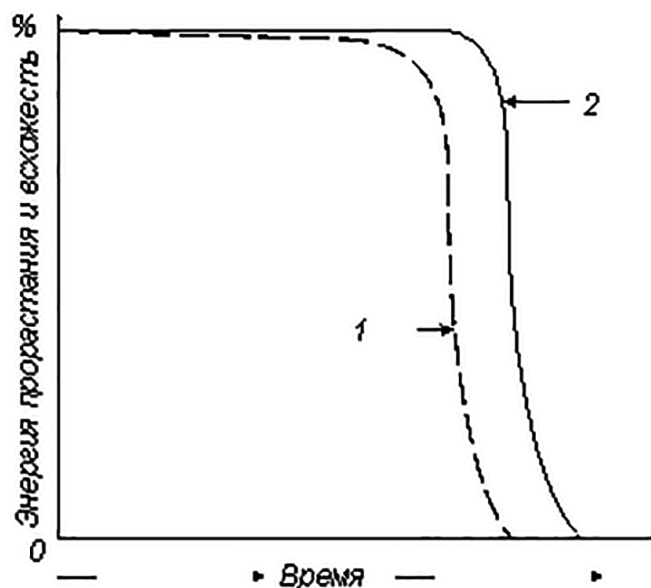
Таким образом, своевременная уборка урожая и сушка имеют важное значение для получения высококачественного зерна. При этом сушка зерна является не только эффективным способом обеспечения его качества, но и важным процессом подготовки зерна к хранению.

Сохранение качества зерна при хранении. Основной задачей надлежащей практики хранения является поддержание условий в зерне, которые позволят сохранить на соответствующем уровне те качества или свойства, которые конечный пользователь считает важными (при посеве, переработке и т. д.). В основном это означает предотвращение повреждений и ухудшения качества зерна, вызванных насекомыми, клещами и микроорганизмами, а также защиту от птиц и грызунов. Если птиц и грызунов можно исключить, интенсивность ухудшения или потери качества во время хранения будут зависеть от микросреды и климатических условий. Минимальными потерями качества зерна будут тогда, когда оно сухое и прохладное, поскольку скорость роста микроорганизмов зависит от влажности и температуры, а насекомых, как правило, от температуры.

Зерновки или отдельные семена представляют живые организмы, которые, как и все живые существа, характеризуются долговечностью и, в конечном итоге, погибают. Всхожесть и энергия прорастания семян достигают наивысшей точки, когда они впервые достигают физиологической зрелости, то есть после периода послеуборочного дозревания. После этого начинается снижение биологического потенциала семян. Данную тенденцию нельзя обратить вспять или устранить, но ее можно замедлить путем надлежащего хранения.

Скорость, с которой происходит старение, варьирует в зависимости от типа и сорта зерна, зависит от биотических факторов, условий окружающей среды, а, прежде всего, от времени. Таким образом, семена сохраняют свою жизнеспособность в течение определенного периода, а затем энергия прорастания начинает уменьшаться и быстро падает, пока партия семян полностью не потеряет всхожесть. Энергия прорастания начинает снижаться раньше, чем всхожесть (рис. 2) [9].

При длительном хранении зерно может претерпеть изменения структуры, цвета, вкуса, пищевой ценности, а также посевных свойств из-за воздействия влаги и температуры (даже при отсутствии насекомых и микроорганизмов). Временные изменения не обязательно делают зерно непригодным для употребления в пищу,



1 – энергия прорастания семян; 2 – всхожесть семян
 1 – seed germination energy; 2 – seed viability

Рисунок 2 – Тенденция неизбежного ухудшения качества семян по мере их старения с течением времени [9]

Figure 2 – Tendency of inevitable deterioration of seed quality as they age over time [9]

но они могут сделать его менее вкусным или менее приемлемым для потребителя по эстетическим соображениям.

Безопасные условия хранения достигаются за счет сочетания оптимальных конструкций строительных сооружений и методов для минимизации температуры и влажности в хранилище, а также с использованием специальных машин (осушителей, кондиционеров, холодильных установок) для контроля (снижения) температуры и влажности воздуха в хранилище. Оптимальное управление процессом хранения позволяет поддерживать требуемые условия при минимальных затратах.

Наиболее экономически эффективным способом обеспечения безопасных условий хранения является проектирование и изготовление строительных сооружений, максимально соответствующих требованиям зернохранилищ. Основные решения по управлению процессом хранения включают в себя подготовку семян надлежащим образом, строительство и обслуживание зернохранилища.

Требования к хранилищам для кратковременного хранения семян (до следующего сезона) ограничиваются преиму-

щественно специальными строительными требованиями к конструкциям, обеспечивающим условия для безопасного хранения семян в естественных условиях (рис. 3).

В хранилищах с бетонным полом мешки с семенами следует укладывать на паллеты, что позволяет образовать воздушное пространство между мешками и полом, так как влага может передаваться через бетонные полы капиллярным движением. Хранилища семян также должны хорошо проветриваться и быть защищены от грызунов и птиц.

Вытяжные вентиляторы должны обеспечивать удаление горячего воздуха с верхней части здания, а влажного – с уровня пола. Их следует оснащать защитными экранами для предотвращения поступления осадков внутри здания. Вентиляционные отверстия на крыше хранилища могут быть постоянно открыты, а вентиляционные отверстия вблизи уровня пола должны иметь плотно закрывающуюся дверцу или крышку, чтобы их можно было закрыть, за исключением определенных моментов, когда атмосферный воздух подходит для вентиляции. Перед вентиляцией следует проверять относительную влажность на-

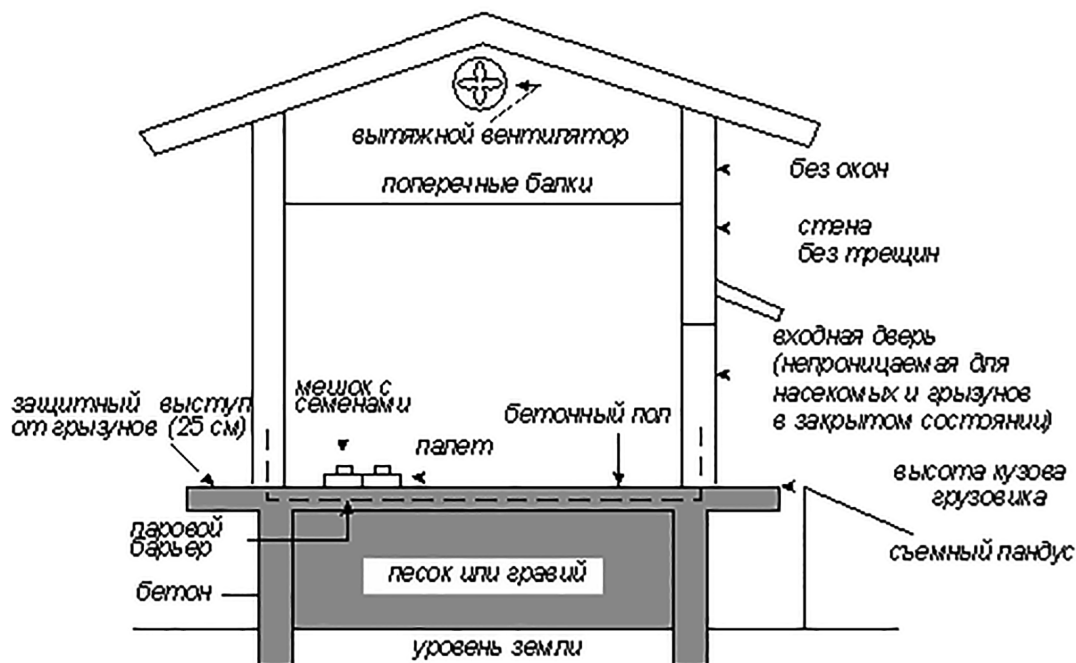


Рисунок 3 – Схема основных конструктивных особенностей хранилища для безопасного хранения семян (в естественных условиях) в мешках

Figure 3 – Scheme of the main design features of the storage facility for safe seed preserving (under natural conditions) in bags

ружного воздуха. При этом она не должна превышать уровень равновесной влажности, соответствующий равновесной влажности хранимых семян. В целом, хранилища следует вентилировать только в сухие дни, между серединой утра и серединой полудня, когда относительная влажность воздуха самая низкая.

Хранилища для безопасного хранения семян при естественных условиях могут использоваться для: кратковременного хранения семян, не прошедших послеуборочную обработку; кратковременного хранения очищенных семян, если они находятся в пористых мешках (джут или ткань); хранения семян с низкой влажностью (высушенных до менее 8 % для крахмалистых семян и менее 6 % для масличных семян), запечатанных в паро- непроницаемые упаковки.

Вследствие низкой теплопроводности и удельной теплоемкости зерна, оно при хранении насыпью выделяет биологическое тепло, вырабатываемое метаболическими процессами зерна и насекомыми, которое плохо рассеивается, что приводит к образованию «очагов самосогревания». Для предотвращения данного явления в

процессе хранения зерна в обязательном порядке рекомендуется все зернохранилища оснащать аэрационными системами, применение которых позволяет повысить стойкость зерна за счет управления биотическими факторами при хранении.

Легкие и мелкие примеси в поступающем на хранение зерне включают дробленые и колотые зерновки, посторонние материалы и пыль. Они способствуют развитию насекомых-вредителей и препятствуют эффективной аэрации зерна в силосе или бункере.

Зерновая пыль состоит из мелких частиц (размером от 15 до 120 мкм) крахмальных гранул, отрубей или кусочков мякины, образующихся при трении зерен во время обработки. При определенных концентрациях зерновая пыль образует взрывоопасную смесь с воздухом. Для решения проблемы выделения легких и частично мелких примесей в технологиях обработки зерна рекомендуется увеличить кратность обработки воздушным потоком в традиционных технологиях путем применения турбинных сепараторов после сушки, перед загрузкой зерна в зернохранилища.

Важным фактором, влияющим на стойкость зерна при хранении, является подверженность зерна травмированию, дроблению и образованию зерновой пыли при обращении с ним. Различные культуры и сорта одного и того же зерна (например, пшеницы) могут иметь различную твердость, которая является важным свойством, поскольку может влиять на устойчивость зерна к повреждениям во время обработки и атак насекомых.

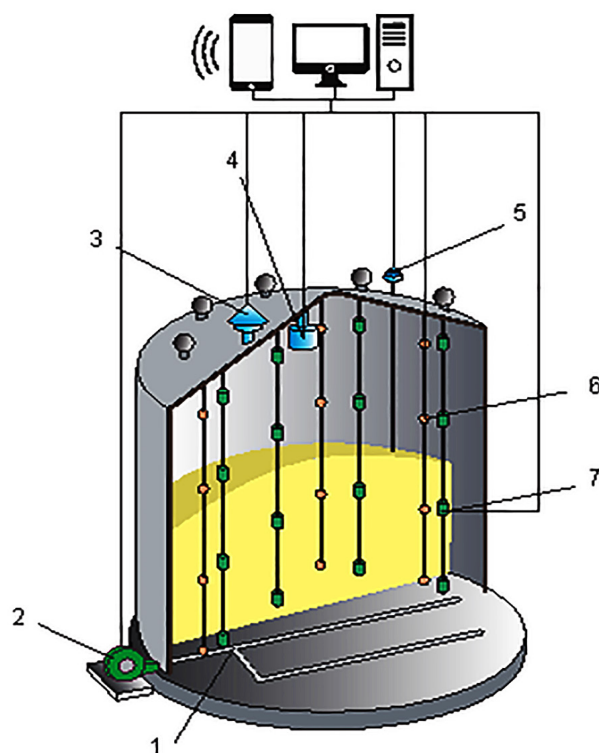
На основании проведенного анализа сохранения качества зерна в процессе его хранения, нами разработана система мониторинга зерновой массы в насыпи.

Для определения температуры рекомендуется термометрическая система, включающая свисающие кабели, компьютерную систему управления во всей массе зерна с локальным и дистанционным мониторингом, а также технологию контро-

ля промышленного оборудования через Интернет (рис. 4).

Предложенная система мониторинга бункерного зерна обеспечивает непрерывный контроль состояния зерновой насыпи в течение всего периода хранения, а также может быть использована для сохранения качества зерна путем управления работой аэрационной системы 1, работающей от одного или нескольких вентиляторов 2. По показаниям датчика расходов воздуха 3 определяют реальные нормы аэрации зерна. В зависимости от выбранной задачи и стратегии аэрации нормы аэрации корректируют.

На основании показаний датчика углекислого газа 4 определяют интенсивность дыхания зерна, которая является основным критерием состояния зерна. Уровнемер зерна 5 предназначен для контроля реальной высоты насыпи. Термопары или



- 1 – воздухораспределительные каналы системы аэрации; 2 – вентилятор аэрационной системы; 3 – датчик контроля расхода воздуха через вытяжной вентиляционный клапан; 4 – датчик CO₂; 5 – уровнемер зерна; 6 – термометрическая система; 7 – датчик относительной влажности воздуха в межзерновом пространстве
- 1 – air distribution channels of the aeration system; 2 – aeration system fan; 3 – air flow control sensor through the exhaust ventilation valve; 4 – CO₂ sensor; 5 – grain level gauge; 6 – thermometric system; 7 – relative humidity sensor in the intergrain space

Рисунок 4 – Система мониторинга зерна в процессе его хранения

Figure 4 – Grain monitoring system during its storage

термисторы в термометрической системе 6 могут регистрировать температуру на различных глубинах по всей массе зерна и показывать изменения, а также контролировать перемещение в бункере фронтов охлаждения зерна в процессе аэрации.

Чтобы использовать температуру для мониторинга начальной порчи, ее следует измерять с интервалом 0,5 м во всей массе зерна. Микроэлектронные датчики температуры могут быть развернуты внутри массы зерна в виде сетки для непрерывного мониторинга температуры межзернового воздуха с высокой точностью.

Для контроля порчи хранящегося зерна рекомендуется измерять равновесную относительную влажность воздуха в межзерновом пространстве, что является косвенным способом измерения влажности зерна на основе уравнений равновесной влажности. Новые или коммерчески модифицированные датчики относительной влажности воздуха 7, включающие коррекцию ошибок уравнения равновесной влажности зерна, могут предсказать влажность зерна с более высокой точностью. Интегрированный датчик температуры и влажности является эффективным инструментом для управления процессом хранения зерна.

Одним из эффективных параметров контроля состояния зерна является концентрация углекислого газа в зерновой массе. Применение датчиков CO_2 с точностью 0,1 % позволяет обнаружить ухудшение качества зерна в 80 % случаев. Эти датчики можно устанавливать вблизи вентиляционных отверстий. Определение температуры воздуха в межзерновом пространстве и структуры воздуха позволяет определить место порчи внутри зерновой массы. С развитием микроэлектронной технологии можно изготавливать и размещать микродатчики CO_2 внутри зерновой массы и тем самым повысить точность определения очагов порчи зерна в зерновой насыпи.

Достижения в области технологий сбора и обработки данных успешно используются по всему миру для поддержки принятия решений в различных сельскохозяйственных процессах. Они включают датчики урожая, позволяющие оценивать урожайность зерна до уборки, наличие сорняков, питательных веществ растений

и сорняков, водный стресс и содержание белка в зерне.

Новые информационные технологии позволят повысить урожайность зерна и его качество, эффективность использования ресурсов, а также сократить потери питательных веществ и негативное воздействие на окружающую среду.

Заключение. Качество зерна в процессе послеуборочной обработки и его хранения зависит от многих факторов: уровня технологий возделывания и уборки зерна; правильного выбора и эксплуатации систем сушки и временного хранения, машин для очистки и сортирования зерна; биотических и абиотических факторов в процессе хранения; обработок зерна; состояния окружающей среды в период хранения.

Снижение интенсивности дыхания зерна путем его сушки предотвращает качественное ухудшение, которое может возникнуть вследствие роста микроорганизмов и деятельности насекомых и клещей. Сам процесс сушки может отрицательно влиять на качество зерна, если система сушки не выбрана и не эксплуатируется в соответствии с биологическими особенностями зерна и его состоянием.

Применение датчиков и приложений технологий контроля промышленного оборудования через Интернет позволит контролировать и прогнозировать качество зерна на протяжении всей технологии возделывания, уборки, послеуборочной обработки и хранения зерна. *На основании анализа сохранения качества зерна в процессе его хранения, нами разработана система мониторинга зерновой массы в насыпи.*

При этом для определения температуры рекомендуется термометрическая система, которая включает свисающие кабеля, компьютерную систему управления во всей массе зерна с локальным и дистанционным мониторингом, а также технологию контроля промышленного оборудования через Интернет. Предложенная система мониторинга бункерного зерна обеспечивает непрерывный контроль состояния зерновой насыпи в течение всего периода хранения, а также может быть использована для сохранения качества зерна путем управления работой аэрационной системы.

Список источников

1. Rosentrater K. A. (Eds.). Storage of cereal grains and their products. Woodhead Publishing and Cereals, 2022. 754 p.
2. Rodrigues D. M., Coradi P. C., Timm N. S., Fornari M., Grellmann P., Amado T. C. [et al.]. Applying remote sensing, sensors and computational techniques to sustainable agriculture: from grain production to post-harvest // *Agriculture*. 2024. Vol. 14. No. 1. P. 161. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010161>.
3. Иванов Н. М., Стрикунов Н. И., Леканов С. В. Технологии и техника для послеуборочной обработки зерна и семян : монография. Новосибирск : Сибирский Федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, 2021. 277 с.
4. Фейденгольд В. Б., Алексеева Л. В., Закладной Г. А. Меры борьбы с потерями зерна при заготовках, послеуборочной обработке и хранении на элеваторах и хлебоприемных предприятиях. М. : ДеЛи принт, 2007. 302 с.
5. Nath B., Chen G., O'Sullivan C. M., Zare D. Research and technologies to reduce grain postharvest losses: a review // *Foods*. 2024. Vol. 13. No. 12. P. 1875. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>.
6. Смелик В. А., Новиков М. А., Перекопский А. Н., Ерошенко Л. И. Послеуборочная обработка зерна и семян в условиях регионов повышенного увлажнения : монография. СПб. : Санкт-Петербургский государственный аграрный университет, 2023. 162 с. EDN ANWRIL.
7. Дринча В. М., Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Александров Н. П., Машиев Ч. Г. Проблемы и перспективы развития технологий аэрирования зерна // *Вестник Восточно-Сибирского государственного университета технологий и управления*. 2024. № 3 (94). С. 30–40. https://doi.org/10.53980/24131997_2024_3_30.
8. Птицын С. Д. Зерносушилки. Технологические основы, тепловой расчет и конструкции. М. : Машиностроение, 1966. 212 с.
9. Аммосов И. Н., Дринча В. М., Борисенко И. Б. Технологические аспекты подавления насекомых-вредителей зерна аэрированием // *Известия Нижневолжского агроуниверситетского комплекса: Наука и высшее профессиональное образование*. 2022. № 2 (66). С. 537–544. EDN ZAYZSS.

References

1. Rosentrater K. A. (Eds.). Storage of cereal grains and their products, Woodhead Publishing and Cereals, 2022. 754 p.
2. Rodrigues D. M., Coradi P. C., Timm N. S., Fornari M., Grellmann P., Amado T. C. [et al.]. Applying remote sensing, sensors and computational techniques to sustainable agriculture: from grain production to post-harvest. *Agriculture*, 2024;14;1:161. <https://doi.org/10.3390/agriculture14010161>.
3. Ivanov N. M., Strikunov N. I., Lekanov S. V. *Technologies and equipment for post-harvest processing of grain and seeds: monograph*, Novosibirsk, Sibirskii Federal'nyi nauchnyi tsentr agrobiotekhnologii Rossiiskoi akademii nauk, 2021, 275 p. (in Russ.).
4. Feydengold V. B., Alekseeva L. V., Zakladnoy G. A. *Measures to control grain losses during harvesting, post-harvest processing and storage at elevators and bread receiving enterprises*, Moscow, DeLi print, 2007, 302 p. (in Russ.).
5. Nath B., Chen G., O'Sullivan C. M., Zare D. Research and technologies to reduce grain postharvest losses: a review. *Foods*, 2024;13;12:1875. <https://doi.org/10.3390/foods13121875>.
6. Smelik V. A., Novikov M. A., Perekopskiy A. N., Eroshenko L. I. *Post-harvest treatment of grain and seeds under conditions of high moisture regions: monograph*, Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskiy gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2023, 162 p. EDN ANWRIL (in Russ.).
7. Drincha V., Dondokov Yu., Ammosov I., Alesksandrov N., Mashiev Ch. Problems and prospects of grain aeration technologies. *Vestnik Vostochno-Sibirskogo*

gosudarstvennogo universiteta tekhnologii i upravleniya, 2024;3(94):30–40. https://doi.org/10.53980/24131997_2024_3_30 (in Russ.).

8. Ptitsyn S. D. *Grain dryers. Technological bases, thermal calculation and constructions*, Moscow, Mashinostroenie, 1966, 212 p. (in Russ.).

9. Ammosov I. N., Drincha V. M., Borisenko I. B. Technological aspects of suppression of insect pests of grain by aeration. *Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: Nauka i vysshee professional'noe obrazovanie*, 2022;2(66):537–544. EDN ZAYZSS (in Russ.).

© Дондоков Ю. Ж., Аммосов И. Н., Дринча В. М., Друзьянова В. П., Кондакова Н. И., 2024
Статья поступила в редакцию 05.11.2024; одобрена после рецензирования 02.12.2024; принята к публикации 03.12.2024.

The article was submitted 05.11.2024; approved after reviewing 02.12.2024; accepted for publication 03.12.2024.

Информация об авторах

Дондоков Юрий Жигмитович, кандидат технических наук, доцент, Арктический государственный агротехнологический университет, ooo-centaurus@mail.ru;

Аммосов Иннокентий Николаевич, старший преподаватель, Арктический государственный агротехнологический университет, amminnik@yandex.ru;

Дринча Василий Михайлович, доктор технических наук, профессор, Арктический государственный агротехнологический университет, ORCID: 0000-0003-1083-5370, vdrincha@list.ru;

Друзьянова Варвара Петровна, доктор технических наук, профессор, Северо-Восточный федеральный университет имени М. К. Аммосова;

Кондакова Надежда Ивановна, старший преподаватель, Арктический государственный агротехнологический университет, Konadiv57@mail.ru

Information about the authors

Yuriy Zh. Dondokov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Arctic State Agrotechnological University, ooo-centaurus@mail.ru;

Innokentiy N. Ammosov, Senior Lecturer, Arctic State Agrotechnological University, amminnik@yandex.ru;

Vasilii M. Drincha, Doctor of Technical Sciences, Professor, Arctic State Agrotechnological University, ORCID: 0000-0003-1083-5370, vdrincha@mail.ru;

Varvara P. Druzyanova, Doctor of Technical Sciences, Professor, North-Eastern Federal University named after M. K. Ammosov, druzvar@mail.ru;

Nadezhda I. Kondakova, Senior Lecturer, Arctic State Agrotechnological University, Konadiv57@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 664.953:639.211.4

EDN CEXGWJ

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-80-91>

Разработка технологии рыбного паштета из ряпушки сибирской с голубикой

Людмила Иннокентьевна Елисеева¹, Прасковья Алексеевна Гоголева²,
Константин Максимович Степанов³, Зоя Ивановна Готовцева⁴,
Валентина Васильевна Иванова⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Арктический государственный агротехнологический университет

Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

³ Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук

Республика Саха (Якутия), Якутск, Россия

¹ eliseeva401@mail.ru, ² imka-go@mail.ru, ³ stenko07@mail.ru, ⁴ zqotov21@mail.ru

Аннотация. В Якутии распространены два подвида сибирской ряпушки (*Coregonus sardinella*): восточносибирская и якутская озерная. В статье исследована восточносибирская ряпушка из Усть-Янского района республики. Результаты анализа мяса ряпушки показали, что оно отличается высокой пищевой ценностью: содержание белка составило 15 %, жира – 9 %. Полезность ряпушки обусловлена, прежде всего, содержанием полноценного белка. Результаты исследований показали, что белки ряпушки по биологической ценности незаменимых аминокислот превосходят белковую ценность идеального белка. Жир ряпушки содержит полиненасыщенные жирные кислоты. Следовательно, филе ряпушки представляет ценное сырье для производства рыбных паштетов. При этом добавление голубики улучшает органолептические показатели и повышает аромат паштета. Цель работы – разработка технологии рыбного паштета с голубикой из ряпушки. Средний выход филе принят за 62 %, теши – 16 %. В работе использованы общепринятые органолептические, физико-химические, микробиологические методы определения массовой доли воды, жира, белков, минеральных веществ, витаминов в рыбе и голубике, паштете. Разработаны режимы и продолжительность технологических процессов производства паштета, которые обеспечили качество готового продукта. Экспериментально определены показатели качества паштета, дана комплексная оценка пищевой ценности паштетов из ряпушки. Данные анализа качества паштета показали, что продукт соответствует требованиям безопасности и обладает высокой пищевой ценностью, отличными потребительскими свойствами. На основании проведенных исследований разработана техническая документация на соответствующие рыбные паштеты.

Ключевые слова: ряпушка, паштет, пищевая ценность, голубика, разработка технологии производства паштета, показатели качества паштета

Для цитирования: Елисеева Л. И., Гоголева П. А., Степанов К. М., Готовцева З. И., Иванова В. В. Разработка технологии рыбного паштета из ряпушки сибирской с голубикой // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 80–91. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-80-91>.

Original article

Technology design of fish pate made from the East Siberian vendace with blueberries

Lyudmila I. Eliseeva¹, Praskovya A. Gogoleva², Konstantin M. Stepanov³,
Zoya I. Gotovtseva⁴, Valentina V. Ivanova⁵

^{1, 2, 3, 4, 5} Arctic State Agrotechnological University

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

³ The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences

Republic of Sakha (Yakutia), Yakutsk, Russian Federation

¹ eliseeva401@mail.ru, ² imka-go@mail.ru, ³ stenko07@mail.ru, ⁴ zqotov21@mail.ru

Abstract. There are two subspecies of the Siberian cisco (*Coregonus sardinella*) in Yakutia, the East Siberian vendace and the Yakut shallow-water cisco. The East Siberian vendace from the Ust-Yansky district has been studied. The results of the study of the East Siberian vendace meat showed that it has a high nutritional value, the protein content was 15%, fat – 9%. The value of the East Siberian vendace meat is primarily due to the content of high-grade protein. The results of the biological value assessment analysis showed that the East Siberian vendace proteins exceed the protein value of an ideal protein in terms of the biological value of essential amino acids. The East Siberian vendace fat contains polyunsaturated fatty acids. Consequently, the East Siberian vendace fillets are valuable raw materials for the production of fish pates. The blueberry supplementation improves organoleptic characteristics, increases the flavor of the pate. The purpose of the work is to design the technology of fish pate made from the East Siberian vendace with blueberries. The average yield of fillets was taken as 62%, flank - 16%. The work uses generally accepted organoleptic, physico-chemical, microbiological methods for determining the mass fraction of water, fat, proteins, minerals, vitamins in fish, blueberry and pate. The modes and duration of technological processes for the production of pate have been developed, which ensured the quality of the finished product. The quality indicators of the pate were experimentally determined, and a comprehensive assessment of the nutritional value of pate was given. The pate quality analysis data showed that the product meets safety requirements and has high nutritional value and excellent consumer properties. Based on these studies, technical documentation for fish pates with blueberries has been developed.

Keywords: the Siberian cisco, pate, nutritional value, blueberries, development of pate production technology, pate quality indicators

For citation: Eliseeva L. I., Gogoleva P. A., Stepanov K. M., Gotovtseva Z. I., Ivanova V. V. Technology design of fish pate made from the East Siberian vendace with blueberries. *Dal'nevostochnyy agrarnyy vestnik*. 2024;18;4:80–91. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-80-91>.

