

## **Перспективные направления развития пневмотранспорта в агропромышленном комплексе**

*Рыбин Г.В., Блохин М.С., Назаров В.Н., Талыков В.А.*

**Аннотация.** Активное развитие агропромышленного комплекса Российской Федерации предполагает значительное увеличение объёма производств, а следовательно, увеличивается количество затрачиваемых удобрений для растений, кормов для животных, других производственных материалов, готового продукта, а также площадь предприятий. В связи с этим важным является исследование, совершенствование и внедрение на реальные производства установок для транспортирования материала. Между тем сельское хозяйство и перерабатывающая промышленность нашей страны сталкивается с проблемой серьёзной импортозависимости, поскольку большая часть технологий и оборудования (в том числе для транспортирования) представлены зарубежными производителями. Поэтому стоит острая необходимость именно отечественных разработок в данной сфере. Также важным вопросом для исследований является автоматизированное транспортирование жидкостей, которое находит всё более широкое применение. На данный момент наиболее распространены маломеханизированный, конвейерный и пневматический методы транспортирования. Маломеханизированный метод транспортирования предполагает наличие погрузочных и транспортировочных машин, которые производят много шума, загрязняют окружающий воздух продуктами сгорания топлива и обладают низким уровнем автоматизации. Однако, такой метод сравнительно простой и дешёвый, при этом существуют материалы, которые невозможно транспортировать другими способами. Конвейерный метод несмотря на такие преимущества как высокая автоматизация, низкий уровень шума и загрязнения окружающей среды имеет достаточно узкую сферу применения ввиду конструктивных особенностей. Наиболее перспективным является пневмотранспортирование, то есть такой процесс, в котором перемещение материала происходит из-за разницы давлений воздуха в начале и в конце транспортного трубопровода. Соответственно, такое транспортирование будет работать либо на избыточном давлении, либо на давлении разрежения. Преимущества такого способа – высокая автоматизация, герметичность, компактность, высокое качество транспортирования, низкие потери материала. Однако, вакуумное транспортирование – взрывобезопасно, поэтому является приоритетным способом. Несмотря на положительные моменты, пневмотранспорт обладает недостатками – высокий расход энергии и стоимость процесса, сложные системы фильтрации входящего в насос воздуха, низкая производительность в следствие неэффективных режимов движения материала. На ликвидацию данных недостатков и должны быть направлены исследования этой темы.

**Ключевые слова:** транспортирование, пневмотранспорт, вакуумное транспортирование, жидкостнокольцевой вакуумный насос.

**Для цитирования:** Рыбин Г.В., Блохин М.С., Назаров В.Н., Талыков В.А. Перспективные направления развития пневмотранспорта в агропромышленном комплексе // Инновационная техника и технология. 2022. Т. 9. № 3. С. 61–67.

## **Promising directions for the development of pneumatic transport in the agro-industrial complex**

*Rybin G.V., Blokhin M.S., Nazarov V.N., Talykov V.A.*

**Abstract.** The active development of the agro-industrial complex of the Russian Federation implies a significant increase in the volume of production, and consequently, the amount of fertilizers for plants, animal feed, other production materials, the finished product, as well as the area of enterprises increases. In this regard, it is important to research, improve and implement installations for material transportation into real production. Meanwhile, the agriculture and processing industry of our country is facing the problem of serious import dependence, since most of the technologies and equipment (including for transportation) are provided by foreign

manufacturers. Therefore, there is an urgent need for domestic developments in this area. Also an important issue for research is the automated transport of liquids, which is increasingly being used. At the moment, the most common are low-mechanized, conveyor and pneumatic methods of transportation. The low-mechanized method of transportation involves the presence of loading and transport machines that produce a lot of noise, pollute the surrounding air with fuel combustion products and have a low level of automation. However, this method is relatively simple and cheap, and there are materials that cannot be transported by other means. The conveyor method, despite such advantages as high automation, low noise and environmental pollution, has a rather narrow scope due to its design features. The most promising is pneumatic conveying, that is, a process in which the movement of material occurs due to the difference in air pressure at the beginning and at the end of the transport pipeline. Accordingly, such transportation will operate either at overpressure or underpressure. The advantages of this method are high automation, tightness, compactness, high quality of transportation, low material losses. However, vacuum transportation is explosion-proof, therefore it is a priority method. Despite the positive aspects, pneumatic transport has disadvantages - high energy consumption and the cost of the process, complex filtering systems for the air entering the pump, low productivity due to inefficient material movement modes. Research on this topic should be aimed at eliminating these shortcomings.

