

ТЕХНОЛОГИИ, МАШИНЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ АПК TECHNOLOGIES, MACHINERY AND EQUIPMENT FOR AGROINDUSTRIAL SECTOR

Научная статья

УДК 636.085.62

doi: 10.34655/bgsha.2025.79.2.016

Экспериментальные исследования значения скорости воздушного потока в зависимости от конструкции винтового рабочего органа вертикальной пневматической колонны охлаждения гранул

Анастасия Алексеевна Голикова¹, Артем Анатольевич Мезенов²,
Алексей Игоревич Голиков³

^{1,2,3}Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

¹anastasiyaabarinova@mail.ru

²artemnsau@mail.ru

³rockwany97@mail.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются зависимости изменения скорости воздушного потока в пневматической колонне охлаждения от количества витков винтового рабочего органа на входном и выходном патрубках. Для измерения скорости воздушного потока использовался экспериментальный метод с применением программируемых контроллеров и датчиков измерения скорости, а также метод с использованием электронного анемометра. Проанализированы и классифицированы основные типы устройств, применяемых для охлаждения гранул. Освещены недостатки колонн охлаждения, такие как высокая энергоёмкость, громоздкость, металлоёмкость и неравномерность охлаждения гранул по всему объёму. Предложена новая конструкция вертикальной пневматической колонны с винтовым рабочим органом. С целью изучения изменения скорости воздушного потока в колонне охлаждения на входном и выходном патрубках была собрана экспериментальная установка. Она включает в себя корпус, входной и выходной патрубки, две системы считывания значений скорости, три вида винтовых рабочих органов, электродвигатель и частотный преобразователь. Исследования проводились с использованием двух систем считывания скорости на патрубках. Каждая система включает в себя контроллер Arduino UNO, анемометр Testo 405i и датчик измерения скорости воздуха CG Anem. Были использованы три вида винтовых рабочих органов с 3, 4 и 5 витками. Полученные значения были сравнены между двумя датчиками и приведены к среднему значению. Скорость воздушного потока на входном патрубке была определена как 25 м/с. Также была изучена зависимость скорости воздушного потока от количества витков рабочего органа на выходном патрубке. Установлено, что при увеличении количества витков с 3 до 5, скорость воздушного потока снизилась на 4,93%.

Ключевые слова: воздушный поток, вертикальная пневматическая колонна охлаждения, винтовой рабочий орган, количество витков шнека, скорость воздушного потока, входной и выходной патрубки, анемометр.

Experimental studies of the air flow velocity value depending on the design of the screwed working body of a vertical pneumatic pellet cooling column

Anastasiya A. Golikova¹, Artem A. Mezenov², Alexey I. Golikov³

^{1,2,3}Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

¹anastasiyaabarinova@mail.ru

²artemnsau@mail.ru

³rockwany97@mail.ru

Abstract. This article examines the dependence of the change of the air flow velocity in a pneumatic cooling column on the number of turns of the screwed working body at the inlet and outlet pipes. To measure the velocity of air flow, an experimental method was used with the aid of programmable controllers and speed sensors, as well as a method using an electronic anemometer. The main types of devices used for cooling pellets were analyzed and classified. The disadvantages of cooling columns, such as high energy consumption, bulkiness, metal consumption and uneven cooling of granules throughout the volume, were covered. A new design of a vertical pneumatic column with a screwed working body was proposed. In order to study the change in the air flow velocity in the cooling column at the inlet and outlet pipes, an experimental unit was constructed. It includes a body frame, inlet and outlet pipes, two speed reading systems, three types of screwed operating elements, an electric motor and a frequency converter. The studies were carried out using two speed reading systems on the pipes. Each system included an Arduino UNO controller, a Testo 405i anemometer, and a CG Anem air velocity sensor. Three types of screwed working bodies with 3, 4 and 5 turns were used. The values obtained were compared between the two sensors and brought to an average value. The air flow velocity at the inlet was determined to be 25 m/s. The dependence of the air flow velocity on the number of turns of the working body on the outlet pipe was also studied. It was found that with an increase in the number of turns from 3 to 5, the air flow velocity decreased by 4.93%.

Keywords: air flow, vertical pneumatic cooling column, screw working body, number of screw turns, air flow velocity, inlet and outlet pipes, anemometer.