Введение. В рационе питания местного населения пресноводные рыбы играют огромное значение как источник полноценных белков, легкоусвояемых жиров, минеральных веществ, витаминов. Пищевая и биологическая ценность ряпушки, а также ее запасы позволяют использовать данное сырье для производства рыбных паштетов [1–7]. Натуральная добавка, в виде дикорастущей ягоды – голубики, в производстве рыбных продуктов способствует улучшению органолептических свойств продукта, повышению технологических характеристик и сохранению жира от окисления за счет содержания пектиновых веществ в голубике.

В Якутии распространена повсеместно голубика топяная (*Vaccinium uliginosum* L.). Результаты исследования качества голубики показали, что эта ягода богата биологически активными веществами, содержит фенолкарбоновые кислоты и их производные, органические кислоты, сахара, витамины С и РР, каротин, дубильные и красящие вещества, железо, марганец. Также голубика обладает обширным спектром лечебных действий: укрепляет стенки кровеносных капилляров, иммунитет, способствует улучшению пищеварения. Учитывая эти факторы,

нами разработана технология производства рыбного паштета.

Цель исследований – разработка технологии производства рыбного паштета из ряпушки с голубикой.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований явились ряпушка (*Coregonus sardinella*), голубика, рыбный паштет с голубикой.

Биохимический состав рыб и рыбных продуктов определяли методом инфракрасной спектроскопии на анализаторе Spectra Star модели 2200 фирмы Unity Scientific (США).

Подготовка проб к анализу, определение содержания воды, белков, жира, минеральных веществ, витаминов в рыбе проведены в соответствии с требованиями ГОСТ 7636–85 «Рыба, морские млекопитающие. Морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа» в лабораториях Республиканского центра пищевых технологий (г. Якутск). Жирнокислотный состав рыбы определяли методом газовой хроматографии (хроматограф Shimadzu GC-14D).

Оценка качества готового паштета проведена осмотром внешнего вида, анализом органолептических, физико-хими-

ческих, микробиологических показателей продукта, сравнительной оценкой готовых паштетов. Для проведения органолептической оценки рыбных паштетов разработана балльная шкала (табл. 1).

Сбалансированность белков оценена по индексам незаменимых аминокислот, которые представляют отношение фактического уровня данных кислот в белках продукта к рекомендованным Объединенным экспертным комитетом по пищевым добавкам (FAO/WHO) их уровням в стандартном белке.

Содержание пектиновых веществ в голубике определено согласно требованиям ГОСТ 29059–91 «Продукты переработки плодов и овощей. Титриметрический метод определения пектиновых веществ». Содержание антоцианов установлено с учетом положений ГОСТ 32709–2014 «Продукция соковая. Методы определения антоцианов».

Содержание сахара определялось по требованиям ГОСТ 8756–87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров». Содержание полифенольных веществ в голубике устанавливали фотокolorиметрическим методом.

Рецептура паштета подобрана методом моделирования количества бланшированного мяса рыбы, голубики, рыбного бульона и других компонентов; оценки качества сырья и готовой продукции.

Результаты исследований обработаны статистическим методом с использованием программы Microsoft Excel.

Результаты исследований и их об-суждение. Нами проанализирован выход массового состава ряпушки, выловленной в Усть-Янском районе Республики Саха (Якутия). *Составные части ряпушки в процентном соотношении составляют:*

- филе – 62,0±0,15 %;
- теща – 16,1±0,15 %;
- внутренности – 6,4±0,15 %;
- голова – 5,1±0,15 %;
- плавники – 1,5±0,15 %;
- чешуя – 2,1±0,15 %;
- шкура – 2,6±0,15 %;
- кости – 4,2±0,15 %.

Для производства рыбного паштета использовано филе ряпушки, средний выход которого, согласно приведенным данным, принят равным 62 %.

Таблица 1 – Шкала оценки органолептических показателей
Table 1 – Organoleptic indicator assessment scale

Наименование показателя	Характеристика показателя	Оценка, баллы
<i>Вкус и запах (10 баллов)</i>		
Отличный	приятный, отчетливо выраженный вкус, без посторонних привкусов и запахов	10
Хороший	приятный вкус и аромат, без посторонних привкусов и запахов	9
Удовлетворительный	недостаточно выраженный вкус, без посторонних привкусов и запахов	8
<i>Консистенция и внешний вид (5 баллов)</i>		
Отличная	нежная, сочная, мажущаяся	5
Хорошая	нежная, сочная	4
Удовлетворительная	суховатая, не мажущаяся	3
<i>Цвет (2 балла)</i>		
Отличный	однородный по всей массе, обусловленный цветом компонентов	2
Хороший	незначительная неоднородность по массе	1
<i>Маркировка и упаковка (3 балла)</i>		
Хорошая	упаковка правильная, маркировка четкая	3
Удовлетворительная	незначительная деформация упаковки	1

Химический состав филе ряпушки представлен в таблице 2. Как показано в таблице, филе обладает высокой пищевой и биологической ценностью.

В таблице 3 приведена биологическая эффективность жиров филе ряпушки. Результаты исследований биологической

ценности жиров подтверждают высокую пищевую ценность филе.

На рисунке 1 представлено содержание незаменимых аминокислот в белках филе ряпушки в сравнительном варианте с идеальным белком (рис. 1). Исследованные пробы филе ряпушки обладают пол-

Таблица 2 – Пищевая и биологическая ценность филе ряпушки

Table 2 – Nutritional and biological value of vendace fillet

Компоненты	Результаты исследований
<i>Химический состав, %</i>	
Вода	73,7
Белки	15
Жиры	9
Зола	2,3
<i>Энергетическая ценность, ккал/кДж</i>	<i>141/589</i>
<i>Холестерин, мг</i>	<i>50</i>
<i>Макроэлементы, мг</i>	
Калий	221
Кальций	36
Магний	42
Фосфор	194
<i>Микроэлементы, мкг</i>	
Железо	1 301
Йод	12
Кобальт	105
Марганец	77
Медь	340
Молибден	11
Фтор	2
Хром	34
Цинк	1 374
Селен	32
<i>Витамины жирорастворимые</i>	
Витамин А (ретинол), мкг	77,0
Витамин Д (кальциферол), мкг	15,0
Витамин Е (токоферол), мг	1,0
<i>Водорастворимые витамины</i>	
Витамин Н (биотин), мкг	5,6
Витамин РР (ниацин), мг	5,0
Витамин В ₁ (тиамин), мг	6,2
Витамин В ₂ (рибофлавин), мг	1,9
Витамин В ₆ (пиридоксин), мг	4,2
Витамин В ₁₂ (цианокобаламин), мкг	6,5
Витамин В _с (фолиевая кислота), мкг	10,0

Продолжение таблицы 2

Компоненты	Результаты исследований
<i>Незаменимые аминокислоты, мг</i>	
Валин	1 094
Изолейцин	1 042
Лейцин	2 102
Лизин	1 972
Метионин	630
Метионин + цистин	1 055
Треонин	1 261
Триптофан	315
Фенилаланин	1 137
Фенилаланин + тирозин	1 182
<i>Заменимые аминокислоты, мг</i>	
Аланин	1 991
Аргинин	735
Аспарагиновая кислота	2 208
Гистидин	678
Глицин	690
Глутаминовая кислота	3 152
Пролин	1 288
Серин	1 206
Тирозин	1 073
Цистин	274
<i>Жирные кислоты, г</i>	
Всего	8,50
насыщенные	2,10
мононенасыщенные, всего	4,18
в том числе олеиновая	1,57
полиненасыщенные, всего	2,74
в том числе линолевая	0,19
линоленовая	0,18
арахидоновая	0,17

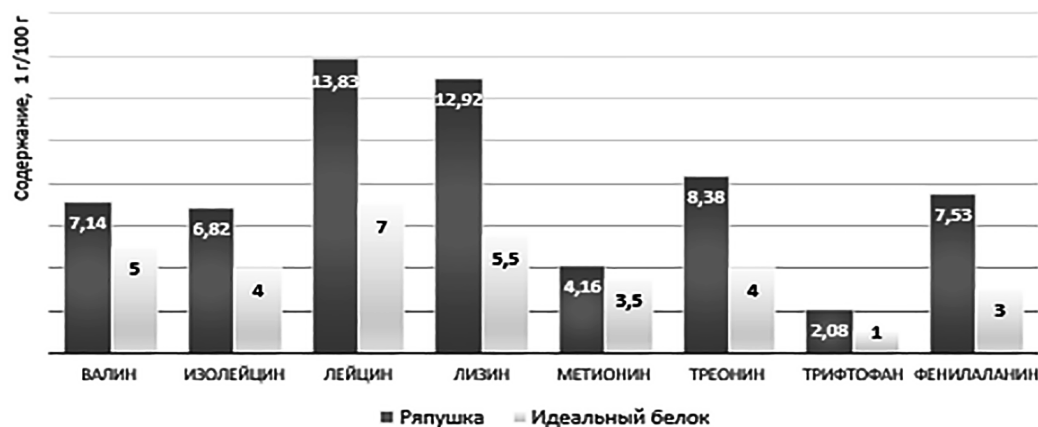


Рисунок 1 – Содержание незаменимых аминокислот в филе ряпушки
Figure 1 – Content of essential amino acids in vendace fillet

Таблица 3 – Биологическая эффективность жиров филе ряпушки
Table 3 – Biological efficiency of vendace fillet fats

Жирные кислоты	Результаты исследований, %
Жиры	9,00
Жирные кислоты, всего	8,50
Насыщенные кислоты	2,10
Доля насыщенных кислот от жирных кислот	24,7
Мононенасыщенные кислоты, всего	4,18
в том числе олеиновая C _{18:1}	1,57
Доля мононенасыщенных жирных кислот от жирных кислот	49,2
Доля олеиновой кислоты от мононенасыщенных кислот	37,6
Полиненасыщенные кислоты, всего	2,74
в том числе линолевая C _{18:2}	0,19
линоленовая C _{18:3}	0,18
арахидоновая C _{20:4}	0,17
Доля полиненасыщенных кислот от жирных кислот	32,2
Доля мононенасыщенных и полиненасыщенных кислот от жирных кислот	81,4
Соотношение полиненасыщенных к насыщенным жирным кислотам	1,0:0,70
Соотношение моно- и полиненасыщенных кислот к насыщенным жирным кислотам	1,0:0,30

ным набором аминокислот. Белок филе хорошо сбалансирован по сравнению с идеальным белком.

Таким образом, филе ряпушки представляет ценное сырье для производства рыбных паштетов.

Результаты анализа химического состава голубики приведены в таблице 4. В таблице 5 показано содержание пектиновых веществ, флавоноидов, аскорбиновой кислоты и антоцианов в дикорастущей голубике.

Пектин принимает участие в образовании аромата, сохраняет природный цвет и аромат ягод. Флавоноиды участвуют во многих процессах, протекающих в организме. Основное их свойство состоит в антиоксидантном действии, снижении свертываемости крови, уменьшении ломкости и проницаемости капилляров. Антоцианы выступают водорастворимыми пигментами растений и относятся к фенольным соединениям [7].

Результаты исследования голубики показали, что она богата биологически

активными веществами. *Использование ягод в производстве паштета улучшит аромат, вкус и повысит биологическую ценность, расширит ассортимент функциональных рыбных продуктов.*

Для производства паштета использовано следующее сырье: ряпушка мороженая; поваренная соль; масло растительное; лук репчатый; сахар; голубика; перец черный молотый; перец душистый молотый; вода питьевая. Все виды сырья соответствовали действующей нормативно-технической документации.

Предварительно были разработаны пять рецептов (табл. 6). После проведения предварительных анализов выбран один вариант рецептов паштета из ряпушки с добавлением голубики, который оказался оптимальным по органолептическим характеристикам (рис. 2).

Приняты следующие соотношения компонентов на основе использования рецептуры 1 (табл. 6): филе ряпушки – 72 %; бульон – 15,8 %; голубика – 3 %; соль при варке – 1,2 %.

Таблица 4 – Химический состав голубики
Table 4 – Blueberry chemical composition

Компоненты	Результаты исследований
Вода, %	84,9
Белок, %	0,4
Жир, %	0,6
Углеводы, %	9,9
Пищевые волокна, %	2,5
Органические кислоты, %	2,1
Зола, %	0,3
<i>Минеральные вещества:</i>	
натрий, мг%	6
калий, мг%	51
кальций, мг%	16
магний, мг%	7
фосфор, мг%	8
железо, мкг%	0,8
<i>Витамины:</i>	
токофероловый эквивалент	1,4
ниациновый эквивалент	1,4
витамин В ₁ (тиамин), мг%	0,01
витамин В ₂ (рибофлавин), мг%	0,02
витамин С (аскорбиновая кислота), мг%	20
витамин РР (никотиновая кислота), мг%	0,3
Энергетическая ценность, ккал/кДж	47/196

Таблица 5 – Содержание пектиновых веществ, флавоноидов, аскорбиновой кислоты и антоцианов в дикорастущей голубике (в расчете на 100 грамм)
Table 5 – Content of pectin substances, flavonoids, ascorbic acid and anthocyanins in wild blueberry (per 100 grams)

Наименование вещества	Результаты исследований
Пектин, г	0,52
Мальвидин, дельфинидин, мирицетин, мг	150,30
Антоцианы, мг	158,00
Аскорбиновая кислота, мг	20,00

На рисунке 3 представлены результаты дегустации проб рыбных паштетов по балльной шкале. При этом рецептура № 1 оказалась подтверждена результатами дегустации.

Технологические процессы производства рыбного паштета приняты по общепринятым технологиям. Обоснованы выбор тепловой обработки филе и стерилизации.

Максимально выраженный вкус бульона достигается при температуре, составляющей 100 °С, и продолжительности варки 30 минут. При указанных параметрах варки получаем бульон, который свойственен вареной рыбе с отчетливо выраженным вкусом.

Все подготовленные компоненты тщательно перемешивали и смесь фасо-

Таблица 6 – Рецепт паштета

Table 6 – Pate recipe

Наименование сырья	Количество, кг				
	Номера рецептов				
	1	2	3	4	5
Ряпушка (филе, кусочки)	72,0	70,0	70,0	73,8	73,6
Сахар	0,8	1,2	1,3	0,5	0,3
Голубика	3	4	5	2	1
Масло растительное	5	5	5	5	5
Лук репчатый	3	3	3	3	3
Соль поваренная «Экстра»	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2
Перец черный молотый	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Перец душистый молотый	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
Рыбный бульон	15,80	15,58	14,48	14,48	15,88
Итого	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00

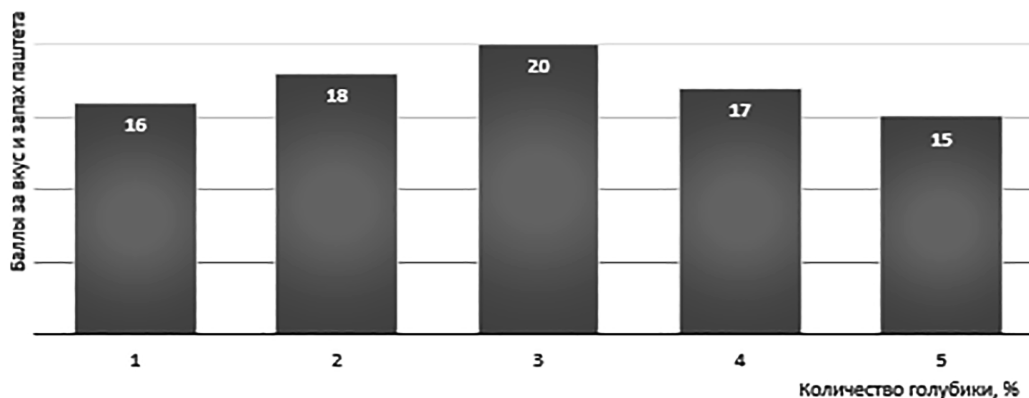


Рисунок 2 – Выбор количества голубики по вкусовым свойствам и консистенции паштета

Figure 2 – Selection of blueberry amount based on pate taste and consistency

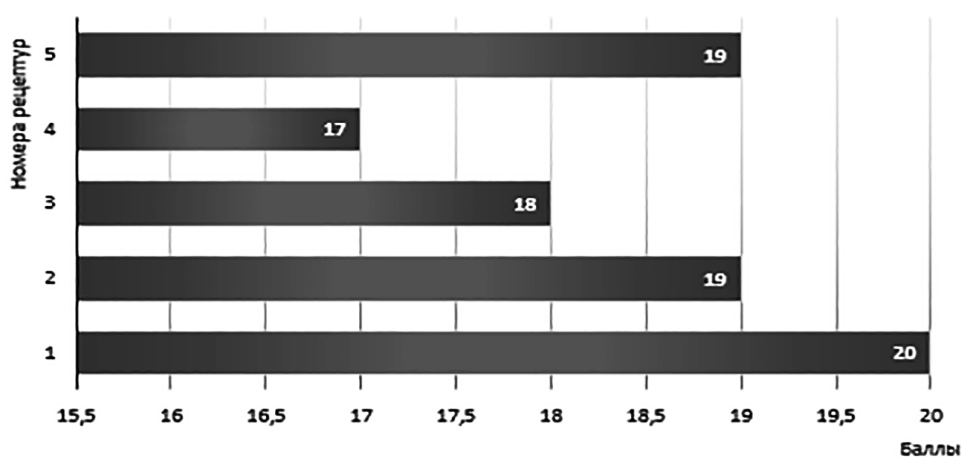


Рисунок 3 – Итоговая диаграмма дегустации паштета

Figure 3 – Tasting result diagram on pate

вали в металлические банки № 6 массой нетто 240 г. Укупорку проводили на вакуум-закаточной машине и стерилизовали в течение 20 минут при температуре, равной 120 °С. В процессе стерилизации определяли прогреваемость. Фактический стерилизационный эффект оказался выше нормативного значения (6,5 усл. мин) и составил $6,8 \pm 0,1$ усл. мин.

На рисунке 4 приведены технологические этапы производства рыбного паштета с голубикой.

Органолептические и физико-химические показатели рыбных полуфабрикатов приведены в таблице 7. Также установлено, что разработанный паштет отвечает установленным требованиям по микробиологическим показателям.

Заключение. Разработан новый вид рыбного паштета функционального значения. Анализ химического состава рыбного паштета из ряпушки с добавлением голубики показал, что содержание сухих веществ составило 46 %, белка – 11 %, жира – 8,3 %, углеводов – 4 %.

Предложенные режимы тепловой обработки обеспечивают стерильность и качество продукта при хранении.

В состав паштета введена голубика, которая формирует высокие вкусовые ароматические свойства продукта.

Энергетическая ценность паштета составляет 135 ккал, поэтому данный продукт можно рекомендовать к потреблению без ограничений.

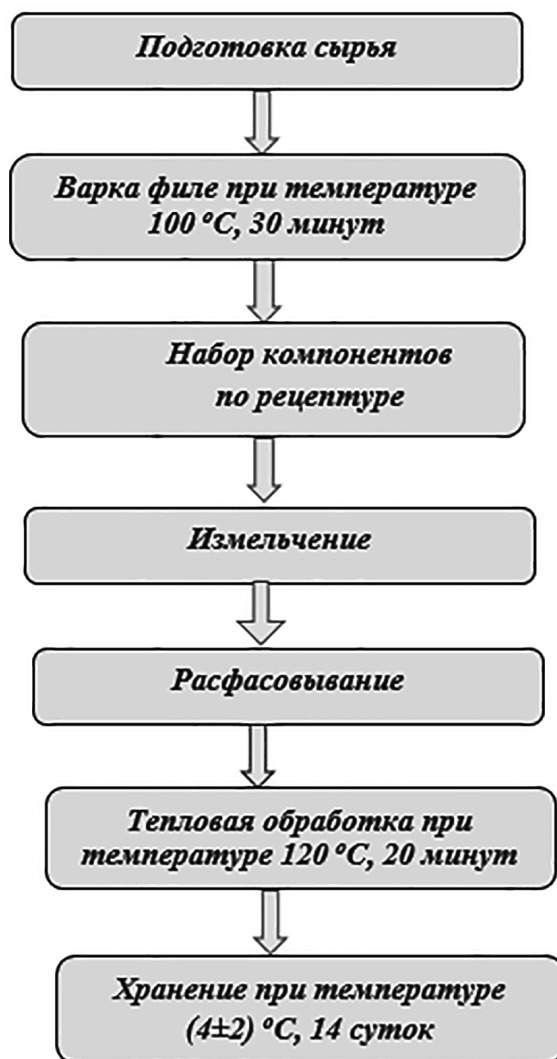


Рисунок 4 – Технологические этапы производства рыбного паштета с голубикой
Figure 4 – Technological stages of production of fish pate with blueberries

Таблица 7 – Органолептические и физико-химические показатели рыбных паштетов
Table 7 – Organoleptic and physicochemical indicators of fish pate

Показатели	Характеристики (значения)
Вкус	приятный, свойственный паштету данного вида; отчетливо выраженный аромат голубики, без постороннего привкуса
Запах	приятный, свойственный паштету данного вида; с ароматом голубики, без посторонних привкусов
Консистенция	нежная, сочная, мажущаяся
Состояние	однородная; тонко измельченная, равномерно перемешанная масса
Цвет	однородный по всей массе, соответствующий цвету измельченного сырья и компонентов
Наличие посторонних веществ	не обнаружено
Массовая доля поваренной соли, %	1,2
Массовая доля сухих веществ, %	46
Массовая доля белка, %	11
Массовая доля жира, %	8,3
Массовая доля углеводов, %	4,0
Энергетическая ценность, ккал/кДж	135/563

Список источников

1. Ткачев А. В., Ткачева О. Л., Попенко В. П., Евсюкова А. А. Ветеринарно-санитарная и зоогигиеническая оценка рыбы, импортируемой в Белгородскую область // Актуальные вопросы сельскохозяйственной биологии. 2020. № 3 (17). С. 138–146. EDN YGJBLO.
2. Наймушина Л. В., Зыкова И. Д., Пермякова Е. К. Рыбные пельмени Гедза с добавками дикоросов *Boletus edulis* // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (190). С. 195–205. EDN XZNMZH.
3. Никифорова А. П. Изучение химического состава и свойств икры, молок и отходов от переработки байкальского омуля // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2023. № 12 (201). С. 276–288. EDN IZFUWH.
4. Сыромятников И. А., Иванова Е. Е., Чибич Н. В. Совершенствование способов подготовки рыбного фарша для производства пищевых концентратов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 2 (203). С. 222–228. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-222-228>. EDN ZMMWVD.
5. Питюрина И. С., Евсенина М. В., Лупова Е. И. Применение амарантовых отрубей в технологии производства рыбных котлет для придания функциональных свойств // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 3 (204). С. 206–213. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-3-206-213>. EDN YPMNHW.
6. Владимцева Т. М., Козина Е. А. Влияние нетрадиционного наполнителя рыбного фарша на качество рубленых полуфабрикатов // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 4 (205). С. 201–208. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-201-208>. EDN NURKAW.
7. Семенова В. В., Данилов Н. С., Борисова С. З., Иванова Н. С., Афанасьева Е. А., Малогулова И. Ш. [и др.]. Лечебные растения Якутии: сбор, выращивание, рецепты. Якутск: Айар, 2022. 368 с.

References

1. Tkachev A. V., Tkacheva O. L., Popenko V. P., Evsyukova A. A. Veterinary-sanitary and zoohygienic assessment of fish imported in the Belgorod region. *Aktual'nye voprosy sel'skokhozyaystvennoy biologii*, 2020;3(17):138–146. EDN YGJBLO (in Russ.).
2. Naimushina L. V., Zykova I. D., Permyakova E. K. Fish dumplings Gedza with wild plants *Boletus edulis* additives. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023;1(190):195–205. EDN XZNMZH (in Russ.).
3. Nikiforova A. P. Studying the chemical composition and properties of cavar, milt and waste from the processing of Baikal omul. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2023;12(201):276–288. EDN IZFUWH (in Russ.).
4. Syromyatnikov I. A., Ivanova E. E., Chibich N. V. Improving methods for preparing minced fish to produce food concentrates. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024;2(203):222–228. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-2-222-228>. EDN ZMMWVD (in Russ.).
5. Pityurina I. S., Evsenina M. V., Lupova E. I. Amaranth bran use in the fish cutlets production technology to impart functional properties. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024;3(204):206–213. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-3-206-213>. EDN YPMHHW (in Russ.).
6. Vladimtseva T. M., Kozina E. A. Influence of non-traditional minced fish filler on the chopped semi-finished products quality. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024;4(205):201–208. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-4-201-208>. EDN NURKAW (in Russ.).
7. Semenova V. V., Danilov N. S., Borisova S. Z., Ivanova N. S., Afanasyeva E. A., Malogulova I. Sh. [et al.]. *Medicinal plants of Yakutia: collection, cultivation, recipes*, Yakutsk, Ayar, 2022, 368 p. (in Russ.).

© Елисеева Л. И., Гоголева П. А., Степанов К. М., Готовцева З. И., Иванова В. В., 2024

Статья поступила в редакцию 17.09.2024; одобрена после рецензирования 12.11.2024; принята к публикации 21.11.2024.

The article was submitted 17.09.2024; approved after reviewing 12.11.2024; accepted for publication 21.11.2024.

Информация об авторах

Елисеева Людмила Иннокентьевна, доктор сельскохозяйственных наук, Арктический государственный агротехнологический университет, ORCID: 0000-0003-3408-3484, Author ID: 1083858, eliseeva401@mail.ru;

Гоголева Прасковья Алексеевна, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Арктический государственный агротехнологический университет, ORCID: 0000-0003-0122-8018, Author ID: 144584, imka-go@mail.ru;

Степанов Константин Максимович, доктор сельскохозяйственных наук, доцент, Арктический государственный агротехнологический университет, Якутский научный центр Сибирского отделения Российской академии наук, ORCID: 0000-0002-5238-8102, Author ID: 248925, stenko07@mail.ru;

Готовцева Зоя Ивановна, аспирант, Арктический государственный агротехнологический университет, zgotov21@mail.ru;

Иванова Валентина Васильевна, студент магистратуры, Арктический государственный агротехнологический университет

Information about the authors

Lyudmila I. Eliseeva, Doctor of Agricultural Sciences, Arctic State Agrotechnological University, ORCID: 0000-0003-3408-3484, Author ID: 1083858, eliseeva401@mail.ru;

Praskovya A. Gogoleva, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Arctic State Agrotechnological University, ORCID: 0000-0003-0122-8018, Author ID: 144584, imka-go@mail.ru;

Konstantin M. Stepanov, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, Arctic State Agrotechnological University, The Yakut Scientific Centre of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0002-5238-8102, Author ID: 248925, stenko07@mail.ru;

Zoya I. Gotovtseva, Postgraduate Student, Arctic State Agrotechnological University, zgotov21@mail.ru;

Valentina V. Ivanova, Master's Degree Student, Arctic State Agrotechnological University

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 621.43:681.518.5

EDN JDBXMX

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-92-103>

Определение мощности двигателя внутреннего сгорания с топливной системой Common Rail при работе в режиме свободного разгона

Антон Федорович Курносов¹, Юрий Александрович Гуськов²

^{1,2} Новосибирский государственный аграрный университет

Новосибирская область, Новосибирск, Россия

¹ anton_kurnosov@mail.ru, ² nsauii@ngs.ru

Аннотация. Предложен новый метод определения мощности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) в режиме свободного разгона, основанный на оценке реакций, возникающих на его опорах. Исследования проводили на ДВС ЯМЗ-53445-22, к которому был подключен комплект измерительного оборудования. Измерения проводили в режиме свободного разгона двигателя от минимальной до максимальной частоты вращения коленчатого вала на всех цилиндрах и с одним отключенным цилиндром. На каждом режиме работы ДВС измеряли частоту вращения коленчатого вала; величину реакций, возникающих на опорах, а также индикаторный момент; после чего рассчитывали реактивный крутящий момент и реактивную мощность двигателя. В результате установлено, что максимальное значение индикаторной мощности ДВС, рассчитываемой встроенной системой диагностирования относительно цикловой подачи топлива, наблюдается при частоте вращения коленчатого вала от 2 648 до 2 700 мин⁻¹ и составляет 70,3 кВт при работе на всех цилиндрах и 80,6 кВт при работе с одним отключенным цилиндром. Наибольшее значение реактивной мощности достигается при работе ДВС на всех цилиндрах и составляет 40 кВт при частоте вращения коленчатого вала 2 697 мин⁻¹. Отключение одного из цилиндров приводит к снижению реактивной мощности двигателя до 25 кВт при частоте вращения коленчатого вала 2 591 мин⁻¹. Проведенные экспериментальные исследования показали, что оценить мощностные показатели ДВС можно по величине реакций, возникающих на его опорах в режиме свободного разгона. Номинальную эффективную мощность предложенным методом можно определить только при дополнительной загрузке двигателя, например, силами сопротивления при ускорении движущегося автомобиля.

