

УДК 631.365.2:631.171

Научная статья



Открытый доступ

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-161-165

Е.М. Пучков, ✉
Г.А. Перов,
С.В. Соловьёв

Федеральный научный центр лубяных культур, Тверь, Россия

✉ e.puchkov@fnclk.ru

Поступила в редакцию:
19.05.2023Одобрена после рецензирования:
14.08.2023Принята к публикации:
30.08.2023

Research article



Open access

DOI: 10.32634/0869-8155-2023-374-9-161-165

Evgeniy M. Puchkov, ✉
Gennady A. Perov,
Sergey V. SolovyovFederal Research Center of Fibre Crops,
Tver, Russia

✉ e.puchkov@fnclk.ru

Received by the editorial office:
19.05.2023Accepted in revised:
14.08.2023Accepted for publication:
30.08.2023

Инновационная технология сушки семян мелкосеменных культур

РЕЗЮМЕ

Актуальность. Приоритетными задачами сельскохозяйственной науки на ближайший период до 2030 года являются развитие семеноводства сельскохозяйственных культур на основе создания новых отечественных высокоурожайных сортов и развитие инновационных технологий по возделыванию, уборке и переработке этих культур. Анализ показал, что существующие технологии и сушильные установки для мелкосеменных культур имеют низкую производительность и высокие энергозатраты. Это послужило основой для разработки новой технологии и технологической схемы инновационной сушилки семян мелкосеменных культур.

Методы и объекты исследования. Объектами исследования являются сушильные установки СКМ-1 совместного производства Брянского и Бежецкого заводов, а также SKU-10 (Тверца) производства ОАО «Тверьсельмаш». Исследования СКМ-1 выполнялись в колхозе «Мир» Тверской области в 2021 и 2022 годах, SKU-10 — в ОП НИИЛ (г. Торжок) в 2022 году с использованием технических характеристик заводов-изготовителей и производственных показателей. Применялись экспериментальные и производственные методы сравнительного и системного анализа данных, методические подходы ведущих ученых, занимающихся исследованием и разработкой сушильных установок. Теплотехнологические, конструктивные и экономические расчеты сушильной установки выполнены авторами.

Результаты. Использование технологии сушки семян на основе увеличения площади теплообмена и подачи теплоносителя в многосторонних и встречных потоках увеличивает производительность предложенной сушильной установки в 1,3–2 раза по сравнению с существующими, энергозатраты значительно уменьшились.

Ключевые слова: семена льна-долгунца, сушильная установка, теплообмен, материальный и тепловой баланс, конструктивные параметры, экономическая эффективность

Для цитирования: Пучков Е.М., Перов Г.А., Соловьёв С.В. Инновационная технология сушки семян мелкосеменных культур. *Аграрная наука.* 2023; 374(9): 161–165. <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-161-165>

© Пучков Е.М., Перов Г.А., Соловьёв С.В.

Innovative technology of drying seeds of small-seeded crops

ABSTRACT

Relevance. The priority task of agricultural science for the nearest period until 2030 is the development of seed production of agricultural crops based on the creation of new domestic high-yielding varieties and the development of innovative technologies for the cultivation, harvesting and processing of these crops. The analysis showed that the existing technologies and drying plants for small-seeded crops have low productivity and high energy consumption. This served as the basis for the development of a new technology and technological scheme of innovative drying of seeds of small-seeded crops.

Methods and objects of research. The objects of the study are the drying units SCM-1 of the joint production of the Bryansk and Bezhetsky plants, as well as the SKU-10 (Tvertsa) produced by JSC «Tverselmash». SCM-1 studies were carried out at the «Mir» collective farm in the Tver region in 2021 and 2022, SKU-10 — in the OP NIIL (Torzhok) in 2022 using the technical characteristics of manufacturers and production indicators. Experimental and production methods of comparative and systematic data analysis, methodological approaches of leading scientists involved in the research and development of drying plants were used. Heat-technological, constructive and economic calculations of the drying plant are carried out by the authors.

Results. The use of seed drying technology based on an increase in the area of heat and mass transfer and the supply of coolant in multilateral and oncoming flows increases the productivity of the proposed drying plant by 1.3–2 times compared to existing ones, energy consumption has significantly decreased.