Введение. При производстве гранулированных комбикормов исходный материал подвергается высокому давлению и обработке горячим паром. Сформированные гранулы имеют температуру, превышающую температуру кипения воды, что приводит к активному испарению влаги, сохранившейся внутри гранулы. Если не обеспечить отведение паров, они могут впитаться обратно в гранулы, что негативно скажется на качестве продукции [1]. Обычно технологический процесс допускает наличие влаги в пределах от 10 до 14%, однако в России существуют строгие нормативы, согласно которым влажность конечного продукта не должна превышать 10%.

После выхода из гранулятора гранулы имеют высокую температуру в пределах 80-120°C и мягкую структуру. Для со-

хранения целостности гранул, т.е. их крошения, а также для сохранения формы, необходимо удалить излишнюю влагу и снизить температуру до требуемых значений. Для охлаждения продукции на агропромышленных производствах используются колонны охлаждения гранул. Существует несколько основных типов охладителей: вертикальные колонны охлаждения, ротационные охладители и охладители барабанного типа [2, 3, 4]. Ранее мы проводили анализ уже существующих конструкций колонн охлаждения и сделали выводы, что процесс охлаждения у всех типов колонн охлаждения высокоэнергоемкий – до 20 кВт у вертикальных колонн и до 5 кВт у ротационных и барабанных охладителей [5]. Также выявлены конструктивные недостатки, при которых гранулы охлаждаются неравномерно по все-

му объёму, а также при механическом воздействии на гранулы повышается их крошимость. Устройства для охлаждения гранул действуют по принципу медленного испарения тепла и влаги из центральной части. Согласно ГОСТ 23513-79 «Брикеты и гранулы кормовые. Технические условия», температура охлаждённых гранул не должна превышать температуру окружающей среды более чем на пять градусов [6, 7, 8].

При поиске решений вышеупомянутых проблем проанализированы исследования конструктивно-технологических конструкций колонн охлаждения и способов охлаждения гранул. Данный анализ показал, что возможно использование теплообменника между гранулами и рассыпных кормов, установка барабанно-винтового охладителя, сепаратора-охладителя [9,10,11,12,13,14].

В свою очередь, нами предложена конструкция вертикальной пневматической колонны охлаждения с винтовым рабочим органом, в которой предусматривается, что при движении гранул по шнеку совместно с воздушным потоком происходит равномерное охлаждение всего объема продукта, а также снижается крошимость гранул до установленных норм температуры, влажности. Для дальнейшего обоснования рациональных конструктивно-технологических параметров процесса охлаждения гранулированных комбикормов и соответствия аэродинамическим свойствам гранулированных кормов (скорость витания гранулы $V_{\text{вит}} \approx 13\text{-}18$ м/с) необходимо изучить влияние количества витков винтового рабочего органа на изменение скорости воздушного потока на выходном патрубке установки.

Цель: исследование изменения скорости воздушного потока в вертикальной пневматической колонне охлаждения гранулированных комбикормов в зависимости от количества витков винтового ра-

бочего органа.

Задачи исследования:

1. Определить скорость воздушного потока на входном патрубке вертикальной колонны охлаждения.

2. Изучить влияние количества витков винтового рабочего на скорость воздушного потока на выходном патрубке.

Условия и методы исследования.

В качестве объекта исследования выбрана вертикальная пневматическая колонна охлаждения с винтовым рабочим органом, представляющая собой входной патрубок, корпус с установленным в нем шнеком и выходной патрубок, а также установлен электродвигатель с вентилятором и частотный преобразователь для регулирования скорости воздушного потока (рис. 1).

Принцип работы колонны охлаждения заключается в том, что воздушный поток с гранулами движется по перьям шнека. Теплый воздух выходит через отверстия в отводящей трубе и поднимается вверх. Уже охлажденные гранулы выводятся через выходной патрубок [15].

Измерение скорости воздушного потока проводилось с помощью анемометра (рис. 2). После на электронном устройстве с помощью специализированного приложения «testoSmartProbes» фиксировались значения.

Технические характеристики анемометра Testo 405i указаны в таблице 1.

Также для достоверности измерения скорости воздушного потока использовались программируемые анемометры CG Anem (рис. 3), которые подключены к плате Arduino Uno. Показания, полученные от датчиков, отправлялись на компьютер.

Контроллер Arduino UNO в сборе с анемометром CG Anem установлен на входном и выходном патрубках вертикальной пневматической колонны охлаждения (рис. 4).

