



Технико-экономическая эффективность применения многофункциональных контейнеров в первичном семеноводстве зерновых культур

М. Е. Чаплыгин✉, К. А. Степанов

Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ
(г. Москва, Российская Федерация)

✉ misha2728@yandex.ru

Аннотация

Введение. Широко распространенная в настоящее время технология производства селекционных семян связана с ручной межоперационной перевалкой больших объемов мешкотары, что со временем вызывает повреждение самой мешкотары и ухудшает условия хранения зерна. В связи с этим возникает необходимость в создании многофункционального жесткого контейнера, который обеспечит экономическую эффективность хранения семенного зерна за счет герметичности и контроля внутренней среды.

Цель исследования. Предложить конструкцию многофункционального контейнера для первичного семеноводства зерновых культур с обоснованием по критериям технико-экономической эффективности в сравнении с паллетоместом и мешкотарой.

Материалы и методы. Для оценки влияния сокращения межоперационной перевалки больших объемов мешкотары и потерь семян в первичном семеноводстве зерновых культур был применен государственный стандарт экономической оценки сельскохозяйственной техники. В качестве исследуемой сельскохозяйственной культуры использовались семена пшеницы. Обслуживающей техникой были приняты селекционно-семеноводческий комбайн Wintersteiger Delta с шириной захвата жатки 2 м, системой затаривания семян в мешки или зерновым бункером 1,5 м³, трактор «Беларус-622» с полуприцепом 1ПТС-2, тельфер электрический TOR CD1 10916, конвективные зерносушильные установки на базе зерносушилки лотковой СЛ-0,3х2.

Результаты исследования. Авторами статьи была проведена оценка технико-экономической эффективности применения мешкотары и многофункционального контейнера на технологических операциях уборки, транспортировки и сушки семян. Так, при годовом условном объеме работ в 400,7 т экономия совокупных затрат денежных средств для селекционно-семеноводческого комбайна составляет в среднем 117,9 тыс. руб. Снижение себестоимости выполнения работы – 32,8 %, срок окупаемости составляет 2 года, снижение потребности в обслуживающем персонале и в комбайнах не выявлено. При этом снижение потребности в источниках энергии составило 32,3 %.

Обсуждение и заключение. Установлено, что во время технологических операций уборки, транспортировки и сушки наилучшие показатели обеспечиваются в производстве семян с применением многофункционального контейнера в условиях следующих показателей удельного грузооборота, p : $U_i = 800$ т/км²; $L_r = 0,15$ км; $b = 0,01$ км; $L_{п-т} = 0,5$ км, начальная влажность семян – 21 %. В процессе использования данного контейнера снижается себестоимость выполнения работ, а также потребность в обслуживающем персонале, источниках энергии и технике.

© Чаплыгин М. Е., Степанов К. А., 2024



Контент доступен по лицензии Creative Commons Attribution 4.0 License.
This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 License.

Ключевые слова: многофункциональный контейнер, первичное семеноводство, зерновые культуры, технологические операции, уборка зерна, сушка зерна, хранение зерна, экономическая эффективность

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Благодарности: авторы выражают благодарность рецензентам, чья критическая оценка представленных материалов и высказанные предложения по их совершенствованию способствовали значительному повышению качества настоящей статьи.

Для цитирования: Чаплыгин М. Е., Степанов К. А. Технико-экономическая эффективность применения многофункциональных контейнеров в первичном семеноводстве зерновых культур // Инженерные технологии и системы. 2024. Т. 34, № 1. С. 44–71. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.044-071>

Original article

Technical and Economic Efficiency of Using Multifunctional Containers in Primary Seed Production of Grain Crops

M. E. Chaplygin✉, K. A. Stepanov

*Federal Scientific Agroengineering Center VIM
(Moscow, Russian Federation)*

✉ misha2728@yandex.ru

Abstract

Introduction. A very common technology of pedigree seed production is associated with manual in-process transshipment of many sacks that over time results in damaged sacks and in worsening of grain storage conditions. In this regard, there is a need to design a multifunctional rigid container, which will provide cost-effective storage of seed grain through the airtightness and control of the indoor environment.

Aim of the Study. The study is aimed at designing a multifunctional container for primary seed production of grain crops with justification according to the criteria of technical and economic efficiency in comparison with pallet spaces and sacks.

Materials and Methods. The state standard for economic evaluation of agricultural machinery was applied to assess the impact of reducing in-process transshipment of many sacks and seed losses in primary seed production of grain crops. Wheat seeds were used as the seed-producing crop under study. As service equipment there were used Wintersteiger Delta plot combine with a cutterbar working width of 2 m, seed bagging system or grain hopper 1.5 m³, Belarus 622 tractor with 1PTS-2 semi-trailer, TOR CD1 10916 electric telfer, and convective grain drying units on the basis of SL-0.3x 2 tray dryer for grain.

Results. The authors of the article have estimated the technical and economic efficiency of using sacks and multifunctional containers in technological operations of harvesting, transporting and drying grain. With the annual notional volume of work in 400.7 tons, the saving of total money costs for a plot seed combine-harvester averages 117.9 thousand rubles. The reduction in the cost of work performance is 32.8%, payback period is 2 years; the decrease in the need for service personnel and harvesters is not revealed. At the same time, the reduction in the need for energy sources is 32.3%.

Discussion and Conclusion. It has been determined that during technological operations of harvesting, transporting and drying, the best seed production performance is when using the multifunctional container with the following indicators of specific cargo turnover, p : $U_r = 800 \text{ t/km}^2$; $L_r = 0.15 \text{ km}$; $b = 0.01 \text{ km}$; $L_{n-r} = 0.5 \text{ km}$, initial humidity of seeds is 21%. In the process of using this container, the production cost, need for service personnel, energy sources and machinery are reduced.

Keywords: multifunctional container, primary seed production, grain crops, technological operations, harvesting, drying, storage, economic efficiency

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

Acknowledgments: The authors would like to express their gratitude to the reviewers, whose critical evaluation of the presented materials and suggestions for their improvement contributed significantly to the quality of this article.

For citation: Chaplygin M.E., Stepanov K.A. Technical and Economic Efficiency of Using Multifunctional Containers in Primary Seed Production of Grain Crops. *Engineering Technologies and Systems*. 2024;34(1):44–71. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.034.202401.044-071>

Введение

В соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации¹, безопасность в указанной области определяется индикаторами продовольственной независимости. В настоящее время пшеница и ячмень занимают главное положение в списке основных культур. Усредненный показатель незащищенного сектора продовольственной независимости в 2022 г. оценивается в 25,6 %², в 2018 – 28,7 %³, в 2014 – 37,2 %⁴.

Повышение эффективности производства семян на уровне селекционных хозяйств и семенных заводов заключается в широкой модернизации технологии производства селекционных семян. В первичном семеноводстве можно выделить четыре операции, которые с применением гибкой мешкотары выполняются неэффективно. К таковым относятся: многократная ручная перевалка семян, при которой повреждается мешкотара и теряются семена; контроль состояния семян по влажности; сушка семян до кондиционной влажности, а также хранение семян с контролируемыми режимами хранения. Необходимо отметить, что контроль влажности и режимов хранения в случае с нахождением семян в мешкотаре затруднен.

Таким образом, замена мешкотары на многофункциональный жесткий контейнер для первичного семеноводства зерновых культур – важная задача. При этом исключаются технологические недостатки мешкотары, появляется возможность замены ручного труда при перевалке семян, погрузке и разгрузке тары на высокоавтоматизированный [1; 3]. В качестве исследуемой культуры были приняты семена пшеницы, занимающие 45 % посевных площадей и объем рынка семян в 7,4 млн т⁵, что может позволить перераспределить освободившуюся технику

¹ Об утверждении Доктрины продовольственной безопасности Российской Федерации [Электронный ресурс] : Указ Президента РФ от 21 января 2020 г. № 20. URL: <https://base.garant.ru/73438425/> (дата обращения: 04.11.2023).

² Растениеводство в России: урожай 2022 года, импортозамещение, статистика по экспорту [Электронный ресурс]. URL: <https://delprof.ru/press-center/open-analytics/rastenievodstvo-v-rossii-urozhay-2022-goda-importozameshchenie-statistika-po-eksportu/11> (дата обращения: 04.11.2023).

³ Дачники и аграрии столкнутся с проблемами из-за избыточного контроля импорта семян [Электронный ресурс]. URL: <https://www.interfax.ru/russia/703920> (дата обращения: 04.11.2023).

⁴ Кубань за 5 лет планирует избавиться от импортных семян [Электронный ресурс]. URL: <https://rostov.rbc.ru/rostov/25/09/2015/560560e19a79476d67122b54> (дата обращения: 04.11.2023).

⁵ Федеральная служба государственной статистики. Посевные площади, валовые сборы и урожайность сельскохозяйственных культур в Российской Федерации в 2022 году (предварительные данные) [Электронный ресурс]. URL: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/29_cx_predv_2022.xlsx (дата обращения: 04.11.2023).

и людей на производство культур с недостаточным показателем продовольственной независимости. Применение разработанного технологического контейнера обосновывается по критериям технико-экономической эффективности в сравнении с паллетоместом и мешкотарой.

Обзор литературы

Широкое описание возможностей контейнеризации грузопереработки при размещении труда капиталом, воплощенном в оборудовании, представлено в работе Д. Бауэрскса, Д. Клосса⁶. Основы конструирования контейнерной упаковки для погрузочно-разгрузочных и транспортно-складских работ сельскохозяйственных грузов с оценкой влияния конструкций на экономическую эффективность представлены в работе Г. М. Третьякова, И. В. Горюшинского⁷.

Агротехнологии и сельскохозяйственные культуры как объект контейнеризации исследованы в работах А. Ю. Измайлова [4; 5], Н. Е. Евтюшенкова, Р. К. Курбанова [6], А. С. Чулкова [7; 8], где обоснована экономическая эффективность применения адаптивных технических средств транспортной логистики на базе сменных кузовов, обеспечивающих правильную работу с агротехнологиями производства сельскохозяйственной продукции.

В работе Н. М. Латышенко [2] контейнер используется в качестве выделенной единицы хранения запаса. При этом конструкция контейнера обеспечивает экономическую эффективность хранения семенного зерна за счет герметичности и контроля газовой среды внутри контейнера. Предпосылки и перспективы развития контейнеризации сельскохозяйственных культур исследованы также в ряде других работ [9–18].

Настоящая статья предложена авторами как дополнение к работам исследователей контейнеризации транспортного обеспечения зерновых культур. Вместе с этим научный интерес представляет применение концепции адаптивных технических средств в условиях ограничений первичного семеноводства, где годовой условный объем работ составляет менее 1 тыс. т. Объем бункеров селекционно-семеноводческих комбайнов меньше объема уже обоснованных для продовольственного зерна конструкций сменных кузовов. Перевозки регламентируются законом Российской Федерации «О семеноводстве»⁸, а сушка семян ограничена предельной температурой нагрева в 40–45 °С и предельной неравномерностью влажности семян после сушки в $\pm 1,5$ %. При этом необходимо обеспечить чистоту творческого селекционного процесса, сохранность и жизнеспособность семян на всех технологических операциях производства. Применение дорогостоящей техники при сравнительно небольших объемах работы побуждает исследовать возможности обоснования комплексного повышения производительности технологического оборудования⁹.

⁶ Бауэрскс Д. Дж., Клосс Д. Дж. Логистика: интегрированная цепь поставок. М. : Олимп-Бизнес, 2017. 640 с.

⁷ Третьяков Г. М., Горюшинский И. В., Горюшинский В. С. Контейнерно-транспортные системы в агропромышленном комплексе. М. : Колос-Пресс, 2002. 224 с.

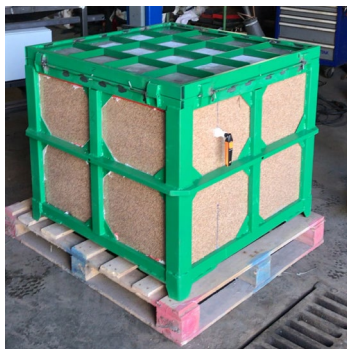
⁸ О семеноводстве [Электронный ресурс] : Закон Российской Федерации от 22.12.2021 № 454-ФЗ. URL: <https://base.garant.ru/403332751/> (дата обращения: 04.11.2023).