Ключевые слова: двигатель внутреннего сгорания, свободный разгон, индикаторная мощность, реактивная мощность двигателя, реакции на опорах

Для цитирования: Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А. Определение мощности двигателя внутреннего сгорания с топливной системой Common Rail при работе в режиме свободного разгона // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 92–103. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-92-103>.

Original article

Calculating the power of an internal combustion engine with a Common Rail fuel system when operating in free acceleration mode

Anton F. Kurnosov¹, Yuriy A. Guskov²

^{1,2} Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk region, Novosibirsk, Russian Federation

¹ anton_kurnosov@mail.ru, ² nsauii@ngs.ru

Abstract. A new methodology of calculating the power of an internal combustion engines (ICE) in free acceleration mode, based on the assessment of reactions occurring on its supports is proposed. Experimental studies were carried out on the YAMZ-53445-22 internal combustion en-

gine with a set of installed measuring equipment. The operation of the internal combustion engine was carried out in free acceleration mode from minimum to maximum crankshaft speed on all cylinders and with one disconnected cylinder. At each operation mode of the internal combustion engine, the crank-shaft rotation speed, the value of reactions of the supports and the indicator torque were measured, after which the reactive torque and engine reactive power were calculated. As a result, it was found that the maximum value of the indicative power of the internal combustion engine, calculated by the built-in diagnostic system in relation to the cycle fuel supply, was observed at the crankshaft speed from 2 648 to 2 700 min^{-1} and was 70,3 kW when operating on all cylinders and 80.6 kW when operating with one disconnected cylinder. The highest value of reactive power was achieved when the internal combustion engine was running on all cylinders and was 40 kW at crankshaft speed 2 697 min^{-1} . Disconnection of one of the cylinders led to a decrease in the reactive power of the internal combustion engine to 25 kW at the crankshaft speed of 2 591 min^{-1} . The experimental studies have shown that it is possible to estimate the power performance of the internal combustion engine by the value of reactions of its supports in free acceleration mode. The nominal effective power by the proposed method can be determined only at additional loading of the internal combustion engine, for example, by the forces of resistance.

Keywords: internal combustion engine, free acceleration, indicative power, reactive power, reactions on supports

For citation: Kurnosov A. F., Guskov Yu. A. Calculating the power of an internal combustion engine with a Common Rail fuel system when operating in free acceleration mode. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:92–103. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-92-103>.

Введение. К современным двигателям внутреннего сгорания (ДВС) предъявляются высокие требования экологичности и эффективности работы [1–3]. Для удовлетворения требований конструкция ДВС претерпевает постоянные изменения. Повысить эффективность и экологичность ДВС предлагается по двум направлениям: разработка двигателей, использующих альтернативные источники энергии [4, 5], и совершенствование процесса сгорания топлива в двигателе [6].

Использование альтернативных видов топлива требует решения множества проблем, зачастую связанных с необходимостью изменения конструкции ДВС, что существенно ограничивает распространение данного направления. Совершенствование процесса сгорания топлива в ДВС возможно при достижении высокой точности калибровки параметров работы системы питания топливом и воздухом, газораспределительного механизма и систем нейтрализации отработавших газов при первичных стендовых испытаниях. Для этого устанавливаются оптимальные режимы работы ДВС, при которых обеспечивается максимальное эффективное сгорание топлива. В дальнейшем полученные данные вносятся в базы данных электронных блоков управления и используются в виде топливных карт, а работа ДВС по

заданным картам считается эффективной при отсутствии программных ошибок. Параметры производительности ДВС в процессе эксплуатации не определяются, вследствие чего эффективность работы двигателя может быть занижена.

Для современных дизельных ДВС с электронной системой управления существует два способа оценки крутящего момента (КМ): измерение эффективного КМ на обкаточно-тормозных стендах и косвенная оценка КМ по показателям встроенной системы диагностирования. Первый способ требует существенных затрат времени на выполнение подготовительно-заключительных работ; второй – основан на расчете КМ по величине цикловой подачи топлива. Основным недостатком расчетного метода оценки является низкая точность, так как учет полноты сгорания топлива не осуществляется [7, 8].

В условиях эксплуатации частота вращения коленчатого вала (КВ) и нагрузка ДВС постоянно меняются. Параметры работы ДВС в переходных режимах существенно отличаются от установившихся режимов, что сказывается на эффективности работы двигателей [9–11]. Авторы исследования [12] предлагают определять параметры работы ДВС в переходных режимах работы, используя методы моделирования процессов газообмена и цикловой

подачи топлива. Предложенная методика не позволяет оперативно измерить непосредственно крутящий момент ДВС в условиях эксплуатации.

Известно, что при работе ДВС через его опоры на раму передаются силовые воздействия [13–15], называемые реакциями опор. Определив величину реакций на опорах ДВС, можно рассчитать величину реактивного КМ, равного по величине и обратного по направлению эффективному КМ, а также эффективную мощность ДВС с учетом текущей частоты вращения КВ.

Цель исследований – совершенствование способа определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания с аккумуляторной топливной системой по величине реакций на его опорах при работе в режиме свободного разгона.

Материалы и методы исследований. Исследования проводились на четырехцилиндровом четырехтактном дизельном двигателе внутреннего сгорания ЯМЗ-53445-22 с топливной системой Common Rail, установленном на автомобиле ГАЗ-САЗ-2507.

Основные технические характеристики двигателя ЯМЗ-53445-22 [16]: рабочий объем двигателя – 4,43 л; максимальная мощность – 125 кВт; номинальная частота вращения – 2 300 мин⁻¹; максимальная частота вращения холостого хода – 2 750 мин⁻¹; максимальный крутящий момент – 664 Нм; частота вращения при максимальном крутящем моменте – от 1 200 до 1 600 мин⁻¹; текущая наработка двигателя – 112 ч.

Регистрация данных происходила дискретно с частотой 35 Гц при помощи измерительного комплекса (рис. 1).

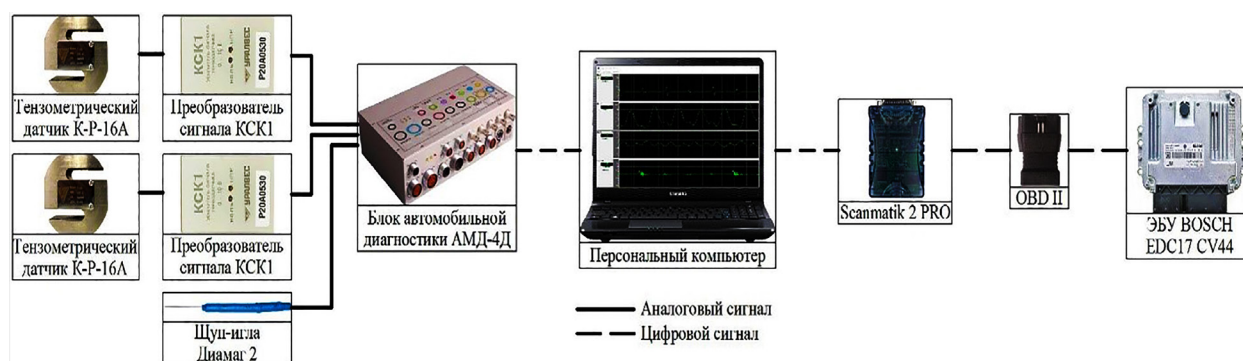
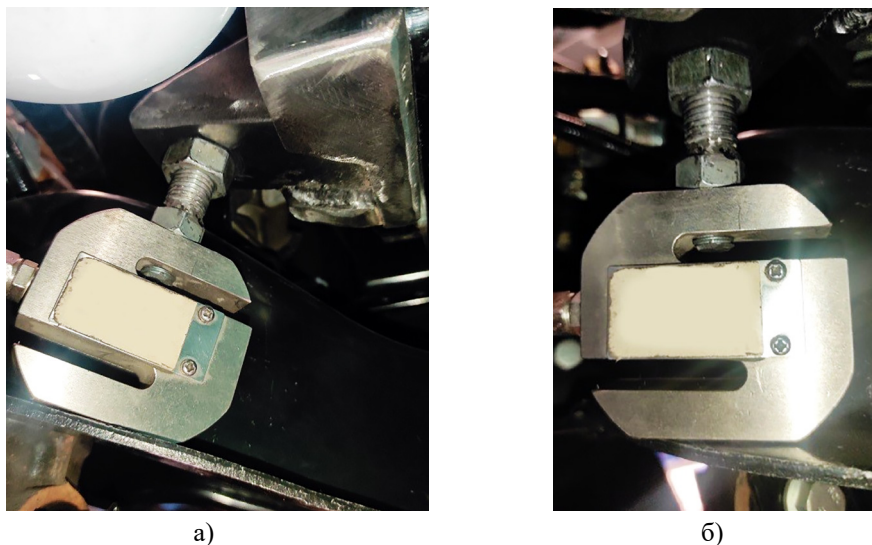


Рисунок 1 – Структура измерительного комплекса
Figure 1 – Structure of the measuring complex

Данный комплекс состоял из двух тензометрических датчиков К-Р-16А [17], установленных на правую переднюю и правую заднюю опоры двигателя таким образом, чтобы нагрузка, передаваемая от двигателя через опоры на раму автомобиля, полностью воспринималась тензодатчиками (рис. 2). При этом аналоговые сигналы от тензодатчиков поступали в преобразователи сигналов тензодатчиков КСК1 [17], где происходило их увеличение для возможности измерения в диапазоне 0–10 В.

Текущее положение электронной педали акселератора контролировали по величине выходного напряжения педального модуля при помощи щупа-иглы Диамат 2, устанавливаемого в контактное соединение сигнального провода. Измеренное выходное напряжение находилось в диапазоне 0–4,45 В, что соответствовало положению педали акселератора 0–100 % от полного хода. Сигнальное напряжение от преобразователей сигнала КСК1 и щупа-иглы Диамат 2 поступало в блок автомобильной диагностики АМД-4Д [18], где преобразовывалось в цифровой вид. Регистрация, визуализация и последующая обработка информации происходила на персональном компьютере при помощи программного обеспечения МТ10 4.1 [18].

Текущее значение частоты вращения КВ, а также отключение цилиндров двигателя происходило при помощи мультимарочного сканера Scanmatik 2 PRO [19], подключенного через разъем OBD II к электронному блоку управления двигателем. Отображение получаемой информации в режиме онлайн, запись данных и сохранение массива данных в виде таблицы численных значений производили при



а) правая передняя опора; б) правая задняя опора
 a) right front engine support; b) right rear engine support

Рисунок 2 — Места крепления тензометрических датчиков на опоры двигателя ЯМЗ-53445-22

Figure 2 – Mounting spots of strain gage transducers on the supports of the YAMZ-53445-22 engine

помощи программного обеспечения Сканматик 2.21.22 [19]. Обработку численных данных выполняли с применением программы Microsoft Excel.

При проведении экспериментов регистрировали параметры: *положение педали газа; частоту вращения коленчатого вала; реакции на опорах двигателя; индикаторный крутящий момент; температуру охлаждающей жидкости.*

Эксперименты проводили в следующей последовательности:

1. Устанавливали тензометрические датчики на опоры; подключали датчики совместно с преобразователями сигнала к блоку автомобильной диагностики. Включали компьютер, запускали программное обеспечение МТ10 4.1. Запускали двигатель и прогревали его до температуры охлаждающей жидкости, равной 85 °С; одновременно прогревали измерительное оборудование (согласно руководству по эксплуатации) [18].

2. Останавливали двигатель; отключив зажигание; подключали мультиметр Scanmatik 2 PRO к разъему OBD II; включали зажигание; запускали программное обеспечение Сканматик; устанавливали соединение с бортовой системой диагностирования ДВС и задавали

набор переменных, необходимых для измерения и записи.

3. Запускали ДВС; устанавливали минимальную частоту вращения КВ; включали запись контролируемых параметров и осуществляли свободный разгон двигателя путем резкого нажатия на педаль акселератора. При достижении частоты вращения КВ максимального значения отключали запись сигналов и отпускали педаль акселератора.

4. Поочередно отключали один из цилиндров путем программного отключения подачи топлива; осуществляли свободный разгон двигателя на трех цилиндрах с одновременной фиксацией измеряемых параметров.

5. Проводили обработку полученных данных с последующей их визуализацией и интерпретацией.

При графической визуализации данных за начало отчета принимали момент начала воздействия на педаль акселератора. В среднем время перевода педали газа от минимального в максимальное положение составляло 0,25 с.

Следует отметить, что измеренные параметры при работе ДВС с поочередным отключением одного из цилиндров

отличались между собой не более чем на 0,6 % во всем диапазоне измерений, что свидетельствует о равномерной работе цилиндров. Поэтому в экспериментальной части для примера представлены данные при работе двигателя с отключенным третьим цилиндром.

Результаты исследований и их обсуждение. При свободном разгоне двигателя ЯМЗ-53445-22 на всех цилиндрах изменение частоты вращения КВ от минимального (750 мин^{-1}) до максимального значения (2754 мин^{-1}) происходит за 1,84 с. При свободном разгоне двигателя с отключенным третьим цилиндром изменение частоты вращения КВ от минимального (739 мин^{-1}) до максимального значения (2726 мин^{-1}) происходит за 2,64 с

(рис. 3). Момент начала разгона двигателя не зависит от числа работающих цилиндров и составляет 0,13 с с момента начала воздействия на педаль акселератора.

За период свободного разгона изменение реакций на опорах происходит не монотонно с максимальной амплитудой 794 Н в первые 0,176 с разгона (рис. 4). Максимальное значение реакций на опорах составляет 743 Н на 0,158 с разгона; затем величина реакций на опорах снижается до 155 Н на 1,25 с разгона; и вновь увеличивается до 277 Н на 1,73 с разгона. После 1,79 с разгона величина реакций на опорах принимает нулевое значение.

При свободном разгоне двигателя с отключенным третьим цилиндром установлено, что амплитуда реакций на опо-

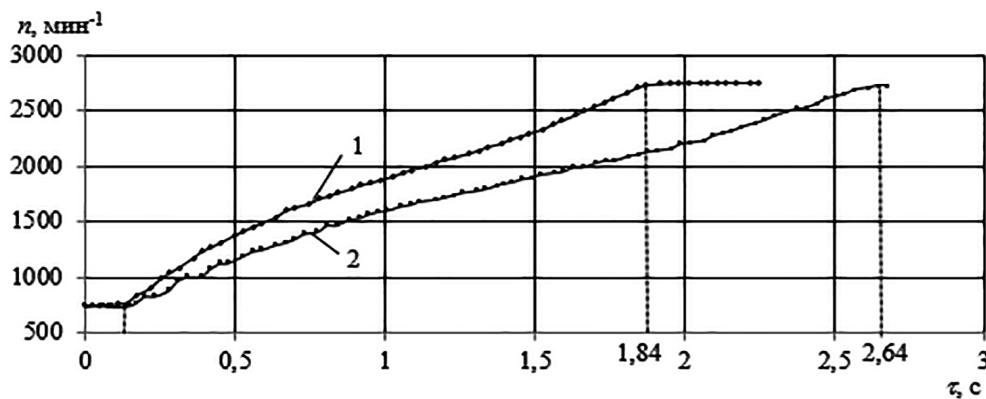


Рисунок 3 – Зависимость изменения частоты вращения КВ (n) от времени измерения (τ) при работе ДВС в режиме свободного разгона на всех цилиндрах (1) и с отключенным третьим цилиндром (2)
Figure 3 – Dependence of crankshaft speed change (n) on measurement time (τ) at operation of internal combustion engine in free acceleration mode with all cylinders (1) and with the third cylinder disconnected (2)

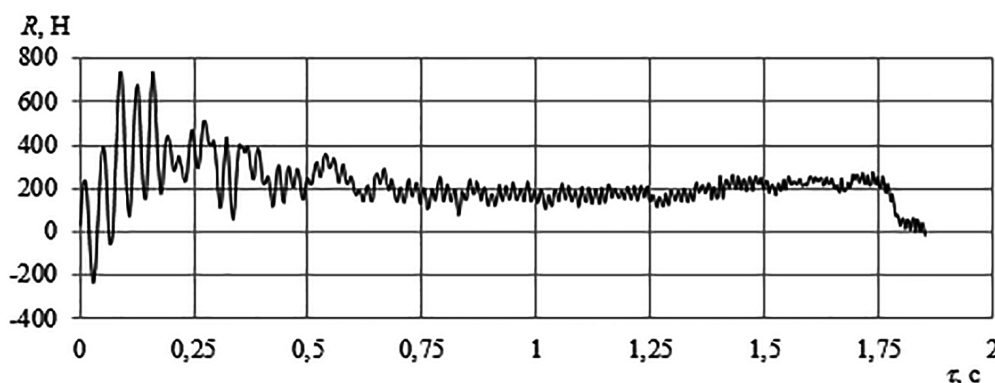


Рисунок 4 – Зависимость изменения реакций на опорах (R) от времени измерений (τ) при работе ДВС в режиме свободного разгона на всех цилиндрах
Figure 4 – Dependence of change of support reactions (R) on time of measurements (τ) at operation of internal combustion engine in free acceleration mode on all cylinders

рах существенно увеличивается на протяжении всего периода измерений (рис. 5).

Максимальное значение амплитуды реакций на опорах наблюдается в период разгона 0,23–0,25 с и составляет 1 358 Н. Максимальное значение реакций на опорах наблюдается на 0,25 с разгона и составляет 977 Н. Дальнейшее изменение реакций на опорах при заданном режиме работы двигателя происходит с амплитудой от 800 до 250 Н при среднем значении от 100 до 180 Н за период разгона 0,25–2,62 с. Нулевое среднее значение реакций на опорах наблюдается при установлении максимальной частоты вращения коленчатого вала на 2,66 с разгона. Большая амплитуда реакций на опорах при разгоне ДВС с отключенным третьим цилиндром

объясняется неравномерностью силового воздействия кривошипно-шатунного механизма на блок цилиндров и, соответственно, на опоры ДВС.

По данным рисунка 6, индикаторный крутящий момент, исчисленный относительно цикловой подачи топлива, изменяется от 22 Нм при частоте вращения КВ 748 мин⁻¹ до 355 Нм при частоте вращения КВ 758 мин⁻¹. Затем происходит постепенное снижение его величины до среднего значения 186 Нм при увеличении частоты вращения КВ до 2 090 мин⁻¹. Последующий разгон двигателя приводит к повышению индикаторного КМ до 248 Нм при частоте вращения КВ 2 710 мин⁻¹ и резкому его снижению до 132 Нм при максимальной частоте вращения КВ.

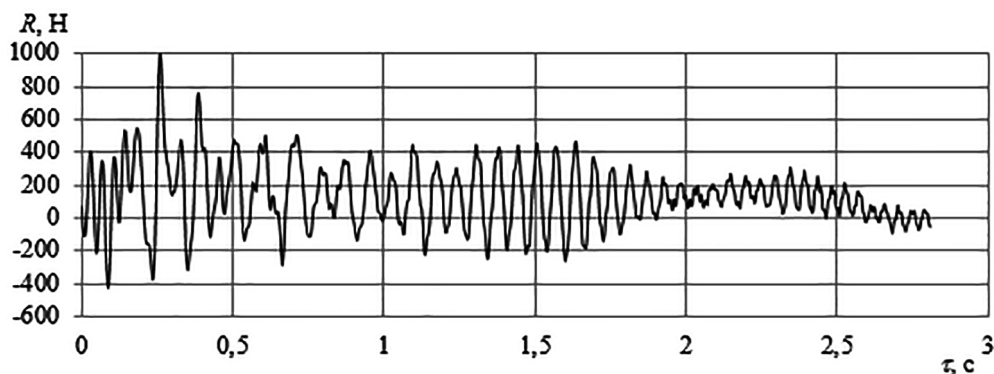


Рисунок 5 – Зависимость изменения реакций на опорах (R) от времени измерений (τ) при работе ДВС в режиме свободного разгона на трех цилиндрах

Figure 5 – Dependence of change of support reactions (R) on time of measurements (τ) at operation of internal combustion engine in free acceleration mode on three cylinders

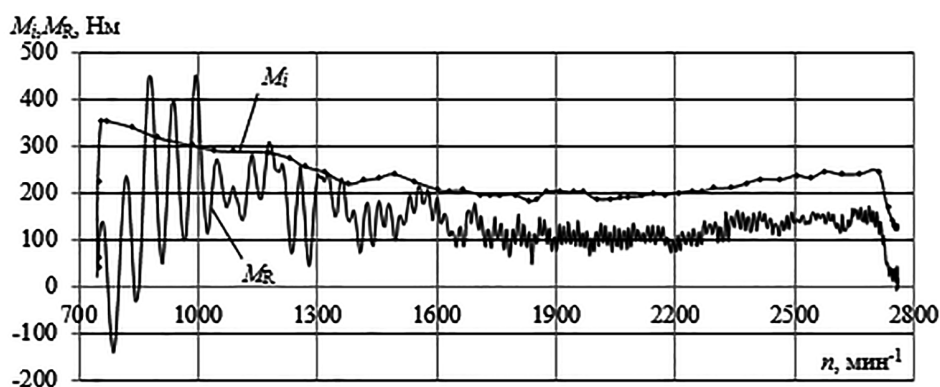


Рисунок 6 – Зависимость изменения индикаторного крутящего момента (M_i) и реактивного крутящего момента (M_r) от частоты вращения КВ (n) при работе ДВС в режиме свободного разгона

Figure 6 – Dependence of change of indicator torque (M_i) and reactive torque (M_r) on crankshaft speed (n) at operation of internal combustion engine in free acceleration mode

Характер изменения реактивного КМ, в целом, совпадает с характером изменения индикаторного КМ (рис. 6).

Максимальное значение реактивного КМ наблюдается при частоте вращения КВ от 953 до 1 218 мин⁻¹ и составляет в среднем 228–237 Нм. В дальнейшем реактивный КМ сначала снижается до среднего значения 98 Нм при частоте вращения КВ 1 900–2 200 мин⁻¹; затем вновь повышается до 172 Нм при частоте вращения КВ 2 674 мин⁻¹. Последующее увеличение частоты вращения КВ до 2 754 мин⁻¹ приводит к снижению реактивного КМ до нулевого уровня.

При отключении третьего цилиндра индикаторный крутящий момент увеличивается с 63 до 354 Нм при изменении частоты вращения КВ с 739 до 744 мин⁻¹ (рис. 7). При дальнейшем свободном разгоне ДВС индикаторный КМ постепенно снижается до среднего значения 201 Нм при изменении частоты вращения КВ от 1 603 до 1 941 мин⁻¹; затем плавно увеличивается до 291 Нм при частоте вращения КВ 2 648 мин⁻¹. Последующее увеличение частоты вращения КВ до 2 726 мин⁻¹ сопровождается снижением индикаторного КМ до 162 Нм.

Характер изменения реактивного КМ не соответствует характеру изменения индикаторного КМ (рис. 7). За период увеличения частоты вращения КВ от минимального до максимального значения реактивный КМ изменяется в среднем от

85 до 152 Нм. При этом амплитуда изменения КМ на опорах составляет от 831 Нм в интервале увеличения частоты вращения КВ, равном 994–1 021 мин⁻¹, до 75 Нм при частоте вращения КВ в диапазоне, составляющем 2 306–2 332 мин⁻¹.

Индикаторная мощность двигателя в процессе свободного разгона при изменении частоты вращения КВ от 748 до 758 мин⁻¹ изменяется от 1,76 до 28 кВт; затем происходит плавное увеличение мощности до 70 кВт при частоте вращения КВ 2 710 мин⁻¹ (рис. 8). Последующий разгон двигателя приводит к резкому снижению индикаторной мощности до 38 кВт при частоте вращения КВ 2 754 мин⁻¹.

Характер изменения реактивной мощности отличается от характера изменения индикаторной мощности (рис. 8). При увеличении частоты вращения КВ с 748 до 1 252 мин⁻¹ реактивная мощность изменяется в среднем от 0 до 28 кВт; затем происходит ее снижение до 20 кВт при частоте вращения КВ, составляющей от 1 630 до 2 200 мин⁻¹, и последующее увеличение до 40 кВт при частоте вращения КВ, равной 2 697 мин⁻¹. В конце цикла разгона при максимальной частоте вращения КВ реактивная мощность ДВС снижается до нулевого значения.

Из представленных данных видно, что эффективная мощность ДВС не достигает номинального значения при нагрузке моментом сопротивления ускоряющихся масс. Для определения номинальной эф-

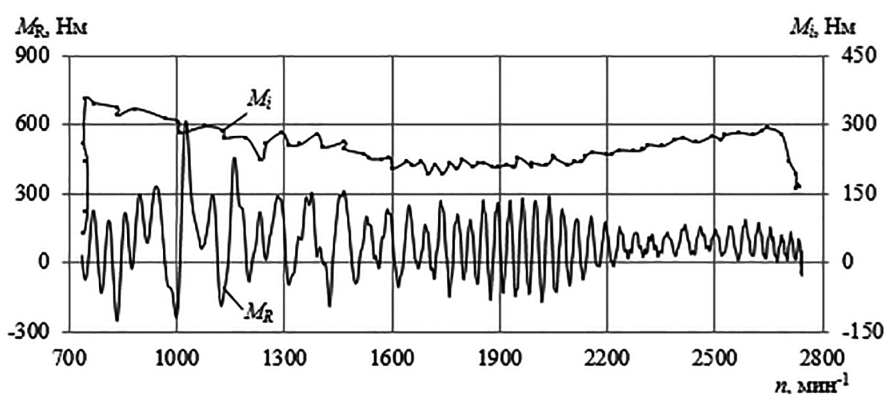


Рисунок 7 – Зависимость изменения индикаторного крутящего момента (M_i) и реактивного крутящего момента (M_R) от частоты вращения КВ (n) при работе ДВС на трех цилиндрах в режиме свободного разгона

Figure 7 – Dependence of change of indicator torque M_i and reactive torque M_R on crankshaft speed (n) at operation of internal combustion engine on three cylinders in free acceleration mode

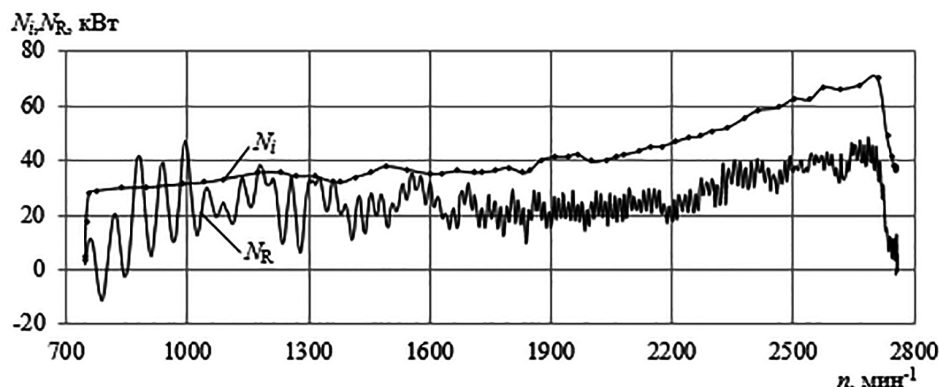


Рисунок 8 – Зависимость изменения индикаторной мощности (N_i) и реактивной мощности (N_R) от частоты вращения КВ (n) при работе ДВС в режиме свободного разгона

Figure 8 – Dependence of change of indicator power (N_i) and reactive power (N_R) on crankshaft speed (n) during operation of internal combustion engine in free acceleration mode

фактивной мощности необходимо осуществить дозагрузку ДВС, например, силами сопротивления при ускорении движущегося автомобиля.