**Keywords:** transportation, pneumatic transport, vacuum transport, liquid ring vacuum pump.

**For citation:** Rybin G.V., Blokhin M.S., Nazarov V.N., Talykov V.A. Promising directions for the development of pneumatic transport in the agro-industrial complex. *Innovative Machinery and Technology [Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya]*. 2022. Vol. 9. No. 3. pp. 61–67. (In Russ.).

## Введение

С каждым годом агропромышленный комплекс (АПК) нашей страны активно развивается. Неуклонно растёт количество производимой продукции [1] и, соответственно, количество задействованного оборудования. Также увеличивается площадь сельскохозяйственных предприятий [2-3]. Соответственно возрастают потребности предприятий АПК в технологиях и оборудовании для переработки продукции, а также её транспортирования. Этот факт, а также наличие санкционных ограничений остро ставят задачу разработки отечественных сельскохозяйственных технологий и оборудования, которые были бы высокоэффективны, рентабельны и при этом не зависимы от зарубежных поставщиков.

## Объекты и методы исследований

Исследованием пневмотранспортных систем занимались такие учёные как Е.С. Фролов, И.А. Райзман, И.З. Аширов, Ю.М. Плаксин, Б.Л. Вишня, Д.В. Никитин, Ю.В. Родионов, П.С. Платицин [4-7].

Обзор существующих технологий проводился на основании общеизвестных сведений и информации, полученной из открытых источников в сети Интернет [12].

## Результаты

Отдельным и очень значимым вопросом яв-

ляется транспортирование жидкостей. Например, для молока критически важно не контактировать с воздухом, поскольку оно очень хорошо впитывает запахи, что значительно снижает качество готового продукта [8]. Однако, на данный момент, в большинстве случаев если организацией используется отечественное оборудование для транспортирования – то это устаревшие комплексы, отличающиеся низкой эффективностью, высоким энергопотреблением и большими потерями материала. Современное же оборудование представлено в основном зарубежными компаниями.

Транспортные установки должны отвечать следующим требованиям:

- Высокая скорость транспортирования;
- Высокий уровень автоматизации;
- Низкие затраты энергии;
- Низкие уровни потери, порчи и загрязнения материала;
- Безопасность процесса;
- Гигиеничность процесса для рабочих.

## Обсуждение

Наибольшее распространение получили маломеханизированные, конвейерные и воздушные системы транспортирования.

При маломеханизированном способе сырья или продукт перемещается тракторами-погрузчиками, небольшими грузовыми машинами и другими вспомогательными устройствами, которые требуют постоянного управления людьми. Так, например,