⁹ ГОСТ 46-72-78. Параметры опытного поля, схемы посева и требования к типу посевных и уборочных машин в селекции, сортоиспытании и первичном семеноводстве зерновых и зернобобовых культур. Параметры элементов опытного поля по этапам работ : дата введения 1978-01-01.

Анализ работ таких авторов как Л. А. Пестряков, А. И. Бурьянов, С. В. Власова, Э. В. Жалнин, А. Ю. Измайлов, М. Л. Крюков и А. В. Голубкович [19–26] показал, что актуальным техническим решением и способом, наиболее полно обеспечивающим комплексное повышение производительности производства семян, является сменный сушильно-транспортный контейнер, конструкция которого минимизирует перевалку семян при погрузке и разгрузке, а также обеспечивает изоляцию семян от внешней среды при доступе агента сушки. Модульность и закрытость конструкции позволила заложить функцию реверса контейнера, использующуюся, например, при пересыпании семян. Использование реверса в процессе сушки позволяет увеличить разово высушиваемый слой¹⁰ и, следовательно, разовую загрузку зерносушилки и транспортных средств. Недостатком такой конструкции является нарушение качества технологического процесса сушки и хранения семян в контейнерах из-за отсутствия возможности отбора проб семян из контейнера, находящегося в штабеле или в перевернутом положении. Также не найдена зависимость, позволяющая рассчитать время реверсивной сушки семян. Таким образом, может являться рациональной разработка многофункционального контейнера для транспортировки, сушки, хранения, погрузки и разгрузки селекционных семян зерновых культур с устранением конструктивных недостатков прототипа.

Материалы и методы

В процессе исследования был разработан многофункциональный контейнер для первичного семеноводства зерновых культур, габариты которого составили 1000х995х820 мм, а вместимость – 0,5 м³. Он включает каркас с боковыми стенками, перфорированные днище и крышку, возможность эксплуатации с селекционно-семеноводческим комбайном, виловым погрузчиком, тельфером, функцию вращения кантователем в процессе сушки или пересыпания семян из него (рис. 1).



Р и с. 1. Многофункциональный контейнер для первичного семеноводства зерновых культур

F i g. 1. Multifunctional container for primary seed production of grain crops

В качестве техники были использованы такие машины как селекционно-семеноводческий комбайн Wintersteiger Delta [27; 28] с шириной захвата жатки 2 м и системой затаривания семян в мешки (либо зерновым бункером 1,5 м³), трактор

¹⁰ Уколов В. С. Сушка семян в камерных сушилках с реверсивной подачей воздуха // Теория и техника сушки зерна: труды научной конференции 15–17 апреля 1969 г. – М : ВНИИЗ, 1969. С. 181–190.

«Беларус-622» с полуприцепом ИПТС-2, тельфер электрический TOR CD1 10916, конвективные зерносушильные установки на базе зерносушилки лотковой СЛ-0,3х2. Основные исходные данные оценки экономической эффективности представлены в таблице 1.

Таблица 1

Table 1

Исходные данные оценки экономической эффективности
Cost-effectiveness baseline

Символ / Symbol	Описание / Description	Числовое значение на операции по аналогичной (новой) технике / Numeric value for analog (new) technology operations		
		Уборка / Harvesting	Транспор- тировка / Transporting	Сушка / Drying
1	2	3	4	5
$\lambda_{смj}$	Количество основного и вспомогательного персонала (механизаторы и вспомогательные рабочие), обслуживающего самоходную технику МТА за 1 ч. сменного времени на i -м виде работы, чел. / Number of main and auxiliary personnel (machine operators and auxiliary workers) servicing self-propelled equipment of MTA per 1 h. of shift time in the i type of work, people	1	3 / 1	2 / 1
$W_{смj}$	Производительность техники МТА за 1 ч. сменного времени на i -м виде работы, т/ч / Equipment productivity of MTA per 1 h. of shift time in the i type of work, t/hour	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation
τ_k	Часовая оплата труда обслуживающего персонала k -ой квалификации, руб/чел / Hourly wages of service personnel with k qualification, ruble/person	187,5	187,5	187,5
n_3	Коэффициент, учитывающий уровень социальных отчислений от зарплаты, регламентируемых законодательством конкретного государства / Coefficient that takes into account the level of social deductions from wages regulated by the legislation of a particular state	1,302	1,302	1,302
g_{Ti}	Удельный расход моторного топлива (электроэнергии, газа), кг/т / Specific consumption of motor fuel (electricity, gas), kg/t	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation
Π_t	Цена топлива (электроэнергии, газа), руб/кг (кВт*ч) / Price of fuel (electricity, gas), ruble/kg (kWh)	42	42	5,5
$K_{см.м}$	Коэффициент учета цены смазочных материалов / Lubricant price factor	1,25	1,25	1
B_{mj}	Цена j -ой техники (без НДС), НДЕ / Price of j equipment (excluding VAT), national currency	13 000 000	2 170 000	419 000
K_{pj}	Значение отчислений на ремонт и техническое обслуживание от цены j -ой техники на 100 ч. ее работы, принятые в конкретном государстве, % / Value of deductions for repair and maintenance from the price of j equipment per 100 h. of its operation, adopted in a particular state, %	2,43	0,98	1,5

Окончание табл. 1 / End of table 1

1	2	3	4	5
$K_{смj}$	Коэффициент использования сменного времени j -ой техникой за период контрольных смен / Coefficient of use of shift time by j equipment for the period of control shifts	0,7	0,7	0,7
$K_{гj}$	Коэффициент готовности j -ой техники по оперативному времени / Readiness ratio of j equipment by operational time	0,97	0,97	0,97
$K_{тнj}$	Коэффициент технического использования j -ой техники, определяемый по данным испытаний на надежность / Coefficient of technical use of j equipment, determined according to reliability testing data	0,98	0,98	0,98
R_{mj}	Значение амортизационного ресурса j -й техники, ч. / Value of depreciation life of j equipment, h.	2548	11132	3600
g_f	Удельный расход f -го вспомогательного материала, кг/т / Specific consumption of f auxiliary material, kg/t	20 + 2,5 / 2,5	20 + 2,5 / 2,5	20 + 2,5 / 2,5
$R_{в.мf}$	Цена единицы f -го вспомогательного технологического материала, руб/кг (м, шт.) / Unit price of f auxiliary technological material, ruble/kg (m, pcs.)	25 + 1000 / 12 000		
$Y_{с.х.}$	Урожайность продукции, т/км ² / Product yield, t/km ²	400–800	400–800	400–800
$Ц_{сем}$	Цена семенного материала, руб/т / Price of seed material, ruble/t	17 000	17 000	17 000
$П_B$	Относительная полевая всхожесть семян, % / Relative field germination of seeds, %	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation
$n_{агрj}$	Агротехнический срок выполнения i -го вида работы, принятый в зоне, дней / Agrotechnical period for completing the i type of work adopted in the zone, days	60	20	20
t_i	Возможное время работы техники в сутки на i -м виде работы, ч. / Possible operating time of equipment per day in the i type of work, h.	8	8	24
F_y^r	Годовой условный объем i -го вида работы, т / Annual conditional volume of the i type of work, t	400,75	400,75	400,75
$n_{см}$	Число смен работы обслуживающего персонала в течение суток (целое число), шт. / Number of work shifts of service personnel during the day (integer), pcs.	1	1	3
$Б_{схmj}$	Цена j -й сельхозмашины, НДЕ / Price of j agricultural machine, national currency	0	200 000	215 000
$n_{схmj}$	Число j -х сельхозмашин в МТА, шт. / Number of j agricultural machines in MTA, pcs.	0	1	1
$N_{техj}^r$	Необходимое количество техники на i -м виде работы, шт. / Required amount of equipment for the i type of work, pcs.	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation	Расчет / Calculation

Для расчета показателей производительности техники $W_{смj}$, а также ее потребного количества $N_{техj}^r$ на годовой условный объем сортов принято уравнение:

$$N_{техj}^r = \frac{F_y^r}{F_j^r}, \text{ шт.}, \quad (1)$$

где F_j^r , т – годовой фактический объем i -го технического средства; значение F_y^r принято в расчет на основании плана посевов зерновых Института семеноводства и агротехнологий Всероссийского института механизации «ИСА ВИМ» [29].

Для расчета потребного количества $N_{\text{тех.к.м.}}^r$ принятого в расчет комбайна при использовании мешкотары уравнение (1) будет выглядеть следующим образом:

$$N_{\text{тех.к.м.}}^r = \frac{F_y^r}{W_{\text{см.к.м.}} \cdot t_{\text{к}} \cdot n_{\text{см}}^k \cdot n_{\text{агр.к}}}, \text{ шт.} \quad (2)$$

Для расчета производительности $W_{\text{см.к.м.}}$ принято уравнение:

$$W_{\text{см.к.м.}} = \left(\frac{3,6 \cdot q_{\text{к}} \cdot (1 - \gamma_{\text{м}}) \cdot \tau_{\text{к}}^{\text{м}} \cdot k_{\text{x}}}{(1 + \varepsilon)} \right), \text{ т/ч}, \quad (3)$$

где $q_{\text{к}}$ – пропускная способность комбайна, $q_{\text{к}} = 2,69$ кг/с; $\gamma_{\text{м}}$ – коэффициент вариации подачи хлебной массы, $\gamma_{\text{м}} = 0,15$; k_{x} – коэффициент, учитывающий состояние убираемого хлебостоя, $k_{\text{x}} = 0,95$; ε – отношение массы соломы к массе зерна, $\varepsilon = 0,8$; $\tau_{\text{к}}^{\text{м}}$ – коэффициент использования времени смены при использовании мешкотары рассчитывается по формуле:

$$\tau_{\text{к}}^{\text{м}} = \left(1 - \frac{t_{\text{обсл}}}{t_{\text{к}}} \right) \cdot \tau_{\text{р}}^{\text{м}}, \quad (4)$$

где $t_{\text{обсл}}$ – вспомогательное время, $t_{\text{обсл}} = 1,2$ ч.; $t_{\text{к}}$ – время смены оператора комбайна, $t_{\text{к}} = 8$ ч.; $\tau_{\text{р}}^{\text{м}}$ – коэффициент работы комбайна при использовании мешкотары, относящийся только к намолоту зерна, определяется следующим образом:

$$\tau_{\text{р}}^{\text{м}} = \frac{t_{\text{бз}}}{t_{\text{ц.к}}^{\text{м}}}, \quad (5)$$

где $t_{\text{бз}}$, ч. – время на уборку до полного заполнения бункера зерном определяется соотношением:

$$t_{\text{бз}} = \frac{V_{\text{б}} \cdot \rho \cdot (1 + \delta_{\text{с}})}{3,6 \cdot q_{\text{к}} \cdot K_{\text{п}}}, \text{ ч.}, \quad (6)$$

где $V_{\text{б}}$, м³ – объем бункера; ρ – насыпная плотность пшеницы, $\rho = 0,715$ т/м³; $\delta_{\text{с}}$ – выход побочной продукции по отношению к основной, $\delta_{\text{с}} = 0,9$; $K_{\text{п}}$ – коэффициент уменьшения пропускной способности комбайна, $K_{\text{п}} = 1$.

Время цикла комбайна при использовании мешкотары $t_{\text{ц.к}}^{\text{м}}$ представляет собой сумму:

$$t_{\text{ц.к}}^{\text{м}} = t_{\text{бз.к1}} + t_{\text{пов.ц.к2}} + t_{\text{рг.к3}}^{\text{м}}, \text{ ч.}, \quad (7)$$

где $t_{\text{пов.ц.к2}}$ – время, затрачиваемое комбайном на прохождение поворотов:

$$t_{\text{пов.ц.к2}} = \frac{R_{\text{хх.к}} \cdot \sum n_{\text{пов}}}{v_{\text{пов}} \cdot \frac{L_{\text{г}}}{t_{\text{бз}} \cdot v_{\text{бз}}}}, \text{ ч.}, \quad (8)$$

где R_{xx_k} , км – путь холостого хода комбайна, $R_{xx_k} = 0,04$ км; $\sum n_{пов}$, шт. – общее количество поворотов на поле. При ширине поля $B_{п} = 0,48$ км; $\sum n_{пов} = 233$ шт.; $v_{пов}$ – скорость прохождения поворотов, $v_{пов} = 4,4$ км/ч; L_r – длина гона, $L_r = 0,05–0,25$ км; $v_{бз}$ – скорость при комбайнировании, $v_{бз} = 4,2$ км/ч. $v_{бз}$.
 $t_{ргз}^M$ – время разгрузки семян, $t_{ргз}^M = 0,03$ ч. (рис. 2а, 2б).