Key words: flax seeds, drying plant, heat and mass transfer, material and thermal balance, design parameters, economic efficiency

For citation: Puchkov E.M., Perov G.A., Solovyov S.V. Innovative technology of drying seeds of small-seeded crops. *Agrarian science.* 2023; 374(9): 161–165 (In Russian). <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-374-9-161-165>

© Puchkov E.M., Perov G.A., Solovyov S.V.

Введение/Introduction

Приоритетная задача агропромышленного комплекса — обеспечение продовольственной, технологической и сырьевой безопасности России, одной из ключевых задач которой является создание отечественных сортов сельскохозяйственных культур. По данным Минсельхоза РФ, доля отечественных семян по сахарной свекле составляет 1,8%, картофелю — 7%, подсолнечнику — 23%, яровому рапсу — 31%, кукурузе — 41,8%, сое — 43,5%, при этом по ряду культур показатели в 2022 г. по сравнению с 2021-м даже снизились¹.

Для полного обеспечения АПК собственными семенами необходимо не только создание новых сортов, но также размножение оригинаторов и производство репродукционных семян в семеноводческих и товарных хозяйствах. Для этого важно их технически переоснастить высокопроизводительной техникой и оборудованием, в том числе сушильными и семяочистительными комплексами.

Лен-долгунец — один из основных в России источников сырья для текстильной, легкой и других отраслей экономики. Однако в последние годы посевные площади льна постоянно уменьшаются. В 2022 году (по сравнению с 2020-м) они уменьшились на 13,7 тыс. га, или на 26,8%². Основной причиной является низкая техническая оснащенность льносеющих хозяйств льноуборочными машинами, а также оборудованием для сушки и переработки льняного вороха.

По данным Россельхозцентра³ Минсельхоза РФ, обеспеченность семенами льна-долгунца на посев не превышает 93,5%. При этом допускается сев уменьшенными нормами высева, низкими репродукциями, некондиционными семенами, не выполняются требования сортосмены, что приводит к снижению урожайности [1].

Учеными ФНЦ ЛК разработан комплекс машин для уборки льна и получения высококачественных посевных семян льна-долгунца, в том числе сушиллки, сепараторы льновороха, молотилки, семяочистительные линии. Сушка льновороха остается одной из затратных технологических операций. Затраты на сепарирование, сушку и обмолот вороха составляют от 20 до 25% от всех затрат на возделывание льна.

Учитывая это, ФНЦ ЛК совместно с Пензенским машиностроительным заводом (ПАО «Пензмаш») создал самоходный многофункциональный агрегат для уборки льна, который выполняет тербление льна с одновременным очесом семенных коробочек, расстил очесанных стеблей льна в ленты и обмолот семенного материала в бункер комбайна. При этом исключаются операции сепарации и обмолота льновороха в стационарных условиях, в результате чего уменьшаются затраты на сушку семян [2].

Существует несколько сушильных установок для сушки семян сельскохозяйственных культур: напольные, шахтные, барабанные, контейнерные, ленточные, конвейерные и прочие. Основными недостатками этих сушилок являются: жесткий режим сушки при высокой

температуре нагрева, что неприемлемо для получения посевных семян; невысокая энергоэффективность; неравномерность высушиваемого материала; затруднена автоматизация процесса сушки; высокий уровень травмирования семян. Многие из вышеуказанных сушилок являются установками периодического действия [3, 4].

К относительно эффективным сушилкам с неподвижным слоем сушки можно отнести противоточные карусельные сушилки [5, 6]. Они просты по конструкции, обеспечивают щадящий режим сушки при температуре до 40 °С для семенных целей льна-долгунца.

Анализ обеспеченности сушильным оборудованием, выполненный авторами с использованием данных региональных органов АПК, показывает, что 42% льносеющих хозяйств используют для сушки семян старые низкопроизводительные, энергозатратные по топливу и электроэнергии сушилки СКМ-1; 23% — зерносушилки, 35% хозяйств не имеют никаких сушилок. Всё это приводит к снижению и недостатку семян, вследствие чего ежегодно сокращаются посевные площади льна-долгунца.