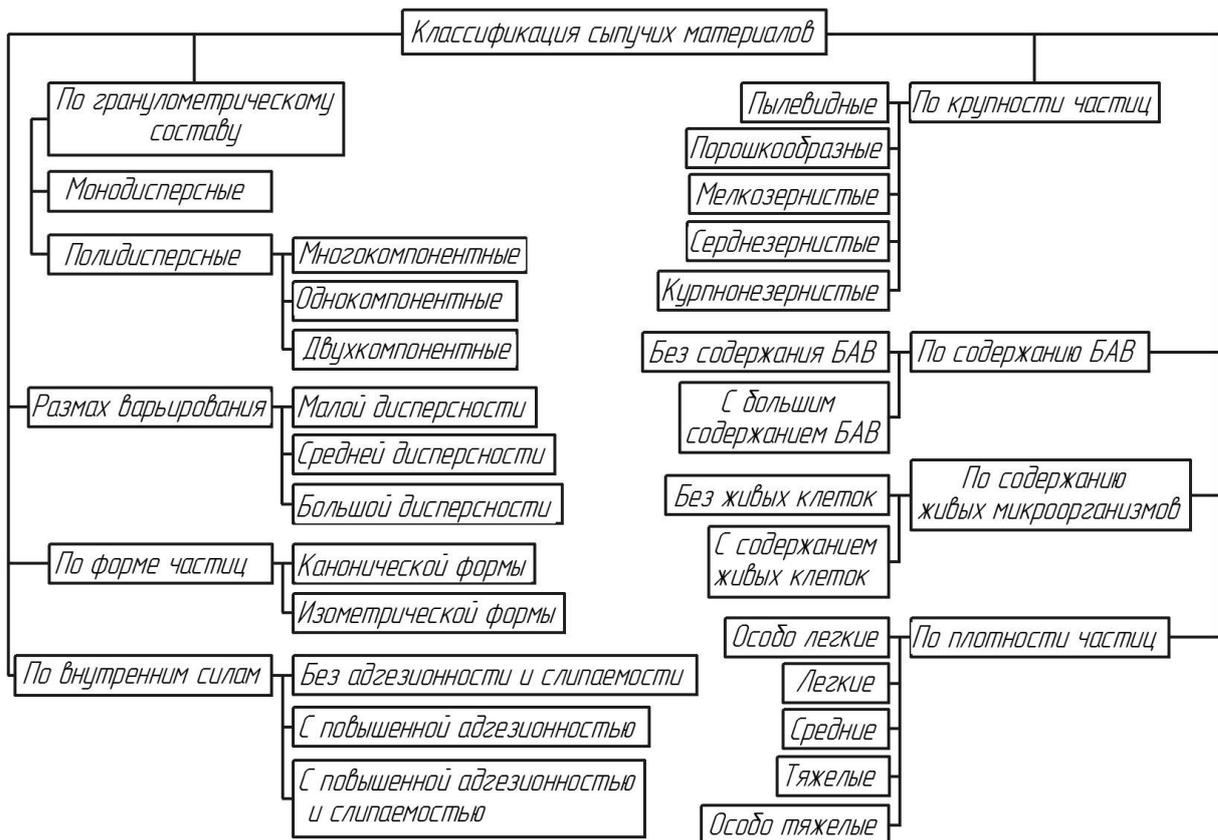


Рис. 1. Схема классификации сыпучих растительных материалов

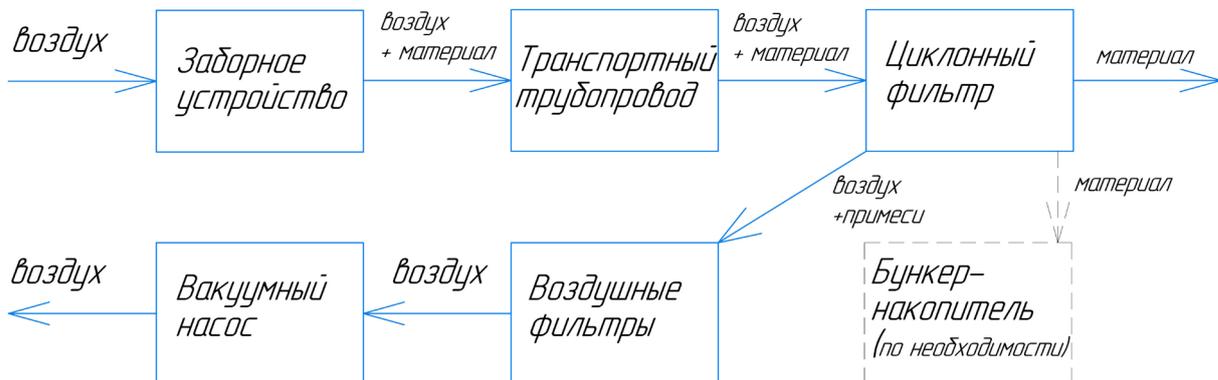


Рис. 2. Блок-схема стандартной вакуумной пневмотранспортной системы

перемещается растительное сырьё из буртов на сортировку или на склады. Данный способ имеет большое количество недостатков, таких как большие затраты топлива и энергии, большие потери и загрязнение материала, необходимость наличия большого количества рабочих, низкая гигиеничность процесса.