Р и с. 2. Погрузочно-разгрузочные работы на операции уборки, транспортировки и сушки с применением мешкотары

F i g. 2. Handling operations during harvesting, transporting and drying of grain with the use of sacks

Удельный расход моторного топлива при использовании мешкотары $g_{T_{к.м}}$ определяется по формуле:

$$g_{T_{к.м}} = \frac{G_{T_k} \cdot t_{п.к}^M}{V_6 \cdot \rho}, \text{ кг/т,} \quad (9)$$

где G_{T_k} , кг/ч – часовой расход топлива. Для комбайна Wintersteiger Delta $G_{T_k} = 11,87$ кг/ч.

Для расчета производительности $W_{см.т.м}$ и потребного количества $N_{тех.т.м}^Г$ принятого в расчет транспортного средства (ТС) при использовании мешкотары получим по формуле (1) уравнение потребного количества транспортных средств:

$$N_{тех.т.м}^Г = \frac{F_y^Г}{W_{см.т.м} \cdot t_T \cdot n_{см}^Г \cdot n_{агр.т}}, \text{ шт.} \quad (10)$$

Для расчета $W_{см.т.м}$ принято следующее уравнение:

$$W_{см.т.м} = \frac{n_{п.м.i_{макт}} \cdot n_{уп.т.п.м} \cdot q_{n.уп}^M \cdot \frac{t_{см.ф.т}}{t_{п.т.м}^{Т.М}}}{t_{см.ф.т}}, \text{ т/ч,} \quad (11)$$

где $n_{п.м.i_{макт}}$ – максимальное количество паллетомест, размещаемых в кузове ТС, определяющееся в соответствии с i -вариантами размещения при продольном, поперечном и комбинированном размещении $n_{п.м.i_{макт}} = 3$ шт.; $n_{уп.т.п.м}$ – количество упаковок на паллетоместе, $n_{уп.т.п.м} = 8$ шт.; $q_{n.уп}^M$ – вместимость единицы упаковки. При использовании мешкотары $q_{n.уп}^M = 0,05$ т; $t_{см.ф.т}$ – фактическая длительность смены операторов транспортировки, $t_{см.ф.т} = t_T - t_{обсл}$.

Время цикла ТС при использовании мешкотары $t_{цт}^M$ рассматривается по формуле:

$$t_{цт}^M = t_{рг-кпт1} + t_{зг-зг_{т2}} + t_{зг_{т3}} \cdot n_{зг_{т}} + t_{зг-кпт4} + t_{кп-вз_{т5}} + t_{вз_{т6}} + t_{вз-рг_{т7}} + t_{рг_{т8}}, \text{ ч.}, \quad (12)$$

где $t_{рг-кпт1}$, ч. – продолжительность переезда ТС от места разгрузки до края поля (без груза).

Время движения ТС при подборе груза $t_{зг-зг_{т2}}$ определяется соотношением:

$$t_{зг-зг_{т2}} = \frac{\sum_{k=1..24} d_k^{\text{ближ}} \cdot 10^{(-2)} \cdot L_{\Gamma}}{v_{зг-зг}}, \text{ ч.}, \quad (13)$$

где $\sum_{k=1..24} d_k^{\text{ближ}}$ – доля пройденного пути через 24 ближайшие точки загрузки (для трех паллетомест по 8 грузовых единиц), длина гона $L_{\Gamma} = 50\text{--}250$ м, ширина захвата жатки зерноуборочного комбайна $B_{ж} = 1,25\text{--}2,3$ м [30]:

$$\sum_{k=1..24} d_k^{\text{ближ}} = 2,36 - 0,006 L_{\Gamma} + 0,86 B_{ж} - 0,002 L_{\Gamma} \cdot B_{ж}. \quad (14)$$

$v_{зг-зг}$ – скорость передвижения между точками загрузки, $v_{зг-зг} = 10$ км/ч.; $t_{зг_{т3}}$ – продолжительность загрузки, $t_{зг_{т3}} = 0,012$ ч. (рис. 2с); $n_{зг_{т}}$ – количество операций загрузки ТС за единичный цикл, $n_{зг_{т}} = 8$; $t_{зг-кпт4}$, ч. – продолжительность переезда ТС места загрузки к краю поля (по стерне, с грузом); $t_{кп-вз_{т5}}$, ч. – продолжительность переезда ТС от края поля до пункта взвешивания (с грузом); $t_{вз_{т6}}$ – продолжительность взвешивания груза и оформления сопутствующих документов, $t_{вз_{т6}} = 0,06$ ч.; $t_{вз-рг_{т7}}$, ч. – продолжительность переезда ТС от пункта взвешивания до места разгрузки (с грузом); $t_{рг_{т8}}$ – продолжительность разгрузки ТС, $t_{рг_{т8}} = 0,014$ ч. (рис. 2д).

Удельный расход моторного топлива транспортного средства при использовании мешкотары $g_{T.M}$ определяется по формуле:

$$g_{T.M} = \frac{G_{T_{\Gamma}} \cdot t_{цт}^M}{n_{пм.i_{\max}}^M \cdot n_{упт.пм} \cdot q_{n_{т.уп}}^M}, \text{ кг/т}, \quad (15)$$

где $G_{T_{\Gamma}}$ – часовой расход топлива для трактора «Беларус-622», $G_{T_{\Gamma}} = 14,3$ кг/ч.

При расчете производительности $W_{см_{с.м}}$ и потребного количества $N_{т_{с.м}}^{\Gamma}$ принятой зерносушилки с использованием мешкотары получим по формуле (1) уравнение потребного количества транспортных средств:

$$N_{т_{с.м}}^{\Gamma} = \frac{F_y^{\Gamma}}{W_{см_{с.м}} \cdot t_c \cdot n_{см}^c \cdot n_{агpc}}, \text{ шт.} \quad (16)$$

Для расчета $W_{см_{с.м}}$ принято уравнение:

$$W_{см_{с.м}} = \frac{G_{вл.3} \cdot \frac{t_{см.ф_{т}}}{t_{ц_{с}}^M}}{t_{см.ф_{с}}}, \quad (17)$$

где $G_{\text{вл.з}}$ – разовая загрузка влажного зерна в зерносушилку, $G_{\text{вл.з}} = 0,4$ т; $t_{\text{см.фс}}$, ч. – фактическая длительность смены операторов сушки, $t_{\text{см.фс}} = t_{\text{с}} - t_{\text{обсл.}}$.

Время цикла сушки при использовании мягкой тары $t_{\text{и.с}}^{\text{м}}$ определяется по формуле:

$$t_{\text{и.с}}^{\text{м}} = t_{\text{зг.с1}}^{\text{м}} + t_{\text{суш.с2}}^{\text{м}} + t_{\text{рг.с3}}^{\text{м}}, \text{ ч.}, \quad (18)$$

где $t_{\text{зг.с1}}^{\text{м}}$ – продолжительность загрузки зерносушилки при использовании мешкотары, $t_{\text{зг.с1}}^{\text{м}} = 0,06$ ч. (рис. 2е); $t_{\text{суш.с2}}^{\text{м}}$, ч. – время сушки семян в стационарном слое определяется из соотношения [7]:

$$t_{\text{суш.с2}}^{\text{м}} = \frac{(U_{\text{н}} - U_{\text{к}}) \cdot r \cdot H}{\alpha \cdot (t_{\text{аг}} - \theta_{\text{ср}}) \cdot f \cdot \eta \cdot h_{\text{н}}}, \text{ ч.}, \quad (19)$$

где $U_{\text{н}}$, $U_{\text{к}}$, кг вл/кг сух. материала – начальное и конечное влагосодержание семян, $U_{\text{н}} = 0,25$ – $0,43$ кг вл/кг сух. материала, $U_{\text{к}} = 0,16$ кг вл/кг сух. материала; r – теплота парообразования влаги, $r \approx 2\,730$ кДж/кг; H – высота слоя семян, $H = 0,3$ м; α – коэффициент теплоотдачи, $\alpha \approx 17,5 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$; $t_{\text{аг}}$ – температура агента сушки, $t_{\text{аг}} = 40$ °C; $\theta_{\text{ср}}$ – начальная средняя температура семян, $\theta_{\text{ср}} \approx 25$ °C; f – удельная поверхность семян, $f \approx 3$ м²/кг.

η – доля теплоты, пошедшая на испарение влаги, рассчитывается по формуле:

$$\eta = \frac{Q_{\text{w}}}{Q_{\Sigma}}, \text{ кВт}, \quad (20)$$

где Q_{w} – расход тепла на испарение влаги при использовании технологии мягкой тары.

$$Q_{\text{w}} = G_{\text{вл}} \cdot [(r + c_{\text{n}} \cdot t_{\text{аг}}) - c_{\text{в}} \cdot \theta_{\text{ср}}], \quad (21)$$

где $G_{\text{вл}}$ – количество испаряемой влаги в процессе сушки:

$$G_{\text{вл}} = G_{\text{вл.з}} \cdot 10^3 \cdot \frac{(W_{\text{н}} - W_{\text{к}})}{(100 - W_{\text{к}})}, \text{ кг}, \quad (22)$$

где $W_{\text{н}}$, $W_{\text{к}}$, % – начальная и конечная влажность зерна, $W_{\text{н}} = 20$ – 30 %, $W_{\text{к}} = 14$ %; c_{n} – теплоемкость водяного пара, $c_{\text{n}} = 1,97 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; $c_{\text{в}}$ – теплоемкость воды, $c_{\text{в}} = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; Q_{Σ} , кВт – общий расход тепла на сушку:

$$Q_{\Sigma} = Q_{\text{w}} + Q_{\text{з}} + Q_{\text{п}}, \text{ кВт}, \quad (23)$$

где $Q_{\text{з}}$ – расход тепла на нагревание зерна в зерносушилке рассчитывается следующим образом:

$$Q_{\text{з}} = G_{\text{с.з}} \cdot c_{\text{з}} \cdot (t_2 - \theta_{\text{ср}}), \text{ кВт}, \quad (24)$$

где $G_{\text{с.з}}$ – масса высушенного зерна в зерносушилке представляет сумму:

$$G_{\text{с.з}} = 0,85 \cdot (G_{\text{вл.з}} - G_{\text{вл}}), \text{ кг}; \quad (25)$$

где c_3 – теплоемкость зерна рассчитывается по формуле:

$$c_3 = 0,01 \cdot W_n \cdot c_b + 0,01 \cdot (100 - W_n) \cdot c_c, \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}, \quad (26)$$

где c_c – теплоемкость сухого вещества зерна. Для зерна пшеницы удельная теплоемкость сухого вещества $c_c = 1,256 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$; t_2 – температура зерна в конце сушки, $t_2 = 40^\circ\text{C}$.

Потери тепла в окружающую среду Q_{Π} вычислим следующим образом:

$$Q_{\Pi} = 0,1 \cdot Q_w, \text{ кВт}. \quad (27)$$

Высота пограничного слоя семян $h_n = 0,35 \text{ м}$.

Продолжительность разгрузки зерносушилки при использовании мешкотары $t_{\text{рг}3}^M = 0,07 \text{ ч}$. (рис. 2f).

Удельный расход электроэнергии при использовании мешкотары $g_{T_{\text{т.м}}}$ определяется по формуле:

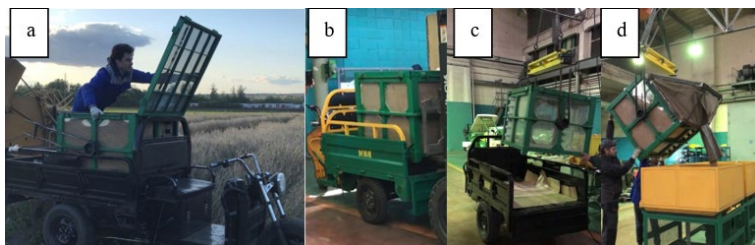
$$g_{T_{\text{т.м}}} = \frac{G_{T_c} \cdot t_{\text{ц.т}}^M}{G_{\text{вл.3}}}, \text{ кВт/т}, \quad (28)$$

где G_{T_c} – часовой расход электроэнергии для зерносушилки лотковой СЛ-0,3х2, $G_{T_c} = 14,4 \text{ кВт/ч}$.