Цель исследования — разработать новую эффективную технологию и конструкцию сушильной установки для сушки семян мелкосеменных культур, обеспечивающие увеличение производительности и снижение энергозатрат.

Материалы и методы / Materials and methods

Исследования проводились на основе данных Росстата, Минсельхоза РФ, а также материалов, предоставленных льносеющими хозяйствами. Объектами исследования являются сушильные установки СКМ-1 и СКУ-10 (Тверца).

Исследования СКМ-1 выполнялись в колхозе «Мир» (Тверская обл., Россия) в 2021 и 2022 годах, СКУ-10 — в ОП НИИЛ (г. Торжок, Тверская обл.) в 2022 году с использованием технических характеристик заводоизготовителей и производственных показателей. Применялись экспериментальные и производственные методы сравнительного и системного анализа данных⁴, методические подходы ведущих ученых [5, 6, 8–12], занимающихся исследованием и разработкой сушильных установок.

Теплотехнологические, конструктивные и экономические расчеты⁵ сушильной установки выполнены авторами.

По формулам, приведенным в [5–7], и методическим указаниям⁶ проведен теоретический расчет предлагаемой сушильной установки для сушки семян мелкосеменных культур (в частности, льняного вороха) при следующих исходных данных:

$\omega_2 = 13\%$ — влажность по конечному продукту в долях 0,13; $\omega_1 = 35\%$ — влажность материала по исходному продукту в долях 0,35; $P_{\text{вл}} = 250\text{--}255 \text{ кг/м}^3$ — плотность влажного материала; $P_{\text{выс}} = 180 \text{ кг/м}^3$ — плотность высушенного материала; $Q_2 = 1800 \text{ кг/ч}$ — расчетная производительность по сухому материалу; $Q_1 = 2409 \text{ кг/ч}$ — расчетная производительность по влажному материалу;

¹ Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Официальный сайт. Режим доступа: <https://mcs.gov.ru/> (дата обращения: 21.02.2023).

² ЕМИСС. Государственная статистика. Посевные площади и валовые сборы сельскохозяйственных культур в хозяйствах всех категорий. Режим доступа: <https://fedstat.ru/indicator/31328> (дата обращения: 06.03.2023).

³ ФГБУ «Россельхозцентр». Режим доступа: <https://rosselhoccenter.ru/> (дата обращения: 07.09.2022).

⁴ Кулаичев А.П. Методы и средства комплексного статистического анализа данных. М. ИНФРА-М. 2022; 484.

⁵ Методика определения экономической эффективности технологий и сельскохозяйственной техники / А.В. Шпилько, В.И. Драгайцев, П.Ф. Тулапин и др. Министерство сельского хозяйства и продовольствия РФ. Всероссийский научно-исследовательский институт экономики сельского хозяйства. М.: ГП УСЗ Минсельхозпрома России. 1998; 2: 251.

⁶ Холодильник А.Н. Расчет основных параметров барабанной сушилки. Методические указания. Оренбургский университет. Оренбург: ОГУ. 2021; 52.

$\alpha = 20$ — число рабочих дней в сезон; $b = 8$ — число часов работы в день; $Q_c = 288\,000$ кг — сезонная производительность сушилки по сухому вороху; $C_{\text{вм}} = 0,8$ кДЖ/(кг·К) — теплоемкость высушенного материала; $t_n = 20$ °С — температура влажного материала; $t_k = 38$ °С — температура выгружаемого материала; $\alpha = 9,11$ — коэффициент избытка воздуха для смеси с температурой 40 °С.

В результате расчета получено:

$L_{\text{гр}} = 1,74$ м³/с — расход сухого воздуха; $\Sigma Q = 324,9$ кВт — расход тепла на сушку; $G_{\text{пр}} = 35,4$ м³/ч — расход природного газа на сушку; $G_{\text{дт}} = 27$ кг/ч — расход дизельного топлива на сушку; $V_n = 9,54$ м³ — полезный объем сушильной камеры.