При отключении третьего цилиндра в процессе свободного разгона двигателя изменение индикаторной мощности происходит от 4,9 до 27,6 кВт при изменении частоты вращения КВ от 734 до 744 min^{-1} (рис. 9). По мере разгона двигателя индикаторная мощность сначала увеличивается до 80,6 кВт при частоте вращения КВ 2 631 min^{-1} ; затем резко снижается до уровня 46 кВт при максимальной частоте вращения КВ. Увеличение индикаторной мощности на 15 % при отключении

третьего цилиндра объясняется несовершенством алгоритма ее расчета, так как расчет осуществляется относительно цикловой подачи топлива, которая определяется суммарно для всех цилиндров, в том числе и для неработающего.

Реактивная мощность ДВС изменяется в среднем от 0 кВт (при работе двигателя с минимальной частотой вращения КВ на холостом ходу) до 25 кВт (при частоте вращения КВ 2 591 min^{-1}). При этом наибольшая амплитуда изменения реактивной мощности достигает значения 87 кВт при частоте вращения КВ от 994 до 1 021 min^{-1} . Снижение реактивной мощности на 37 % при отключении третьего цилиндра объяс-

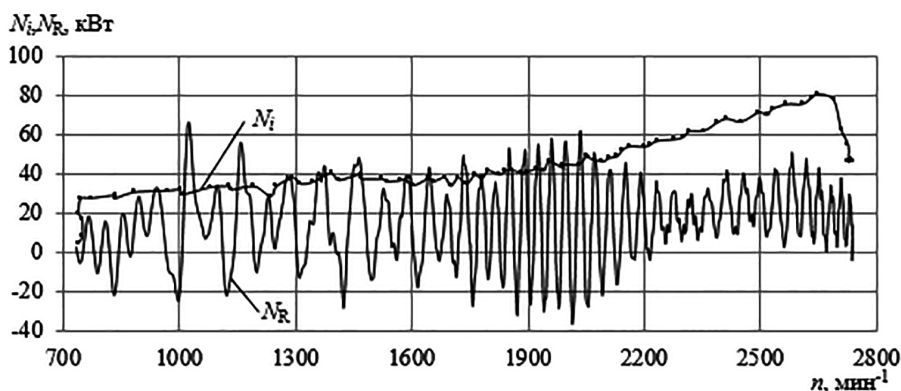


Рисунок 9 – Зависимость изменения индикаторной мощности (N_i) и реактивной мощности (N_R) от частоты вращения КВ (n) при работе ДВС с отключенным третьим цилиндром в режиме свободного разгона

Figure 9 – Dependence of change of indicator power (N_i) and reactive power (N_R) on crankshaft speed (n) at operation of internal combustion engine with the third cylinder disconnected in free acceleration mode

няется снижением действительной индикаторной мощности ДВС при аналогичном значении мощности механических потерь.

Заключение. При отключении одного из цилиндров, из-за ошибки определения действительной цикловой подачи топлива, индикаторная мощность двигателя увеличивается в среднем на 15 %. В тоже время реактивная мощность двигателя, исчисленная относительно реакций, возникающих на опорах, уменьшается в среднем на 37 %.

Следовательно, полученная величина индикаторной мощности не может

являться достоверным диагностическим параметром.

Проведенные исследования позволяют заключить, что реактивный крутящий момент и мощность двигателя внутреннего сгорания ЯМЗ-53445-22 можно оперативно определять по величине реакций, возникающих на опорах двигателя.

Полученные результаты исследований будут положены в основу совершенствования способа оперативного контроля номинальной мощности двигателя внутреннего сгорания грузового автомобиля при эксплуатации.

Список источников

1. Zimakowska-Laskowska M., Laskowski P. Emission from internal combustion engines and battery electric vehicles: Case Study for Poland // *Atmosphere*. 2022. Vol. 13. No 3. P. 401. <https://doi.org/10.3390/atmos13030401>.
2. Pignatta G., Balazadeh N. Hybrid vehicles as a transition for full e-mobility achievement in positive energy districts: a comparative assessment of real-driving emissions // *Energies*. 2022. Vol. 15. No. 8. P. 2760. <https://doi.org/10.3390/en15082760>.
3. Duan X., Li Y., Liu J., Guo G., Fu J., Zhang Q. [et al.]. Experimental study the effects of various compression ratios and spark timing on performance and emission of a lean-burn heavy-duty spark ignition engine fueled with methane gas and hydrogen blends // *Energy*. 2019. Vol. 169. P. 558–571. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.029>.
4. Wang A., Xu J., Zhang M., Zhai Z., Song G., Hatzopoulou M. Emissions and fuel consumption of a hybrid electric vehicle in real-world metropolitan traffic conditions // *Applied Energy*. 2022. Vol. 306. P. 118077. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118077>.
5. Bae C., Kim J. Alternative fuels for internal combustion engines // *Proceedings of the Combustion Institute*. 2017. Vol. 36. No. 3. P. 3389–3413. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>.
6. Li Y., Wang P., Wang S., Liu J., Xie Y., Li W. Quantitative investigation of the effects of CR, EGR and spark timing strategies on performance, combustion and NOx emissions characteristics of a heavy-duty natural gas engine fueled with 99% methane content // *Fuel*. 2019. Vol. 255. P. 115803. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115803>.
7. Yang J., Shen T. Jiao X. Model-based stochastic optimal air-fuel ratio control with residual gas fraction of spark ignition engines // *IEEE Transactions on Control Systems Technology*. 2014. Vol. 22. No. 3. P. 896–910. <https://doi.org/10.1109/TCST.2013.2272832>.
8. Shen X., Wu Y., Shen T. Logical control scheme with real-time statistical learning for residual gas fraction in IC engines // *Science China Information Sciences*. 2018. No. 61. P. 010203. <https://doi.org/10.1007/s11432-017-9268-2>.
9. Liu Q., Fu J., Zhu G., Li Q., Liu J., Duan X. [et al.]. Comparative study on thermodynamics, combustion and emissions of turbocharged gasoline direct injection (GDI) engine under NEDC and steady-state conditions // *Energy Conversion and Management*. 2018. Vol. 169. P. 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.047>.
10. Rosero F., Fonseca N., López J. M., Casanova J. Real-world fuel efficiency and emissions from an urban diesel bus engine under transient operating conditions // *Applied Energy*. 2020. Vol. 261. P. 114442. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114442>.
11. Tan P., Ruan S., Hu Z., Lou D., Li H. Particle number emissions from a light-duty diesel engine with biodiesel fuels under transient-state operating conditions // *Applied Energy*. 2014. Vol. 113. P. 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.009>.

12. Li Y., Duan X., Fu J., Liu J., Wang Sh., Dong H. [et al.]. Development of a method for on-board measurement of instant engine torque and fuel consumption rate based on direct signal measurement and RGF modelling under vehicle transient operating conditions // *Energy*. 2019. Vol. 189. P. 116218. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116218>.
13. Guo Z., Qin D., Wu J., Liu Ch., Liu Y., Wang X. Analysis of the influence of powertrain mount system on the longitudinal dynamic features of DCT vehicle under typical working conditions // *Advances in Asian mechanism and machine science : IFToMM Asian MMS 2021*. Springer International Publishing, 2022. Vol. 33. P. 179–191. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91892-7_17.
14. Shui Y., Wen H., Zhao J., Wu Y., Huang H. Optimization of vehicle powertrain mounting system based on generalized inverse cascade method under uncertainty // *Applied Sciences*. 2023. Vol. 13. No. 13. P. 7615–7615. <https://doi.org/10.3390/app13137615>.
15. Jeong T., Singh R. Analytical methods of decoupling the automotive engine torque roll axis // *Journal of Sound and Vibration*. 2000. Vol. 234. No. 1. P. 85–114. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2860>.
16. Двигатели ЯМЗ-5340, ЯМЗ-536, их модификации и комплектации : инструкция по диагностике. Ярославль : Автодизель, 2015. 136 с.
17. Патент № 2762813 Российская Федерация. Способ определения эффективной мощности двигателя внутреннего сгорания : № 2021103345 : заявл. 10.02.2021 : опубл. 23.12.2021 / Курносов А. Ф., Гуськов Ю. А., Домнышев Д. А., Корниенко В. Н. Бюл. № 36. 11 с.
18. Завод-производитель весоизмерительного оборудования Уралвес : [сайт]. URL: <https://uralves.ru> (дата обращения: 14.06.2024).
19. Новые Технологические Системы : [сайт]. URL: <https://www.nppnts.ru.htm> (дата обращения: 14.06.2024).

References

1. Zimakowska-Laskowska M., Laskowski P. Emission from internal combustion engines and battery electric vehicles: Case Study for Poland. *Atmosphere*, 2022;13;3:401. <https://doi.org/10.3390/atmos13030401>.
2. Pignatta G., Balazadeh N. Hybrid vehicles as a transition for full e-mobility achievement in positive energy districts: a comparative assessment of real-driving emissions. *Energies*, 2022; 15;8:2760. <https://doi.org/10.3390/en15082760>.
3. Duan X., Li Y., Liu J., Guo G., Fu J., Zhang Q. [et al.]. Experimental study the effects of various compression ratios and spark timing on performance and emission of a lean-burn heavy-duty spark ignition engine fueled with methane gas and hydrogen blends. *Energy*, 2019;169:558–571. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.029>.
4. Wang A., Xu J., Zhang M., Zhai Z., Song G., Hatzopoulou M. Emissions and fuel consumption of a hybrid electric vehicle in real-world metropolitan traffic conditions. *Applied Energy*, 2022;306:118077. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2021.118077>.
5. Bae C., Kim J. Alternative fuels for internal combustion engines. *Proceedings of the Combustion Institute*, 2017;36;3:3389–3413. <https://doi.org/10.1016/j.proci.2016.09.009>.
6. Li Y., Wang P., Wang S., Liu J., Xie Y., Li W. Quantitative investigation of the effects of CR, EGR and spark timing strategies on performance, combustion and NOx emissions characteristics of a heavy-duty natural gas engine fueled with 99% methane content. *Fuel*, 2019; 255:115803. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.115803>.
7. Yang J., Shen T. Jiao X. Model-based stochastic optimal air-fuel ratio control with residual gas fraction of spark ignition engines. *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 2014; 22;3:896–910. <https://doi.org/10.1109/TCST.2013.2272832>.
8. Shen X., Wu Y., Shen T. Logical control scheme with real-time statistical learning for residual gas fraction in IC engines. *Science China Information Sciences*, 2018;61:010203. <https://doi.org/10.1007/s11432-017-9268-2>.

9. Liu Q., Fu J., Zhu G., Li Q., Liu J., Duan X. [et al.]. Comparative study on thermodynamics, combustion and emissions of turbocharged gasoline direct injection (GDI) engine under NEDC and steady-state conditions. *Energy Conversion and Management*, 2018;169:111–123. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.05.047>.
10. Rosero F., Fonseca N., López J. M., Casanova J. Real-world fuel efficiency and emissions from an urban diesel bus engine under transient operating conditions. *Applied Energy*, 2020;261:114442. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2019.114442>.
11. Tan P., Ruan S., Hu Z., Lou D., Li H. Particle number emissions from a light-duty diesel engine with biodiesel fuels under transient-state operating conditions. *Applied Energy*, 2014;113: 22–31. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.07.009>.
12. Li Y., Duan X., Fu J., Liu J., Wang Sh., Dong H. [et al.]. Development of a method for on-board measurement of instant engine torque and fuel consumption rate based on direct signal measurement and RGF modelling under vehicle transient operating conditions. *Energy*, 2019;189: 116218. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116218>.
13. Guo Z., Qin D., Wu J., Liu Ch., Liu Y., Wang X. Analysis of the influence of powertrain mount system on the longitudinal dynamic features of DCT vehicle under typical working conditions. *Proceedings from Advances in Asian mechanism and machine science: IFToMM Asian MMS 2021*. (PP. 179–191), Springer International Publishing, 2022. https://doi.org/10.1007/978-3-030-91892-7_17.
14. Shui Y., Wen H., Zhao J., Wu Y., Huang H. Optimization of vehicle powertrain mounting system based on generalized inverse cascade method under uncertainty. *Applied Sciences*, 2023; 13;13:7615–7615. <https://doi.org/10.3390/app13137615>.
15. Jeong T., Singh R. Analytical methods of decoupling the automotive engine torque roll axis. *Journal of Sound and Vibration*, 2000;234;1:85–114. <https://doi.org/10.1006/jsvi.1999.2860>.
16. *YAMZ-5340, YaMZ-536 engines, their modifications and configurations: diagnostic instructions*, Yaroslavl', Avtodizel', 2015, 136 p. (in Russ.).
17. Kurnosov A. F., Guskov Yu. A., Domnyshev D. A., Kornienko V. N. Method for determining the effective power of an internal combustion engine. *Patent RF, No. 2762813 yandex.ru/patents* 2021. Retrieved from https://yandex.ru/patents/doc/RU2762813C1_20211223 (in Russ.).
18. Plant-manufacturer of weighing and measuring equipment Uralves. *Uralves.ru* Retrieved from <https://uralves.ru> (Accessed 14 June 2024) (in Russ.).
19. New Technological Systems. *Nppnts.ru* Retrieved from <https://nppnts.ru.htm> (Accessed 14 June 2024) (in Russ.).

© Курносков А. Ф., Гуськов Ю. А., 2024

Статья поступила в редакцию 18.10.2024; одобрена после рецензирования 01.11.2024; принята к публикации 15.11.2024.

The article was submitted 18.10.2024; approved after reviewing 01.11.2024; accepted for publication 15.11.2024.

Информация об авторах

Курносков Антон Федорович, кандидат технических наук, Новосибирский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3273-6229>, AuthorID: 9904-7841, anton_kurnosov@mail.ru;

Гуськов Юрий Александрович, доктор технических наук, доцент, Новосибирский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7830-4990>, AuthorID: 3666-7202, iinsau@yandex.ru

Information about authors

Anton F. Kurnosov, Candidate of Technical Sciences, Novosibirsk State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3273-6229>, AuthorID: 9904-7841, anton_kurnosov@mail.ru;

Yuriy A. Guskov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Novosibirsk State Agrarian University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7830-4990>, AuthorID: 3666-7202, iinsau@yandex.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 631.363.2

EDN HPXJLG

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-104-112>

Системный подход в обосновании оптимальной загрузки молотковой дробилки в технологической линии приготовления комбикормов

Виктор Викторович Садов¹, Сергей Анатольевич Сорокин²

^{1,2} Алтайский государственный аграрный университет, Алтайский край, Барнаул, Россия

¹ sadov.80@mail.ru, ² sorokin_sg@mail.ru

Аннотация. В статье представлено исследование процесса загрузки молотковой дробилки шнековым питателем с возможностью регулирования подачи и влияния подачи на основные выходные параметры. Определены факторы, влияющие на процесс работы дробилки совместно с питателем, а также составлена модель управления работой данной системы. Спроектирована и изготовлена прямоточная линия для измельчения зерновых компонентов, с которой проведены экспериментальные исследования. Разработана программа управления процессом дозирования зернового материала. Получены экспериментальные зависимости по влиянию удельных затрат энергии на производительность и средний размер частиц при изменении подачи материала в дробилку. Данные результаты позволят получить требуемый модуль помола при наименьших затратах энергии и возможность регулирования модуля в процессе измельчения через управление питателем с помощью программного обеспечения.

Ключевые слова: зерновые компоненты, размер дерти, модуль помола, энергоёмкость процесса, линия измельчения, питатель, загрузка дробилки, случайный процесс

Для цитирования: Садов В. В., Сорокин С. А. Системный подход в обосновании оптимальной загрузки молотковой дробилки в технологической линии приготовления комбикормов // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 104–112. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-104-112>.

Original article

A systematic approach to substantiate the optimal loading of a shredder in a feed production line

Viktor V. Sadov¹, Sergey A. Sorokin²

^{1,2} Altai State Agricultural University, Altai krai, Barnaul, Russian Federation

¹ sadov.80@mail.ru, ² sorokin_sg@mail.ru

Abstract. The article presents a study of the process of loading a shredder with an auger feeder with the possibility of regulating the feed and the effect of feed on the main output parameters. The factors influencing the operation process of the shredder together with the feeder are determined, and a model for controlling the operation of this system is compiled. A direct-flow line for grinding grain components was designed and manufactured, with which experimental studies were conducted. A program for controlling the process of dosing grain material has been developed. Experimental dependences on the effect of specific energy consumption on productivity and average particle size when changing the material supply to the shredder are obtained. These results will allow us to obtain the required grinding module with the lowest energy consumption and the possibility of regulating the module during the grinding process through the control of the feeder using software.

Keywords: grain components, groats size, grinding module, process energy intensity, grinding line, feeder, shredder loading, random process

For citation: Sadov V. V., Sorokin S. A. A systematic approach to substantiate the optimal loading of a shredder in a feed production line. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:104–112. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-104-112>.

Введение. Процессы измельчения материалов присутствуют во многих отраслях и направлены на получение частиц требуемой фракции. Несмотря на высокую энергоёмкость процесса измельчения, его организация в рамках технологического процесса производства комбикормов может осуществляться на любом этапе, как для отдельных компонентов, так и для нескольких одновременно измельчаемых компонентов. Основанием этого являются в большей степени качественные показатели продукта [1–5].

В комбикормовом производстве задействовано достаточное количество технологического, транспортного и накопительного оборудования, объединенного производственной логической цепью. Молотковая дробилка выступает в роли ведущего звена иерархической ступени в линии производства комбикормов и является объединяющим звеном между технологическими параметрами процесса и выходными критериями оптимальности качества продукции [6, 7].

Существующие конструкции молотковых дробилок позволяют существенно изменять удельную энергоёмкость процесса и выравненность модуля помола в зависимости от конструктивных особен-

ностей, физико-механических свойств материала, равномерности его подачи и других факторов [8–11].

В настоящее время большинство возможностей по оптимизации процесса путем улучшения конструкций и организации процесса измельчения исчерпаны, что говорит о необходимости системного подхода с применением информационных технологий к обоснованию оптимальной работы системы измельчения [12–14].

Цель работы состоит в повышении эффективности загрузки молотковой дробилки с горизонтально расположенным ротором шнековым питателем и определении ее влияния на энергоёмкость процесса и модуль помола.

Материалы и методы исследований. Системный подход в исследовании процесса измельчения предполагает математическое моделирование при учете конструктивных особенностей и оптимизации режимов, а также условий функционирования [14–16].

Модель управления дробилкой совместно с питателем представлена на рисунке 1. В данном случае входными (контролируемыми/неуправляемыми) параметрами X являются физико-механиче-

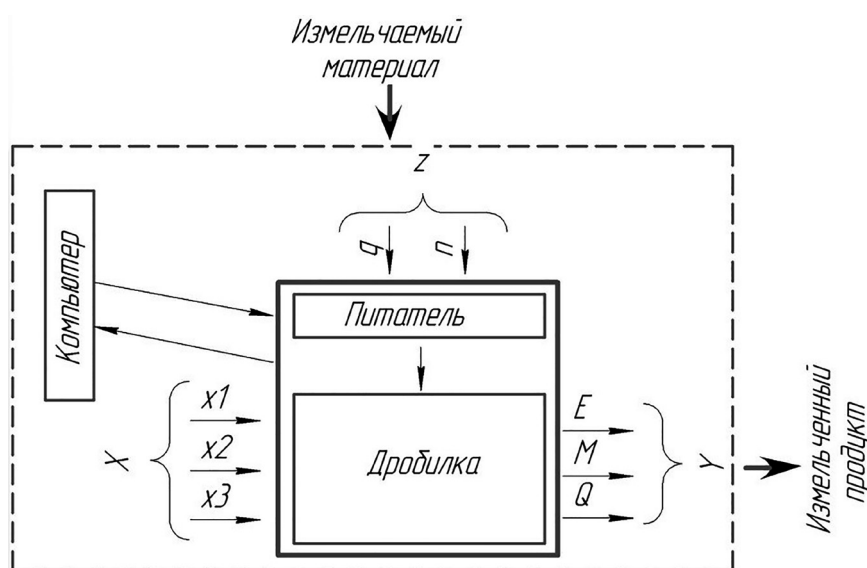


Рисунок 1 – Модель управления питателя с дробилкой
Figure 1 – Control model of a feeder with a shredder

ские свойства материала; контролируемые управляемыми факторами Z выступают подача q и частота вращения питателя n , а выходными параметрами или критериями оптимальности Y – удельная энергоёмкость процесса E , производительность Q и модуль помола M [17, 18].

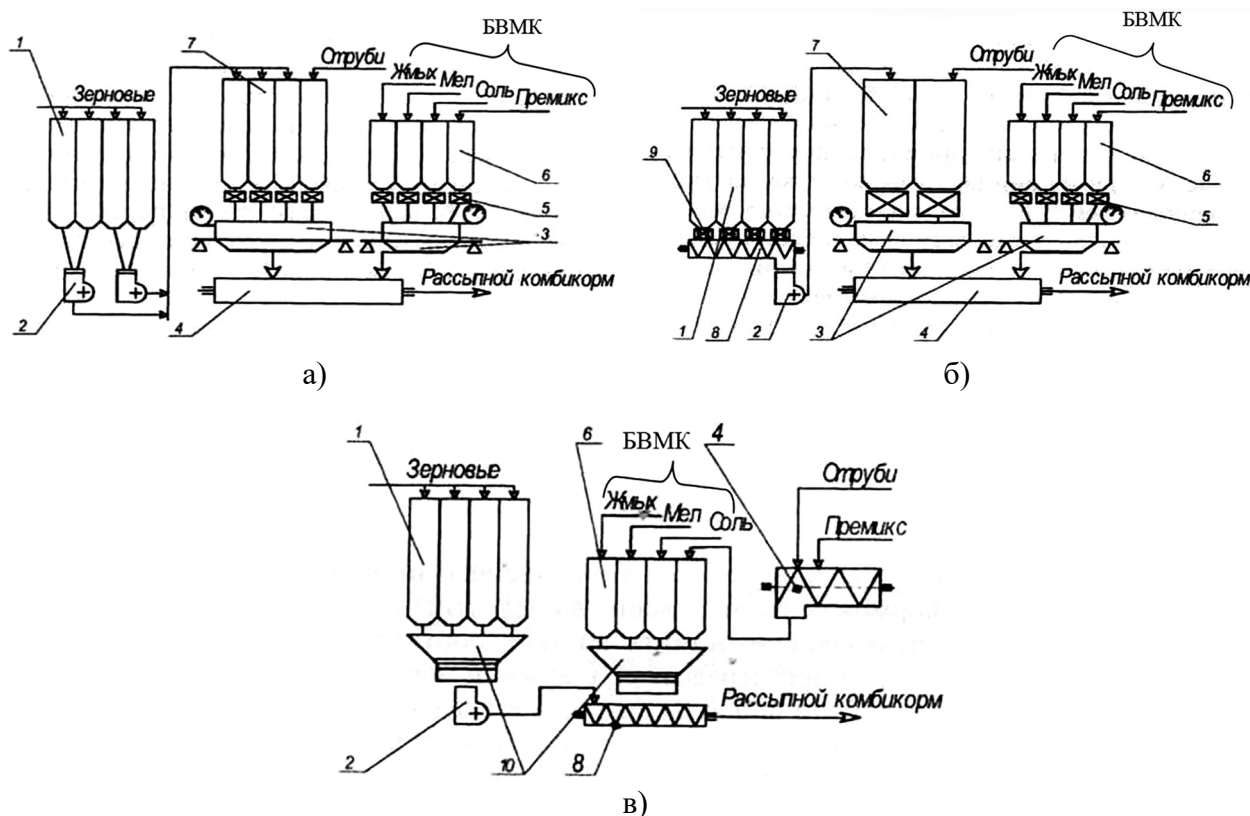
На основе анализа компоновок хозяйственных линий для производства комбикормов и выпускаемого оборудования, можно утверждать, что значительная часть линий выполняется по приведенным на рисунке 2 схемам [4].

На базе Алтайского государственного аграрного университета в качестве экспериментальной линии была спроектирована и изготовлена линия по прямой схеме, которая позволила снизить ко-

личество накопительного и транспортного оборудования [6]. Экспериментальный вариант линии измельчения представлен на рисунке 3.

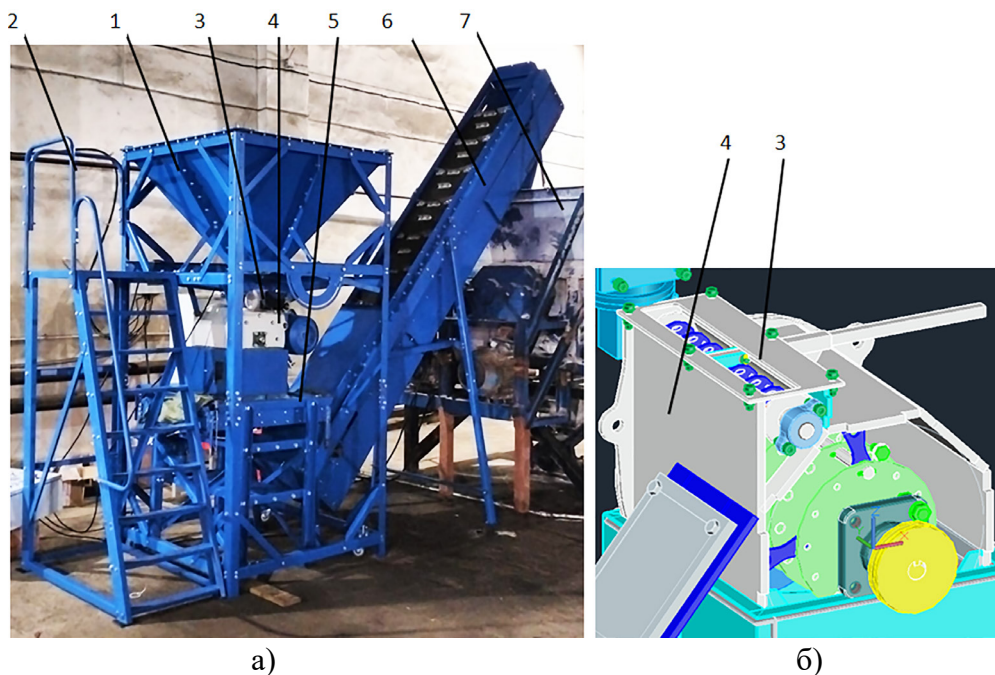
Линия включает бункер 1, смотровую площадку 2, питатель 3, дробилку 4, решетный сепаратор 5, транспортер 6, смеситель 7. Решето выполнено с продолговатыми отверстиями шириной 3 мм, расположенными длинной осью поперек движения частиц в камере.

Шнековый питатель представляет горизонтальный шнек диаметром 70 мм, расположенный в корпусе с загрузочным окном по образующей цилиндра. Для привода используется шаговый электродвигатель 17HS4401 Nema 17 42 BYGH 1.7A, управляемый при помощи ЭВМ [19].