Расчет производительности $W_{\text{смк.к}}$ и потребного количества $N_{\text{тех.к.к}}^{\Gamma}$ принятого в расчет комбайна при использовании многофункционального контейнера отличается учетом времени ожидания ТС. Тогда формула (7) примет вид:

$$t_{\text{ц.к}}^K = t_{\text{бз.к1}} + t_{\text{пов.ц.к2}} + t_{\text{ож.к3}} + t_{\text{рг.к4}}^K, \text{ ч}. \quad (29)$$

К расчетам принимаются численные значения объема бункера $V_6 = 1,5 \text{ м}^3$, время разгрузки семян при использовании многофункционального контейнера $t_{\text{рг.к4}}^K = 0,009 \text{ ч}$. (рис. 3а). Остальные числовые значения принимаются идентичными при расчетах с использованием мешкотары.



Р и с. 3. Погрузочно-разгрузочные работы на операции уборки, транспортировки, сушки с применением многофункционального контейнера

F i g. 3. Handling operations during harvesting, transporting and drying of grain with the use of a multifunctional container

Расчет производительности $W_{\text{смк.к}}$ и потребного количества $N_{\text{тех.к.к}}^{\Gamma}$ принятого в расчет ТС при использовании многофункционального контейнера отличается учетом

Technologies, machinery and equipment

времени ожидания намолота семян комбайном. Тогда формула (12) примет вид:

$$t_{цт}^K = t_{рг-кп_{т1}} + t_{ож_{т2}} + t_{кп-зг_{т3}} + t_{зг_{т4}} + t_{зг-кп_{т5}} + t_{кп-вз_{т6}} + t_{вз_{т7}} + t_{вз-рг_{т8}} + t_{рг_{т9}}, \text{ ч.}, \quad (30)$$

где $t_{ож_{т2}}$, ч. – продолжительность пребывания ТС у поля в ожидании намолота зерна комбайном. $t_{ож_{т2}}$ принимается равным нулю, если $t_{рг-кп_{т1}} + t_{кп-зг_{т3}} + t_{зг-кп_{т5}} + t_{кп-вз_{т6}} + t_{вз_{т7}} + t_{вз-рг_{т8}} + t_{рг_{т9}} < t_{бзк1} + t_{пов.цк2}$ (для $t_{ож_{т2}}$ применяется обратное условие); $t_{кп-зг_{т3}}$, ч. – продолжительность переезда ТС от края поля до места загрузки (по стерне, без груза $d_k^{ближ} \approx 0,5$, $n_{зг} = 1$, $v_{кп-зг} = 9,2$ км/ч); продолжительность загрузки $t_{зг_{т4}} = 0,009$ ч. (рис. 3а); продолжительность переезда ТС от места загрузки до края поля $t_{зг-кп_{т5}} \approx t_{кп-зг_{т3}}$; $t_{кп-вз_{т6}}$, ч. – продолжительность переезда ТС от края поля до пункта взвешивания (с грузом $v_{кп-вз} = 16,8$ км/ч); $t_{вз_{т7}}$, ч. – продолжительность взвешивания груза и оформления сопутствующих документов, $t_{вз_{т7}} = 0,06$ ч; $t_{вз-рг_{т8}}$, ч. – продолжительность переезда ТС от пункта взвешивания до места разгрузки (с грузом, $v_{вз-рг} = 16,8$ км/ч); продолжительность разгрузки ТС $t_{рг_{т9}} = 0,007$ ч. (рис. 3б, с). К расчетам также принимаются числовые значения $n_{упт.пм} = 1$ шт.; $q_{n_{т.уп}}^K = 0,4$ т. Остальные числовые значения принимаются идентичными при расчетах с использованием мешкотары.

Расчет производительности $W_{смс.к}$ и потребного количества $N_{тех.с.к}^T$ принятой в расчет зерносушилки при использовании многофункционального контейнера отличается временем загрузки и разгрузки, а также временем сушки, поскольку в ее процессе применяется реверс слоя семян. Тогда уравнение (19) примет вид:

$$t_{суш.р_{с2}}^K = b_0 + b_1 w_0 + b_2 n + b_3 w_{рев} + b_{12} w_0 n + b_{13} w_0 w_{рев} + b_{23} n w_{рев} + b_{11} w_0^2 + b_{22} n^2 + b_{33} w_{рев}^2, \text{ ч.}, \quad (31)$$

где w_0 , n , $w_{рев}$ – начальная влажность семян, %; количество переворотов контейнера, ед.; момент влажности переворота контейнера, %.

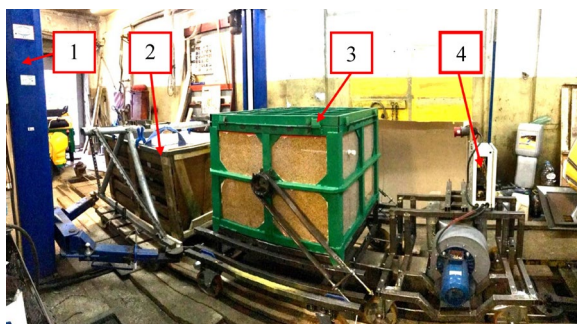
Для определения коэффициентов регрессии уравнения реверсивной сушки $t_{суш.р_{с2}}^K$ в соответствии с разработанной конструкторской документацией был использован стенд комплекта сушильно-транспортного оборудования, а также был проведен трехуровневый эксперимент по плану Бокса-Бенкена¹¹. Испытательный стенд содержит манипулятор-кантователь (1), передвижной контейнер для «биг-бэга» (2), контейнер сушильно-транспортный (3), контейнерную тепловентиляционную установку (4) (рис. 4). В контейнере размещена яровая пшеница «Рима». Диапазоны варьирования факторов приведены в таблице 2.

После преобразований получили уравнение расчета времени реверсивной сушки:

$$t_{суш.р_{с2}}^K = 11,78 - 1,05 w_0 - 0,01 n - 0,05 w_{рев} - 0,005 w_0 n + 0,03 w_0, \text{ ч.} \quad (32)$$

Адекватность уравнения регрессии по критерию Фишера: $F_{расч} = 0,94$. При $F_{расч} < 1$. Уравнение адекватно на всех уровнях значимости.

¹¹ План эксперимента Бокса-Бенкина [Электронный ресурс]. URL: http://mdop.sourceforge.net/help_pe/index_ru.html



Р и с. 4. Испытательный стенд контейнерного сушильно-транспортного оборудования

F i g. 4. Testing stand for container drying and transporting equipment

Т а б л и ц а 2

T a b l e 2

Диапазоны варьирования факторов эксперимента сушки семян

Variation ranges of seed drying experiment factors

Факторы / Factors	w_0 , % – Начальная влажность семян / Initial seed moisture	n – Количество переворотов контейнера / Number of container flips	$w_{\text{пов}}$, % – Момент влажности переворота контейнера / Moment of humidity of container overturn
Диапазон варьирования / Range of variation	20...25...30	2...4...6	14...16...18

Оценка неравномерности семян по влажности после сушки в контрольных точках по высоте слоя 60 см не показала превышений допустимой неравномерности $\pm 1,5$ %.

К расчетам также принимаются числовые значения $t_{3\Gamma_{\text{с1}}}^{\text{к}} = 0,007$ ч., $t_{\text{рг}_{\text{с3}}}^{\text{к}} = 0,04$ ч. (рис. 3d). Остальные числовые значения принимаются идентичными при расчетах с использованием мешкотары.

Производительность и потребное количество принятого в расчет комбайна, зерносушилки с применением мешкотары и многофункционального контейнера могут изменяться в зависимости от внешних условий. Используя параметр удельного грузооборота p , который показывает нагруженность плеча перевозки «поле-ток» погонным урожаем с части поля шириной 1 м, возможно графически иллюстрировать изменения производительности $W_{\text{см}_{\text{К,М}}}$, $W_{\text{см}_{\text{К,К}}}$, $W_{\text{см}_{\text{Т,М}}}$, $W_{\text{см}_{\text{Т,К}}}$ и $N_{\text{тех}_{\text{К,М}}}^{\text{г}}$, $N_{\text{тех}_{\text{К,К}}}^{\text{г}}$, $N_{\text{тех}_{\text{Т,М}}}^{\text{г}}$, $N_{\text{тех}_{\text{Т,К}}}^{\text{г}}$:

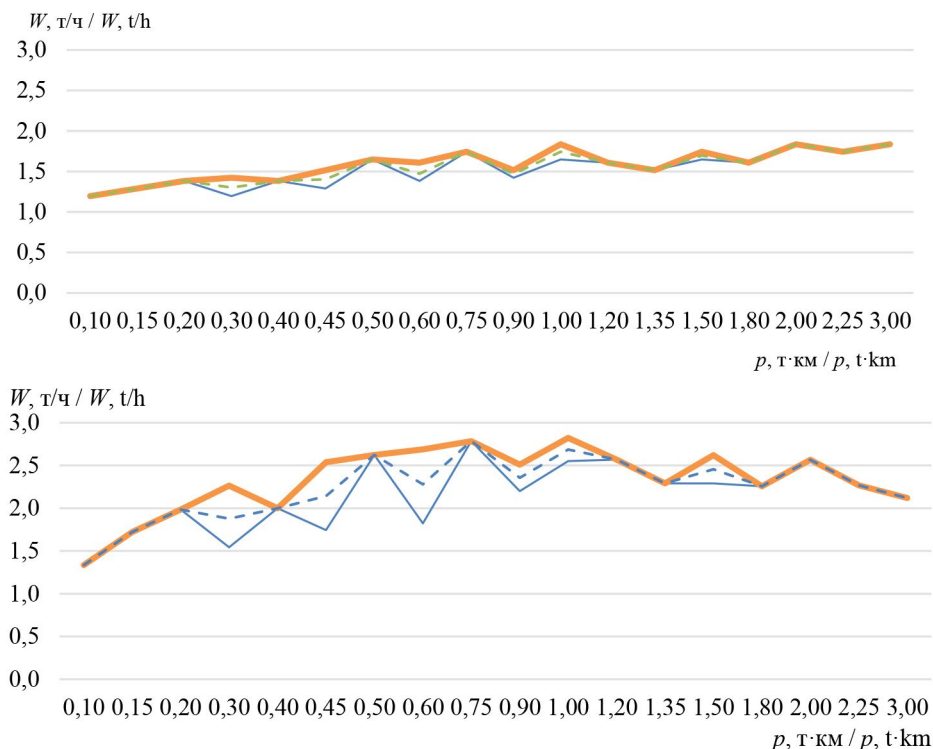
$$W_{\text{см}_i} = f(p); \quad (33)$$

$$N_{\text{тех}_i}^{\text{г}} = f(p); \quad (34)$$

$$p = U_i \cdot L_{\text{Т}} \cdot b \cdot L_{\text{п-т}}, \text{ Т·км}, \quad (35)$$

где U_j , т/км² – урожайность культуры, $U_i = 400\text{--}800$ т/км²; L_r , км – длина гона, $L_r = 0,05\text{--}0,25$ км; b – ширина единичного участка поля, $b = 0,01$ км; $L_{п-т}$ – длина участка «поле-ток», $L_{п-т} = 0,5\text{--}1,5$ км.

Тогда изменение производительности комбайна $W_{смк,м}$, $W_{смк,к}$ и $N_{тех,к,м}^r$, $N_{тех,к,к}^r$ по формулам (2), (3) и (29) с учетом (33)–(35) можно проиллюстрировать так, как показано на рисунке 5.