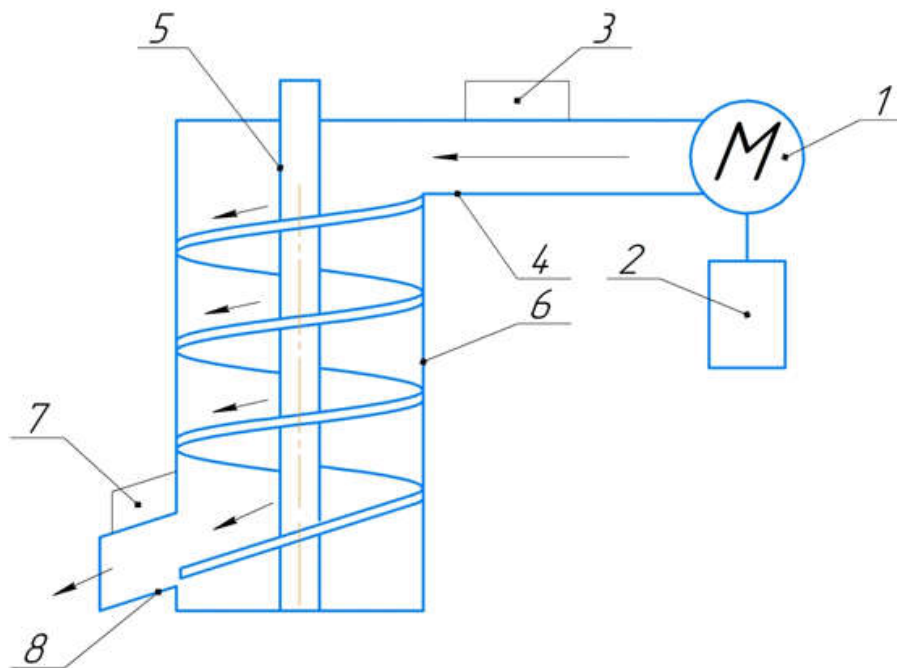


Рисунок 1. Вертикальная пневматическая колонна охлаждения с винтовым рабочим органом:

1 – вентилятор; 2 – частотный преобразователь; 3 – система считывания скорости воздуха на входном патрубке; 4 – входной патрубок; 5 – винтовой рабочий орган; 6 – корпус колонны охлаждения; 7 – система считывания скорости воздуха на выходном патрубке; 8 – выходной патрубок.



Рисунок 2. Анемометр Testo 405i

Таблица 1 – Технические характеристики анемометра Testo 405i.

Параметр	Значение
Тип зонда	телескопический датчик
Диапазон измерения температуры воздуха	-20 ... +60 °C
Диапазон измерения скорости воздуха	0 ... 30 м/с
Точность измерения	±0.5 °C / ±(0.1 м/с + 5 % от изм. знач.), (0...2 м/с) ±(0.3 м/с + 5 % от изм. знач.) (2...15 м/с)