а) классическая схема с последовательно параллельной подготовкой компонентов; б) классическая схема с формированием предварительной смеси; в) прямоточная схема; 1 – бункер исходных компонентов; 2 – дробилка; 3 – многокомпонентный весовой дозатор; 4 – порционный смеситель; 5 – питатель; 6 – бункер с добавками; 7 – бункер-накопитель; 8 – шнек-смеситель; 9 – однокомпонентный дозатор объемного типа; 10 – многокомпонентный дозатор объемного типа
 а) classical scheme with sequentially parallel preparation of components; б) classical scheme with the formation of a preliminary mixture; в) direct-flow scheme; 1 – hopper of initial components; 2 – shredder; 3 – multicomponent weighing dispenser; 4 – batch mixer; 5 – feeder; 6 – hopper with additives; 7 – storage hopper; 8 – screw mixer; 9 – single-component volumetric dispenser; 10 – multi-component volumetric dispenser

Рисунок 2 – Технологические схемы производства комбикормов
Figure 2 – Technological schemes for the production of compound feeds



а) общий вид (general view);
 б) разрез модели измельчителя (section of the shredder model)

Рисунок 3 – Линия измельчения зерна
Figure 3 – Grain grinding line

Для управления работой шнекового питателя составлен программный код, представленный набором инструкций, показанных на рисунке 4.

Питатель шнековый состоит из корпуса, торцевых опор, одна из которых является креплением двигателя и шнека.

Вал шагового двигателя Nema 17 жестко соединен муфтой с валом шнека, который управляется программным кодом в среде Ардуино. При этом управляющий сигнал с компьютера подается на плату Arduino-Mega-2560, а далее сгенерированный сигнал управляет скоростью вращения питателя и соответственно подачей материала. Такое управление создает большие возможности точного регулирования величины подачи материала.

Результаты исследований и их обсуждение. В качестве выходных параметров определили производительность, удельную энергоемкость измельчителя и модуль помола материала.

Пробы для анализа отбирались согласно требованиям ГОСТ 13496.0–2016 «Комбикорма, комбикормовое сырье. Методы отбора проб». В исследованиях участвовали пшеница и овес.

Результаты исследований по энергоемкости представлены на рисунке 5; размеров дерти – на рисунке 6; модуля помола – на рисунке 7.

По данным рисунка 5, устойчивый диапазон изменения производительности находится в пределах от 240 до 2 050 кг/ч, как по пшенице, так и по овсу, при незначительном изменении энергоемкости для культур. При малой подаче зерна в измельчитель энергоемкость высока, что объясняется большой долей реактивных токов электромотора в общем объеме потребления электроэнергии. Увеличение загрузки камеры приводит к использованию в работе большей площади поверхности рабочих органов; электромотор загружается до номинального значения тока по обмоткам, при которых коэффициент полезного действия электромотора, и, соответственно, измельчителя становится наивысшим.

Так, оптимальная производительность варьирует в диапазоне значений от 1 400 до 1 900 кг/ч. При данных значениях имеем наибольшую энергоэффективность, составляющую от 1,8 до 3,2 кВт·ч/т, а также наличие запаса мощности электромотора.


```

#define dir_x 55
#define step_x 54
#define step_round 3200
int RPM = 1.1; //обороты в секунду, тогда от 1 до 5. от 60 до 300 об в минуту
int sp = 0;

void setup() {
  pinMode(dir_x, OUTPUT);
  pinMode(step_x, OUTPUT);
  sp = (1000000 / (step_round*2)) / RPM;
}

void loop() {
  moving(step_x, dir_x, sp, 1); //функция для запуска двигателя с регулировкой скорости
  //принимает как аргумент 4 значения: step_pin, dir_pin, скорость (переменная sp) и направление вращения(1, 0)
  // moving_delay(step_x, dir_x, sp, 1, 3200, 1000); //функция запуска двигателя с прерыванием
  //step_pin, dir_pin, скорость (переменная sp), направление вращения(1, 0), количество шагов шт, задержка миллисек

  // static uint32_t tmr2;
  // if (millis() - tmr2 > 50) {
  //   tmr2 = millis();
  //   RPM = map(analogRead(A4), 0, 1023, 0, 7);
  //   SPEED = 156 / RPM;
  }
}

```

Рисунок 4 – Фрагмент программного кода управления работой двигателя питателя
 Figure 4 – A fragment of the program code for controlling the operation of the feeder motor

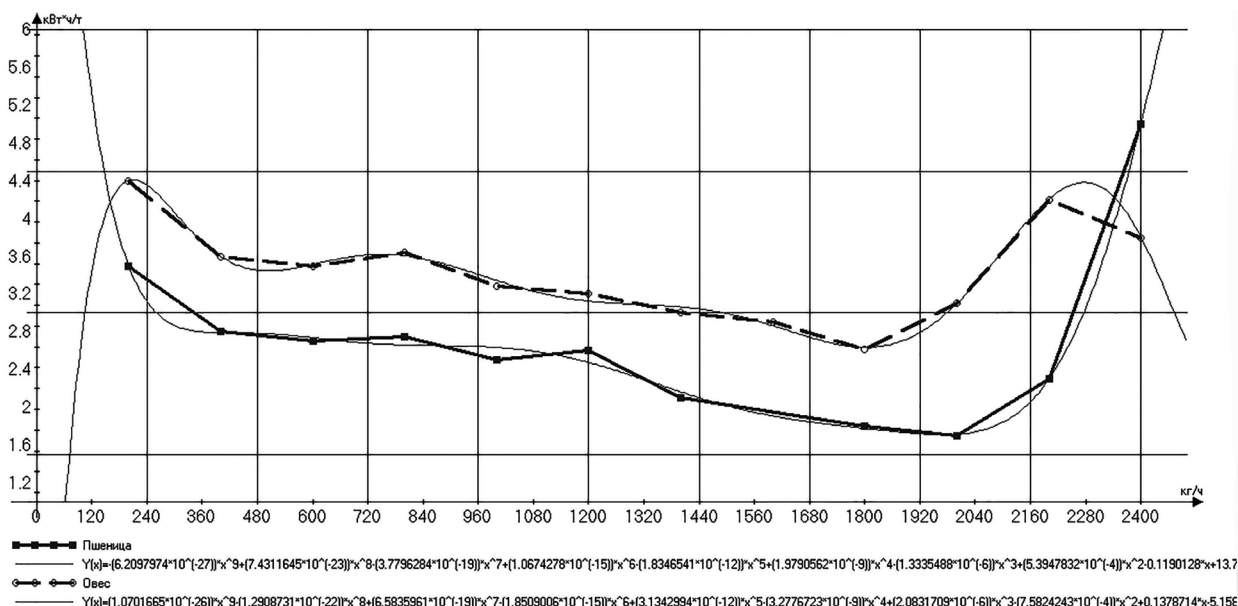


Рисунок 5 – Зависимость энергоемкости измельчения от производительности
 Figure 5 – Dependence of the grinding energy consumption on productivity

Из анализа рисунков 6 и 7 видно, что с увеличением производительности увеличивается доля фракции до 1 мм и целых зерен, что объясняется большим количеством материала в камере, способствующим выходу целых зерен, и интенсивным переизмельчением мелкой фракции. При этом модуль помола в целом увеличивается, однако находится в пределах зоотехнических требований.

Заключение. 1. Экспериментальная проверка измельчителя в связке с питателем показала рекомендуемое значение

величины загрузки измельчителя в диапазоне от 1 400 до 1 900 кг/ч, при которой работа будет устойчивой с наименьшим количеством электроэнергии на единицу объема измельченного материала.

2. Повышение производительности молотковой дробилки ведет к увеличению модуля помола, что выражено криволинейной зависимостью. При исследуемых значениях производительности от 0,2 до 2,4 т/ч модуль помола составил от 1,95 до 2,27 мм, что соответствует зоотехническим требованиям.

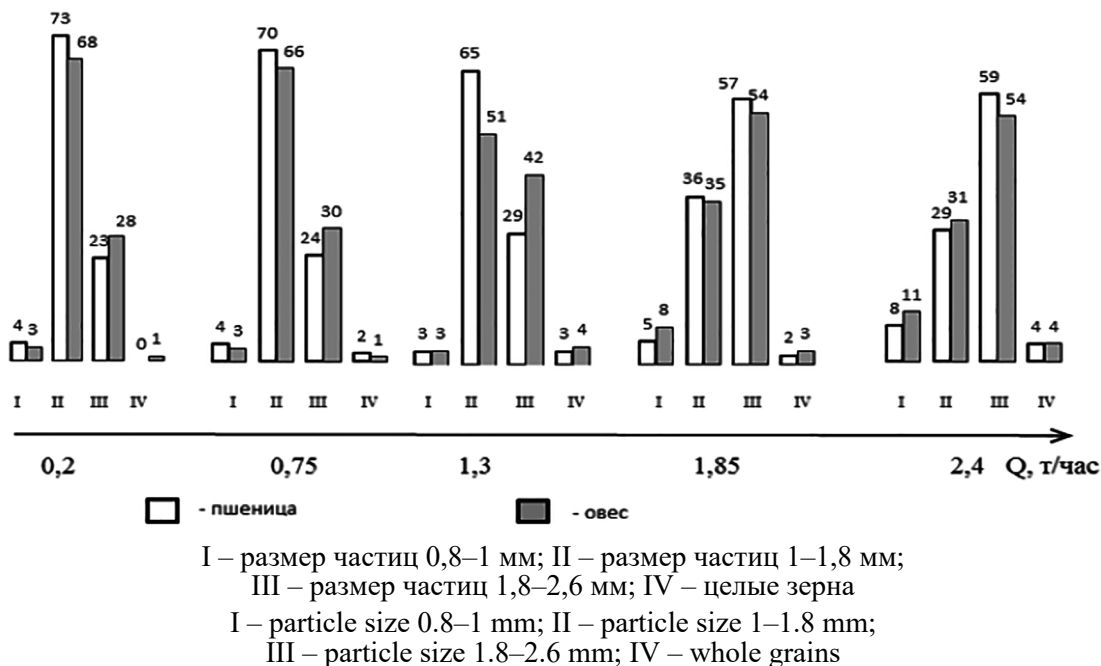


Рисунок 6 – Гистограмма распределения размеров дерти в зависимости от производительности дробилки
Figure 6 – Histogram of the groats size distribution depending on the shredder productivity

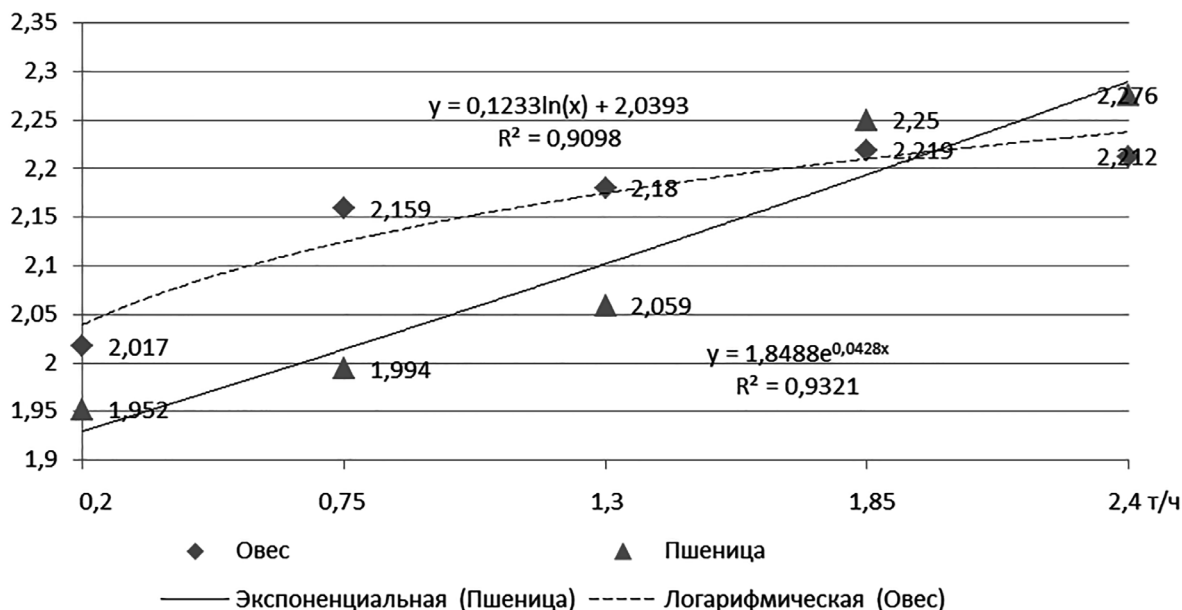


Рисунок 7 – Модуль помола в зависимости от производительности дробилки
Figure 7 – The grinding module depending on the shredder productivity

Список источников

1. Мельников С. В. Механизация и автоматизация животноводческих ферм. Ленинград : Колос, 1978. 560 с.
2. Федоренко В. Ф., Мишуоров Н. П., Гольяпин В. Я., Федоров А. Д., Чавыкин Ю. И., Сыроватка В. И. Методические рекомендации по технологическому проектированию предприятий по производству комбикормов. М. : Росинформагротех, 2015. 104 с. EDN UXMNDD.

3. Кукта Г. М. Машины и оборудование для приготовления кормов. М. : Агропромиздат, 1987. 303 с.
4. Федоренко И. Я. Технологические процессы и оборудование для приготовления кормов. М. : Форум, 2020. 176 с. EDN EMKWKH.
5. Hammer mills for optimum size reduction of raw material for pet food production // ANDRITZ. URL: <https://www.andritz.com/products-en/group/feed-biofuel/hammer-mills> (дата обращения: 10.09.2024).
6. Федоренко И. Я., Садов В. В. Структурная сложность технологической системы комбикормового цеха // АПК России. 2017. Т. 24. № 2. С. 437–442. EDN YUPJOR.
7. Князева Е. Н. Инновационная сложность: методология организации сложных адаптивных и сетевых структур // Философия науки и техники. 2015. Т. 20. № 2. С. 50–69. EDN VCVPGT.
8. Турубанов Н. В., Касьянов В. Л., Савиных П. А. Повышение эффективности молотковой дробилки зерна комбикормового агрегата путем совершенствования ее рабочих органов // Научные труды Всероссийского научно-исследовательского института механизации животноводства. 2010. Т. 21. № 3. С. 12–24. EDN NQTPGZ.
9. Коношин И. В., Булавинцев Р. А., Волженцев А. В., Башкирев А. П. Экспериментально-теоретическое исследование работы молотковой дробилки // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 9. С. 198–204. EDN YTASGD.
10. Садов В. В., Сорокин С. А. Повышение эффективности измельчения зерновых компонентов за счет оптимальной загрузки молотковой дробилки // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2021. № 3 (197). С. 100–106. EDN NVNXAU.
11. Нечаев В. Н. Изучение влияния конструктивных факторов лопаток ротора-вентилятора на показатели рабочего процесса дробилки // Вестник Нижегородского государственного инженерно-экономического института. 2012. № 8 (15). С. 12–20. EDN PELDTR.
12. Orazbaev B. B., Orazbayeva K. N., Utenova B. E. Development of mathematical models and modeling of chemical engineering systems under uncertainty // Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2014. Vol. 48. No. 2. P. 138–147. <https://doi.org/10.1134/S0040579514020092>. EDN SOGZGZ.
13. Lazanski T. J. Systems approach to a context dependent modelling of complex systems and a problem of validation // *Academica Turistica*. 2008. No. 1. P. 60–66.
14. Керимов М. А., Керимов М. М. Системный подход в проектировании измельчительных технологий // Системный анализ в проектировании и управлении : материалы XXV междунар. науч. и учеб.-практ. конф. СПб. : Санкт-Петербургский политехнический университет, 2021. С. 474–481. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id21-96>. EDN KQYKSL.
15. Бобков С. П., Астраханцева И. А., Галиаскаров Э. Г. Применение системного подхода при разработке математических моделей // Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение. 2021. № 1 (65). С. 66–71. EDN KOXZWY.
16. Kalinina A. E. Theoretical and methodological aspects in the development of information systems // *Scientific and Technical Information Processing*. 2008. Vol. 35. No. 1. P. 50–54. EDN OHGXSB.
17. Школьников П. Н., Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Снижение энергетических затрат при приготовлении и раздаче кормовых рационов // Энергосбережение и энергоэффективность: проблемы и решения : материалы IX всерос. (нац.) науч.-практ. конф. Нальчик : Кабардино-Балкарский государственный аграрный университет, 2020. С. 184–189. EDN JGRJPA.
18. Слесивцев А. В., Павлов А. Н. Особенности выбора факторного пространства при оценивании и прогнозировании состояния сложного объекта // Известия высших учебных заведений. Приборостроение. 2022. Т. 65. № 12. С. 920–924. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2022-65-12-920-924>. EDN RVXYTI.
19. Управление шаговым двигателем NEMA17 с помощью Arduino // YourDuino. URL: <https://www.yourduino.ru/blogs/blog/upravlenie-shagovym-dvigatелеm-nema17-s-pomoschyu-arduino> (дата обращения: 15.05.2024).

References

1. Melnikov S. V. *Mechanization and automation of animal farms*, Leningrad, Kolos, 1978, 560 p. (in Russ.).
2. Fedorenko V. F., Mishurov N. P., Goltyapin V. Ya., Fedorov A. D., Chavykin Yu. I., Syrovatka V. I. *Methodical recommendations on technological design of enterprises for mixed fodder production*, Moscow, Rosinformagrotekh, 2015, 104 p. EDN UXMNDD (in Russ.).
3. Kukta G. M. *Machinery and equipment for forage preparation*, Moscow, Agropromizdat, 1987, 303 p. (in Russ.).
4. Fedorenko I. Ya. *Technological processes and equipment for fodder preparation*, Moscow, Forum, 2020, 176 p. EDN EMKWKH (in Russ.).
5. Hammer mills for optimum size reduction of raw material for pet food production. *Andritz.com* Retrieved from <https://www.andritz.com/products-en/group/feed-biofuel/hammer-mills> (Accessed 10 September 2024).
6. Fedorenko I. Ya., Sadov V. V. The structural complexity of technological system of a compound feed mill. *APK Rossii*, 2017;24;2:437–442. EDN YUPJOR (in Russ.).
7. Knyazeva E. N. Innovative complexity: methodology of organization of complex adaptive and network structures. *Filosofiya nauki i tekhniki*, 2015;20;2:50–69. EDN VCVPGT (in Russ.).
8. Turubanov N. V., Kasyanov V. L., Savinykh P. A. Increase of efficiency of hammer crusher of grain of mixed fodder aggregate by improvement of its working bodies. *Nauchnye trudy Vserossiiskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta mekhanizatsii zhivotnovodstva*, 2010;21;3:12–24. EDN NQTPGZ (in Russ.).
9. Konoshin I. V., Bulavintsev R. A., Volzhentsev A. V., Bashkirev A. P. Experimental and theoretical study of hammer crusher operation. *Vestnik Kurskoi gosudarstvennoi sel'skokhozyaistvennoi akademii*, 2018;9:198–204. EDN YTASGD (in Russ.).
10. Sadov V. V., Sorokin S. A. Increasing the grinding efficiency of grain components by optimal loading of the hammer crusher. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2021;3(197):100–106. EDN NVNXAU (in Russ.).
11. Nechaev V. N. Studying of influence of constructive factors of shovels of rotor-conditioner to the characteristics of crushing woring process. *Vestnik Nizhegorodskogo gosudarstvennogo inzhenerno-ekonomicheskogo instituta*, 2012;8(15):12–20. EDN PELDTR (in Russ.).
12. Orazbaev B. B., Orazbayeva K. N., Utenova B. E. Development of mathematical models and modeling of chemical engineering systems under uncertainty. *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*, 2014;48;2:138–147. <https://doi.org/10.1134/S0040579514020092>. EDN SOGZGZ.
13. Lazanski T. J. Systems approach to a context dependent modelling of complex systems and a problem of validation. *Academica Turistica*, 2008;1:60–66.
14. Kerimov M. A., Kerimov M. M. Systematic approach in designing grinding technologies. *Proceedings from System analysis in design and management: XXV Mezhdunarodnaya nauchnaya i uchebno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 474–481), Saint-Petersburg, Sankt-Peterburgskii politekhnicheskii universitet, 2021. <https://doi.org/10.18720/SPBPU/2/id21-96>. EDN KQYKSL (in Russ.).
15. Bobkov S. P., Astrakhantseva I. A., Galiaskarov E. G. Application of a system approach in developing mathematical models. *Sovremennye naukoemkie tekhnologii. Regional'noe prilozhenie*, 2021;1(65):66–71. EDN KOXZWY (in Russ.).
16. Kalinina A. E. Theoretical and methodological aspects in the development of information systems. *Scientific and Technical Information Processing*, 2008;35;1:50–54. EDN OHGXSБ.
17. Shkolnikov P. N., Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. Reducing energy costs for preparing and distributing feed rations. *Proceedings from Energy saving and energy efficiency: problems and solutions: IX Vserossiiskaya (natsional'naya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 184–189), Na'chik, Kabardino-Balkarskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2020. EDN JGRJPA (in Russ.).

18. Spesivtsev A. V., Pavlov A. N. Features of the choice of factor space in the estimation and prediction of the state of a complex object. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Priborostroenie*, 2022;65;12:920–924. <https://doi.org/10.17586/0021-3454-2022-65-12-920-924>. EDN RVXYTI (in Russ.).

19. NEMA17 stepper motor control with Arduino. *Yourduino.ru* Retrieved from <https://www.yourduino.ru/blogs/blog/upravlenie-shagovym-dvigatelem-nema17-s-pomoschyu-arduino> (Accessed 15 May 2024) (in Russ.).

© Садов В. В., Сорокин С. А., 2024

Статья поступила в редакцию 31.10.2024; одобрена после рецензирования 15.11.2024; принята к публикации 26.11.2024.

The article was submitted 31.10.2024; approved after reviewing 15.11.2024; accepted for publication 26.11.2024.

Информация об авторах

Садов Виктор Викторович, доктор технических наук, доцент, Алтайский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0335-9436>, AuthorID: 427073, sadov.80@mail.ru;

Сорокин Сергей Анатольевич, кандидат технических наук, доцент, Алтайский государственный аграрный университет, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1016-6804>, AuthorID: 1108537, sorokin_sg@mail.ru

Information about the authors

Viktor V. Sadov, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State Agricultural University, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0335-9436>, Author ID: 427073, sadov.80@mail.ru;

Sergey A. Sorokin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Altai State Agricultural University, ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-1016-6804>, Author ID: 1108537, sorokin_sg@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 543.645.6

EDN GZJXUU

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-113-119>

Исследование белковых фракций вторичного продовольственного сырья

Сергей Леонидович Тихонов¹, Наталья Валерьевна Тихонова²

¹ Уральский государственный лесотехнический университет

Свердловская область, Екатеринбург, Россия

^{1,2} Уральский государственный аграрный университет

Свердловская область, Екатеринбург, Россия

¹ tihonov75@bk.ru

Аннотация. Пептиды, выделенные из гидролизатов рыбного белка, могут использоваться в пищевых системах в качестве функциональных ингредиентов специализированной пищевой продукции. Проведено исследование по определению фракционного состава и аминокислотной последовательности белка внутренностей горбуши. В качестве объекта исследований использовали измельченные внутренности охлажденной горбуши. Для выделения белков были применены методы высаливания с сульфатом аммония. Последовательность аминокислот в пептиде определяли масс-спектрометрическим методом. Во внутренностях охлажденной горбуши выделено две белковые фракции. Аминокислотная последовательность фракции 1 составляет 194 аминокислоты, фракции 2 – 134 аминокислоты. В последовательностях находятся определенные повторяющиеся аминокислотные мотивы, в частности CC, EE, YY, VV, PP, AA, LL, NM, PPE, CYR и другие, указывающие на наличие структурных или функциональных областей в составе белка, которые могут иметь значимое биологическое действие с клетками мишенями. Для дальнейшего выделения и идентификации биологически активных пептидов из аминокислотных последовательностей белковых фракций целесообразно провести заданное прогнозирование гидролиза белка (*in silico*) с последующим пептидомическим анализом, основанным на масс-спектрометрии, что позволит провести мониторинг содержания уже известных пептидов во фракциях; в тоже время указанное прогнозирование необходимо в качестве инструмента для обнаружения новых биоактивных пептидов.

Ключевые слова: белковые фракции, пептиды, вторичное продовольственное сырье, аминокислотная последовательность, заданное прогнозирование гидролиза белка

Для цитирования: Тихонов С. Л., Тихонова Н. В. Исследование белковых фракций вторичного продовольственного сырья // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 113–119. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-113-119>.

Original article

Study of protein fractions of secondary food raw materials

Sergey L. Tikhonov¹, Natalya V. Tikhonova²

¹ Ural State Forestry University, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Russian Federation

^{1,2} Ural State Agrarian University, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Russian Federation

¹ tihonov75@bk.ru

Abstract. Peptides isolated from fish protein hydrolysates can be used in food systems as functional ingredients of specialized food products. A study was conducted to determine the fractional composition and amino acid sequence of the protein of the pink salmon innards. The crushed innards of chilled pink salmon were used as an object of research. Extraction methods based on the use of ammonium sulfate were used to isolate proteins. The amino acid sequence in a peptide was

determined by mass spectrometric method. Two protein fractions were isolated in the chilled pink salmon innards. The amino acid sequence of fraction 1 was 194 amino acids, and fraction 2 was 134 amino acids. The sequences contain certain repetitive amino acid motifs, in particular CC, EE, YY, VV, PP, AA, LL, NM, PPE, CYR and others, indicating the presence of structural or functional areas in the protein composition that may have significant biological effects with target cells. For further isolation and identification of biologically active peptides from amino acid sequences of protein fractions, it is advisable to carry out a predetermined prediction of protein hydrolysis (*in silico*) followed by peptidomic analysis based on mass spectrometry. It will allow monitoring the content of already known peptides in fractions, but at the same time using it as a tool for the discovery of new bioactive peptides.

Keywords: protein fractions, peptides, secondary food raw materials, amino acid sequence, predetermined prediction of protein hydrolysis

For citation: Tikhonov S. L., Tikhonova N. V. Study of protein fractions of secondary food raw materials. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:113–119. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-113-119>.

Введение. Одним из перспективных направлений развития пищевой науки является выделение новых биологически активных веществ из продовольственного сырья и побочных продуктов его переработки, в частности рыбы.

В настоящее время большая часть всего производимого рыбного сырья выбрасывается или перерабатывается в рыбную муку. При переработке рыбы и других водных объектов образуется большой объем побочных продуктов и отходов с более высоким уровнем химической и биологической потребности в кислороде, которые, вероятно, окажут негативное воздействие на прибрежные и морские экосистемы [1].

Значительное количество отходов рыбопереработки, образующихся в перерабатывающих отраслях, приводит к более высоким затратам на утилизацию при значительном снижении экономической отдачи. Использование рыбных субпродуктов является важной производственной задачей для рыбной промышленности и предприятий по переработке морепродуктов, поскольку это может принести дополнительную прибыль, а также снизить затраты на утилизацию [2].

Одной из потенциальных возможностей получения большей выгоды является использование данных промышленных отходов и малоценной рыбы для извлечения и гидролиза белков, богатых биоактивными пептидами [3].

Многие биологически активные пептиды с ценными питательными и функциональными свойствами содержатся в гидролизатах, полученных в резуль-

тате ферментативного гидролиза рыбных белков [4]. Вторичное сырье, получаемое из водных источников, может быть переработано с использованием ферментативного гидролиза с целью извлечения биологически активных веществ [5].

Продукты переработки рыбы являются доступным и дешевым сырьем для производства протеолитических ферментных препаратов [6].

Гидролитический распад высокомолекулярных белков до низкомолекулярных белков (пептидов) является основой производства белковых гидролизатов с биопептидами [7]. Используя различные ферменты, разную рыбу в качестве субстратов и переменные протеолитические факторы, такие как кислотность, температура, соотношение фермента к субстрату и время, можно получить широкий спектр гидролизатов с различными физическими, химическими и биологическими характеристиками [8].

Пептиды, выделенные из гидролизатов рыбного белка, могут использоваться в пищевых системах в качестве функциональных ингредиентов специализированной пищевой продукции. Вопросы производства продуктов питания специализированного и функционального назначения посвящены работы [9–11].

В этой связи целесообразно исследовать белки вторичного рыбного сырья на возможность их дальнейшего использования в качестве сырья для получения пептидов.