Согласно исследованиям авторов, на сушилках СКМ-1 и СКУ-10 оптимальная толщина слоя высушиваемого материала не должна превышать 0,6 м.

Принимаем высоту боковой перфорированной стенки $h = 0,6$ м. Тогда диаметр сушильной камеры будет равен 4,5 м, что соответствует полезному объему 9,54 м³. Учитывая агротехнические требования и невозможности хранения влажного вороха после доставки с поля, необходимо увеличить размер сушильной камеры (с учетом накопительного объема) по высоте до 1,2 м. Тогда общий объем сушильной камеры (с учетом накопительного объема) равен $V_0 = 19,08$ м³. Площадь перфорированной платформы — 15,9 м², площадь боковой перфорированной стенки — 8,48 м². Общая площадь поверхности сушки $F_0 = 24,4$ м². Тогда $\tau = 1,14$ ч — среднее интегральное время пребывания материала в зоне сушки; поверхностное напряжение теплообмена полезной площади сушильной установки по влаге

$$A_F = W / \tau \cdot F_0 = 21,9 \text{ кг/м}^2\text{ч},$$

где $W = 609$ кг/ч — расход влаги, удаляемой из высушиваемого льновороха.

То есть скорость сушки — количество влаги, испаряемой с единицы поверхности высушиваемого материала за 1 ч, 21,9 кг/м²·ч.

Результаты и обсуждение / Results and discussion

В результате анализа технологий и сушильных установок карусельного типа выполнены расчеты и предложена новая эффективная технология сушки⁷ семян мелкосеменных культур в многосторонних и встречных потоках теплоносителя, что повышает теплообмен, а также конструкция сушильной установки, обеспечивающей повышение производительности сушки в 1,3–2 раза при значительном снижении расхода топлива.

Сушильная установка работает следующим образом: загрузка отсепарированного льновороха в сушильную камеру — типовыми скребковыми транспортерами, по мере загрузки осуществляется рыхление материала колковым барабаном при

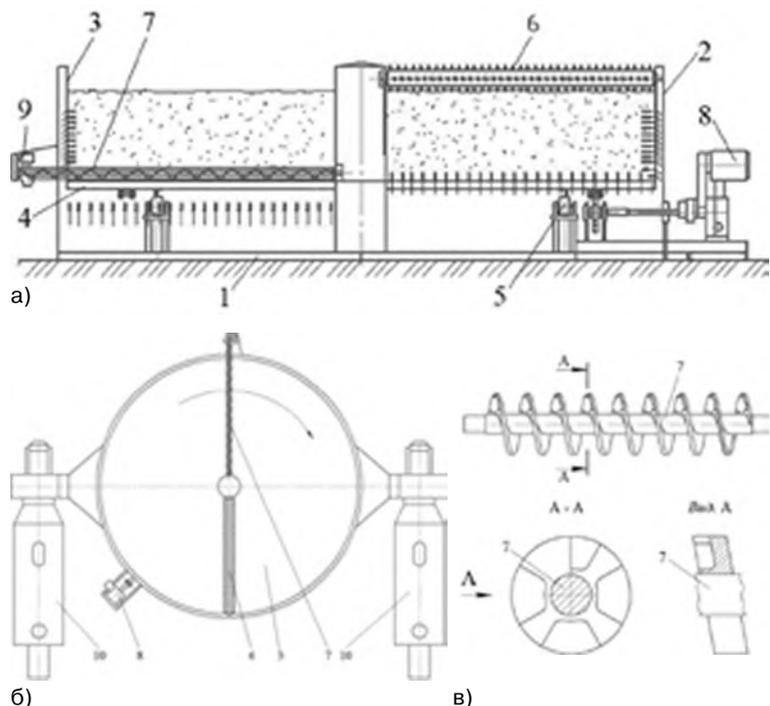
постоянном вращении платформы. Колковый барабан при загрузке сушильной камеры поднимается вверх механическим приводом, при окончании загрузки опускается вниз по направляющим на поверхность материала.