Рисунок 3. Анемометр CG Anem

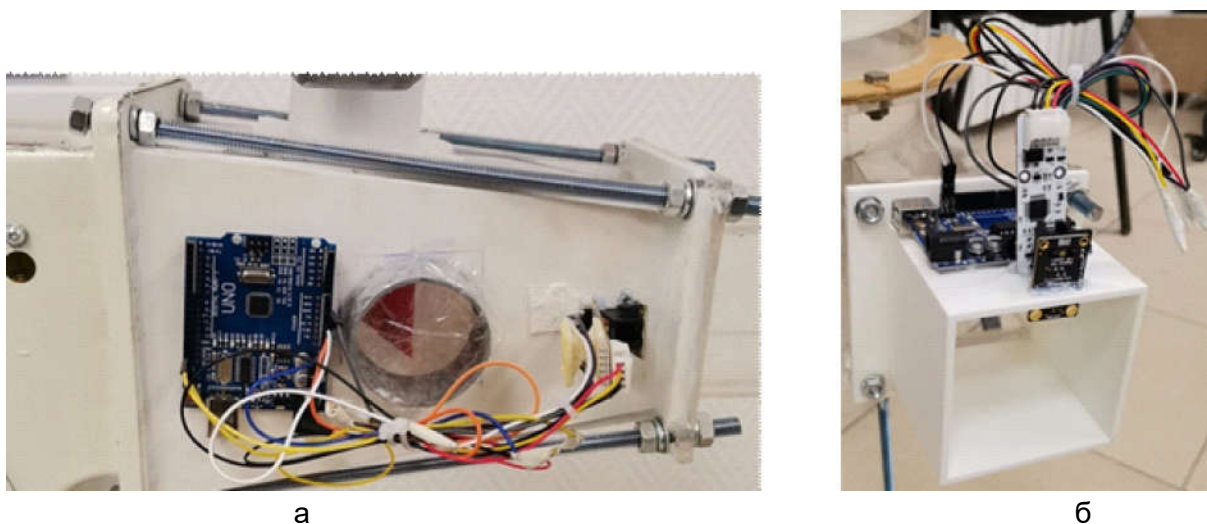


Рисунок 4. Анемометр в сборе с контроллером Arduino UNO на входном патрубке (а) и на выходном патрубке (б)

Измерение скорости воздушного потока с анемометра Testo 405i и CG Anem проводилось на входном и выходном патрубках с установкой 3 видов шнека с 3, 4 и 5 витками с периодичностью в 10 замеров, а также рассчитаны средние значения между двумя датчиками.

Результаты исследований и их обсуждение. Полученные результаты измерения скорости воздушного потока в вертикальной пневматической колонне

охлаждения с 3 видами шнеков с 3, 4 и 5 витками в серии экспериментальных исследований позволяют проанализировать изменение скорости воздушного потока от количества витков винтового рабочего органа на выходном патрубке.

На основе полученных данных произвели тарировку значений скорости воздушного потока и построили графики (рис. 5 – 10).

Таблица 2 – Скорость воздуха на входном и выходном патрубках с 3 витками шнека

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{\text{анем.вх.}}$	25,49	25,4	24,7	25,48	25,23	25,03	24,94	25,31	25,21	25,1
$V_{\text{анем.вых}}$	19,8	19,87	19,85	19,94	19,87	19,8	19,85	19,82	19,94	19,96
$V_{\text{датч.вх.}}$	25,03	25,15	24,8	24,7	25,21	24,96	25,12	24,82	25,33	25,14
$V_{\text{датч.вых}}$	20,5	20,7	20,7	20,8	20,6	20,9	20,6	20,9	20	20,7
$V_{\text{ср.вх.}}$	25,26	25,28	24,75	25,09	25,22	24,99	25,03	25,07	25,27	25,12
$V_{\text{ср.вых}}$	20,15	20,29	20,28	20,37	20,23	20,35	20,23	20,36	19,97	20,33