Р и с. 5. Графики изменения производительности селекционно-семеноводческого комбайна Wintersteiger Delta при использовании мешкотары на 50 кг по пшенице (сверху) и многофункционального контейнера (снизу)

F i g. 5. Graphs of changes in productivity of the Wintersteiger Delta plot harvester using a sack for 50 kg of wheat (top) and a multi-functional container (bottom)

Несколько линий на графиках представляют собой максимальные (линия максимальной толщины), минимальные (линия минимальной толщины) и средние значения (штриховая линия средней толщины) при повторяющихся значениях p комбинациями U_j , L_r , $L_{п-т}$. Внутри линий максимального и минимального значения производительности образуется область значений функции, а по промежуточной линии – преобладающие значения производительности. Тогда изменение производительности комбайна $W_{смк,м}$ и $W_{смк,к}$ можно описать уравнениями:

$$W_{смк,м} = 0,89 + 2,26L_r + 4,67U_i \cdot 10^{-4}, \text{ т/ч}; \quad (36)$$

$$W_{\text{см.к.к}} = L_{\text{т}}(18,58 - 28,5L_{\text{т}} - 2,7L_{\text{п-т}}) - \\ - U_i(424,4 - 0,16U_i - 562,5L_{\text{т}} + 92,5L_{\text{п-т}}) \cdot 10^{-5} + (1,47 - 0,38L_{\text{п-т}})L_{\text{п-т}} - 1,25, \text{ т/ч.} \quad (37)$$

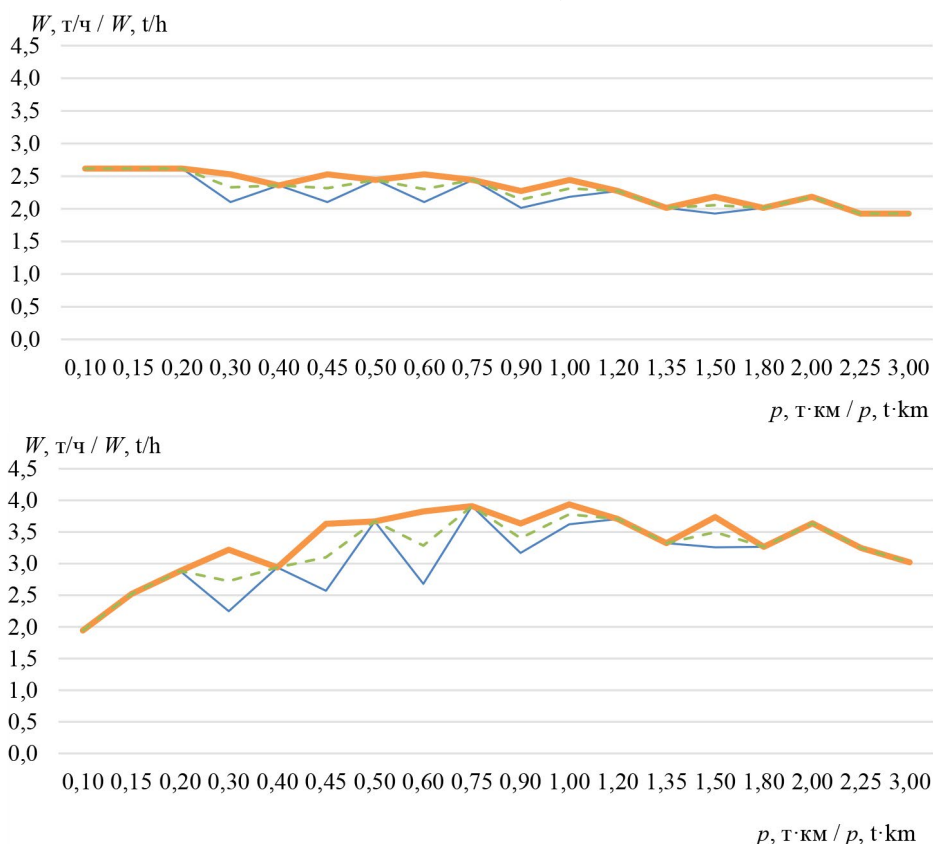
$N_{\text{тех.к.м}}^{\text{г}}$ и $N_{\text{тех.к.к}}^{\text{г}}$ по заданным исходным данным всегда равно 1.

Изменение производительности и потребного количества транспортных средств $W_{\text{см.т.м}}$ и $W_{\text{см.т.к}}$, $N_{\text{тех.т.м}}^{\text{г}}$ и $N_{\text{тех.т.к}}^{\text{г}}$ по формулам (10, 11) и (30) с учетом (33–35) можно проиллюстрировать так, как показано на рисунках 6 и 7.

Изменение $W_{\text{см.т.м}}$ и $W_{\text{см.т.к}}$ можно описать уравнениями:

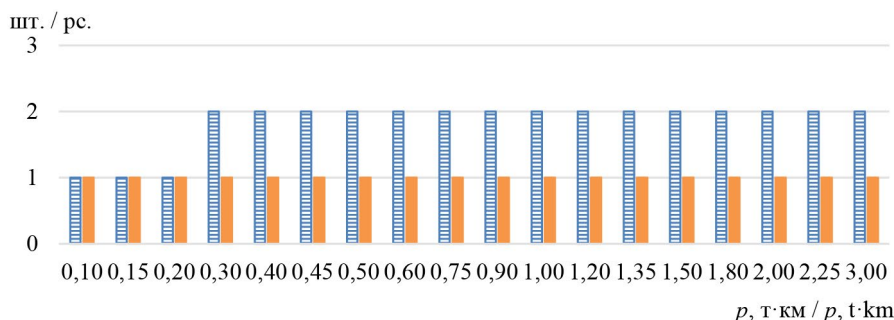
$$W_{\text{см.т.м}} = 2,917 - 0,878 \cdot L_{\text{т}} - 0,514 \cdot L_{\text{п-т}}, \text{ т/ч;} \quad (38)$$

$$W_{\text{см.т.к}} = L_{\text{т}}(26,2 - 41,49L_{\text{т}} - 3,56L_{\text{п-т}}) - \\ - U_i(659,75 - 0,27U_i - 837,91L_{\text{т}} - 126,68L_{\text{п-т}}) \cdot 10^{-5} - \\ - L_{\text{п-т}}(2,26 + 0,64L_{\text{п-т}}) - 1,94, \text{ т/ч.} \quad (39)$$



Р и с. 6. Графики изменения производительности транспортного средства «Беларус-622» с полуприцепом ИПТС-2 при использовании мешкотары на 50 кг по пшенице (сверху) и многофункционального контейнера (снизу)

F i g. 6. Graphs of changes in productivity of Belarus 622 tractor with IPTS-2 semi-trailer when using a sack for 50 kg of wheat (top) and a multifunctional container (bottom)



Р и с. 7. График изменения потребного количества в транспортном средстве «Беларус-622» с полуприцепом 1ПТС-2 при использовании мешкотары на 50 кг по пшенице и многофункционального контейнера

Fig. 7. Graph of change of required amount in Belarus 622 tractor with 1PTS-2 semi-trailer when using a sack for 50 kg of wheat and a multifunctional container

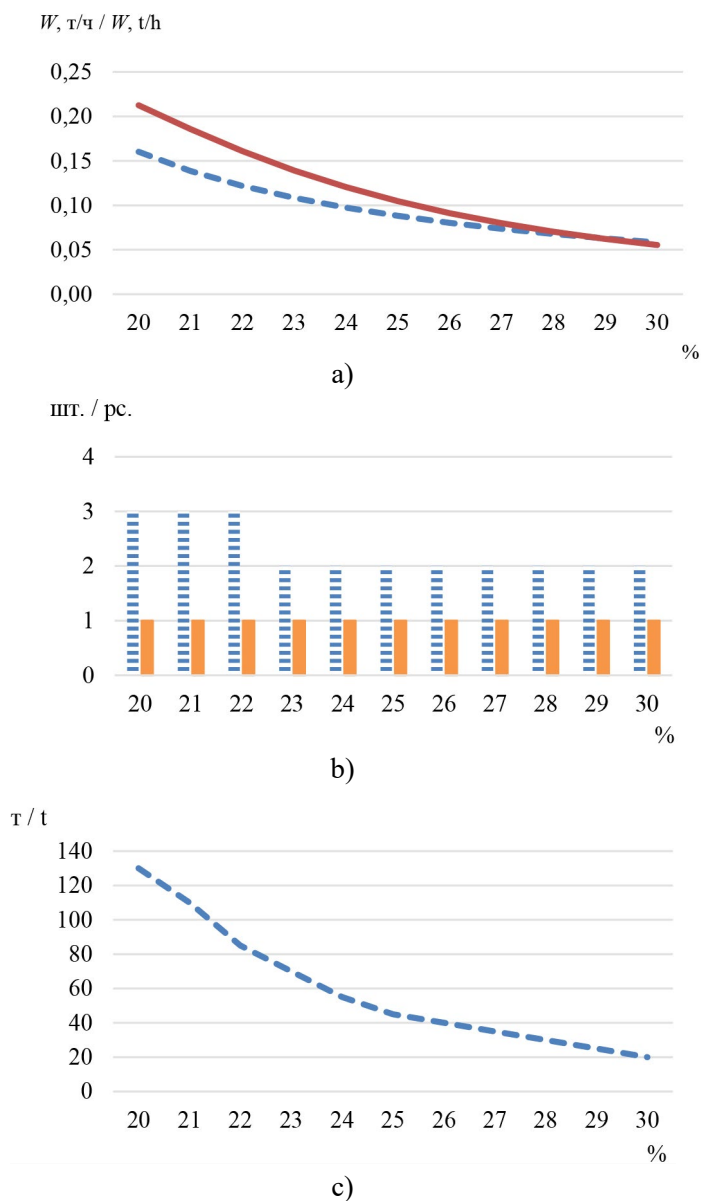
Графическое иллюстрирование изменения производительности и потребного количества зерносушилки $W_{\text{смс.м}}$, $W_{\text{смс.к}}$ и $N_{\text{техс.м}}$, $N_{\text{техс.к}}^{\Gamma}$ по формулам (16), (17) и (32) проводилось в зависимости от начальной влажности семян w_0 . На рисунке 8 (а, б) показано изменение $W_{\text{смс.м}}$, $W_{\text{смс.к}}$ и $N_{\text{техс.м}}^{\Gamma}$, $N_{\text{техс.к}}^{\Gamma}$ при сушке в стационарном слое (штриховая линия) и с применением реверса слоя (сплошная линия) при наиболее эффективном по времени сушки режиме реверса $n = 6$ переворотов и $w_{\text{рев}} = 18\%$. Годовой условный объем работ операции сушки изменяется в зависимости от начальной влажности и проиллюстрирован на рисунке 8с, при котором может сохраняться положительная рентабельность от выручки готовой продукции при использовании мешкотары при рыночной цене семян 17 тыс. руб/т.

Изменение $W_{\text{смс.м}}$ и $W_{\text{смс.к}}$ можно описать уравнениями:

$$W_{\text{смс.м}} = -0,146 + \frac{5,951}{w_0}, \text{ т/с;} \quad (40)$$

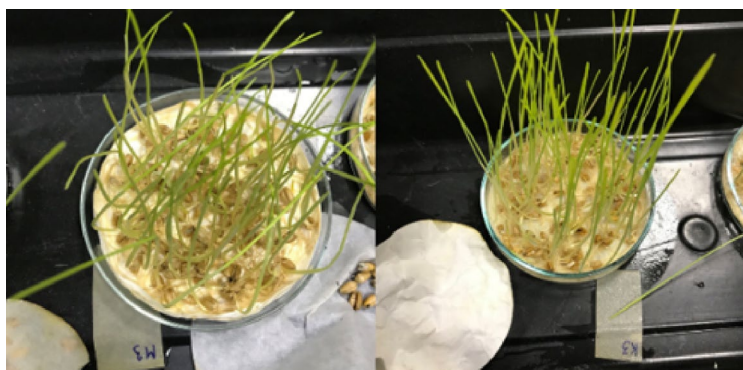
$$W_{\text{смс.к}} = -0,269 + \frac{9,484}{w_0}, \text{ т/ч.} \quad (41)$$

В ходе исследования также была проведена оценка всхожести семян в соответствии с ГОСТ 12038-84 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения всхожести» после 9 месяцев хранения в контейнере и в мешках для получения показателя P_v (рис. 9). Семена хранились в соответствии с пунктом 6 ГОСТ 52325-2005 «Семена сельскохозяйственных растений. Сортные и посевные качества. Общие технические условия» в вентилируемом помещении при температуре от +12 до +23 °C и относительной влажности воздуха 50–70 %. Значения энергии прорастания и всхожести приведены в таблице 3.