По окончании загрузки полного объема сушильной камеры включается подача теплоносителя через два диаметрально противоположных окна корпуса в двух направлениях: снизу платформы вертикально к материалу и горизонтально — к материалу по всей окружности сушильной камеры. Использование многосторонних и встречных потоков теплоносителя обеспечивает равномерный теплообмен и влагообмен, создает оптимальную интенсивность и повышенную скорость сушки. По мере высушиваемого материала нижнего слоя полезного объема сушилки осуществляется выгрузка сухого материала шнеком при одновременной загрузке сушильной камеры. Автоматика контроля параметров температуры и влажности льновороха может быть выполнена с использованием отечественных приборов, для управления электроприводами используются частотные преобразователи E2-8300 компании «Веспер» (Россия).

В таблице 1 на основании проведенных теоретических, экспериментальных исследований предлагаемой сушильной установки для сушки семян мелкосеменных культур (в частности льняного вороха) представлены результаты расчета энергозатрат, производительности, материалоемкости и технико-экономическое обоснование в сравнении с карусельными сушилками СКМ-1 и СКУ-10 производства «Брянксельмаш» (Россия) и «Тверьсельмаш» (Россия).

Рис. 1. Схема сушильной установки: а) продольный разрез; б) вид сверху; в) выгрузной шнек; 1 — рама, 2 — корпус, 3 — кольцевая сушильная камера, 4 — перфорированная платформа, 5 — ролики, 6 — колковый барабан, 7 — выгрузной шнек, 8 — привод сушилки, 9 — привод выгрузного шнека, 10 — теплогенератор

Fig. 1. The scheme of the drying plant: а) longitudinal section; б) top view; в) discharge auger; 1 — frame, 2 — housing, 3 — ring drying chamber, 4 — perforated platform, 5 — rollers, 6 — pegged drum, 7 — discharge auger, 8 — dryer drive, 9 — discharge auger drive, 10 — heat generator



⁷ Карусельная сушилка для сушки семенного вороха мелкосеменных культур. Патент РФ № 2770574; авторы Р.А. Ростовцев, Е.М. Пучков, Г.А. Перов (заявл. 12.07.2021). Оpubл. 18.04.2022. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id> (дата обращения: 06.03.2023).

Таблица 1. Сравнительные технико-экономические показатели существующих и предлагаемой сушильной установки на семенном режиме

Table 1. Comparative technical and economic indicators of the existing and proposed drying plant in seed mode

Показатели	СКМ-1	СКУ-10	СКМ-1,8
Производительность по сухому льновороху, т/ч	0,9	1,35	1,8
Расход топлива на 1 т сухого вороха: дизельного топлива, кг/т природного газа, м ³ /т	80 –	22,2 –	15,0 19,66
Расход электроэнергии, кВт·ч/т	100	30,7	19,4
Диаметр сушильной камеры, м	9,0	6,0	4,5
Масса, кг	21 200	8730	7500
Затраты дизельного топлива при цене 51 000 руб/т, руб/т вороха	4080	1132	765,0
Затраты природного газа при цене 7 руб/м ³ , руб/т вороха	–	–	137,6
Затраты электроэнергии при цене 6 руб/кВт·ч, руб/кВт·ч/т	600,0	184,2	116,4
Общие затраты на 1 т сухого вороха при использовании дизельного топлива, руб.	4680	1316,2	881,4
Экономия на 1 т сухого вороха при использовании дизельного топлива, руб. по сравнению с СКМ-1 по сравнению с СКУ-10	– –	– –	3798,6 434,8
Затраты на 1 т вороха при использовании природного газа, руб.	–	–	254,0
Экономия при использовании природного газа на 1 т сухого вороха, руб.: по сравнению с СКМ-1 по сравнению с СКУ-10	– –	– –	4426 1062,2
Сезонная экономическая эффективность при использовании дизельного топлива, тыс. руб. (20 дней): по сравнению с СКМ-1 по сравнению с СКУ-10	– –	– –	1094,0 125,2
Сезонная экономическая эффективность при использовании природного газа, тыс. руб. (20 дней): по сравнению с СКМ-1 по сравнению с СКУ-10	– –	– –	1274,7 305,9

Выводы/Conclusion

Проведенный анализ схем и технологического процесса сушильных установок показал, что наиболее полно отвечает предъявляемым к ним требованиям сушилка карусельного типа. По результатам исследований были разработаны технология сушки в многосторонних и встречных потоках теплоносителя и конструкция

сушильной установки (Патент РФ № 2770574), обеспечивающей производительность в 1,33–2 раза выше существующих, расход топлива меньше в 1,48–5,3, электроэнергии — в 1,58–5,1. Экономия энергозатрат одной сушилки (20 дней работы в сезон) при использовании природного газа — от 306 тыс. руб. до 1275 тыс. руб., дизельного топлива — от 125 тыс. руб. до 1094 тыс. руб.