Рисунок 5. Скорость воздушного потока на входном патрубке при 3 витках шнека

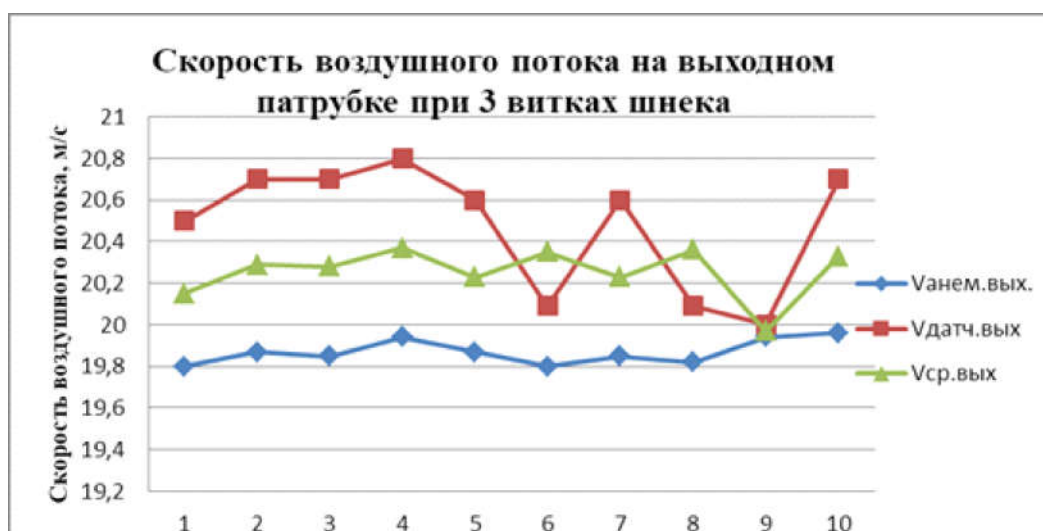


Рисунок 6. Скорость воздушного потока на выходном патрубке при 3 витках шнека

Таблица 3 – Скорость воздуха на входном и выходном патрубках с 4 витками шнека

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{анем.вх.}$	24,93	24,88	25,3	24,93	25,27	24,96	25,01	24,9	24,86	24,55
$V_{анем.вых.}$	21,16	21,27	21,36	21,33	21,25	21,27	21,24	21,32	21,04	21,14
$V_{датч.вх.}$	24,81	24,98	25,02	25,3	25,08	25,5	25,48	25,38	25,2	25,12
$V_{датч.вых.}$	18,7	18,6	19,1	18,7	18,8	19	19,3	19,1	19,6	18,9
$V_{ср.вх.}$	24,87	24,93	25,16	25,12	25,18	25,23	25,25	25,14	25,03	24,84
$V_{ср.вых.}$	19,93	19,94	20,23	20,02	20,03	20,14	20,27	20,21	20,32	20,02



Рисунок 7. Скорость воздушного потока на выходном патрубке при 4 витках шнека

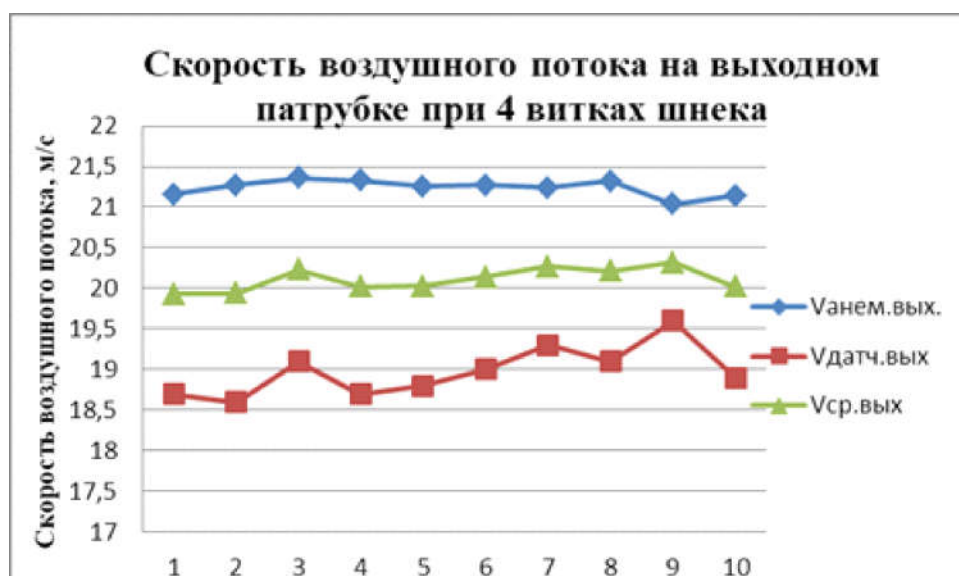


Рисунок 8. Скорость воздушного потока на выходном патрубке при 3 витках шнека

Таблица 4 – Скорость воздуха на входном и выходном патрубках с 5 витками шнека

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$V_{анем.вх.}$	25,5	25,05	25,3	25,12	25,53	25,27	25,08	25,47	24,76	24,83
$V_{анем.вых.}$	19,66	19,33	19,41	19,35	19,36	19,41	19,4	19,38	19,77	19,35
$V_{датч.вх.}$	25,3	25,2	25,6	25,3	25,3	25,6	25,5	25,6	25,6	25,3
$V_{датч.вых.}$	19,1	19	18,7	18,7	19,1	19,2	19,3	19,1	19,4	19,1
$V_{ср.вх.}$	25,4	25,13	25,45	25,21	25,42	25,44	25,29	25,54	25,18	25,07
$V_{ср.вых.}$	19,38	19,17	19,06	19,03	19,23	19,31	19,35	19,24	19,59	19,23