Конвейерный способ транспортирования, хотя и обладает высокой автоматизацией и сравнительно низкими затратами на энергию и оборудование является весьма узкоспециализированным. В основном он применяется на предприятиях вторичной переработки, когда для производства нужно равномерное и постоянное движение перемещаемого материала, а также в составе некоторых машин и комплексов - например, норы перемещающие зерно в сушильных агрегатах. Конвейерные установки также отличаются низкой гигиеничностью процесса, в

следствие контактирования материала с окружающей средой, низкой скоростью перемещения и, при несоответствии конструкции транспортера материалу, также могут возникать значительные потери.

Решить многие из озвученных проблем могут системы пневмотранспортирования, то есть системы, которые используют воздух для перемещения материала. В таких системах материал не контактирует с окружающей средой. Они могут быть компактны, эффективны и высокоавтоматизированны. Имеют достаточно широкую область применения.

Общими недостатками пневмотранспортных установок являются высокий удельный расход энергии на единицу массы перемещаемого материала, износ внутренней поверхности материалопровода, сложность транспортирования влажного и обладающего повышенной слипаемостью и комкованием

Таблица 1 – Геометрические параметры ЖВН КМ типоразмерного ряда

Быстрота действия S, [м <sup>3</sup> /ч] Типоразмер Параметр	Малая			Средняя			Большая			Особо большая		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Радиус рабочего колеса r, мм	45	80	120	160	200	240	280	320	360	400	440	480
Радиус корпуса R, мм	54	96	144	200	250	300	350	400	450	500	550	600
Эксцентриситет e, мм	9	16	24	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Число лопаток на рабочем колесе Z <sub>1</sub>	7	12	12	15	15	20	20	25	25	30	30	35
Число лопаток на корпусе Z <sub>2</sub>	6	10	10	12	12	16	16	20	20	24	24	28
Передаточное отношение U <sub>12</sub>	0,875	0,83(3)	0,83(3)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Относительный эксцентриситет ε	0,16(6)	0,2	0,2	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25	0,25

сыпучего материала, многостадийная очистка воздуха при выходе из транспортных магистралей.

Принципиально установки пневматического перемещения материала делятся на системы, использующие избыточное давление, и системы, использующие разрежение. На данный момент наибольшее распространение получило транспортирование избыточным давлением, однако оно имеет ряд недостатков. Например, при транспортировании порошкообразного материала избыточное давление воздуха является опасным и может спровоцировать взрыв. Также немаловажным является вопрос пневмотранспортирования жидкостей, реализовать которое при помощи избыточного давления весьма сложно.

Таким образом наиболее перспективным объектом исследований является вакуумный пневмотранспорт. Он обладает такими преимуществами как возможность перемещения материала по сложным траекториям магистральных транспортных трасс, автоматизация технологического процесса, создание высоких санитарно-гигиеничных и безопасных условий труда, возможность транспортировать материалы из нескольких мест одновременно, снижение повреждения транспортируемого материала, сохранение товарного вида и биологически активных веществ, герметичность и взрывобезопасность системы. Недостатком вакуумного транспорта в настоящее время является высокий удельный расход электроэнергии на единицу массы перемещаемого материала и отсутствие оптимальных режимов транспортирования для других видов материалов и поэтому создание высокоэффективных вакуумных транспортных установок внесет вклад в развитие АПК.

Стандартная система вакуумного пневмо-

транспорта состоит из следующих элементов (рисунки 2):

- заборное устройство, обычно представленное в виде бункера, питателя дозатора, заборного сопла, которое вставляется в бурт материала;
- Транспортный трубопровод;
- Циклонный фильтр, отделяющий материал от потока воздуха. По необходимости после него располагают бункер-накопитель;
- Устройства фильтрации воздуха от пыли и посторонних примесей (пылеуловители и фильтры);
- Вакуумный насос.