Все авторы несут ответственность за свою работу и представленные данные.

Все авторы внесли равный вклад в эту научную работу. Авторы в равной степени участвовали в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

All authors bear responsibility for the work and presented data.

All authors have made an equal contribution to this scientific work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Работа выполнена при поддержке Минобрнауки России в рамках госзадания ФГБНУ ФНЦ ЛК (№ FGSS-2022-0005).

FUNDING

The work was carried out with the support of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation within the framework of the state task of FGBI FNC LC (No. FGSS-2022-0005).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Шиндин А.П., Захарова Л.М., Тихомирова В.Я., Павлова Л.Н., Рожмина Т.А. Лен. Технологии возделывания и защиты от вредных организмов. М.: РосАгроХим. 2012; 141. ISBN 978-5-905745-01-0
- Ковалев М.М., Перов Г.А., Галкин А.В., Соловьев С.В., Лойко С.Ф. Инновационный способ уборки льна с очесом стеблей на корню. *Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве. Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 75-летию образования РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»*. Минск: Беларуская навука. 2022; 224–227. <https://www.elibrary.ru/qxpzpl>
- Ключников А.С. Исследование влияния новой технологии сушки на посевные качества семян зерновых культур. *Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии*. 2020; (1): 49–60. <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-49-60>
- Umirzakov R., Mukhididinov D.N., Abdirova M., Ongar B. Influence on the mode of grain drying in the heat generator and combustion products. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2019; (1): 176–183. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.22>
- Перекопский А.Н. Исследование процесса сушки семян на карусельной сушилке. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2019; 54: 123–128. <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-11123>
- Эрк А.Ф., Перекопский А.Н. Математическая модель процесса сушки зерна в карусельной сушилке. *Технологии и технические средства механизированного производства продукции растениеводства и животноводства*. 2016; 90: 78–83. <https://www.elibrary.ru/xellkp>

REFERENCES

- Shindin A.P., Zakharova L.M., Tikhomirova V.Ya., Pavlova L.N., Rozhmina T.A. Flax. Technologies of cultivation and protection from harmful organisms. Moscow: RosAgroChim. 2012; 141 (In Russian). ISBN 978-5-905745-01-0
- Kovalev M.M., Perov G.A., Galkin A.V., Solovyov S.V., Loiko S.F. An innovative way of harvesting flax with a combing of stems on the root. *Scientific and technological progress in agricultural production. Proceedings of international scientific and technical conference, dedicated to the 75th anniversary of the formation of the RUE «Scientific and practical Centre of National Academy of Sciences of Belarus for agriculture mechanization»*. Minsk: Belorusskaya navuka. 2022; 224–227 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/qxpzpl>
- Klyuchnikov A.S. Study of the influence of new drying technology on the quality of grain seeds. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2020; (1): 49–60 (In Russian). <https://doi.org/10.26897/0021-342X-2020-1-49-60>
- Umirzakov R., Mukhididinov D.N., Abdirova M., Ongar B. Influence on the mode of grain drying in the heat generator and combustion products. *News of the Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. 2019; (1): 176–183. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.22>
- Perekopsky A.N. Investigation of the process of drying seeds on a carousel dryer. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2019; 54: 123–128 (In Russian). <https://doi.org/10.24411/2078-1318-2019-11123>
- Erk A.F., Perekopsky A.N. Mathematical model of the grain drying process in a rotary dryer. *Tekhnologii i tekhnicheskie sredstva mekhanizirovannogo proizvodstva produktsii rasteniyevodstva i zhivotnovodstva*. 2016; 90: 78–83 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/xellkp>

7. Умирзаков Р.А. Разработка и исследование высокоэффективной сушильной установки для масличных семян. *Сейфуллинские чтения – 17: Современная аграрная наука: цифровая трансформация. Материалы Международной научно-теоретической конференции, посвященной 30-летию независимости Республики Казахстан*. Нур-Султан. 2021; 1(2): 410–413.