Цель исследований – определение фракционного состава и аминокислотной

последовательности белка внутренностей горбуши (*Oncorhynchus gorbuscha*).

Методы исследований. В качестве объекта исследований использовали измельченные внутренности охлажденной горбуши.

Для выделения белков были применены методы высаливания с сульфатом аммония. Предварительно проведено измельчение исходного сырья, после чего выполнялось выделение белка путем экстракции в присутствии 3-процентного раствора хлорида натрия. Затем растворы белков обрабатывались ультразвуковым диспергатором и растворялись в дистиллированной воде.

Далее к раствору добавлялся сульфат аммония до достижения насыщения раствора на 80 %. Полученные образцы выдерживались при комнатной температуре в течение 24 часов. Собранные белки отделялись центрифугированием со скоростью ротора 8 000 оборотов в минуту в течение 15 минут.

После этого проводилось ресуспензирование белков в фосфатном буфере с рН 6,8. Для дополнительной очистки от солей использовался метод диализа с отсечкой по массе 10 кДа.

Последовательность аминокислот в пептиде устанавливалась масс-спектрометрическим методом.

Результаты исследований и их обсуждение. На рисунке 1 представлен фракционный состав белка внутренностей горбуши. Из представленных данных следует, что во внутренностях охлажденной горбуши выделены две белковые фракции, которым даны условные названия: *фракция 1* и *фракция 2*.

На рисунке 2 приведены масс-спектры белковых фракций внутренностей охлажденной горбуши.

В таблице 1 показаны характеристики (аминокислотная последовательность и молекулярная масса) белковых фракций внутренностей охлажденной горбуши.

Аминокислотную последовательность фракции 1 составляет 194 аминокислоты, фракции 2 – 134 аминокислоты. В последовательностях находятся определенные повторяющиеся аминокислотные мотивы, в частности СС, ЕЕ, УУ, ВВ, РР, АА, LL, NM, РРЕ, СУР и другие, указывающие на наличие структурных или функциональных областей в составе белка, которые могут иметь значимое биологическое действие на клетки-мишени.

Для дальнейшего выделения и идентификации биологически активных пептидов из аминокислотных последовательностей белковых фракций 1 и 2 целесообразно провести заданное прогнозирование гидролиза белка (*in silico*) с последующим

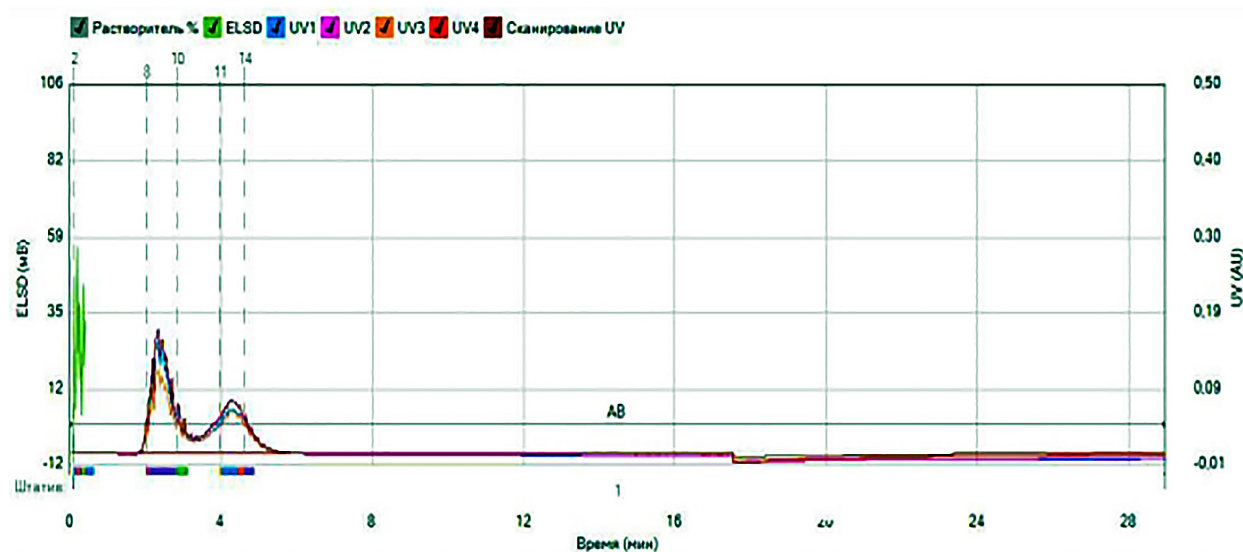
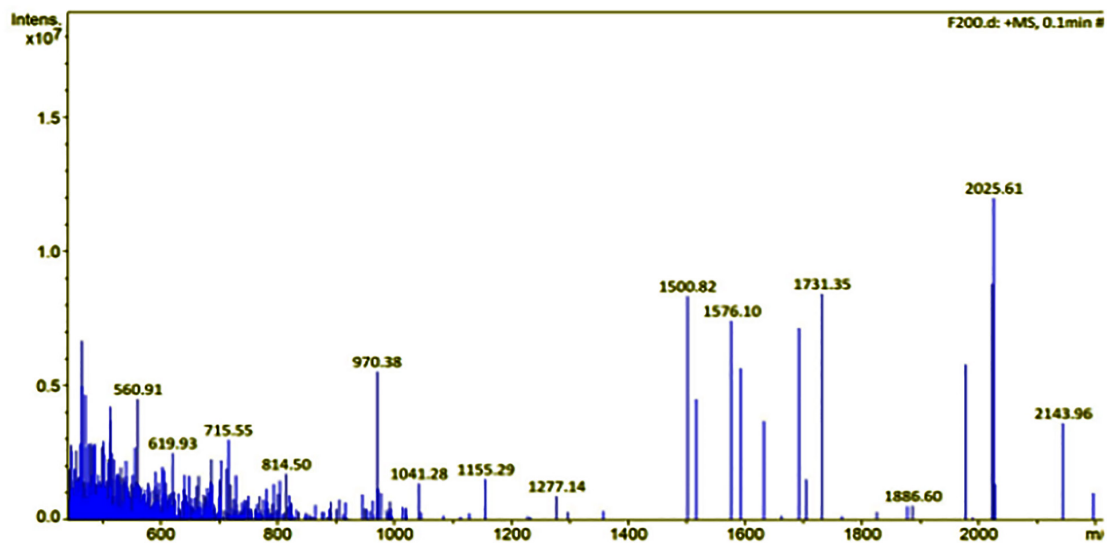
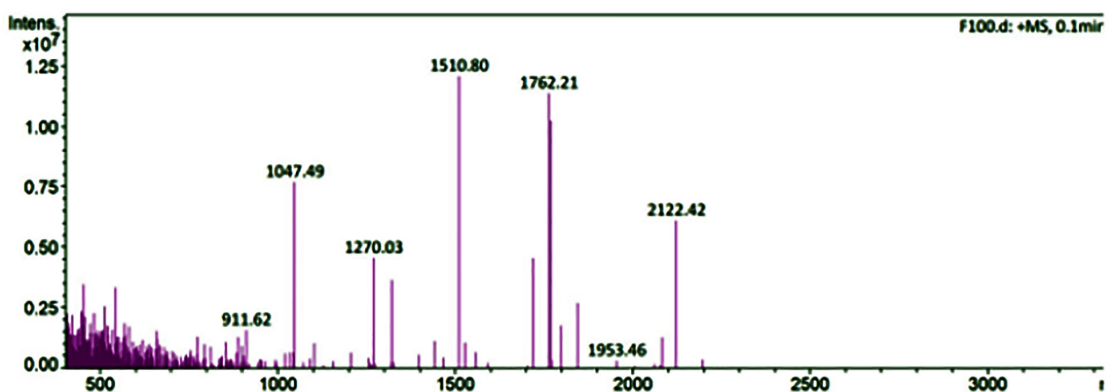


Рисунок 1 – Фракционный состав белка внутренностей охлажденной горбуши
Figure 1 – Fractional composition of protein in the chilled pink salmon innards



а)



б)

а) фракция 1 (fraction 1); б) фракция 2 (fraction 2)

Рисунок 2 – Масс-спектры белковых фракций внутренностей охлажденной горбуши
Figure 2 – Mass spectra of protein fractions of the chilled pink salmon innards

Таблица 1 – Характеристика (аминокислотная последовательность и молекулярная масса) белковых фракций внутренностей охлажденной горбуши
Table 1 – Characteristics (amino acid sequence and molecular weight) of protein fractions of the chilled pink salmon innards

Наименование белковой фракции	Аминокислотная последовательность	Молекулярная масса, кДа
Фракция 1	TCSEEQEKANCFQTKAEPFIYYLKYDGC CEGDVVQCIRGECIYSNKDLLKECCNM ENPPECYRECCNMENPPECYRHAENRSL KIVQRLAAKSQAATCCEEQEKANCFQTK AEPFIYYLKYDGCCEGDVVQCIRGECIY SNKDLLKECCNMENPPECYRECCNMEN PPECYRHAENRSLKIVQRLAAKSQAA	2,12
Фракция 2	HFSKAKTL DANQEITDLESKTEDLDLPE ENQASEDYRTAKRPLEREGMVSIMSFRE NSDYQPVKLQGTLPVEARGNPPPIYRGNP PIYRFWKGDLYHYKMSDKISTSEEVCSF HLKIETRAGEAAAERDAEITFIK	2,20

пептидомическим анализом, основанным на масс-спектрометрии, который является чувствительным инструментом для систематического картирования пептидного пространства (пептидома).

Прогнозирование гидролиза позволит из неактивных белков-предшественников (фракции 1 и 2) получить более короткие активные формы (пептиды), а также множество неактивных продуктов распада белка и свободные аминокислоты. Применение пептидомического анализа на основе масс-спектрометрии фракций 1 и 2 позволит провести мониторинг содержания уже известных пептидов в данных фракциях. В тоже время использование его в качестве инструмента для обнаружения новых биоактивных пептидов представляет собой серьезную проблему типа «иголка в стогу сена», заключающуюся в отделении небольшого набора реальных биоактивных пептидов от обширного фона наблюдаемых продуктов распада и неактивных предшественников, так как

количество уникальных пептидных последовательностей превышает возможности функционального тестирования. Следовательно, для продвижения в области открытия пептидов необходимо использовать прогнозируемый гидролиз.

Заключение. В результате исследований в побочных продуктах переработки рыбы выделены две белковые фракции, имеющие повторяющиеся последовательности аминокислот, что возможно свидетельствует о их биологической активности. Чтобы расширить возможности по идентификации потенциальных биоактивных пептидов в исследуемых белковых фракциях следует провести прогнозирование биоактивности (*in silico*) аминокислотного состава, что позволит идентифицировать известные и выделить ряд новых биопептидов. Использование модели скрининга пептидов позволит сократить количество тестов по определению и подтверждению их биоактивности в экспериментах *in vitro* и *in vivo*.

Список источников

1. Islam M. S., Khan S., Tanaka M. Waste loading in shrimp and fish processing effluents: potential source of hazards to the coastal and nearshore environments // *The Marine Pollution Bulletin*. 2004. Vol. 49. No. 1–2. P. 103–110. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.01.018>.
2. Arvanitoyannis I. S., Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses // *International Journal of Food Science and Technology*. 2008. Vol. 43. P. 726–745. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01513.x>.
3. He S., Franco C., Zhang W. Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP) // *Journal Food Research International*. 2013. Vol. 50. No. 1. P. 289–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.031>.
4. Ghaly A. E., Ramakrishnan V. V., Brooks M. S., Budge S. M., Dave D. Fish processing wastes as a potential source of proteins: amino acids oils a critical review // *Journal of Microbial and Biochemical Technology*. 2013. Vol. 5. No. 4. P. 107–129. <http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.1000110>.
5. Mutalipassi M., Esposito R., Ruocco N., Viel T., Costantini M., Zupo V. Bioactive compounds of nutraceutical value from fishery and aquaculture Discards // *Foods*. 2021. Vol. 10. No. 7. P. 1495. <https://doi.org/10.3390/foods10071495>.
6. Chanalia P., Gandhi D., Attri P., Dhanda S. Extraction, purification and characterization of low molecular weight Proline iminopeptidase from probiotic *L. plantarum* for meat tenderization // *International Journal of Biological Macromolecules*. 2018. Vol. 109. P. 651–663. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.092>.
7. Shirai K., Ramírez-Ramírez J. C. Utilization of fish processing by-products for bioactive compounds // Hall G. M. (Eds.). *Fish processing – Sustainability and New Opportunities*. Blackwell Publishing Ltd., 2011. 236 p.
8. Kristinsson H. G., Rasco B. A. Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties // *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2000. Vol. 40. No. 1. P. 43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>.
9. Гапонова Л. В., Логинова Т. Т., Першикова А. В., Решетник Е. И. Соя в лечебно-профилактическом и детском питании // *Молочная промышленность*. 1999. № 5. С. 25–27. EDN NVBNER.

10. Miftahutdinova E. A., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V. Development of lithium-containing feed additive and its use for fortification of chicken broilers meat and by-products // *Theory and Practice of Meat Processing*. 2020. Vol. 5. No. 1. P. 27–31. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-27-31>.

11. Liang Zh., Yi M., Sun J., Zhang T., Wen R., Li Ch., Reshetnik E. I., Griбанова S. L. [et al.]. Physicochemical properties and volatile profile of mung bean flour fermented by *Lacticaseibacillus casei* and *Lactococcus lactis* // *Food Science and Technology*. 2022. Vol. 163. P. 113565. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113565>.

References

1. Islam M. S., Khan S., Tanaka M. Waste loading in shrimp and fish processing effluents: potential source of hazards to the coastal and nearshore environments. *The Marine Pollution Bulletin*, 2004;49;1–2:103–110. <https://doi.org/10.1016/j.marpolbul.2004.01.018>.

2. Arvanitoyannis I. S., Kassaveti A. Fish industry waste: treatments, environmental impacts, current and potential uses. *International Journal of Food Science and Technology*, 2008;43:726–745. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2006.01513.x>.

3. He S., Franco C., Zhang W. Functions, applications and production of protein hydrolysates from fish processing co-products (FPCP). *Journal Food Research International*, 2013;50;1:289–297. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.10.031>.

4. Ghaly A. E., Ramakrishnan V. V., Brooks M. S., Budge S. M., Dave D. Fish processing wastes as a potential source of proteins: amino acids oils a critical review. *Journal of Microbial and Biochemical Technology*, 2013;5;4:107–129. <http://dx.doi.org/10.4172/1948-5948.1000110>.

5. Mutalipassi M., Esposito R., Ruocco N., Viel T., Costantini M., Zupo V. Bioactive compounds of nutraceutical value from fishery and aquaculture Discards. *Foods*, 2021;10;7:1495. <https://doi.org/10.3390/foods10071495>.

6. Chanalia P., Gandhi D., Attri P., Dhanda S. Extraction, purification and characterization of low molecular weight Proline iminopeptidase from probiotic *L. plantarum* for meat tenderization. *International Journal of Biological Macromolecules*, 2018;109:651–663. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.12.092>.

7. Shirai K., Ramírez-Ramírez J. C. Utilization of fish processing by-products for bioactive compounds. In: Hall G. M. (Eds.). *Fish processing – Sustainability and New Opportunities*, Blackwell Publishing Ltd., 2011, 236 p.

8. Kristinsson H. G., Rasco B. A. Fish protein hydrolysates: production, biochemical and functional properties. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 2000;40;1:43–81. <https://doi.org/10.1080/10408690091189266>.

9. Gaponova L. V., Loginova T. T., Pershikova A. V., Reshetnik E. I. Soybean in medical and preventive and children's nutrition. *Molochnaya promyshlennost'*, 1999;5:25–27. EDN NVBNEP (in Russ.).

10. Miftahutdinova E. A., Tikhonov S. L., Tikhonova N. V. Development of lithium-containing feed additive and its use for fortification of chicken broilers meat and by-products. *Theory and Practice of Meat Processing*, 2020;5;1:27–31. <https://doi.org/10.21323/2414-438X-2020-5-1-27-31>.

11. Liang Zh., Yi M., Sun J., Zhang T., Wen R., Li Ch., Reshetnik E. I., Griбанова S. L. [et al.]. Physicochemical properties and volatile profile of mung bean flour fermented by *Lacticaseibacillus casei* and *Lactococcus lactis*. *Food Science and Technology*, 2022;163:113565. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113565>.

© ТИХОНОВ С. Л., ТИХОНОВА Н. В., 2024

Статья поступила в редакцию 25.10.2024; одобрена после рецензирования 16.11.2024; принята к публикации 22.11.2024.

The article was submitted 25.10.2024; approved after reviewing 16.11.2024; accepted for publication 22.11.2024.

Информация об авторах

Тихонов Сергей Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет; профессор кафедры пищевой инженерии и аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет, tihonov75@bk.ru;

Тихонова Наталья Валерьевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой инженерии и аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет

Information about the authors

Sergey L. Tikhonov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forestry University; Professor of the Department of Food Engineering and Agricultural Production, Ural State Agrarian University, tihonov75@bk.ru;

Natalya V. Tikhonova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering and Agricultural Production, Ural State Agrarian University

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 543.645.6

EDN ULTFPB

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-120-129>

**Биологически активный гипохолестеринемический пищевой пептид:
показатели медицинской химии, биодоступности, распределения и метаболизма**

**Сергей Леонидович Тихонов¹, Наталья Валерьевна Тихонова²,
Мария Сергеевна Тимофеева³, Сергей Валерьевич Шихалев⁴**

¹ Уральский государственный лесотехнический университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

^{1,2} Уральский государственный аграрный университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

³ Уральский государственный медицинский университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

⁴ Уральский государственный экономический университет
Свердловская область, Екатеринбург, Россия

¹ tihonov75@bk.ru, ⁴ sershih@rambler.ru

Аннотация. Проведены исследования по прогнозированию физико-химических характеристик и показателей медицинской химии гипохолестеринемического пищевого пептида, отвечающих за его распределение, биодоступность и метаболизм. В качестве объекта использован синтезированный новый гипохолестеринемический пептид с последовательностью аминокислот СНАЕСГААСКЕFCLEG. Прогнозируемая молекулярная масса пептида составляет 1 669,64 Да, фактическое значение молекулярной массы у синтезированного пептида – 1 670 Да, что свидетельствует о его соответствии прогнозируемым характеристикам. Пептид является липофильным, имеет оптимальные фармакокинетические профили и профили безопасности. Показатель рКа составляет 1,382 ед. и ниже базового (5,199 ед.) в 3,76 раза, что свидетельствует о высокой биодоступности пептида. Анализ молекулярных дескрипторов: доля атомов углерода sp³ (Fsp³) составляет 0,771 ед. при оптимальном значении более 0,43 ед., что свидетельствует о слабой коллоидной агрегации, высокой биодоступности. Исследуемый пептид хорошо растворяется в биологических жидкостях, находится в несвязанном состоянии, не образует коллоидную агрегацию, способен достигать клеток-мишеней, что позволяет утверждать о его биодоступности и высокой биологической эффективности.

Ключевые слова: гипохолестеринемический пищевой пептид, биодоступность, метаболизм, физико-химическая характеристика, прогнозирование

Для цитирования: Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Тимофеева М. С., Шихалев С. В. Биологически активный гипохолестеринемический пищевой пептид: показатели медицинской химии, биодоступности, распределения и метаболизма // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 120–129. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-120-129>.

Original article

**Biologically active hypocholesterolemic food peptide:
indicators of medicinal chemistry, bioavailability, distribution and metabolism**

**Sergey L. Tikhonov¹, Natalya V. Tikhonova²,
Mariya S. Timofeeva³, Sergey V. Shikhalev⁴**

¹ Ural State Forestry University, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Russian Federation

^{1,2} Ural State Agrarian University, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Russian Federation

³ Ural State Medical University, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Russian Federation

⁴ Ural State University of Economics, Sverdlovsk region, Ekaterinburg, Russian Federation

¹ tihonov75@bk.ru, ⁴ sershih@rambler.ru

Abstract. Studies have been conducted to predict the physico-chemical characteristics and indicators of medicinal chemistry of a hypocholesterolenic food peptide responsible for its distribution, bioavailability and metabolism. The synthesized new hypocholesterolenic peptide with the amino acids sequence of CHAECGAACKKEFCLEG was used as an object. The predicted molecular weight of the peptide is 1 669.64 Da. The actual value of the synthesized peptide is 1 670 Da, which indicates that the synthesized peptide meets its predicted characteristics. The peptide is lipophilic, has optimal pharmacokinetic and safety profiles. The index of pKa is 1,382 units and lower than the base (5,199 units) by 3.76 times, which indicates a high bioavailability of the peptide. Analysis of molecular descriptors: the proportion of carbon atoms sp³ (Fsp³) is 0.771 units with an optimal value of more than 0.43 units, which indicates weak colloidal aggregation, high bioavailability. The studied peptide is well soluble in biological fluids, is in an unbound state, does not form colloidal aggregation, and is able to reach target cells, which indicates its bioavailability and high biological efficiency.

Keywords: hypocholesterolenic food peptide, bioavailability, metabolism, physico-chemical characteristics, prediction

For citation: Tikhonov S. L., Tikhonova N. V., Timofeeva M. S., Shikhalev S. V. Biologically active hypocholesterolenic food peptide: indicators of medicinal chemistry, bioavailability, distribution and metabolism. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:120–129. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-120-129>.

Введение. Высокий уровень холестерина и липопротеидов низкой плотности (ЛПНП) в крови человека является одной из причин развития многих сердечно-сосудистых заболеваний. Регулировать уровень холестерина и его эндогенного синтеза можно путем потребления пищевых веществ с заданными свойствами.

Для регуляции уровня холестерина в организме созданы биологически активные вещества, обладающие антихолестеринемическими свойствами, ограничивающие его всасывание. Но такие функциональные ингредиенты не способны ингибировать биосинтез холестерина, что предполагает необходимость проведения дальнейших исследований.

Некоторые пептиды способны снижать уровень холестерина в крови. Регуляция синтеза холестерина в организме происходит под действием фермента 3-гидрокси-3-метилглутарилкоэнзим А редуктаза (HMGCR). Подтверждение эффективности гипохолестеринемических веществ *in vitro* проводится путем их влияния на активность вышеуказанного фермента [1].

Пептиды, в частности LPY, выделенный из трипсинового и пепсинового гидролизатов соевого белка, ингибируют активность HMGCR. Кроме того, последовательности пептидов AVPTGVA, IAVPT,

IAVPP всасываются в кровь через стенки кишечника и устойчивы к протеолитическому гидролизу.

Вопросам применения сои в лечебно-профилактическом питании посвящена работа [2].

По данным работы [3], фракции глобулинов сои обладают гипохолестеринемическим действием. Так, 7s глобулин показал высокую эффективность в эксперименте на лабораторных животных. В результате введения в рацион крысам с гиперхолестеринемией 7s глобулина отмечается снижение количества ЛПНП, холестерина и триглицеридов [3], общего количества липидов в плазме животных и повышение активности рецепторов клеток печени – β-ЛПОНП [4]. Пептидная последовательность IAVPGEVA способна снижать активность HMGCR и стимулировать переход холестерина сыворотки крови в желчные кислоты, за счет связывания последних [5]. Пептидная последовательность WGAPS, выделенная из алкального гидролизата белка сои, способствует снижению уровня холестерина в организме лабораторных животных [6].

В работе [7] установлено, что гидролизат семян бобовых снижает холестеринемия у лабораторных животных, что обеспечивается усилением активности

рецепторов ЛПНП. Трипсиновый гидролизат люпина способен регулировать метаболизм холестерина в культурах клетках эпителия кишечника человека за счет ослабления выделения фермента пропротеин конвертазы субтилизин [7].

Биопептид лунасин обладает доказанной гипохолестеринемической активностью. Механизм его действия заключается в ингибировании ацетилирования гистонов и ослаблении секреции фермента HMGCR, а также повышении активности рецептора ЛПНП, что обеспечивает снижение содержания ЛПНП в крови [8]. Пептид СРe-III, выделенный из гидролизата белка нута, при пероральном применении лабораторным животным с гиперлипидемией способствует снижению холестерина в крови и липидов в клетках печени [9].

Авторами работы [10] разработаны мясопродукты с мукой из нута, а также даны рекомендации для геродиетического питания.

В экспериментах на лабораторных животных установлено, что ферментативные гидролизаты фасоли обыкновенной обладают гипохолестеринемической активностью [11].

В эксперименте *in vitro* показано, что пептиды из белков гороха обладают гипохолестеринемической активностью, способны снижать солубилизацию холестерина в мицеллах. При моделировании биологической активности *in silico* установлено, что пептиды могут ингибировать HMGCR путем связывания и модификации его активного сайта [12].

Помимо гипохолестеринемической активности, различные ферментативные гидролизаты белков снижают активность липазы, что приводит к гиполипидемическим эффектам [13]. В работе [14] экспериментами *in vitro* доказано, что пептиды ингибируют накопления липидов в клетках 3T3-L1 адипоцитов.

Множество исследований подтверждают гипохолестеринемическую активность пептидов в экспериментах *in vitro*, но в тоже время это не свидетельствует об их высокой эффективности в доклинических исследованиях по причинам протеолитического действия ферментов желудочно-кишечного тракта на пептиды,

низкой биодоступности, гидрофильности, липофильности и других факторов. В связи с этим целесообразно прогнозировать возможность и эффективность применения гипохолестеринемических пептидов в качестве функциональных ингредиентов пищевой продукции.

Целью исследований является прогнозирование физико-химических характеристик и показателей медицинской химии гипохолестеринемического пищевого пептида, отвечающих за его распределение, биодоступность и метаболизм.

Методы исследований. В качестве объекта использован синтезированный новый гипохолестеринемический пептид со следующей последовательностью аминокислот: СНАЕСГААСКЕFCLEG.

Хроматограмма пептида, подтверждающая наличие указанных аминокислот, представлена на рисунке 1.

Молекулярно-массовое распределение и последовательность остатков аминокислот в данном пептиде представлены на рисунке 2.

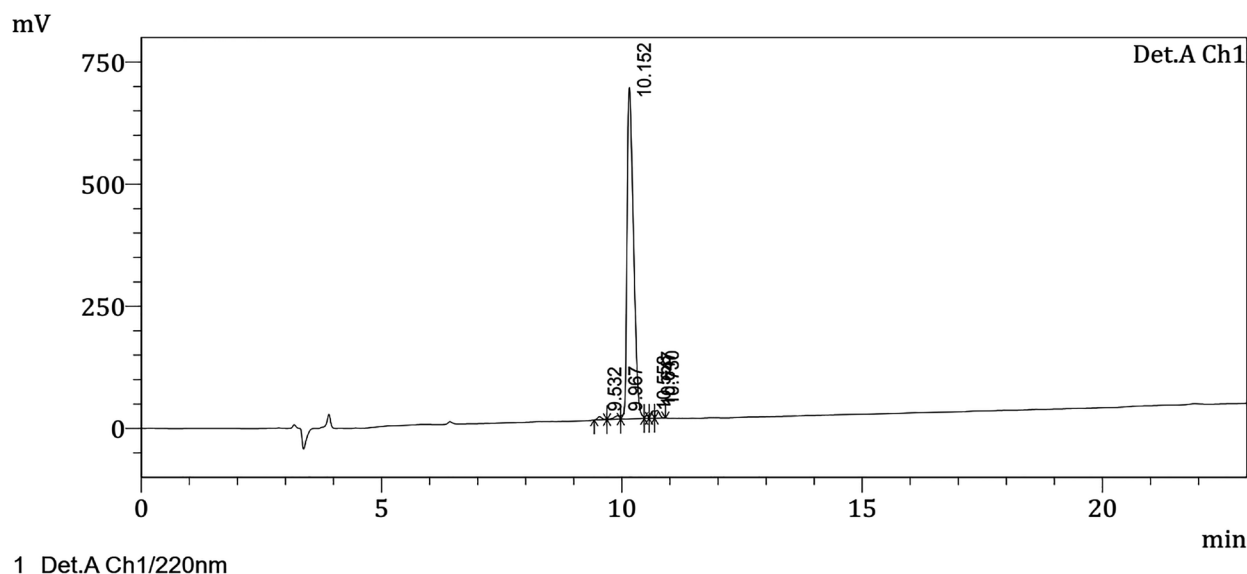
Прогнозирование показателей медицинской химии, биодоступности, распределения и метаболизма пептида проводили на платформе ADMET1 ab 3 (<https://admetlab3.scbdd.com/documentation/#/>).