Рисунок 9. Скорость воздушного потока на выходном патрубке при 5 витках шнека

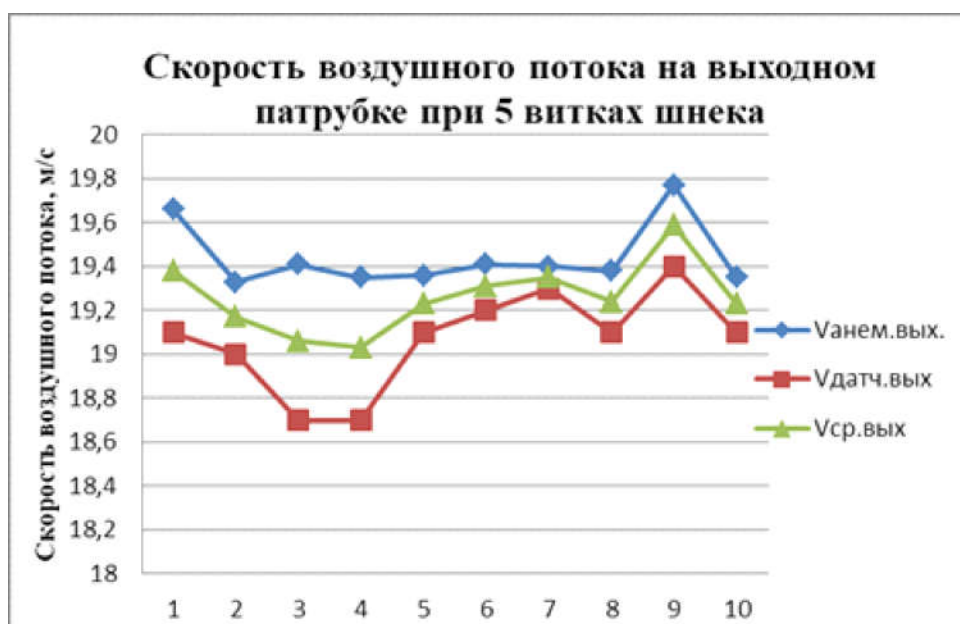


Рисунок 10. Скорость воздушного потока на выходном патрубке при 5 витках шнека

Таким образом, мы можем утверждать, что средняя скорость воздушного потока на входном патрубке составляет 25,17 м/с. В зависимости от количества витков винтового рабочего органа 3, 4 и 5 средняя скорость воздушного потока на выходном патрубке составила 20,26 м/с, 20,11 и 19,26 м/с.

Заключение. 1) Определена скорость воздушного потока на входном патрубке вертикальной пневматической ко-

лонны охлаждения равная ≈ 25 м/с.

2) Изучено влияние количества витков винтового рабочего органа вертикальной пневматической колонны охлаждения гранул на скорость воздушного потока на выходном патрубке. Средняя скорость воздушного потока на выходном патрубке составила 20,26 м/с, 20,11 и 19,26 м/с. При увеличении количества витков шнека скорость воздушного потока на выходном патрубке снизилась на 4,93 %.

Список источников

1. Фомина С.В., Михайлюк Е.Н., Ковшова Н.А. Охлаждение экструдированных кормов в системе пневмотранспорта // Научно-техническое обеспечение агропромышленного комплекса в реализации государственной программы развития сельского хозяйства до 2020 года: сборник статей по материалам международной научно-практической конференции, посвященной 75-летию Курганской ГСХА имени Т.С. Мальцева. Курган. 2019. С. 368-373. EDN: TCJNSZ.
2. Голикова А.А., Мезенов А.А. Анализ недостатков вертикальных конструкций колонн охлаждения в технологической линии приготовления гранулированных кормов // Актуальные проблемы агропромышленного комплекса: сб. трудов науч.-практ. конф. препод., асп., маг. и студ. Новосибирского государственного аграрного университета. Новосибирск. 2021. № 6. С. 16-20. EDN: ABOMQN
3. Марченко В.И., Грицай Д.И., Сидельников Д.А., Панасенко А.В. Анализ процесса сушки и охлаждения гранул // Актуальные проблемы научно-технического прогресса в АПК: сборник научных статей по материалам XIII международной научно-практической конференции в рамках XVIII международной агропромышленной выставки "Агроуниверсал-2017", Ставрополь, 05–07 апреля 2017 года. Ставрополь: Издательство "АГРУС", 2017. С. 35-39. EDN: YQMOMV.
4. Голикова А.А., Мезенов А.А. Анализ конструкций колонн охлаждения гранулированных кормов // Техническое обеспечение инновационных технологий в сельском хозяйстве: сборник научных статей международной научно-практической конференции. Минск, 24-25 ноября 2022 г. Минск: БГАТУ, 2022. С. 520-523. <https://rep.bsatu.by/handle/doc/18095>.
5. Энергоснабжение, технологические машины и оборудование агропромышленного комплекса: монография / Е.Н. Неверов, И.А. Короткий, И.А. Бакин [и др.]. Кемерово: Кемеровский государственный университет, 2022. 168 с. EDN: AGVWZD.
6. Фомичев М.А., Морозов В.В., Игнатенков В.Г., Иванов А.И., Беркутов Н.В. Теоретические и экспериментальные исследования работы аэрационного сепаратора-охлаждителя // Научно-технический про-

гресс в сельскохозяйственном производстве: материалы XVIII международной научно-практической конференции. Великие Луки, 2023. С. 156-168. EDN: PGCKLR.