Значительное влияние на производительность транспортирования оказывает режим перемещения материала в трубопроводе. В зависимости от скорости воздуха, характеристик перемещаемого материала и трубопровода, а также количества подаваемого материала в единицу времени движение сырья может осуществляться на следующих режимах

- перемещение во взвешенном состоянии;
- перемещение в осажденном состоянии;
- перемещение с осаднениями и дюнами;
- перемещение сплошным потоком;
- перемещение поршнями.

Согласно исследованиям [9-10] наибольшая производительность достигается на движении сплошным потоком и поршнями.

В качестве машины, организующей вакуум наиболее применимыми, являются жидкостнокольцевые вакуумные насосы. Помимо основных преимуществ – простота и надёжность конструкции, низкий уровень вибраций и шума, такие насосы могут откачивать воздух, содержащий посторонние примеси, пары и капельную жидкость. Это позволяет исключить из технологической схемы сложное дополнительное

оборудование для фильтрации входящего в насос воздуха. Жидкостнокольцевые насосы бывают одноступенчатые и двухступенчатые. Также, для снижения затрачиваемой на процесс вакуумирования мощности применяют кинематическое замыкание рабочего колеса и вращающего корпуса и регулируемое нагнетательное окно. Вакуумные насосы подбираются исходя из требуемой скорости действия насоса (производительности) по таблице 1.

Для насосов большой и особо большой скорости действия целесообразным является передавать вращение от электродвигателя на вращающийся корпус, а не на рабочее колесо как это делается для насосов меньшей производительности [11].

Таким образом на основании вышеизложенного можно определить следующие перспективные направления исследований в области вакуумного пневмотранспорта:

- уточнение методик аналитического расчёта технологических параметров;
- усовершенствование конструкций устройств забора материала;
- определение оптимальных режимов перемещения материала;

## Литература

- [1] Сельское хозяйство в России. 2021: Стат.сб./ Росстат. С 29 М., 2021. – 100 с.
- [2] Васютина, Е. М. Исследование состояния и динамики основного капитала предприятий АПК / Е. М. Васютина // Международный научный студенческий журнал. 2018. № 6. С. 103-107. EDN MPWAVR.
- [3] Миронкина, А. Ю. Прогнозирование динамики спроса на продукцию АПК / А. Ю. Миронкина, А. А. Михеев // Проблемы и перспективы развития АПК и сельских территорий : сборник материалов международной научной конференции, Смоленск, 28 апреля 2022 года. Смоленск: ФГБОУ ВО Смоленская ГСХА, 2022. С. 168-172. EDN QBLHBJ.
- [4] Плаксин, Ю.М. Процессы и аппараты пищевых производств / Ю.М. Плаксин, Н.Н. Малахов, В.А. Ларин. М.: Колос, 2009. 760 с.
- [5] Вишня, Б.Л. «Пневмотранспорт. Расчёты, схемы, оборудование» / Б.Л. Вишня, Б.С. Дроздов, В.Т. Стефаненко Изд-во «Сократ», Екатеринбург, 2010 г. 31 с.
- [6] Техико-экономическое обоснование применения жидкостно-кольцевого вакуумного насоса с автоматическим регулируемым нагнетательным окном при транспортировании сыпучих растительных материалов / Ю. В. Родионов, П. С. Платицин, Е. С. Вдовина, Д. А. Чернецов // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового

- усовершенствование конструкции вакуумных насосов;
- особенности пневмотранспортирования жидкостей;
- снижение затрачиваемой мощности и стоимости установки.

## Выводы

В статье рассмотрены основные виды транспортирования материалов на предприятиях АПК. Перечислены основные преимущества и недостатки представленных способов. Сформулированы требования, предъявляемые к транспортным системам. Обоснована необходимость использования вакуумных пневмотранспортных систем и актуальность исследований в данной сфере. Приведены сведения о жидкостнокольцевых вакуумных насосах и их основные преимущества, делающие их наиболее применимыми для вакуум-транспортной технологии. Сформулированы перспективные направления исследований в данной области.

