

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-94-100

^{1,*}Богданов В.С., ¹Анциферов С.И., ¹Богданов Д.В., ²Vöth S, ¹Кулаков Л.С.¹Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова²Technische Hochschule Georga Agricola

*E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ АЭРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА НА РАЗГРУЗКУ ПНЕВМОКАМЕРНОГО НАСОСА

Аннотация. Невозможно представить технологический процесс производства строительных материалов, сухих строительных смесей, железобетонных изделий без важной технологической операции транспортирования порошковых материалов. Для транспортирования порошковых сыпучих материалов большое распространение получили пневмокамерные насосы и является обязательным элементом в комплектации бетонных заводов и другого смесительного оборудования. Они обладают такими преимуществами как, возможность полной автоматизации работы, надежная защита от атмосферных воздействий и необходимые санитарно-гигиенические условия труда. Поэтому в сложившейся ситуации для транспортирования все чаще используют пневмокамерные насосы. Сжатый воздух по трубопроводу поступает в камеру насоса. Происходит насыщение сыпучего материала воздухом, полученная аэрированная смесь под действием избыточного давления попадает в трубопровод и транспортируется в заданном направлении. Недостатком пневмокамерных насосов является повышенный расход сжатого воздуха при транспортировании. Для снижения расхода воздуха применяют различные аэрационные устройства. В настоящее время на этапе моделирования для определения эффективности разработанного аэрационного устройства используют современное программное обеспечение. Рассмотрено влияние скорости воздушного потока на разгрузку пневмокамерного насоса. Предложено конструктивное решение для аэрационного устройства пневмокамерного насоса ТА-29.

Ключевые слова: пневмокамерный насос, аэрационное устройство, сжатый воздух, транспортирование.

Введение. Пневмотранспорт используется для смешения, дозировки, перемещения сыпучих материалов по сложной траектории и на значительные высоты. Он обладает такими преимуществами как забор материала из различных средств доставки и труднодоступных мест, выдачу его в различных точках, надежная защита от атмосферных воздействий и необходимые санитарно-гигиенические условия труда обслуживающего персонала. Пневмокамерные насосы отличаются простотой эксплуатации, легкостью управления, возможностью автоматизации процесса транспортирования и использования дистанционного управления.

Основными недостатками пневмокамерных насосов являются высокий удельный расход воздуха на тонну перемещаемого материала, износ трубопроводов и других частей установок, соприкасающихся с транспортируемым материалом [1]. Целью работы является и подбор рационального диаметра сопел аэрационного устройства.

Принципиальная схема пневмокамерного насоса. Действие насоса основано на вытеснении материала энергией сжатого воздуха, подаваем

мого в камеру насоса под давлением. Производительность систем с пневмокамерным насосом достигает 150 т/ч, а дальность транспортировки – до 3,5 км [2]. Вертикальные пневмокамерные насосы имеют более высокую производительность и стабильность работы [3]. В зависимости от направления разгрузки вертикальные насосы подразделяют на устройства с нижней и верхней (рис. 1.) разгрузкой.

Пневмокамерный насос состоит из корпуса 1, дисковой задвижки 2, загрузочного клапана 3, входного клапана 4, клапана выпуска воздуха 5, датчика уровня 6, трубопровода 7, аэрационного устройства 8, сопел 9, конфузора 10, трубы выдачи 11. Транспортируемый материал загружается в камеру через загрузочный клапан 3 [4].

Принцип работы пневмокамерного насоса. В корпус 1 загружается порошковый материал через дисковую задвижку 2 и открытый загрузочный клапан 3. При этом входной клапан 4 закрыт, а подача сжатого воздуха происходит при открытом клапане 5. При наборе в камере определенного уровня материала, срабатывает датчик уровня 6, выдавая сигнал на закрытие клапана 5 выпуска воздуха, закрывается дисковая задвижка 2 загрузочного клапана 3. Для подачи сжатого

воздуха открывается входной клапан 4. Сжатый воздух нагнетается в аэрационное устройство 8, который с помощью сопел 9, позволяет создать в нижней части камеры псевдожизненный слой материала. Увеличение избыточного давления воздуха в корпусе 1 способствует разгрузке пылевоздушной смеси и направляет ее через конфузур 10 в трубу выдачи 11 для выдачи аэрированного порошкового материала. После разгрузки материала закрывается входной клапан 4 сжатого воздуха и открывается клапан 5 выпуска сжатого воздуха, потом открывается дисковая задвижка 2 и загрузочный клапан 3 [5]. Затем цикл повторяется.