Р и с. 8. График изменения производительности (а), потребного количества (б) и годового условного объема работ (с) зерносушилки на базе зерносушилки лотковой СЛ-0,3х2 при использовании мешкотары на 50 кг по пшенице (штриховая линия) и многофункционального контейнера (сплошная линия)

Fig. 8. Graph of change of productivity (a), required amount (b) and annual equivalent performance (c) of grain dryer on the basis of tray grain dryer SL-0,3x2 when using a sack for 50 kg of wheat (dashed line) and multifunctional container (continuous line)



Р и с. 9. Пророщенные семена яровой пшеницы «Рима», хранящиеся в мешках (слева) и многофункциональном контейнере (справа)

Fig. 9. Spring wheat sprouts Rima stored in sacks (left) and multifunctional container (right)

Т а б л и ц а 3
Table 3

Показатели энергии прорастания и всхожести семян яровой пшеницы «Рима», хранящихся в мешках и многофункциональном контейнере

Indicators of germination energy and germinating ability of the spring wheat Rima, stored in sacks and in a multifunctional container

Энергия прорастания, всхожесть, % / Germination energy, germinating ability, %	Срок хранения / Storage time	3 месяца / 3 month	6 месяцев / 6 month	9 месяцев / 9 month
	Мешок / Sack	98 / 98	92 / 96	89 / 91
	Контейнер / Container	98 / 98	94 / 97	96 / 97

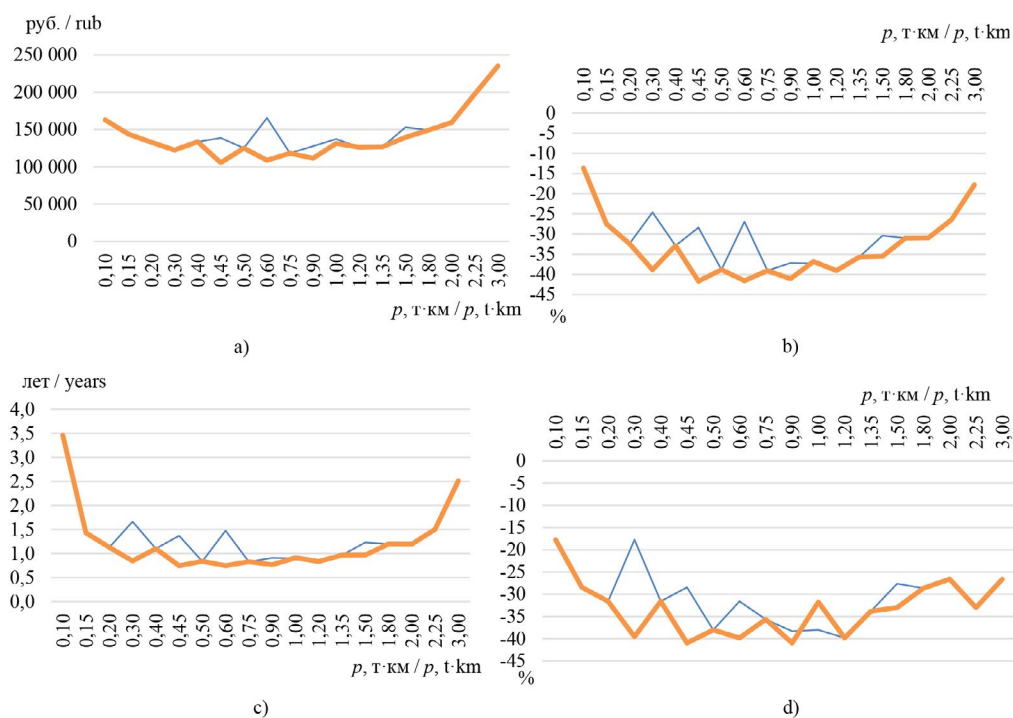
Приведенные исходные данные были использованы для оценки технико-экономической эффективности применения многофункциональных контейнеров в первичном семеноводстве зерновых культур в сравнении с мешкотарой в соответствии с ГОСТ 34393-2018 «Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки»¹².

Результаты исследования

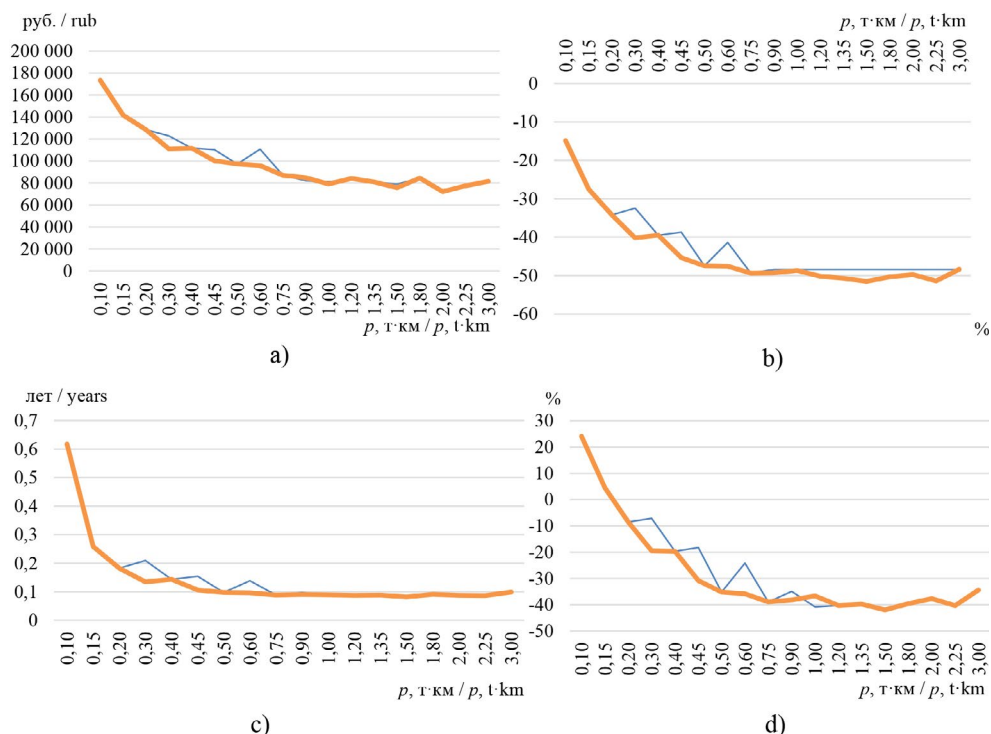
Рассмотрим графики изменения показателей сравнительной экономической эффективности на технологических операциях уборки и транспортировки в зависимости от удельного грузооборота (рис. 10–12). При этом контуры графиков соответствуют контурам графиков изменения производительности принятой в расчет техники и сушки семян в зависимости от начальной влажности семян. На рисунках 10 а, 11 а, 12 а представлены графики изменения экономии совокупных денежных средств на годовой фактический объем на технологической операции уборки, транспортировки и сушки. На рисунках

¹² ГОСТ 34393-2018. Техника сельскохозяйственная. Методы экономической оценки : дата введения 2019-09-01.

10 б, 11 б, 12 б (штрихпунктирная линия) представлены графики изменения снижения себестоимости выполнения работы на годовой условный объем 400,7 т на технологической операции уборки, транспортировки и 20–130 т на операции сушки. На рисунках 10 с, 11 с, 12 с представлены графики изменения сроков окупаемости капиталовложений на годовой условный объем 400,7 т на технологической операции уборки, транспортировки и 20–130 т на операции сушки. На рисунке 12 (б, штриховая линия) представлен график изменения снижения потребности в обслуживающем персонале на технологической операции сушки. На операции уборки снижение потребности в обслуживающем персонале отсутствует, на операции транспортировки оно постоянно и равно 66 %, а на операции сушки – 33 %. На рисунках 10 d, 11 d, 12 b (сплошная линия) представлены графики изменения снижения потребности в источниках энергии на годовой условный объем 400,7 т на технологической операции уборки, транспортировки и 20–130 т на операции сушки.



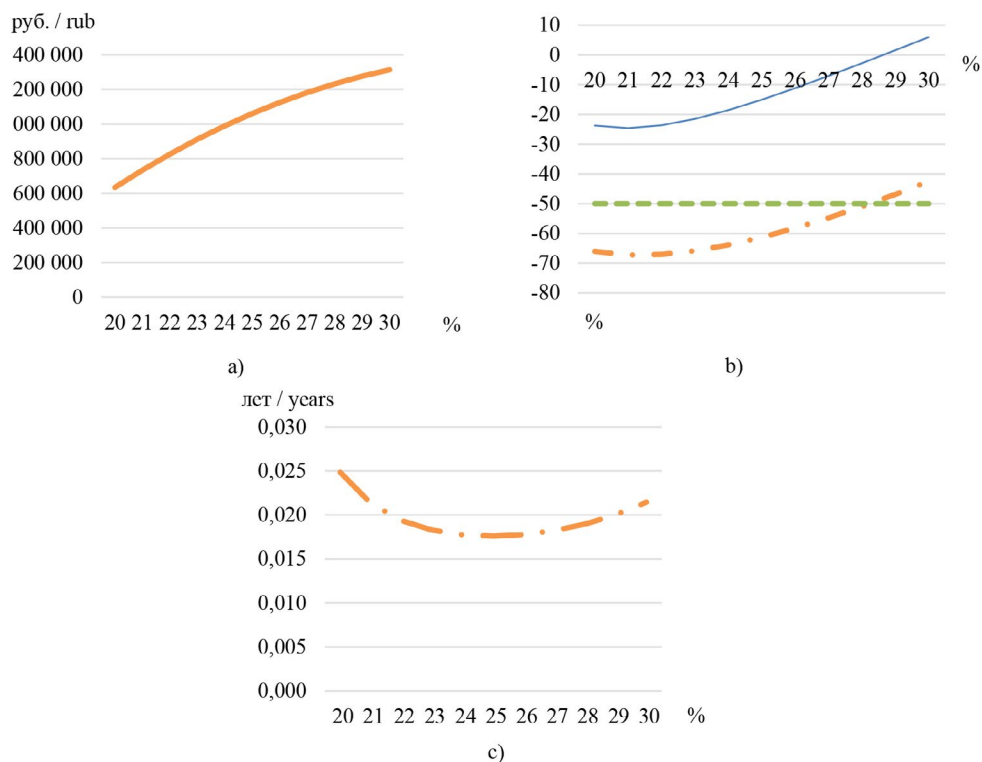
Р и с. 10. Показатели сравнительной экономической эффективности применения многофункционального контейнера в сравнении с мешкотарой при уборке селекционно-семеноводческим комбайном Wintersteiger Delta
 Fig. 10. Indicators of comparative economic efficiency of using a multifunctional container in comparison with sacks during harvesting by the Wintersteiger Delta plot combine



Р и с. 11. Показатели сравнительной экономической эффективности применения многофункционального контейнера в сравнении с мешкотарой при перевозке транспортным средством «Беларус-622» с полуприцепом 1ПТС-2

Fig. 11. Indicators of the comparative economic efficiency of using a multifunctional container in a comparison with sacks when transporting by Belarus 622 tractor with 1PTS-2 semi-trailer

Согласно графикам (рис. 7, 8, 10, 11, 12), при годовом условном объеме работ 400,7 т экономия совокупных затрат денежных средств для селекционно-семеноводческого комбайна при использовании многофункционального контейнера в зависимости от удельного грузооборота составляет в среднем 117,9 тыс. руб., снижение себестоимости выполнения работы – 32,8 %, срок окупаемости – 2 года, снижение потребности в обслуживающем персонале не выявлено, источниках энергии – 32,3 %, снижение потребности в комбайнах не выявлено. Экономия совокупных затрат денежных средств для транспортного средства при использовании многофункционального контейнера в зависимости от удельного грузооборота составляет в среднем 67,6 тыс. руб., снижение себестоимости выполнения работы – 49,5 %, срок окупаемости – 0,2 года, снижение потребности в обслуживающем персонале – 66 % и источниках энергии – 27,5 %, снижение потребности в транспортных средствах – 41,6 %; экономия совокупных затрат денежных средств для зерносушилки с применением многофункционального контейнера при годовом условном объеме работ 20–130 т в зависимости от начальной влажности семян составляет в среднем 306,5 тыс. руб., снижение себестоимости выполнения работы – 46,2 %, срок окупаемости – 0,8 года, снижение потребности в обслуживающем персонале – 33,3 % и источниках энергии – 12,8 % снижение потребности в зерносушилках – 20,5 %.