## References

- [1] Agriculture in Russia. 2021: Stat.sb./Rosstat. Since 29 M., 2021. - 100 p.
- [2] Vasyutina, E. M. Study of the state and dynamics of the fixed capital of agricultural enterprises / E. M. Vasyutina // International scientific student journal. 2018. No. 6. P. 103-107. EDN MPWAVR.
- [3] Mironkina, A. Yu. Forecasting the dynamics of demand for agricultural products / A. Yu. Mironkina, A. A. Mikheev // Problems and prospects for the development of the agro-industrial complex and rural areas: collection of materials of the international scientific conference, Smolensk, April 28, 2022. Smolensk: Smolensk State Agricultural Academy, 2022, pp. 168-172. EDN QBLHBJ.
- [4] Plaksin Yu.M. Processes and apparatuses for food production / Yu.M. Plaksin, N.N. Malakhov, V.A. Larin. M.: Kolos, 2009. 760 p.
- [5] Cherry, B.L. «Pneumotransport. Calculations, schemes, equipment» / B.L. Cherry, B.S. Drozdov, V.T. Stefanenko Publishing house «Socrates», Yekaterinburg, 2010. 31 p.
- [6] Rodionov Yu. V., Platitsin P. S., Vdovina E. S., Chernetsov D. A. Feasibility study for the use of a liquid ring vacuum pump with an automatic adjustable discharge window for the transportation of bulk plant materials // Food Technologies and processing industry of the agro-industrial complex - healthy food products. 2017. No. 1(15). pp. 92-99. EDN YKSHRH.
- [7] Kartashov, O. A. Improving the efficiency of transportation of bulk plant materials / O. A. Kartashov,

- питания. 2017. № 1(15). С. 92-99. EDN YKSXRH.
- [7] Карташов, О. А. Повышение эффективности транспортирования сыпучих растительных материалов / О. А. Карташов, П. С. Платицин, Ю. В. Родионов // Агротехнологические процессы в рамках импортозамещения: материалы Международной научно-практической конференции, посвященной 85-летию со дня рождения заслуженного работника высшей школы РФ, доктора с.-х. наук, профессора Ю.Г. Скрипникова, Мичуринск, 25–27 октября 2016 года. Мичуринск: Общество с ограниченной ответственностью «БИС», 2016. С. 292-295. EDN YACJPF.
- [8] Князев, Н. Н. Факторы, влияющие на вкус молока / Н. Н. Князев, Л. В. Онуц // Значение научных студенческих кружков в инновационном развитии агропромышленного комплекса региона: сборник научных тезисов студентов, Иркутск, 29 октября 2021 года. – п. Молодежный: Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского, 2021. С. 100-101. EDN CJNINQ.
- [9] Повышение эффективности механизации транспортирования сухих сыпучих растительных материалов / Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, А. В. Кобелев [и др.] // Инновационная техника и технология. 2017. № 1(10). С. 9-15. EDN YIOSSH.
- [10] Особенности расчета технологии вакуумного транспортирования сухих сыпучих растительных материалов в режиме сплошного слоя / П. С. Платицин, Ю. В. Родионов, В. П. Капустин, Д. В. Никитин // Наука в центральной России. 2016. № 6(24). С. 54-65. EDN XDGQOR.
- [11] Анализ расчёта привода комбинированной конструкции одноступенчатого жидкостнокольцевого вакуумного насоса / Д. В. Никитин, Ю. В. Родионов, Г. В. Рыбин [и др.] // Наука в центральной России. 2022. № 2(56). С. 60-69. DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69. EDN PSWIPX.
- [12] Дипломное проектирование по механизации переработки сельскохозяйственной продукции /А.А. Курочкин, И.А. Спицын, В.М. Зимняков и др. Под ред. А.А. Курочкина. М.: КолосС, 2006. – 424 с. EDN:RCJTDT.
- P. S. Platitsin, Yu. anniversary of the birth of the Honored Worker of the Higher School of the Russian Federation, Doctor of Agricultural Sciences. Sciences, Professor Yu.G.Skripnikova, Michurinsk, October 25–27, 2016. Michurinsk: Limited Liability Company «BIS», 2016. P. 292-295. EDN YACJPF.
- [8] Knyazev, N. N. Factors affecting the taste of milk / N. N. Knyazev, L. V. Onuts // The importance of scientific student circles in the innovative development of the agro-industrial complex of the region: a collection of students' scientific abstracts, Irkutsk, October 29, 2021 . - Molodezhny settlement: Irkutsk State Agrarian University. A.A. Yezhevsky, 2021. S. 100-101. EDN CJNINQ.
- [9] Rodionov Yu. V., Kapustin V. P., Kobleev A. V. [et al.] Improving the efficiency of mechanization of transportation of dry bulk plant materials // Innovatsionnaya tekhnika i tekhnologiya. 2017. No. 1(10). pp. 9-15. EDN YIOSSH.
- [10] Platitsin P. S., Rodionov Yu. V., Kapustin V. P., Nikitin D. V. Features of calculating the technology of vacuum transportation of dry bulk plant materials in the continuous layer mode // Science in Central Russia. 2016. No. 6(24). pp. 54-65. EDN XDGQOR.
- [11] Nikitin D. V., Rodionov Yu. V., Rybin G. V. [et al.] Analysis of the calculation of the drive of a combined design of a single-stage liquid ring vacuum pump // Nauka in Central Russia. 2022. No. 2(56). pp. 60-69. DOI 10.35887/2305-2538-2022-2-60-69. EDN PSWIPX.
- [12] Diplomnoe proektirovanie po mehanizacii pererabotki sel'skhozajstvennoj produkcii /A.A. Kurochkin, I.A. Spicyin, V.M. Zimnjakov i dr. Pod red. A.A. Kurochkina. M.: KolosS, 2006. – 424 p. EDN: RCJTDT.