Результаты исследований и их обсуждение. В таблице 1 представлены результаты прогнозирования физико-химических свойств исследуемого пептида.

Прогнозируемая молекулярная масса пептида равна 1 669,64 Да, а ее фактическое значение у синтезированного пептида достигает 1 670 Да. Это свидетельствует о соответствии синтезированного пептида его прогнозируемым характеристикам.

Липофильность – фундаментальное физическое свойство, которое существенно влияет на различные аспекты поведения лекарственных средств, включая растворимость, проницаемость, метаболизм, распределение, связывание с белками и токсичность.

Приведенные результаты показывают, что пептид является липофильным ($\log P = -1,47$ моль/л), хорошо растворяется в воде и *n*-октаноле и будет равномерно распределяться по биологическим тканям.



1 Det.A Ch1/220nm

Рисунок 1 – Хроматограмма пептида CHAECGAACKKEFCLEG
Figure 1 – Chromatogram of the peptide CHAECGAACKKEFCLEG

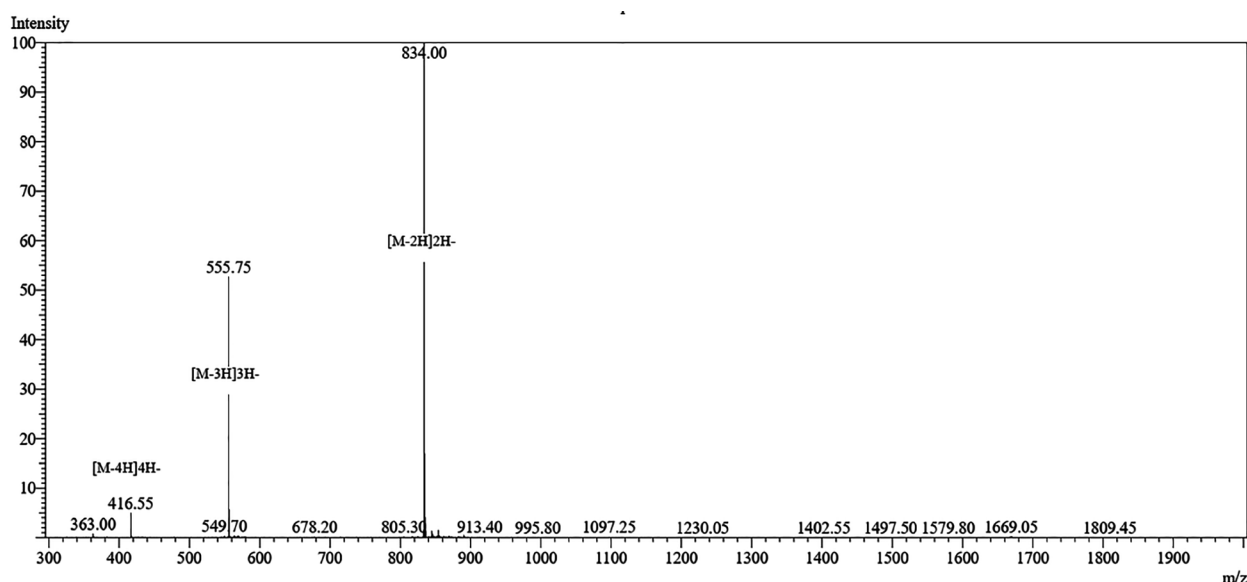


Рисунок 2 – Масс-спектр пептида CHAECGAACKKEFCLEG
Figure 2 – Mass spectrum of the peptide CHAECGAACKKEFCLEG

Таблице 1 – Результаты прогнозирования физико-химических характеристик пептида CHAECGAACKKEFCLEG

Table 1 – Results of prediction of the physico-chemical characteristics of the peptide CHAECGAACKKEFCLEG

Показатели	Значения
Молекулярная масса, Да	1 669,64
logP, моль/л	-1,47
logD7.4, логарифмических молей/л	0,067
pKa (кислота), ед.	1,382
pKa (базовый), ед.	5,199

$\log P$ описывает дифференциальную растворимость нейтрального соединения в *n*-октаноле и воде, но большинство действующих начал характеризуются наличием ионизируемых групп. Поэтому, более информативен показатель $\log D$, зависящий от pH и определяющий липофильность веществ с ионизируемыми группами. При этом наибольшее внимание заслуживает показатель $\log D_{7.4}$, отражающий липофильность в физиологическом растворе. По данным работы [15], $\log D_{7.4}$ учитывается в комплексе с другими показателями из «Правила 5», в котором отсутствует показатель $\log P$.

Установлено, что соединения с умеренными значениями $\log D_{7.4}$ демонстрируют оптимальные фармакокинетические профили и профили безопасности, что обеспечивает высокую терапевтическую эффективность [16].

В целом, $\log D_{7.4}$ играет решающую роль в поиске лекарств, обеспечивая более полную оценку липофильности препарата по сравнению с обычно используемым значением $\log P$. Точное прогнозирование липофильности определяется значением $\log D_{7.4}$ (коэффициент распределения между *n*-октанолом и буфером при физиологическом pH = 7,4) и имеет решающее значение для успешного открытия и разработки биологически активных веществ белковой природы [17].

$\log D_{7.4}$ у исследуемого пептида составляет 0,067 логарифмических молей/л, что свидетельствует об оптимальном значении липофильности. Это обеспечивает высокую биодоступность и необходимый биологический эффект.

Константа кислотной диссоциации (pK_a) представляет константу равновесия, определяемую как отрицательный логарифм отношения протонированных и депротонированных компонентов в растворителе. В отличие от $\log P$, который не учитывает форму ионизации молекулы, pK_a предоставляет информацию о состоянии ионизации соединения и его емкости, которую учитывает $\log D_{7.4}$. Следовательно, существует корреляция между $\log D_{7.4}$, $\log P$ и pK_a . В этой связи нужно учитывать все перечисленные показатели [18].

Авторы работ [19, 20] используют многозадачное обучение для одновременного изучения задач $\log D$ и $\log P$, что приводит к улучшению качества прогнозирования по сравнению с изучением $\log D_{7.4}$.

В приведенном исследовании показатель pK_a составляет 1,382 ед. и ниже базового (5,199 ед.) в 3,76 раза, что свидетельствует о высокой биодоступности изучаемого пептида и согласуется с исследованиями работы [21], в которых установлено, что для органического вещества характерна высокая всасываемость при pK_a ниже базового.

В таблице 2 приведены результаты прогнозирования показателей *медицинской химии анализируемого пептида*.

При микромолярных и субмикромолярных концентрациях различные органические молекулы могут образовывать коллоидные агрегаты [22]. Такое состояние, которое является промежуточным между истинным раствором и осадком, может приводить к неспецифическим эффектам анализа за счет секвестрации, денатурации или изменения конформации

Таблица 2 – Результаты прогнозирования показателей медицинской химии пептида СНАЕСГААСКЕFCLEG

Table 2 – Results of prediction of the medicinal chemistry indicators of the peptide СНАЕСГААСКЕFCLEG

Показатели	Значения
Fsp ³ , ед.	0,771
MCE-18, ед.	109,660
NPscore, ед.	0,127
Ингибиторы FLuc Inhibitors, ед.	0,000
Синяя флуоресценция, ед.	0,334
Разнородные соединения, ед.	0,001

целевого белка. К сожалению, коллоидная агрегация, несомненно, является реальной проблемой для открытия и разработки биовеществ. Более глубокое понимание взаимодействия между различными физико-химическими свойствами и молекулярными особенностями, родственными коллоидной агрегации, важно не только для молекулярного дизайна и оптимизации биовеществ, но и для измерения их биоактивности, создания и доставки.

Доля атомов углерода sp^3 (F_{sp^3}) составляет 0,771 ед. при оптимальном более 0,43 ед. Это свидетельствует о слабой коллоидной агрегации, высокой биодоступности и согласуется с результатами прогнозирования гидрофобности, липофильности и др.

Показатель MCE-18 достигает 109,66 ед. и свидетельствует о высокой новизне исследуемого пептида, соответствия его тенденциям по созданию биологически активных белковых молекул.

По показателю NPscore судят о сходстве исследуемого вещества с натуральным. Вещество имеет сходство при значениях NPscore от минус 5 до 5. У исследуемого пептида данный показатель находится на уровне 0,127 ед, что позволяет утверждать о его высокой биоактивности, так как природные пептиды, как правило, имеют структуру, обеспечивающую необходимую биологическую активность.

Одним из важных показателей при исследовании пептида является ингибитор FLuc, показывающий поглощение, флуоресценцию и люминесценцию веществ,

которые используются для мониторинга клеточных событий, связанных с передачей сигнала, экспрессией генов, а также прогрессированием заболевания [23, 24]. Значение ингибитора FLuc у пептида равно нулю и свидетельствует, что его введение в организм не повлияет на результаты мониторинга клеточной прогрессии, цитотоксичности, экспрессии генов и клеточных событий, имеющих отношение к регуляторному элементу, факторам транскрипции и активности биоактивных соединений.

Наличие пептида в крови и метаболизм можно определить в результате его синей флуоресценции, так как данный показатель находится на уровне 0,334 ед.

Показатель разнородных соединений у пептида равен нулю и говорит о его способности не образовывать агрегатные состояния, находиться в свободном состоянии и достигать клеток-мишеней.

Заключение. В результате прогнозирования физико-химических характеристик и показателей медицинской химии гипохолестеринемического пищевого пептида, отвечающих за его распределение, биодоступность и метаболизм установлено, что исследуемый пептид является липофильным, хорошо растворяется в биологических жидкостях, находится в несвязанном состоянии, не образует коллоидную агрегацию, способен достигать клеток-мишеней.

Указанное позволяет утверждать о его биодоступности и высокой биологической эффективности.

Список источников

1. Gil-Ramirez A., Morales D., Soler-Rivas C. Molecular actions of hypocholesterolaemic compounds from edible mushrooms // Food and Function. 2018. Vol. 9. No. 1. P. 63–69. <https://doi.org/10.1039/c7fo00835j>.
2. Гапонова Л. В., Логинова Т. Т., Першикова А. В., Решетник Е. И. Соя в лечебно-профилактическом и детском питании // Молочная промышленность. 1999. № 5. С. 25–27. EDN NVBNER.
3. Ferreira E. S., Silva M. A., Demonte A., Neves V. A. Soy β -conglycinin (7S globulin) reduces plasma and liver cholesterol in rats fed hypercholesterolemic diet // Journal of Medicinal Food. 2011. Vol. 14. No. 1–2. P. 94–100. <https://doi.org/10.1089/jmf.2009.0204>.
4. Duranti M., Lovati M. R., Dani V., Barbiroli A., Scafaroni A., Castiglioni S. [et al.]. The alpha' subunit from soybean 7S globulin lowers plasma lipids and upregulates liver beta-VLDL receptors in rats fed a hypercholesterolemic diet // The Journal of Nutrition. 2004. Vol. 134. No. 6. P. 1334–1339. <https://doi.org/10.1093/jn/134.6.1334>.

5. Pak V. V., Koo M. S., Kasymova T. D., Kwon D. Y. Isolation and identification of peptides from soy 11S-globulin with hypocholesterolemic activity // *Chemistry of Natural Compounds*. 2005. Vol. 41. P. 710–714. <https://doi.org/10.1007/s10600-006-0017-6>.
6. Zhong F., Zhang X., Ma J., Shoemaker C. F. Fractionation and identification of a novel hypocholesterolemic peptide derived from soy protein Alcalase hydrolysates // *Food Research International*. 2007. Vol. 40. No. 6. P. 756–762. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.01.005>.
7. Lammi C., Zanoni C., Ferruza S., Ranaldi G., Sambuy Y., Arnoldi A. Hypocholesterolaemic activity of lupin peptides: Investigation on the crosstalk between human enterocytes and hepatocytes using a co-culture system including Caco-2 and HepG2 cell // *Nutrients*. 2016. Vol. 8. No. 7. P. 437. <https://doi.org/10.3390/nu8070437>.
8. Lule V. K., Garg S., Pophaly S. D., Tomar S. K. Potential health benefits of lunasin: A multifaceted soy-derived bioactive peptide // *Journal of Food Science*. 2015. Vol. 80. No. 3. P. R485–R494. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12786>.
9. Xue Z., Hou X., Yu W., Wen H., Zhang Q., Li D. [et al.]. Lipid metabolism potential and mechanism of CPe-III from chickpea (*Cicer arietinum* L.) // *Food Research International*. 2018. Vol. 104. P. 126–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.016>.
10. Решетник Е. И., Шарипова Т. В., Максимюк В. А. Возможность использования нутовой муки в производстве мясорастительных полуфабрикатов для геродиетического питания // *Дальневосточный аграрный вестник*. 2014. № 1 (29). С. 48–51. EDN TMWSRL.
11. Gomes M. J. C., Lima S. L. S., Alves N. E. G., Assis A., Moreira M. E. C., Toledo R. C. L. Common bean protein hydrolysate modulates lipid metabolism and prevents endothelial dysfunction in BALB/c mice fed an atherogenic diet // *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*. 2020. Vol. 30. No. 1. P. 141–150. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2019.07.020>.
12. Marques M. R., Fontanari G. G., Pimenta D. C., Soares-Freitas R. M., Areas J. A. G. Proteolytic hydrolysis of cowpea proteins is able to release peptides with hypocholesterolemic activity // *Food Research International*. 2015. Vol. 77. Part 1. P. 43–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.020>.
13. Bautista-Exposito S., Peñas E., Dueñas M., Silvan J. M., Frias J., Martinez-Villaluenga C. Individual contributions of *Savinase* and *Lactobacillus plantarum* to lentil functionalization during alkaline pH-controlled fermentation // *Food Chemistry*. 2018. Vol. 257. P. 341–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.044>.
14. Moreno-Valdespino C. A., Luna-Vital D., Camacho-Ruiz R. M., Mojica L. Bioactive proteins and phytochemicals from legumes: Mechanisms of action preventing obesity and type-2 diabetes // *Food Research International*. 2020. Vol. 130. P. 108905. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108905>.
15. Bhal S. K., Kassam K., Peirson I. G., Pearl G. M. The rule of five revisited: applying logD in place of logP in drug-likeness filters // *Molecular Pharmaceutics*. 2007. Vol. 4. No. 4. P. 556–560. <https://doi.org/10.1021/mp0700209>.
16. Arnott J. A., Planey S. L. The influence of lipophilicity in drug discovery and design // *Expert Opinion on Drug Discovery*. 2012. Vol. 7. No. 10. P. 863–875. <https://doi.org/10.1517/17460441.2012.714363>.
17. Wang Y., Xiong J., Xiao F., Zhang W., Cheng K., Rao J. [et al.]. LogD7.4 prediction enhanced by transferring knowledge from chromatographic retention time, microscopic pKa and logP // *Journal of Cheminformatics*. 2023. Vol. 15. No. 1. P. 76. <https://doi.org/10.1186/s13321-023-00754-4>.
18. Bergazin T. D., Tielker N., Zhang Y., Mao J., Gunner M. R., Francisco K. Evaluation of logP, pK(a), and logD predictions from the SAMPL7 blind challenge // *Journal of Computer-Aided Molecular Design*. 2021. Vol. 35. P. 771–802. <https://doi.org/10.1007/s10822-021-00397-3>.
19. Lukashina N., Alenicheva A., Vlasova E., Kondiukov A., Khakimova A., Magerramov E. Lipophilicity prediction with multitask learning and molecular substructures representation // *Machine Learning for Molecules at NeurIPS'2020*, 2020. <https://doi.org/10.4855/arXiv.2011.1211733>.

20. Wieder O., Kuenemann M., Wieder M., Seidel T., Meyer C., Bryant S. D. [et al.]. Improved lipophilicity and aqueous solubility prediction with composite graph neural networks // *Molecules*. 2021. Vol. 26. No. 20. P. 6185. <https://doi.org/10.3390/molecules26206185>.
21. Wu J., Wan Y., Wu Z., Zhang S., Cao D., Hsieh C. Y. [et al.]. MF-SuP-pKa: Multi-fidelity modeling with subgraph pooling mechanism for pKa prediction // *Acta Pharmaceutica Sinica B*. 2023. Vol. 13. No. 6. P. 2572–2584. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2022.11.010>.
22. Duan D., Torosyan H., Elnatan D., McLaughlin C. K., Logie J., Shoichet M. S. [et al.]. Internal structure and preferential protein binding of colloidal aggregates // *ACS Chemical Biology*. 2017. Vol. 12. No. 1. P. 282–290. <https://doi.org/10.1021/acschembio.6b00791>.
23. Thorne N., Inglese J., Auld D. S. Illuminating insights into firefly luciferase and other bioluminescent reporters used in chemical biology // *Chemistry and Biology*. 2010. Vol. 17. No. 6. P. 646–657. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2010.05.012>.
24. Mengqi P., Zifu Zh., Song Ch., Reshetnik E. I., Gribanova S. L., Chun L. [et al.]. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08 // *Food Bioscience*. 2022. Vol. 46. P. 101590. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101590>.

References

1. Gil-Ramirez A., Morales D., Soler-Rivas C. Molecular actions of hypocholesterolaemic compounds from edible mushrooms. *Food and Function*, 2018;9;1:63–69. <https://doi.org/10.1039/c7fo00835j>.
2. Gaponova L. V., Loginova T. T., Pershikova A. V., Reshetnik E. I. Soybean in medical and preventive and children's nutrition. *Molochnaya promyshlennost'*, 1999;5:25–27. EDN NVBNEP (in Russ.).
3. Ferreira E. S., Silva M. A., Demonte A., Neves V. A. Soy β -conglycinin (7S globulin) reduces plasma and liver cholesterol in rats fed hypercholesterolemic diet. *Journal of Medicinal Food*, 2011;14;1–2:94–100. <https://doi.org/10.1089/jmf.2009.0204>.
4. Duranti M., Lovati M. R., Dani V., Barbiroli A., Scafaroni A., Castiglioni S. [et al.]. The alpha' subunit from soybean 7S globulin lowers plasma lipids and upregulates liver beta-VLDL receptors in rats fed a hypercholesterolemic diet. *The Journal of Nutrition*, 2004;134;6:1334–1339. <https://doi.org/10.1093/jn/134.6.1334>.
5. Pak V. V., Koo M. S., Kasymova T. D., Kwon D. Y. Isolation and identification of peptides from soy 11S-globulin with hypocholesterolemic activity. *Chemistry of Natural Compounds*, 2005;41:710–714. <https://doi.org/10.1007/s10600-006-0017-6>.
6. Zhong F., Zhang X., Ma J., Shoemaker C. F. Fractionation and identification of a novel hypocholesterolemic peptide derived from soy protein Alcalase hydrolysates. *Food Research International*, 2007;40;6:756–762. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2007.01.005>.
7. Lammi C., Zanoni C., Ferruzza S., Ranaldi G., Sambuy Y., Arnoldi A. Hypocholesterolaemic activity of lupin peptides: Investigation on the crosstalk between human enterocytes and hepatocytes using a co-culture system including Caco-2 and HepG2 cell. *Nutrients*, 2016;8;7:437. <https://doi.org/10.3390/nu8070437>.
8. Lule V. K., Garg S., Pophaly S. D., Tomar S. K. Potential health benefits of lunasin: A multifaceted soy-derived bioactive peptide. *Journal of Food Science*, 2015;80;3:R485–R494. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.12786>.
9. Xue Z., Hou X., Yu W., Wen H., Zhang Q., Li D. [et al.]. Lipid metabolism potential and mechanism of CPe-III from chickpea (*Cicer arietinum* L.). *Food Research International*, 2018;104:126–133. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2017.03.016>.
10. Reshetnik E. I., Sharipova T. V., Maksimyuk V. A. Possibility of application chick-pea flour in the production of meat-vegetable prepared foods for elderly nutrition. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2014;1(29):48–51. EDN TMWSRL (in Russ.).
11. Gomes M. J. C., Lima S. L. S., Alves N. E. G., Assis A., Moreira M. E. C., Toledo R. C. L. Common bean protein hydrolysate modulates lipid metabolism and prevents endothelial dysfunction

in BALB/c mice fed an atherogenic diet. *Nutrition, Metabolism and Cardiovascular Diseases*, 2020; 30;1:141–150. <https://doi.org/10.1016/j.numecd.2019.07.020>.

12. Marques M. R., Fontanari G. G., Pimenta D. C., Soares-Freitas R. M., Areas J. A. G. Proteolytic hydrolysis of cowpea proteins is able to release peptides with hypocholesterolemic activity. *Food Research International*, 2015;77;1:43–48. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.04.020>.

13. Bautista-Exposito S., Peñas E., Dueñas M., Silvan J. M., Frias J., Martínez-Villaluenga C. Individual contributions of *Savinase* and *Lactobacillus plantarum* to lentil functionalization during alkaline pH-controlled fermentation. *Food Chemistry*, 2018;257:341–349. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.03.044>.

14. Moreno-Valdespino C. A., Luna-Vital D., Camacho-Ruiz R. M., Mojica L. Bioactive proteins and phytochemicals from legumes: Mechanisms of action preventing obesity and type-2 diabetes // *Food Research International*, 2020;130:108905. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2019.108905>.

15. Bhal S. K., Kassam K., Peirson I. G., Pearl G. M. The rule of five revisited: applying logD in place of logP in drug-likeness filters. *Molecular Pharmaceutics*, 2007;4;4:556–560. <https://doi.org/10.1021/mp0700209>.

16. Arnott J. A., Planey S. L. The influence of lipophilicity in drug discovery and design. *Expert Opinion on Drug Discovery*, 2012;7;10:863–875. <https://doi.org/10.1517/17460441.2012.714363>.

17. Wang Y., Xiong J., Xiao F., Zhang W., Cheng K., Rao J. [et al.]. LogD7.4 prediction enhanced by transferring knowledge from chromatographic retention time, microscopic pKa and logP. *Journal of Cheminformatics*, 2023;15;1:76. <https://doi.org/10.1186/s13321-023-00754-4>.

18. Bergazin T. D., Tielker N., Zhang Y., Mao J., Gunner M. R., Francisco K. Evaluation of logP, pK(a), and logD predictions from the SAMPL7 blind challenge. *Journal of Computer-Aided Molecular Design*, 2021;35:771–802. <https://doi.org/10.1007/s10822-021-00397-3>.

19. Lukashina N., Alenicheva A., Vlasova E., Kondiukov A., Khakimova A., Magerramov E. Lipophilicity prediction with multitask learning and molecular substructures representation. In: *Machine Learning for Molecules at NeurIPS'2020*, 2020. <https://doi.org/10.4855/arXiv.2011.1211733>.

20. Wieder O., Kuenemann M., Wieder M., Seidel T., Meyer C., Bryant S. D. [et al.]. Improved lipophilicity and aqueous solubility prediction with composite graph neural networks. *Molecules*, 2021;26;20:6185. <https://doi.org/10.3390/molecules26206185>.

21. Wu J., Wan Y., Wu Z., Zhang S., Cao D., Hsieh C. Y. [et al.]. MF-SuP-pKa: Multi-fidelity modeling with subgraph pooling mechanism for pKa prediction. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 2023;13;6:2572–2584. <https://doi.org/10.1016/j.apsb.2022.11.010>.

22. Duan D., Torosyan H., Elnatan D., McLaughlin C. K., Logie J., Shoichet M. S. [et al.]. Internal structure and preferential protein binding of colloidal aggregates. *ACS Chemical Biology*, 2017;12;1:282–290. <https://doi.org/10.1021/acscchembio.6b00791>.

23. Thorne N., Inglese J., Auld D. S. Illuminating insights into firefly luciferase and other bioluminescent reporters used in chemical biology. *Chemistry and Biology*, 2010;17;6:646–657. <https://doi.org/10.1016/j.chembiol.2010.05.012>.

24. Mengqi P., Zifu Zh., Song Ch., Reshetnik E. I., Griбанова S. L., Chun L. [et al.]. Physicochemical properties and volatile components of pea flour fermented by *Lactobacillus rhamnosus* L08. *Food Bioscience*, 2022;46:101590. <https://doi.org/10.1016/j.fbio.2022.101590>.

© Тихонов С. Л., Тихонова Н. В., Тимофеева М. С., Шихалев С. В., 2024

Статья поступила в редакцию 25.10.2024; одобрена после рецензирования 17.11.2024; принята к публикации 25.11.2024.

The article was submitted 25.10.2024; approved after reviewing 17.11.2024; accepted for publication 25.11.2024.

Информация об авторах

Тихонов Сергей Леонидович, доктор технических наук, профессор кафедры химической технологии древесины, биотехнологии и наноматериалов, Уральский государственный лесотехнический университет; профессор кафедры пищевой инженерии и аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет, tihonov75@bk.ru;

Тихонова Наталья Валерьевна, доктор технических наук, профессор, заведующая кафедрой пищевой инженерии и аграрного производства, Уральский государственный аграрный университет;

Тимофеева Мария Сергеевна, студент, Уральский государственный медицинский университет;

Шихалев Сергей Валерьевич, кандидат технических наук, доцент кафедры пищевой инженерии, Уральский государственный экономический университет, sershih@rambler.ru

Information about the authors

Sergey L. Tikhonov, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Chemical Technology of Wood, Biotechnology and Nanomaterials, Ural State Forestry University; Professor of the Department of Food Engineering and Agricultural Production, Ural State Agrarian University, tihonov75@bk.ru;

Natalya V. Tikhonova, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Food Engineering and Agricultural Production, Ural State Agrarian University;

Mariya S. Timofeeva, Student, Ural State Medical University;

Sergey V. Shikhalev, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Food Engineering, Ural State University of Economics, sershih@rambler.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

Научная статья

УДК 631.372

EDN UVRPGT

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-130-135>

Теоретические предпосылки к определению сопротивления почвы воздействию деформатора

Сергей Александрович Шишлов¹, Александр Николаевич Шишлов²,
Дмитрий Сергеевич Шишлов³

^{1, 2, 3} Приморский государственный аграрно-технологический университет
Приморский край, Уссурийск, Россия

¹ sergey_a_shishlov@mail.ru

Аннотация. Проведение агротехнических операций на различных агрофонах и перевозка грузов сельскохозяйственного назначения по полям и полевым дорогам сопровождаются воздействием на почвенный покров колесных и гусеничных движителей тракторов, комбайнов, прицепов и других технических средств, принимающих участие в технологическом процессе возделывания и уборки сельскохозяйственных культур. Взаимодействие движителей с почвой обуславливает ее деформацию контактирующими рабочими элементами движителей, что в значительной мере влияет на сопротивление передвижению сельскохозяйственного агрегата. Для оценки способности почвы сопротивляться деформации предложен ряд зависимостей, в основу которых положена закономерность, оценивающая величину деформации почвы от приложенной нагрузки при вдавливании в нее штампа различных размеров. На деформацию почвы при воздействии на нее движителя имеет влияние целый ряд факторов: тип почвы, толщина плодородного слоя, наличие либо отсутствие переплетенной корневой системой растений дернового слоя, наличие либо отсутствие плотного глинистого подпахотного основания, влажность почвы, ее структурность и др. При оценке способности почвы деформироваться под нагрузкой, обусловленной погружением в нее движителей сельскохозяйственной техники, сложно учесть влияние всех факторов, принимающих участие в этом процессе. Однако представляется возможной оценка напряженного состояния почвы при внедрении в нее деформаторов путем анализа некоторых показателей, изменяющихся по мере увеличения глубины внедрения деформатора, а также анализа интенсивности изменения этих показателей. В данной статье предпринята попытка получения зависимости, всесторонне отражающей влияние почвенных условий на сопротивление вдавливанию движителя, а также приведены некоторые результаты исследований, направленных на разработку такой зависимости.