7. Фомичев М.А., Игнатенков В.Г., Иванов А.И., Ильин К.С. Анализ конструкций установок для охлаждения гранул // Роль науки в развитии современного АПК: материалы региональной конференции. Великолукская государственная сельскохозяйственная академия. Великие Луки, 2022. С. 92-97. EDN: UNOJXP.

8. Мигачев Н.А., Горшков В.В. Исследование аэродинамических свойств гранулированных кормов в процессе сепарирования и охлаждения // Современные энерго- и ресурсосберегающие, экологически устойчивые технологии и системы сельскохозяйственного производства: Сборник научных трудов. Рязань, 2002. № 6. С. 72-74. EDN: RXDCXV.

9. Панасенко А.В. Анализ эффективности существующих способов охлаждения и сушки прессованных материалов // Young Science. 2014. Т. 1, № 2. С. 40-43. EDN: TCRKBP.

10. Филатов М.В., Загретдинов В.Э., Левинский В.Н. К вопросу применения инфракрасных сушильных установок в технологических линиях производства гранулированных комбикормов // Молодежь и наука-2024. Технические системы в агропромышленном комплексе : сборник статей международной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых, Екатеринбург, 13 марта 2024 года. Екатеринбург: Уральский государственный аграрный университет, 2024. С. 12-17. EDN: EDFGKM.

11. Афанасьев В.А., Джабаев Ю.А. Оценка эффективности производства и использования экспандированных комбикормов // Вестник Воронежского государственного университета инженерных технологий. 2016. № 3 (69). С. 313-320. doi: 10.20914/2310-1202-2016-3-313-320. EDN XWNKLF.

12. Технология производства гранулированного корма из необмолоченного зернового вороха / Д.В. Рудой, С.В. Брагинцев, В.И. Пахомов, О.Н. Бахчевников // Техника и технологии в животноводстве. 2022. № 3(47). С. 48-52. doi: 10.51794/27132064-2022-3-48. EDN: KUXIED

13. Ивашина А.В., Ярош В.А., Жданов В.Г., Логачева Е.А. Анализ процесса охлаждения и сушки гранулированных комбикормов // Сельский механизатор. 2022. № 4. С. 22-23. EDN: USIULZ.

14. Бруздаева С.Н. Разработка технических средств для охлаждения сыпучих продуктов и материалов // Парадигма. 2024. № 2. С. 3-7. EDN: NSISGM.

15. Патент № 2834994 С1 Российская Федерация, МПК F28C 3/00. Пневматическая колонна охлаждения сыпучих материалов : заявл. 30.05.2024 : опубл. 20.02.2025 / А.А. Мезенов, А.А. Голикова, Е.А. Пшенов, А.И. Голиков ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Новосибирский государственный аграрный университет". EDN: ARVLND.

References

1. Fomina S.V., Mikhailyuk E.N., Kovshova N.A. Cooling extruded feeds in the pneumatic transport system. *Scientific and technical support of the agro-industrial complex in the implementation of the state program for the development of agriculture until 2020: collection of articles*. Kurgan, 2019. Pp. 368-373 (In Russ.).

2. Golikova A.A., Mezenov A.A. Analysis of the disadvantages of vertical cooling column structures in the technological line for the preparation of granular feed. *Actual problems of the agro-industrial complex: Proc. of the Sci. and Pract. Conf. of teachers, ASPs, magicians and students*. 2021;6:16-20 (In Russ.).

3. Marchenko V.I., Gritsai D.I., Sidelnikov D.A., Panasenkov A.V. Analysis of the process of drying and cooling granules. *Actual problems of scientific and technological progress in agriculture* : collection of scientific articles. Stavropol, 05-07 April 2017. Stavropol: AGRUS Publishing House, 2017. Pp. 35-39 (In Russ.).