**Сведения об авторах**

**Information about the authors**

<p><b>Рыбин Георгий Вячеславович</b>                  магистрант «Агроинженерия»                  ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»                  392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112                  Тел.: +7(953) 122-01-46                  E-mail: enot1237@gmail.com</p>	<p><b>Rybin Georgy Vyacheslavovich</b>                  undergraduate «Agroengineering»                  Tambov State Technical University                  Phone: +7(953) 122-01-46                  E-mail: enot1237@gmail.com</p>
<p><b>Блохин Михаил Сергеевич</b>                  аспирант кафедры «Технологии продуктов питания и товароведения»                  ФГБОУ ВО «Мичуринский государственный аграрный университет»                  393760, Тамбовская обл., г. Мичуринск, ул. Интернациональная, д. 101                  Тел.: +7(953) 122-01-46                  E-mail: enot1237@gmail.com</p>	<p><b>Blokhin Mikhail Sergeevich</b>                  postgraduate at the department of Technology of food products and merchandising                  Michurinsky State Agrarian University                  Phone: +7(953) 122-01-46                  E-mail: enot1237@gmail.com</p>
<p><b>Назаров Виктор Николаевич</b>                  кандидат технических наук                  доцент кафедры «Информационные процессы и управление»                  ФГБОУ ВО «Тамбовский государственный технический университет»                  392032, г. Тамбов, ул. Мичуринская, 112                  Тел.: +7(910) 754-91-17                  E-mail: nazvic@yandex.ru</p>	<p><b>Nazarov Viktor Nikolaevich</b>                  Candidate of Technical Sciences                  associate professor at the department of Information processes and management                  Tambov State Technical University                  Phone: +7(910) 754-91-17                  E-mail: nazvic@yandex.ru</p>
<p><b>Талыков Валерий Александрович</b>                  директор                  Тамбовский филиал ФГБОУ ВО «Мичуринский ГАУ»                  392000, г. Тамбов, ул. Советская, д.130, № 3                  Тел.: +7(475) 272-00-35                  E-mail: vtalykov@gmail.com</p>	<p><b>Talykov Valery Alexandrovich</b>                  director Tambov branch of Michurinsky State Agrarian University                  Tambov branch of Michurinsky State Agrarian University                  Phone: +7(475) 272-00-35                  E-mail: vtalykov@gmail.com</p>