Ключевые слова: почва, деформация почвы, движитель, сопротивление, деформирующая нагрузка

Для цитирования: Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шишлов Д. С. Теоретические предпосылки к определению сопротивления почвы воздействию деформатора // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 4. С. 130–135. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-130-135>.

Original article

Theoretical prerequisites for calculating soil resistance to the action of a deformer

Sergey A. Shishlov¹, Aleksandr N. Shishlov², Dmitry S. Shishlov³

^{1, 2, 3} Primorsky State Agrarian and Technological University
Primorsky krai, Ussuriysk, Russian Federation

¹ sergey_a_shishlov@mail.ru

Abstract. Carrying out agrotechnical operations at various agrofons and transporting agricultural goods across fields and field roads is accompanied by the impact on the soil cover of wheeled and tracked tractors, combines, trailers and other technical means involved in the technological process of cultivation and harvesting of crops. The interaction of the movers with the soil is accompanied by its deformation by the contacting working elements of the movers, which significantly affects the resistance to movement of the agricultural unit. To assess the ability of the soil to resist deformation, a number of dependencies are proposed, based on a pattern that estimates the amount of soil deformation from the applied load when a stamp of various sizes is pressed into it. A number of factors influence the deformation of the soil when exposed to a mover: the type of soil, the thickness of the fertile layer, the presence or absence of a turf layer intertwined with the root system of plants, the presence or absence of a dense clay sub-arable base, soil moisture, its structure, other factors. When assessing the ability of the soil to deform under the load caused by the immersion of agricultural machinery movers into it, it is difficult to take into account the influence of all factors involved in this process. However, it seems possible to assess the stress state of the soil during the introduction of deformers into it by analyzing some indicators that change as the depth of the introduction of the deformer increases, as well as analyzing the intensity of changes in these indicators. This article attempts to obtain a dependence that comprehensively reflects the influence of soil conditions on the resistance to indentation of the movers and also provides some results of research aimed at developing such a dependence.

Keywords: soil, deformation of soil, mover, resistance, deforming load

For citation: Shishlov S. A., Shishlov A. N., Shishlov D. S. Theoretical prerequisites for calculating soil resistance to the action of a deformer. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2024;18;4:130–135. (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2024-18-4-130-135>.

Введение. Почвенные условия оказывают существенное влияние на работу движителей машин при выполнении агротехнических операций [1, 2]. Сопротивление, возникающее при вдавливании движителя в почву, существенно отличается на различных типах почв в зависимости от их несущей способности, а также изменяется в зависимости от глубины внедрения движителя [3].

Целью исследований является получение зависимости, всесторонне отражающей влияние почвенных условий на сопротивление вдавливанию движителя.

В качестве методологической основы проведенных исследований использовались положения и законы математического анализа, физики и теоретической механики.

Результаты исследований и их обсуждение. В агропромышленном производстве выполнение различных технологических операций агрегатами, в составе которых имеются колесные или гусеничные энергетические средства, подразумевает контакт их движителей с почвой. Имеющиеся в настоящее время результаты теоретических и экспериментальных исследований сопротивления передвижению машин на различных типах почв описываются рядом зависимостей, не имею-

щих универсальности. В их основе лежит зависимость деформации почвы от величины нагрузки, приложенной к вдавливаемому в почву штампу [4].

Наиболее широко распространенными являются зависимости, предложенные Е. Д. Львовым (1), М. Н. Летошневым (2), В. В. Гуськовым (3), М. Г. Беккером (4):

$$\sigma = ch, \tag{1}$$

$$\sigma = ch^\mu, \tag{2}$$

$$\sigma = p_0 th \frac{k}{p_0} h, \tag{3}$$

$$\sigma = \left(\frac{\sigma_c}{b} + \sigma_\phi \right) h^\mu \tag{4}$$

В приведенных зависимостях параметры c , μ , σ_c , σ_ϕ , p_0 , k характеризуют состояние почвы. При этом h – глубина погружения штампа в почву; σ – напряжение в почве. Каждая из приведенных зависимостей справедлива только при определенных допущениях и ограничениях.

А. В. Климановым и С. М. Дерезой предложена зависимость, учитывающая наличие плотного подпахотного слоя [5], характерного для почвенных условий Приморского края [6], имеющая вид:

$$\sigma = ch^{\mu_0 \pm \frac{kD}{S}} \tag{5}$$

где D – диаметр штампа;

S – глубина залегания плотного подпахотного слоя.

Учитывая тот факт, что на всех основных типах почв сельскохозяйственного назначения между напряжением и величиной осадки штампа существует нелинейная зависимость, воспользуемся графиком, отражающим взаимосвязь между глубиной внедрения штампа h и напряжением σ , возникающим при этом в почве [7] (рис. 1).

На участке 0–1 (рис. 1) происходит внедрение штампа в почву, сопровождающееся ростом напряжения. При этом на почве с дерновым покровом напряжение возрастает интенсивнее ввиду ее более высокой несущей способности по сравнению с почвой без дернового покрова.

После прорыва дернового покрова (участок 1–2) наблюдается снижение напряжения в почве и дальнейшее внедрение штампа не сопровождается ростом напряжения (участок 2–3) до достижения твердого подстилающего слоя (участок 3–4). На почве без дернового покрова участок его прорыва отсутствует и после внедрения штампа в почву (участок 0–1) наступает участок прогрессирующего течения (участок 1–2), продолжающийся до дости-

жения деформатором твердого подстилающего слоя (участок 2–3).

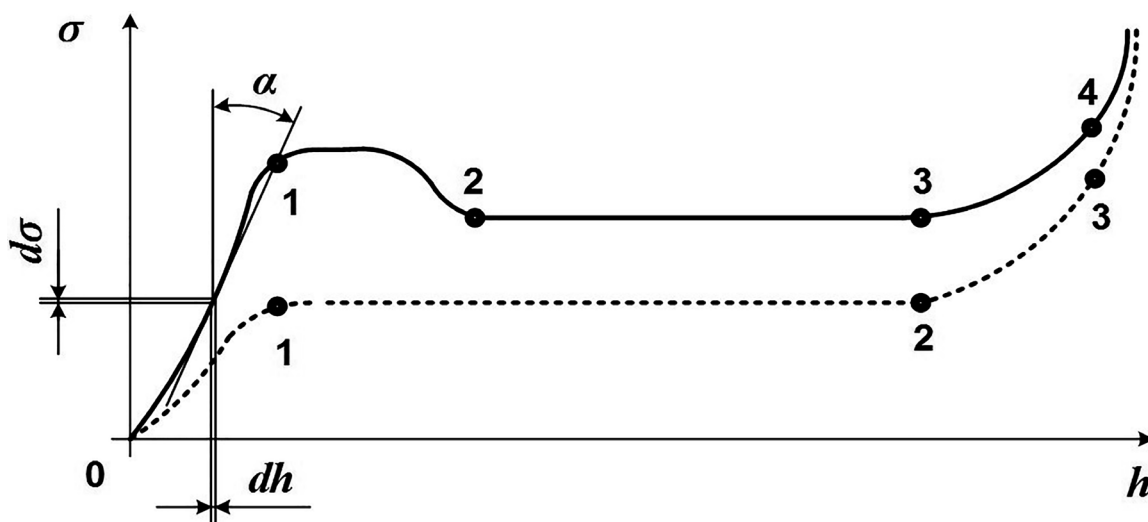
Выделим на участке 0–1 графика, характеризующего взаимосвязь между глубиной внедрения штампа h и напряжением σ , возникающим при этом в почве с дерновым покровом, элементарный участок и обозначим его $d\sigma$ по оси σ и dh по оси h (рис. 1). Проведем к выделенному элементарному участку касательную, которая образует угол α с вертикальной осью. Для характеристики напряженного состояния почвы в зависимости от глубины погружения штампа используем параметр c_T . Из рисунка 1 следует, что текущее значение данного параметра можно определить из выражения (6):

$$c_T = \frac{d\sigma}{dh} = \operatorname{ctg}\alpha \quad (6)$$

Введем параметр δ , характеризующий интенсивность изменения параметра c_T , определяемый выражением (7):

$$\delta = \frac{d\left(\frac{d\sigma}{dh}\right)}{d\sigma} \quad (7)$$

Проинтегрировав выражение (7), получим: $d\sigma/dh = \delta(\sigma + c_T)$.



сплошная линия – почва с дерновым покровом; пунктир – почва без дернового покрова
solid line – soil with turf cover; dotted line – soil without turf cover

Рисунок 1 – Взаимосвязь между глубиной внедрения штампа h и напряжением σ , возникающим при этом в почве

Figure 1 – Relationship between the depth of stamp penetration h and the stress σ arising in the soil

Значение c_1 определим из начальных условий (8):

$$\sigma = 0; \quad \frac{d\sigma}{dh} = c_0 \quad (8)$$

Тогда получим:

$$c_1 = \frac{c_0}{\delta}; \quad \frac{d\sigma}{dh} = \delta \left(\sigma + \frac{c_0}{\delta} \right) \quad (9)$$

Интегрируя уравнение (9) и выразив из него величину h , имеем:

$$h = \frac{1}{\delta} \ln \left(\frac{\delta\sigma}{c_0} + 1 \right), \quad (10)$$

$$\text{откуда } \sigma = \frac{c_0}{\delta} (e^{\delta h} - 1) \quad (11)$$

Полученное таким образом выражение (11) позволяет охватить практически все возможные случаи погружения штампа в почву в зависимости от действующей на него нагрузки.

Переходя к ширине движителя машины, определим силу сопротивления вдавливанию движителя в почву:

$$F_c = b \int_0^h \sigma dh \quad (12)$$

где b – ширина движителя.

Подставим выражение (11) в уравнение (12):

$$F_c = b \int_0^h \frac{c_0}{\delta} (e^{\delta h} - 1) dh \quad (13)$$

После преобразований выражения (13) получим:

$$F_c = \frac{b}{\delta} \left[\sigma - \frac{c_0}{\delta} \ln \left(\frac{\delta\sigma}{c_0} + 1 \right) \right] \quad (14)$$

При этом значения параметров c_0 и δ определяются в конкретных полевых условиях на основании экспериментальных данных, полученных при вдавливании штампа в почву.

Заключение. На основании проведенных теоретических исследований по определению сопротивления почвы воздействию деформатора, установлено:

1. Силы, характеризующие сопротивление почвы деформации, могут значительно изменяться в зависимости от типа почвенного покрова, присутствия дернового слоя, наличия плотного подпахотного основания и других факторов.

2. Предложенная зависимость позволяет оценить сопротивление почвы вдавливанию в нее деформатора (например, движителя машины) при различных почвенных условиях, поскольку включает параметры, характеризующие изменение напряжения в почве в зависимости от глубины погружения деформатора и позволяющие при этом оценить интенсивность изменения напряжения.

Список источников

1. Щитов С. В., Кузнецов Е. Е., Кривуца З. Ф., Панова Е. В., Поликутина Е. С., Митрохина О. П. [и др.]. Снижение техногенного воздействия на почву колесных комбайнов // Дальневосточный аграрный вестник. 2019. № 1(49). С. 87–94. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-11013>. EDN VFOXEB.
2. Кузнецов Е. Е., Щитов С. В. Повышение эффективности использования мобильных энергетических средств в технологии возделывания сельскохозяйственных культур : монография. Благовещенск : Дальневосточный государственный аграрный университет, 2017. 200 с. EDN XONHXU.
3. Алдошин Н. В., Васильев А. С., Голубев В. В. Исследования прочностных характеристик почвы // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета имени П. А. Костычева. 2020. № 3 (47). С. 68–73. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.22.33.012>. EDN UQTTHX.
4. Цытович Н. А. Механика грунтов. М. : Высшая школа, 1979. 272 с.
5. Климанов А. В., Дереза С. М. О влиянии соотношения размеров нагружающей поверхности и толщины деформируемого слоя почвы на зависимость между напряжениями

и деформациями почвы // Механизация сельскохозяйственного производства на Дальнем Востоке : сб. науч. тр. Вып.14. Улан-Удэ, 1971. С. 38–43.

6. Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Тихончук П. В., Щитов С. В., Жирнов А. Б. Фрикционно-адгезионные свойства почв Приморского края, влияющие на работу машин // Научное обозрение. 2016. № 17. С. 102–106. EDN WXRACF.

7. Шишлов А. Н., Шишлов С. А. Сопротивление передвижению гусеничного движителя при образовании колеи // Роль аграрной науки в развитии лесного и сельского хозяйства Дальнего Востока : материалы III нац. (всерос.) науч.-практ. конф. Уссурийск : Приморская государственная сельскохозяйственная академия, 2019. С. 149–153. EDN PPDWNB.

References

1. Shchitov S. V., Kuznetsov E. E., Krivutsa Z. F., Panova E. V., Polikutina E. S., Mitrokhina O. P. [et al.]. Reduction of wheeled harvesters technogeneous effect on soil. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*, 2019;1(49):87–94. <https://doi.org/10.24411/1999-6837-2019-11013>. EDN VFOXEB (in Russ.).

2. Kuznetsov E. E., Shchitov S. V. *Increase of efficiency of mobile energy means utilization in crop cultivation technology: monograph*, Blagoveshchensk, Dal'nevostochnyi gosudarstvennyi agrarnyi universitet, 2017, 200 p. EDN XONHXY (in Russ.).

3. Aldoshin N. V., Vasilyev A. S., Golubev V. V. The study of soil strength characteristics. *Vestnik Ryazanskogo gosudarstvennogo agrotekhnologicheskogo universiteta imeni P. A. Kostycheva*, 2020;3(47):68–73. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2020.22.33.012>. EDN UQTTHX (in Russ.).

4. Tsytovich N. A. *Mechanics of soils*, Moscow, Vysshaya shkola, 1979, 272 p. (in Russ.).

5. Klimanov A. V., Dereza S. M. On the influence of the ratio of the size of the loading surface and the thickness of the deformed soil layer on the relationship between stresses and strains of the soil. Proceedings from *Mekhanizatsiya sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva na Dal'nem Vostoke*. (PP. 38–43), Ulan-Ude, 1971 (in Russ.).

6. Shishlov S. A., Shishlov A. N., Tikhonchuk P. V., Shchitov S. V., Zhirnov A. B. Friction-adhesion properties of the Primorsky krai soils, which affect the operation of machines. *Nauchnoe obozrenie*, 2016;17:102–106. EDN WXRACF (in Russ.).

7. Shishlov A. N., Shishlov S. A. Resistance to caterpillar movement during rut formation. Proceedings from *The role of agrarian science in the development of forestry and agriculture of the Far East: III Natsional'naya (vserossiiskaya) nauchno-prakticheskaya konferentsiya*. (PP. 149–153), Ussuriysk, Primorskaya gosudarstvennaya sel'skokhozyaistvennaya akademiya, 2019. EDN PPDWNB (in Russ.).

© Шишлов С. А., Шишлов А. Н., Шишлов Д. С., 2024

Статья поступила в редакцию 15.10.2024; одобрена после рецензирования 12.11.2024; принята к публикации 22.11.2024.

The article was submitted 15.10.2024; approved after reviewing 12.11.2024; accepted for publication 22.11.2024.

Информация об авторах

Шишлов Сергей Александрович, доктор технических наук, профессор, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Шишлов Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Шишлов Дмитрий Сергеевич, студент бакалавриата, Приморский государственный аграрно-технологический университет, sergey_a_shishlov@mail.ru

Information about the authors

Sergey A. Shishlov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Aleksandr N. Shishlov, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru;

Dmitry S. Shishlov, Undergraduate Student, Primorsky State Agrarian and Technological University, sergey_a_shishlov@mail.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.

ПОРЯДОК НАПРАВЛЕНИЯ И ТРЕБОВАНИЯ К НАУЧНЫМ СТАТЬЯМ, ПУБЛИКУЕМЫМ В ЖУРНАЛЕ «ДАЛЬНЕВОСТОЧНЫЙ АГРАРНЫЙ ВЕСТНИК»

Представленные к публикации статьи должны содержать результаты неопубликованных законченных научных исследований, представлять научную новизну и иметь практическую значимость.

Редакция журнала принимает статьи по следующим научным специальностям:

- 4.1.1. Общее земледелие и растениеводство (сельскохозяйственные науки).
- 4.1.2. Селекция, семеноводство и биотехнология растений (сельскохозяйственные науки).
- 4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений (сельскохозяйственные науки).
- 4.2.1. Патология животных, морфология, физиология, фармакология и токсикология (биологические науки, ветеринарные науки).
- 4.2.4. Частная зоотехния, кормление, технологии приготовления кормов и производства продукции животноводства (биологические науки, сельскохозяйственные науки).
- 4.3.1. Технологии, машины и оборудование для агропромышленного комплекса (технические науки).
- 4.3.3. Пищевые системы (технические науки).

Авторы несут ответственность за соблюдение прав третьих лиц, достоверность сведений, используемых в материалах статьи и достоверность источников, указанных в работе.

Принимаются оригинальные научные статьи, неопубликованные ранее и не отправленные для публикации в другие издания. Проверка на оригинальность проводится в системе «Антиплагиат». Минимальный уровень оригинальности текста – 80 %. Самоцитирование, как и цитирование других авторов, должно быть обоснованным и соответствовать тематике, целям и задачам научной работы.

Допускается самоцитирование в объеме не более 10 %.

Объем научной статьи должен составлять не менее 25 000 знаков с пробелами, что приблизительно соответствует 15–16 страницам текста, набранного шрифтом размером 14 пт, полусторонним межстрочным интервалом, включая текст таблиц и аннотацию (в подсчет не включается список источников и переведенный текст).

При подаче статьи авторы указывают: ФИО полностью, место работы, должность, ученое звание, степень, контактную информацию (телефон, e-mail, почтовый адрес для отправки печатной версии журнала).

Обязательно – Author ID (идентификатор автора в РИНЦ).

Желательно – ORCID (международный, открытый идентификатор исследователя и автора). Регистрация на сайте <https://orcid.org/>

Принимается рукопись статьи, имеющая не более 5 авторов.

Структура статьи должна быть разбита на логично взаимосвязанные разделы с использованием следующих подзаголовков: «Введение», «Материалы и методы», «Результаты и обсуждение», «Заключение», «Список источников». Во введении в обязательном порядке указывается цель исследования, в заключении приводятся выводы.

В аннотации указывают существо проведенных автором научных исследований, выполненные автором работы и полученные результаты. Аннотация должна показывать научную новизну и практическую значимость проведенного исследования. Структура аннотации аналогична структуре статьи. *Рекомендуемый объем аннотации – от 200 до 250 слов. При подготовке аннотации необходимо соблюдать следующие правила:*

1) аннотация излагается тезисно, простыми короткими предложениями; при этом начинать каждое предложение рекомендуется с глагола в прошедшем времени (исследовано..., проведен анализ..., доказано..., обосновано... и т. д.);

2) при изложении аннотации нужно использовать простые речевые обороты, не усложнять и не загромождать текст сложными конструкциями; не приводить примеры;

3) аннотация не должна содержать дополнительную интерпретацию или критические замечания автора статьи; в ней также не должно быть информации, которой нет в статье;

4) в аннотации не следует приводить мнения ученых по научной проблеме, делать их аналитический обзор, давать ссылки на использованные источники;

5) необходимо избегать употребления личных местоимений (нами выполнено, мы доказали, на наш взгляд, мы полагаем и т. д.); следует выражаться обезличено;

6) в аннотации не допускается дословное повторение формулировок научной статьи, простое копирование ее положений;

7) в аннотации запрещается разрывать текст на абзацы, а также использовать иллюстрации, таблицы, формулы и сноски.

Текст научной статьи должен быть тщательно вычитан и отредактирован. При этом в процессе редакционно-издательской обработки в текст могут вноситься изменения лингвостилистического характера, а также изменения в части соответствия представления текста требованиям государственных стандартов.

Текст научной статьи набирается в текстовом редакторе с использованием формата листа А4. Размеры полей листа: верхнее, нижнее и правое – по 20 мм; левое – 25 мм. Используется шрифт Times New Roman с кеглем 14 пт (в отношении таблиц, рисунков размер шрифта может понижаться, но не ниже, чем 10 пт; формул – не ниже, чем 12 пт). Принимается полуторный междустрочный интервал (при подготовке таблиц, рисунков, формул допускается одинарный интервал). **Автоматическая расстановка переносов не устанавливается.**

До основного текста статьи приводят на языке текста статьи, а затем повторяют на английском языке (кроме УДК) следующую информацию:

- код УДК;
- через одну строку: *название статьи* (строчными буквами (с первой прописной), полужирным начертанием шрифта, с выравниванием по центру, без абзацного отступа);
- через одну строку: *имя, отчество (при наличии) и фамилия автора (полностью)*;
- на следующей строке – *полное наименование организации*, являющейся местом работы (учебы) автора, с указанием региона, города и страны; адреса электронной почты автора;
- в случае нескольких авторов статьи информация повторяется для каждого автора в отдельности; при этом, если все авторы статьи работают (обучаются) в одной организации, место работы (учебы) каждого автора отдельно не указывается;
- через одну строку – *Аннотация*;
- на следующей строке – *Ключевые слова*. Количество ключевых слов (словосочетаний) не должно быть меньше 5 и больше 10 слов (словосочетаний), отражающих предметную и терминологическую область статьи.

После ключевых слов – *Благодарности*, где приводят слова благодарности организациям, научным руководителям и другим лицам, оказавшим помощь в проведении исследования, подготовке статьи, а также сведения о финансировании исследования, подготовки и публикации статьи.

При изложении текста статьи необходимо соблюдать правила:

1. В тексте статьи картинки и фотографии применяются только в случае необходимости, с учетом научной значимости изображения.
2. Рисунки, диаграммы, графики – не цветные. Рисунки должны быть хорошего качества, пригодные для печати. В отдельных случаях, исходя из научной целесообразности, допускается включение цветного изображения.
3. Таблицы, формулы, диаграммы, блок-схемы приводить только в редактируемом формате. Не допускается вставка данных объектов в виде картинок, фотографий, сканированных изображений. Рекомендуется приложить к тексту статьи файлы, в которых содержатся соответствующие объекты, выполненные в программах *Microsoft Word, Microsoft Excel, Microsoft Visio*.
4. При размещении диаграммы следует подписывать оси, указывая соответствующие величины и их размерность; приводить легенду; а, по возможности, и подписи данных.
5. При создании математических формул допускается использовать «Редактор уравнений» *Microsoft Word*, либо специализированную программу *Math Type* не ниже седьмой версии. Не следует применять редактор формул *Microsoft Equation*.
6. В тексте допустимо использование только общепринятых сокращений, установленных правилами русского языка, и общеизвестных аббревиатур; в остальных случаях – автор обязательно должен давать расшифровку. Это же касается и обозначений, приводимых в формулах, блок-схемах.
7. Подписи к изображениям, рисункам, таблицам, графикам, диаграммам повторяются на английском языке.

При оформлении списка источников следует учитывать:

1. Список источников должен включать только те источники, которые были использованы при проведении исследования и подготовке статьи.
2. Список источников – не менее 10 и не более 20 источников, в том числе
 - не менее 50 % ссылок на публикации из периодических изданий – журналов за последние 5 лет;
 - не менее 30 % ссылок – на публикации из ядра РИНЦ;
 - допускается не более 10 % ссылок старше 10 лет; ссылки на такие источники должны быть логически обоснованы;
 - ссылки на материалы конференции – не более 3 лет после опубликования материалов;
 - в числе источников должно быть не менее 20 % зарубежных публикаций.

3. В список источников **не включаются** неопубликованные работы, учебники и учебные пособия, тезисы материалов конференций, сведения о положительных решениях и заявках на получение патентов на изобретения и полезные модели, диссертации. При необходимости сослаться на результаты диссертационного исследования – в списке приводятся журнальные статьи, опубликованные по результатам исследования или автореферат диссертации.

4. Не рекомендуется ссылаться на издания, недоступные для большинства читателей и не имеющие авторства (ведомственные издания и инструкции, ГОСТ, СНИП, статистические отчеты, статьи в общественно-политических газетах и журналах, общепринятые методики, официальные сайты и т. д.). Ссылка на данные документы оформляется в тексте (закljučаются в круглые скобки) или оформляется подстрочными ссылками в соответствии с ГОСТ Р 7.05–2008.

5. При ссылке на нормативный документ обязательно указывать дату его принятия, номер и название нормативного акта.

6. *Список источников оформляют в соответствии с ГОСТ 7.0.5–2008. «Библиографическая ссылка. Общие требования и правила составления».*

При этом нужно учесть, что в заголовке описания источника (перед названием) указываются все авторы. В случае, если авторов больше шесть, то указывают первые шесть авторов и далее ставится приписка и др. Менять очередность авторов в изданных источниках не допускается.

7. Список источников составляется в порядке упоминания в тексте. В тексте ссылки на цитируемую литературу приводятся в квадратных скобках в конце предложения перед точкой, с указанием порядкового номера ссылки и страницы, например: [2], [1, С. 15]. **При отсутствии ссылки в тексте, при редакционно-издательской обработке источник будет удален из списка.**

8. Библиографическое описание источника приводится на языке, на котором он опубликован.

9. Ссылки должны быть верифицированы, выходные данные проверены на официальном сайте журналов или издательств, в РИНЦ.

10. При наличии идентификатора статьи DOI и (или) EDN – он приводится в обязательном порядке в конце библиографического описания источника.

11. Ссылка на электронный ресурс должна отсылать читателя непосредственно на цитируемый источник, а не на страницу сайта, где он размещен.

12. Если журнал издается только в электронном виде – ссылка оформляется на электронный ресурс, с указанием даты обращения к источнику.

Информация об авторах статьи. По каждому автору статьи необходимо привести:

- фамилия, имя и отчество (при наличии) – полностью;
- ученую степень (при наличии);
- ученое звание (при наличии);
- для авторов, не имеющих ученой степени и ученого звания, указывается занимаемая должность (например, младший научный сотрудник, старший преподаватель и т. д.);
- если автором является обучающийся, указывается категория обучающегося (например, аспирант, студент магистратуры и т. д.);
- наименование организации, являющейся основным местом работы (учебы);
- адрес электронной почты.

Вклад авторов. Сведения о вкладе каждого автора, если статья имеет несколько авторов, приводят после «Информации об авторах». Кратко описывается личный вклад каждого автора (идея, сбор материала, обработка материала, написание статьи и т. д.) либо указывается – все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Конфликт интересов. Приводится информация о конфликте интересов либо его отсутствии. Автор обязан уведомить редакцию о реальном или потенциальном конфликте интересов. Если конфликта интересов нет, автор должен также сообщить об этом. Пример формулировки: «Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов».

Обращаем внимание, что переводятся на английский язык: информация об авторах, аннотация, ключевые слова, благодарности, подписи к изображениям, рисункам, таблицам, графикам, диаграммам.

Электронная версия статьи передается по электронной почте на адрес издания:

dvagrovestnik@dalgau.ru

При наличии замечаний по научной статье, они направляются автору на указанный им адрес электронной почты. Автор обязуется ответить на замечания в течение пяти рабочих дней с даты получения письма или связаться с редакцией с просьбой продления срока. В противном случае автор несет риск неопубликования статьи в текущем номере издания.

РЕДАКЦИЯ:

Михайлов А. А. – редактор, ведущий специалист по редакционно-издательской подготовке Центра публикационной активности Дальневосточного ГАУ;

Сысоенко В. В. – переводчик, ст. преподаватель кафедры гуманитарных дисциплин Дальневосточного ГАУ.

675005, Амурская область, г. Благовещенск, ул. Политехническая, 86, каб. 301,
редакция журнала «Дальневосточный аграрный вестник»

тел. (факс) (4162) 995127

тел. (4162) 995115 – главный редактор; e-mail: tikhonchukp@rambler.ru

тел. (4162) 995147 – редакция журнала; e-mail: DVagrovestnik@dalgau.ru