Р и с. 12. Показатели сравнительной экономической эффективности конвективной сушки зерносушилкой на базе зерносушилки лотковой СЛ-0,3х2 с применением реверсируемого многофункционального контейнера в сравнении с сушкой в стационарном слое с применением мешкотары

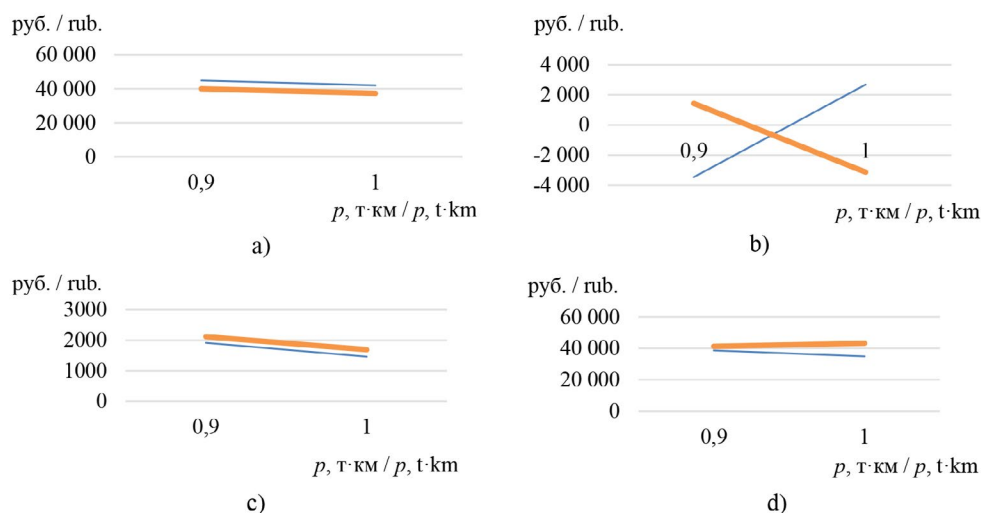
F i g. 12. Indicators of comparative economic efficiency of convective drying by grain dryer on the basis of the SL-0,3x2 grain dryer tray with the use of reversible multifunctional container in comparison with drying in a stationary layer with bagging

Графики рисунков 10–12 указывают на то, что рост производительности принятой в расчет уборочно-транспортной техники повышает годовой фактический объем единицы техники и, соответственно, затраты на единицу техники.

Обсуждение и заключение

Удалось выяснить, что снижается себестоимость выполнения работы на годовой условный объем работ, срок окупаемости капиталовложений и потребность в источниках энергии, однако, изменение экономии затрат может не являться прямо пропорциональным изменению производительности. При удельном грузообороте $p = 1$ тк·м экономия затрат при меньшей производительности превышает экономию затрат при большей производительности, хотя разница становится менее заметной по мере обобщения показателей экономической эффективности: от экономии затрат на единицу техники до срока окупаемости капиталовложений. Это может быть связано с тем, что прирост производительности уборочно-транспортной техники от перехода к многофункциональному контейнеру в условиях показателей удельного грузооборота, обеспечивающих меньшую эксплуатационную производительность,

выше по сравнению с условиями показателей удельного грузооборота при большей эксплуатационной производительности. Однако и в этом случае многое зависит от отдельных показателей, из которых составляется сравнительная экономическая эффективность. Например, экономия затрат на оплату труда при транспортировке на годовой фактический объем, которая зависит от изменения производительности транспортного средства, куда входит паллетоместо на 8 мешков или многофункциональный контейнер, при $p = 0,9 - 1$ т·км изменяются, что показано на рисунке 13 а. Экономия затрат на горюче-смазочные материалы изменяется, что показано на рисунке 14 б, а экономия затрат от потерь семян изменяется так, как показано на рисунке 14 с. В свою очередь, экономия затрат на вспомогательные материалы на годовой фактический объем, которые не зависят от изменения производительности комбайна, изменяются так, как показано на рисунке 14 d. Изменения экономии затрат на ремонтно-обслуживающие работы и амортизацию на годовой фактический объем равны нулю. Контуры графиков соответствуют контурам графиков изменения производительности и экономии затрат принятой в расчет техники.

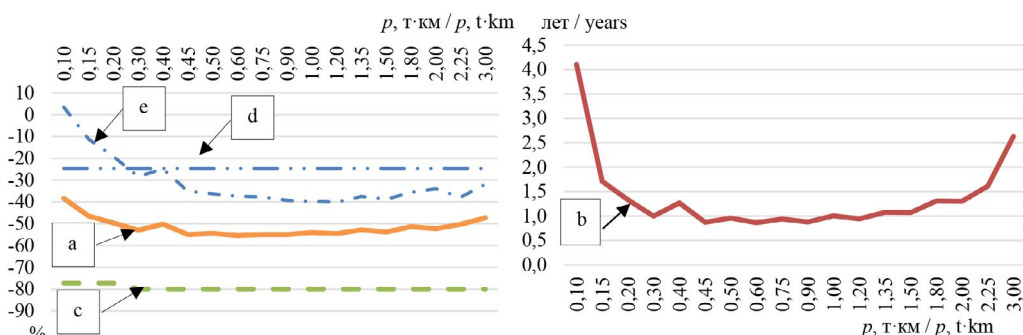


Р и с. 13. Фрагменты изменения экономии затрат на оплату труда (а), горюче-смазочные материалы (б), от потерь семян (с) и вспомогательные материалы (д) на годовой фактический объем работ транспортного средства «Беларус-622» с полуприцепом IPTS-2

Fig. 13. Fragments of changes in labor cost savings (a), fuels and lubricants (b), from seed losses (c), and support materials (d) on the annual actual volume of work of Belarus 622 tractor with IPTS-2 semi-trailer

Отмечено повышение потребности в моторном топливе на технологической операции транспортировки в диапазоне $p = 0,1 - 0,2$ т·км с применением многофункционального контейнера. Повышение может быть связано с меньшими пробегами ТС при подборе мешкотары в поле перемещением ТС методом прохождения ближайших точек и исключением простоев по сравнению с прямым взаимодействием комбайна и транспортного средства [19]. Отмечено повышение потребности в электроэнергии на технологической операции сушки в диапазоне начальной влажности семян 28–30 % с применением многофункционального контейнера, но обобщающий показатель себестоимости выполнения работы показывает снижение совокупных

затрат. Повышение может быть связано с циркуляцией некоторого количества влаги в слое, которое не успевает покинуть слой до очередного реверса контейнера, за счет чего увеличивается время сушки до кондиционной влажности. В совокупности наилучшие показатели обеспечиваются в производстве семян с применением многофункционального контейнера и с обслуживающей контейнер техникой с наибольшей эксплуатационной производительностью (исключением является диапазон $p = 0,9-1$ т·км, при котором наибольшая совокупная экономическая эффективность достигается с меньшей производительностью представленной техники) (рис. 14).



Р и с. 14. Графики изменения совокупного снижения себестоимости работ по уборке, транспортировке, сушке (а), срока окупаемости многофункционального контейнера (б), снижения потребности в обслуживающем персонале (с), топливе (д), электроэнергии (е)

F i g. 14. Graphs of changes in the cumulative reduction in the cost of harvesting, transporting, drying (a), the payback period for a multifunctional container (b), reducing the need for maintenance personnel (c), fuel (d), electricity (e)

Показатели удельного грузооборота рисунка 14 представлены в таблице 4, среди которых наибольшая экономическая эффективность за счет снижения себестоимости выполнения работ, снижения потребности в обслуживающем персонале, источниках энергии и технике обеспечена при $U_i = 800$ т/км²; $L_r = 0,15$ км; $b = 0,01$ км; $L_{п-т} = 0,5$ км, начальной влажности семян 21 % ($p = 0,6$ т·км).

Т а б л и ц а 4
T a b l e 4

Показатели удельного грузооборота U_p , L_r , b , $L_{п-т}$ обеспечивающие наибольшую экономическую эффективность с применением многофункционального контейнера
Indicators of specific cargo turnover U_p , L_r , b , $L_{п-т}$ that provide the greatest economic efficiency with the use of a multifunctional container

№	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
p	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	0,45	0,5	0,6	0,7	0,9	1	1,2	1,35	1,5	1,8	2	2,25	3
U_i	400	600	800	400	800	600	400	800	600	600	400	800	600	600	800	800	600	800
L_r	0,05	0,05	0,05	0,15	0,05	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15	0,25	0,15	0,15	0,25	0,15	0,25	0,25	0,25
b	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01
$L_{п-т}$	0,5	0,5	0,5	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	1,5	1	1,5	1	1,5	1,5

Также в таблице 4 курсивом отмечены показатели удельного грузооборота $p = 1$ т·км, при которых меньшая в данных условиях производительность техники обеспечивает большую экономическую эффективность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Испытания системы мониторинга сменных кузовов / А. А. Артюшин [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2015. № 4. С. 21–24. EDN: [TZJBXR](#)
2. Латышенко Н. М. Перспективы применения электронного блока управления аэрацией зерна в контейнерах с регулируемой газовой средой // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. Т. 13, № 2. С. 95–102. EDN: [TNGYPT](#)
3. Измайлов А. Ю., Евтюшенков Н. Е. Эффективность новых транспортных технологий в АПК // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2009. № 2. С. 32–37. EDN: [KDNDIH](#)
4. Инновационный подход в развитии транспортной инфраструктуры агропромышленного комплекса / А. Ю. Измайлов [и др.] // Технология колесных и гусеничных машин. 2012. № 1. С. 23–28. EDN: [OZPYZV](#)
5. Чулков А. С. Эффективность уборки зерновых культур с применением сменных кузовов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 4. С. 24–25. EDN: [QZKYPT](#)
6. К вопросу создания базы данных транспортных и погрузочных средств / А. Ю. Измайлов [и др.] // Система технологий и машин для инновационного развития АПК России. 2013. С. 263–265. EDN: [TUFZQT](#)
7. Евтюшенков Н. Е., Чулков А. С. Транспортное обслуживание уборочных машин сменными кузовами // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2011. № 5. С. 35–37. EDN: [OHSAAZ](#)
8. Чулков А. С. Преимущество перевалочной технологии с применением сменных кузовов // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2013. № 5. С. 42–43. EDN: [RBTNBN](#)
9. Заготовка семян зерновых и зернобобовых культур в селекции и первичном семеноводстве / В. П. Елизаров [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2014. № 5. С. 17–21. EDN: [TCGGND](#)
10. Исследование кинетики сушки вороха семян в контейнерной сушилке / А. Ю. Измайлов [и др.] // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2014. № 5. С. 65–67. EDN: [SNVTDF](#)
11. Prentice B., Hemmes M. Containerization of Grain: Emergence of a New Supply Chain Market. Journal of Transportation Technologies. 2015. Issue 5. P. 55–68. <https://doi.org/10.4236/jtts.2015.52006>
12. Измайлов А. Ю., Евтюшенков Н. Е., Рожин В. Ф. Разработка математического аппарата для моделирования технологий по транспортированию селекционного урожая // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2015. № 6. С. 14–16. EDN: [UOSUON](#)
13. Effects of Container and Duration of Storage on the Quality of Okra (*Abelmoschus esculentus*) Seeds / R. Sultana [et al.] // The Agriculturists. 2016. Vol. 14, Issue 1. P. 63–72. <https://doi.org/10.3329/agric.v14i1.29101>
14. Измайлов А. Ю., Евтюшенков Н. Е., Курбанов Р. К. Модернизация технологий транспортирования селекционного урожая // Вестник Российской академии сельскохозяйственных наук. 2017. № 2. С. 6–8. EDN: [YINOQT](#)
15. Обоснование уборочно-транспортных процессов в селекционных технологиях / А. Ю. Измайлов [и др.] // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2018. Т. 12, № 1. С. 4–9. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-4-9>
16. Результаты исследования образования конденсата влаги при аэрации зерновой массы, находящейся в герметичном контейнере с регулируемой воздушной средой / М. Б. Латышенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2020. № 3 (47). С. 109–112. EDN: [EJAJNY](#)
17. Исследование температурного и влажностного режима хранения семенного зерна в герметичной металлической емкости / Н. М. Латышенко [и др.] // Вестник Рязанского государственного агротехнологического университета им. П. А. Костычева. 2021. Т. 13, № 4. С. 152–158. <https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.47.31.019>
18. Степанов К. А., Иванов М. В. Технология контейнерной заготовки семян и зерна в семеноводстве // Аграрный научный журнал. 2021. № 4. С. 102–105. <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp102-105>
19. Комбайн семенно-уборочный-2: патент 2001109656 Российская Федерация / Пестряков Л. А. № 2236110; заявл. 2001.04.10; опубл. 2003.05.10, Бюл. № 13. 5 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2001109656A_20030510
20. Контейнерная система для сбора зерна от бункерного комбайна: патент 2003122370 Российская Федерация / Буриянов А. И., Дмитренко А. И., Пасечный Н. И. № 2003122370; заявл. 2003.07.17; опубл. 2005.02.10, Бюл. № 12. 5 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2003122370A_20050210