4. Golikova A.A., Mezenov A.A. Analysis of designs of cooling columns for granular feed. *Technical support of innovative technologies in agriculture*: collection of Sci. articles of the Int. Sci. and Pract. Conf., Minsk, November 24-25. 2022. Minsk. 2022. Pp. 520-523 (In Russ.). <https://rep.bsatu.by/handle/doc/18095>.

5. Neverov E.N., Korotky I.A., Bakin I.A. [et al.]. Energy supply, technological machines and equipment of the agro-industrial complex : monograph / Kemerovo. 2022. 168 p. (In Russ.).

6. Fomichev M.A., Morozov V.V., Ignatenkov V.G., Ivanov A.I., Berkutov N.V. Theoretical and experimental studies of the operation of the aeration separator-cooler. *Scientific and technical progress in agricultural production: Proc. of the XVIII Int. Sci. and Pract. Conf. Velikiye Luki*. 2023. Pp. 156-168 (In Russ.).

7. Fomichev M.A., Morozov V.V., Ignatenkov V.G., Ivanov A.I., Ilyin K. S. Analysis of designs of pellet cooling plants. *The role of science in the development of modern agriculture: Proc. of the Regional Conf. Velikiye Luki*. 2022. Pp. 92-97 (In Russ.).

8. Migachev N.A., Gorshkov V.V. Investigation of the aerodynamic properties of granular feed in the process of separation and cooling. *Modern energy- and resource-saving, environmentally sustainable technologies and agricultural production systems: Collection of scientific papers*. 2002;6:72-74 (In Russ.).

9. Panasenkov A.V. Analysis of the effectiveness of existing methods of cooling and drying the extruded materials. *Young Science*. 2014;Vol.1,No2:40-43 (In Russ.).

10. Filatov M.V., Zagretdinov V.E., Levinsky V.N. On the issue of the use of infrared drying units in technological lines for the production of granular compound feeds. *Youth and Science-2024. Technical systems in the agro-industrial complex* : Collection of articles of the Int. Sci. and Pract. Conf. of Students, Postgraduates and Young Scientists, Yekaterinburg, March 13, 2024. Yekaterinburg. 2024. Pp. 12-17 (In Russ.).

11. Afanasyev V.A., Dzhabaev Yu.A. Production and usage efficiency estimation of expanded mixed fodders. *Proceedings of the Voronezh State University of Engineering Technologies*. 2016;(3):313-320 (In Russ.). doi: 10.20914/2310-1202-2016-3-313-320.

12. Rudoy D.V., Braginets S.V., Pakhomov V.I., Bakhchevnikov O.N. Technology of granulated feed production from an unpolished grain heap. *Machinery and technologies in-livestock*. 2022;3(47):48-52 (In Russ.). doi: 10.51794/27132064-2022-3-48

13. Ivashina A.V., Yarosh V.A., Zhdanov V.G., Logacheva E.A. Analysis of the cooling and drying process of granular compound feed. *Selskiy Mechanizator*. 2022;4:22-23 (In Russ.).

14. Bruzdaeva S.N. Development of technical means for cooling bulk products and materials. *Paradigma*. 2024;2:3-7 (In Russ.).

15. Patent №.2834994 C1 Russian Federation, IPC F28C 3/00. Pneumatic column for cooling loose materials : application. 05/30/2024 : published. 02/20/2025 / A.A. Mezenov, A.A. Golikova, E.A. Pshenov, A.I. Golikov; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Novosibirsk State Agrarian University" (In Russ.).

Информация об авторах

Голикова Анастасия Алексеевна – ассистент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, anastasiyaabarinoва@mail.ru .

Мезенов Артем Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, artemnsau@mail.ru

Голиков Алексей Игоревич – ассистент кафедры механизации животноводства и переработки сельскохозяйственной продукции, rockwany97@mail.ru

Information about the authors

Anastasia A. Golikova – assistant, Chair of Mechanization of animal husbandry and processing of agricultural products, anastasiyaabarinoва@mail.ru;

Artem A. Mezenov– Candidate of Science (Engineering), Associate professor, Head of the Chair of Mechanization of animal husbandry and processing of agricultural products, artemnsau@mail.ru;

Aleksey I. Golikov – assistant, Chair of Mechanization of animal husbandry and processing of agricultural products, rockwany97@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 24.03.2025; одобрена после рецензирования 11.04.2025; принята к публикации 13.05.2025.

The article was submitted 24.03.2025; approved after reviewing 11.04.2025; accepted for publication 13.05.2025.