8. Зелёно В.И. Карусельные сушилки. Тверь: *Тверское областное книжно-журнальное издательство*. 2002; 191. ISBN 5-85457-189-7

9. Лачуга Ю.Ф. и др. Повышение эффективности процесса сушки льняного вороха. *Механизация и электрификация сельского хозяйства*. 2012; 46: 94–100.

10. Котов Б.І., Панцир Ю.І., Герасимчук І.Д., Калініченко Р.А., Грищенко В.О. Математична модель теплоенергетичних режимів теплонасосної сушильної установки. *Сільськогосподарські машини*. 2021; 47: 7–14. <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.616>

11. Калініченко Р.А., Добрицький О.О., Липунов М.І. Моделювання динамічних режимів нагрівання і сушіння зерна в протитечійних установках. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природо-користування України*. 2011; 166(4): 229–233.

12. Шаршунов В.А., Кругленья В.Е., Алексеенко А.С., Кудрявцев А.Н., Коцуба В.И. Поверхность испарения, льновороха в сушильной камере. *Тракторы и сельскохозяйственные машины*. 2005; (8): 41. <https://www.elibrary.ru/yqvtqx>

7. Umirzakov R.A. Development and research of a highly efficient drying plant for oilseeds. *Seifullin readings – 17: Modern agricultural science: digital transformation. Proceedings of the International scientific and theoretical conference, dedicated to the 30th anniversary of Independence of the Republic of Kazakhstan*. Nur-Sultan. 2021; 1(2): 410–413 (In Russian).

8. Zelenko V.I. Carousel dryers. Tver: *Tver Regional Book and Magazine Publishing House*. 2002. 191 (In Russian). ISBN 5-85457-189-7

9. Lachuga Yu.F. et al. Improving the efficiency of the drying process of the linen pile. *Mechanization and Electrification of Agriculture*. 2012; 46: 94–100 (In Russian).

10. Kotov B.I., Pantsyr Yu.I., Gerasymchuk I.D., Kalinichenko R.A., Hryshchenko V.O. Mathematical model of heat energy regimes of heat pump drying plant. *Agricultural Machines*. 2021; 47: 7–14 (In Ukrainian). <https://doi.org/10.36910/acm.vi47.616>

11. Kalinichenko R.A., Dobritsky O.O., Lipunov M.I. Modeling of dynamic regimes of heating and drying of grain in countercurrent installations. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*. 2011; 166(4): 229–233 (In Ukrainian).

12. Sharshunov V.A., Kruglenya V.E., Alekseenko A.S., Kudryavtsev A.N., Kotsuba V.I. Evaporation surface, flax rust in the drying chamber. *Tractors and agricultural machinery*. 2005; (8): 41 (In Russian). <https://www.elibrary.ru/yqvtqx>

ОБ АВТОРАХ

Евгений Михайлович Пучков,

кандидат экономических наук, ведущий научный сотрудник
e.puchkov@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6852-5629>

Геннадий Анатольевич Перов,

кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник
g.perov@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>

Сергей Викторович Соловьёв,

инженер-конструктор
s.solovyov@fncl.ru

Федеральный научный центр лубяных культур,
Комсомольский пр-т, 17/56, Тверь, 170041, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Evgeny Mikhailovich Puchkov,

Candidate of Economic Sciences, Leading Researcher
e.puchkov@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6852-5629>

Gennady Anatolievich Perov,

Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher
g.perov@fncl.ru
<https://orcid.org/0000-0002-5830-6817>

Sergey Viktorovich Solovyov,

Design Engineer
s.solovyov@fncl.ru

Federal Research Center of Fibre Crops,
17/56 Komsomolsky prospect, Tver, 170041, Russia