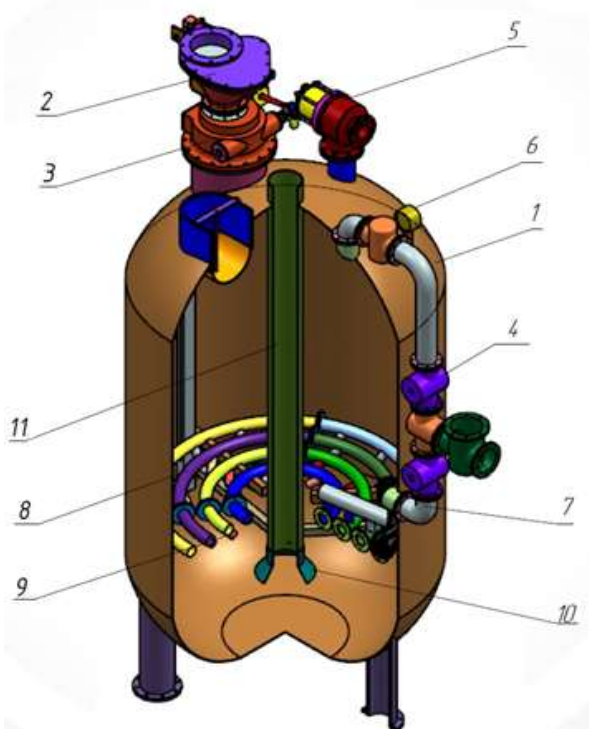


Рис. 1. Пневмокамерный насос ТА-29:

- 1 – корпус насоса; 2 – дисковая задвижка;
3 – загрузочный клапан; 4 – входной клапан;
5 – клапан выпуска воздуха; 6 – датчик уровня;
7 – трубопровод; 8 – аэрационное устройство;
9 – сопло; 10 – конфузур; 11 – труба выдачи

При разгрузке пневмокамерного насоса из-за разности скоростей воздушного потока из сопел 9 аэрационного устройства 8, в разгрузочной трубе воздушный поток смещается ближе к стенке из-за чего снижается скорость потока, повышается абразивное воздействие транспортируемого материала. При достаточных скоростях транспортного агента (режим а) твердые частицы распределяются равномерно по сечению трубы, но при снижении скорости воздушного потока происходит образование участков скопления материала сначала в виде лент (режим б), а затем и труднопроходимых узлов (режим в). В случае

снижения скорости потока ниже скорости витания одной частицы наступает частичная блокировка материалопровода (режим г). Целью моделирования была поставлена задача максимально сравнить скорости воздушного потока из сопел 9.

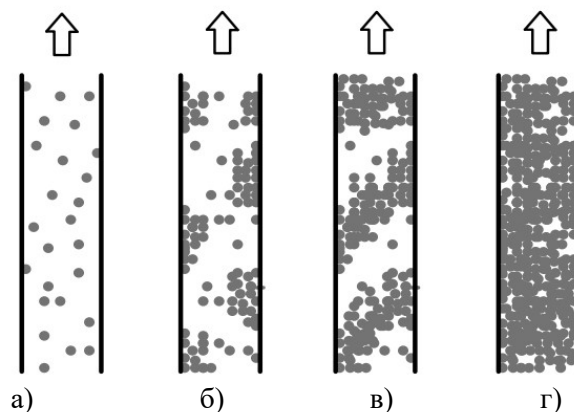


Рис. 2. Состояния аэрированного порошкового материала при вертикальной транспортировке снизу-вверх:

- а) свободный унос; б) образование лент;
в) образование дюн; г) образование перемычек (частичная блокировка)

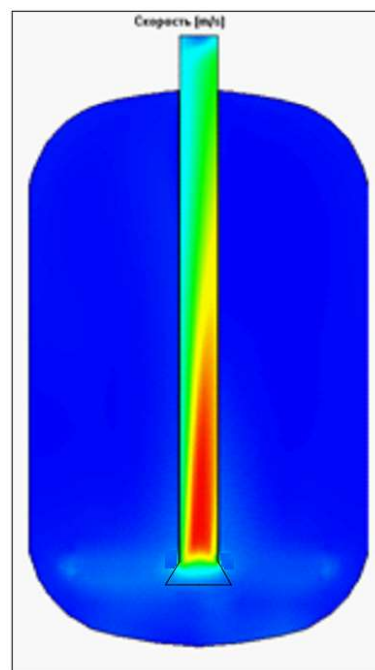


Рис. 3. Влияние разности скоростей воздушного потока на разгрузку

Технологические параметры, принятые для моделирования. Для проектирования, прочностных расчетов, симуляции движения воздушных потоков в настоящее время используют современные программные продукты, позволяющие на этапе моделирования цифровой модели определить технологические характеристики разрабатываемого устройства [6, 7]. При определении скорости движения воздушных потоков в аэрационном устройстве был использован мо-

дуль SolidWorks Flow Simulation. Для моделирования процесса разгрузки был выбран пневмокамерный насос ТА-29.