21. Способ сушки семян в контейнерах и устройство для его осуществления : патент 2013135593 Российская Федерация / Власова С. В. [и др.]. № 2558867 ; заявл. 2013.07.29 ; опубл. 2015.02.10, Бюл. № 6. 7 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2013135593A_20150210
22. Контейнерный способ уборки зерновых культур с селекционных делянок : патент 2013146225 Российская Федерация / Жалнин Э. В., Орехов А. П., Подзоров А. В. № 2534290 ; заявл. 2013.10.17 ; опубл. 2014.11.27, Бюл. № 13. 4 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2534290C1_20141127
23. Способ контейнерной перевозки, сушки и хранения семян : патент 2013108216 Российская Федерация / Измайлов А. Ю. [и др.]. № 2527520 ; заявл. 2013.02.25 ; опубл. 2014.08.27, Бюл. № 13. 5 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2013108216A_20140827
24. Способ контейнерной сушки семян и зерна и устройство для его осуществления : патент 2014117127 Российская Федерация / Крюков М. Л. [и др.]. № 2555239 ; заявл. 2014.04.29 ; опубл. 2015.07.10, Бюл. № 6. 9 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2555239C1_20150710
25. Способ и устройство для контейнерной сушки семян : патент 2014117127 Российская Федерация / Голубкович А. В. [и др.]. № 2589972 ; заявл. 2015.04.16 ; опубл. 2016.07.10, Бюл. № 6. 9 с. URL: <https://patenton.ru/patent/RU2589972C1>
26. Контейнер для транспортировки, сушки и хранения семян : патент 2014117127 Российская Федерация / Измайлов А. Ю. [и др.]. № 2764947 ; заявл. 2021.07.13 ; опубл. 2022.01.24, Бюл. № 6. 17 с. URL: https://yandex.ru/patents/doc/RU2764947C1_20220124
27. Жалнин Э. В., Чаплыгин М. Е. Динамика фракционного состава зерносоматистой массы, обмолачиваемой в молотильном аппарате зерноуборочного комбайна // Инженерные технологии и системы. 2022. Т. 32, № 2. С. 249–262. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.249-262>
28. Жалнин Э. В., Чаплыгин М. Е. Совершенствование конструкции зерноуборочных комбайнов путем гармонизации их базовых технических параметров // Инженерные технологии и системы. 2023. Т. 33, № 3. С. 403–416. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>
29. Жалнин Э. В., Зубина В. А. Обоснование типовых сельскохозяйственных территорий для разработки региональных систем машин // Сельскохозяйственные машины и технологии. 2022. Т. 16, № 2. С. 82–89. <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-82-89>
30. Чаплыгин М. Е., Чулков А. С., Степанов К. А. Способы передвижения транспортного средства в поле при подборе груза // Электротехнологии и электрооборудование в АПК. 2022. Т. 69, № 4 (49). С. 37–43. <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-4-37-43>

*Поступила в редакцию 09.11.2023; поступила после рецензирования 06.12.2023;
принята к публикации 16.12.2023*

Об авторах:

Чаплыгин Михаил Евгеньевич, кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, заведующий лабораторией «Технологии и машины для посева и уборки зерна и семян в селекции и семеноводстве» Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>, Researcher ID: [AAZ-6056-2020](https://orcid.org/AAZ-6056-2020), misha2728@yandex.ru

Степанов Кирилл Александрович, младший научный сотрудник, сотрудник лаборатории «Технологии и машины для посева и уборки зерна и семян в селекции и семеноводстве» Федерального научного агроинженерного центра ВИМ (109428, Российская Федерация, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1511-4307>, 89999878895@mail.ru

Заявленный вклад авторов:

М. Е. Чаплыгин – научное руководство, формулирование основных целей и задач исследования, доработка текста, формирование общих выводов.

К. А. Степанов – анализ литературных источников, составление начального варианта статьи, визуализация материалов, доработка текста, формирование общих выводов, итоговая переработка статьи.

Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

REFERENCES

1. Artyushin A.A., Evtyushenkov N.E., Shilova E.P., Grishin A.A. Testing of the Monitoring System for Replacement Bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2015;(4):21–24. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [TZJBXR](#)
2. Latyshenok N.M. Prospects for the Use of an Electronic Control Unit for Grain Aeration in Sealed Containers with a Controlled air Environment. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2021;13(2):95–102. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [TNGYPT](#)
3. Izmajlov A.Yu., Evtyushenkov N.E. Efficiency of New Transport Technologies in the Agro-Industrial Complex. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2009;(2):32–37. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [KDNDIH](#)
4. Izmaylov A.Yu., Dzotsenidze T.D., Evtyushenkov N.E., Levshin A.G., Galkin S.N., Sorokin V.G., et al. Innovative Approach in Development of Agricultural Transport Infrastructure. *Technology of Wheeled and Tracked Machines*. 2012;1:23–28. EDN: [OZPYZV](#)
5. Chulkov A.S. Efficiency of Harvesting Grain Crops with the Use of Replaceable Bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2013;(4):24–25. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [QZKYPT](#)
6. Izmailov A.Yu., Evtyushenkov N.E., Kurbanov R.K., Shilova E.P. On the Issue of Creating a Database of Transport and Loading Equipment. *System of Technologies and Machines for Innovative Development of Agricultural Industry of Russia*. 2013;263–265. EDN: [TUFZQT](#)
7. Evtyushenkov N.E., Chulkov A.S. Transport Service of Harvesting Machines with Replacement Bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2011;(5):35–37. EDN: [OHSAAZ](#)
8. Chulkov A.S. The Advantage of Transshipment Technology with the Use of Replaceable Bodies. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2013;(5):42–43. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [RBTNBN](#)
9. Yelizarov V.P., Golubkovich A.V., Evtyushenkov N.E., Kryukov M.L., Kalinkin G.A. Harvesting of Grain and Grain Legume Seeds in Selection and Primary Seed Breeding. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2014;(5):17–21. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [TCGGND](#)
10. Izmailov A.Yu., Golubkovich A.V., Evtyushenkov N.Ye., Kryukov M.L., Razin O.A. Study of the Drying Kinetics of a Pile of Seeds in the Container Dryer. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2014;(5):65–67. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [SNVTDF](#)
11. Prentice B., Hemmes M. Containerization of Grain: Emergence of a New Supply Chain Market. *Journal of Transportation Technologies*. 2015;(5):55–68. <https://doi.org/10.4236/jtts.2015.52006>
12. Izmajlov A.Yu., Evtyushenkov N.E., Rozhin V.F. Elaboration of Mathematical Device for Modeling Technologies for Transportation of Selective Yield. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2015;(6):14–16. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [UOSUON](#)
13. Sultana R., Chowdhury M. S.M., Rafiqul Islam M., Akhter K. Effects of Container and Duration of Storage on the Quality of Okra (*Abelmoschus Esculentus*) Seeds. *The Agriculturists*. 2016;14(1):63–72. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.3329/agric.v14i1.29101>
14. Izmajlov A.Yu., Evtyushenkov N.E., Kurbanov R.K. Modernization of Selected Yield Conveying Technology. *Bulletin of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2017;(2):6–8. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [INOQT](#)
15. Izmailov A.Yu., Rozhin V.F., Shilova E.P., Ivanov M.V., Kynev D.N. Substantiation of Harvesting and Transportation Processes in Selection Technologies. *Agricultural Machines and Technologies*. 2018;12(1):4–9. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2018-12-1-4-9>
16. Latyshenok M.B., Kostenko M.Y., Latyshenok N.M., Kostenko N.A. Results of the Study of the Formation of Moisture Condensate During Aeration of Grain Mass in a Sealed Container with a Regulated air Medium. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2021;13(2):95–102. (In Russ., abstract in Eng.) EDN: [EJAJNY](#)
17. Latyshenok N.M., Shemyakin A.V., Slobodskova A.A., Gasparyan S.V., Tsymbal A.A., Musaev F.A. Investigation of the Temperature and Humidity of Grain Storage in a Sealed Metal Container. *Herald of Ryazan State Agrotechnological University Named after P.A. Kostychev*. 2021;13(4):152–158. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.36508/RSATU.2021.47.31.019>
18. Stepanov K.A., Ivanov M.V. Technology of Container Logging of Seeds and Grain in Seed Production. *The Agrarian Scientific Journal*. 2021;(4):102–105. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.28983/asj.y2021i4pp102-105>



19. Pestryakov L.A. [Seed Harvester-2]. Patent 2,236,110 Russian Federation. 2003 May 10. 5 p. (In Russ.)
20. Bur'yanov A.I., Dmitrenko A.I., Pasechnyj N.I. [Container System for Collecting Grain from a Bunker Combine]. Patent 2,003,122,370 Russian Federation. 2005 February 10. 5 p. (In Russ.)
21. Vlasova S.V., Elizarov V.P., Kalinkin G.A., et al. [The Method of Drying Seeds in Containers and the Device for its Implementation]. Patent 2,558,867 Russian Federation. 2015 February 10. 7 p. (In Russ.)
22. Zhalnin E.V., Orekhov A.P., Podzorov A.V. [Container Method of Harvesting Grain Crops from Breeding Plots]. Patent 2,534,290 Russian Federation. 2014 November 27. 4 p. (In Russ.)
23. Izmajlov A.Yu., Elizarov V.P., Evtyushenkov N.E., et al. [Method of Container Transportation, Drying and Storage of Seeds]. Patent 2,527,520 Russian Federation. 2014 August 27. 5 p. (In Russ.)
24. Kryukov M.L., Golubkovich A.V., Evtyushenkov N.E., et al. [A Method for Container Drying of Seeds and Grains and a Device for its Implementation]. Patent 2,555,239 Russian Federation. 2015 July 10. 9 p. (In Russ.)
25. Golubkovich A.V., Izmailov A.Yu., Evtyushenkov N.E., et al. [Method and Device for Container Drying of Seeds]. Patent 2,589,972 Russian Federation. 2016 July 10. 9 p. (In Russ.)
26. Izmajlov A.Yu., Kryukov M.L., Ivanov M.V., et al. [Container for Transportation, Drying and Storage of Seeds]. Patent 2,764,947 Russian Federation. 2022 January 24. 17 p. (In Russ.)
27. Zhalnin E.V., Chaplygin M.E. Dynamics of Fractional Composition of Grain-and-Straw Mass Being Threshed in the Threshing Mechanism of a Combine Harvester. *Engineering Technologies and Systems*. 2022;32(2):249–262. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.032.202202.249-262>
28. Zhalnin E.V., Chaplygin M.E. Improving the Design of Combine Harvesters by Harmonizing Their Basic Technical Parameters. *Engineering Technologies and Systems*. 2023;33(3):403–416. <https://doi.org/10.15507/2658-4123.033.202303.403-416>
29. Zhalnin E.V., Zubina V.A. Substantiation of Typical Agricultural Areas As a Methodological Basis for the Development of Regional Machine Systems. *Agricultural Machinery and Technologies*. 2022;16(2):82–89. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2073-7599-2022-16-2-82-89>
30. Chaplygin M.E., Chulkov A.S., Stepanov K.A. Movement of the Vehicle in the Field When Picking up Cargo. *Electrification of Agriculture*. 2022;69(4):37–43. (In Russ., abstract in Eng.) <https://doi.org/10.22314/2658-4859-2022-69-4-37-43>

Submitted 09.11.2023; revised 06.12.2023; accepted 16.12.2023

About the authors:

Mikhail E. Chaplygin, Cand.Sci. (Engr.), Senior Researcher, Head of the Laboratory of Technologies and Machines for Sowing and Harvesting Grain and Seeds in Selection and Seed Production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0031-6868>, Researcher ID: [AAZ-6056-2020](https://orcid.org/AAZ-6056-2020), misha2728@yandex.ru

Kirill A. Stepanov, Junior Researcher, employee of the Laboratory of Technologies and machines for sowing and harvesting grain and seeds in selection and seed production, Federal Scientific Agroengineering Center VIM (5, 1st Institutskiy Proyezd, Moscow 109428, Russian Federation), ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1511-4307>, 89999878895@mail.ru

Authors contribution:

M. E. Chaplygin – scientific guidance, formulation of the main goals and objectives of the study, revision of the text, drawing general conclusions.

K. A. Stepanov – analysis of literary sources, writing the initial draft, drawing general conclusions, visualization of research results, revision of the text, final revision of the manuscript.

All authors have read and approved the final manuscript.