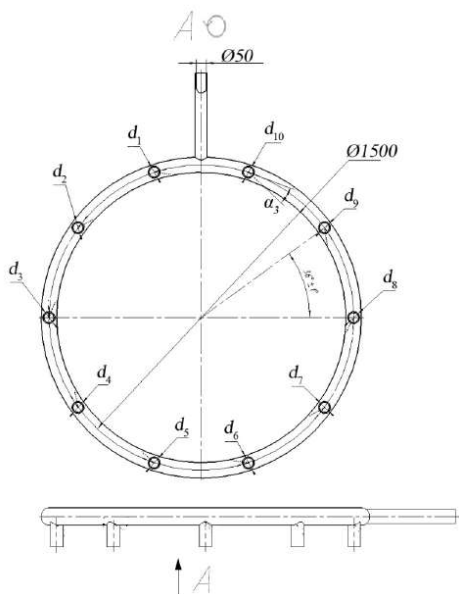


Рис. 4. Схема расположения сопел аэрационного устройства



Рис. 5. Модель аэрационного устройства

В процессе решения поставленной задачи была использована схема расположения сопел приведена на рис. 4. Исходные данные: Диаметр кольца трубопровода $\Phi 1500$ мм, условный проход кольца трубопровода $\Phi 65$ мм, условный проход патрубка подачи воздуха $\Phi 50$ мм, диаметр сопел $d_1 \dots d_{10} = \Phi 50$ мм, скорость подачи воздуха 40 м/с, давление сжатого воздуха 0.35 МПа, угол между ближайшими соплами $\alpha = 36^\circ$ [8].

Моделирование. Для моделирования движения воздушных потоков при разгрузке пневмокамерный насос состоит из корпуса, разгрузочной трубы и аэрационного устройства с соплами [9]. Первым шагом были заданы границы расчетной зоны, включающие внутренний объем корпуса насоса, аэрационное устройство и трубу выдачи порошкового материала. Следующим шагом были заданы граничные условия, определяющие давление окружающей среды, скорость воздушного потока в патрубке подачи сжатого воздуха аэрационного устройства давление сжатого воздуха. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

На рис. 6 представлены результаты расчета скоростного режима движения сжатого воздуха в аэрационном устройстве, полученное с помощью программного продукта SolidWorks. В рассматриваемом варианте диаметры всех сопел были равными и составляли 50 мм [10, 11, 12]. Внутренний диаметр кольцевой трубы был равен 65 мм, а диаметр кольца 1500 мм. Давление сжатого воздуха в подводящем трубопроводе 1 составляло 0,35 МПа.

Таблица 1

Результаты моделирования при постоянном сечении сопел аэрационного устройства

Параметры	Значения									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
Φ , мм	50	50	50	50	50	50	50	50	50	50
v, м/с	2,82	2,94	3,64	5,16	6,48	6,51	5,01	3,85	3,66	2,94

Установлено, что при таком конструктивном решении максимальная скорость воздуха 40 м/с наблюдается у выхода из трубы 1, затем воздушный поток ударяется о стенку кольцевого трубопровода 2 и его скорость снижается до 18–23 м/с. У выхода из сопел d1, d10 она равна около 14 м/с. Далее воздушный поток перемещается в направлении от сопла d1 к соплу d2 и от сопла d10 к соплу d9 его скорость снижается до 9–11 м/с. Скорость воздуха на участках от сопла d3 к соплу d4 и от сопла d8 к соплу d7 снижается до 4 м/с. На участке кольцевой трубы от сопла

d7 расчетная скорость воздушного потока снижается до 3 м/с.

Таким образом, при выбранном конструктивном решении, когда диаметр выходных отверстий сопел одинаковый (50 мм) скорость сжатого воздуха сопел снижается от 6,8 до 2,8 м/с, уменьшается в 2,4 раз. Это приводит к тому, что расход воздуха из сопел d4, d5, d6, d7 существенно выше (до 2,4 раз), чем через сопла d1, d2, d3, d8, d9, d10. В результате этого аэрация порошкового материала в корпусе пневмокамерного насоса происходит неравномерно, циклически, что приводит, в

отдельных случаях, к закупориванию трубы выдачи и снижению производительности насоса.

Анализируя данные табл. 1, полученные в ходе моделирования можно заметить, что сопла равноудаленные от патрубка подачи воздуха имеют незначительное расхождение скорости воздушного потока. Скорость воздуха в соплах при их одинаковом диаметре уменьшается в зависимости от их расположения по отношению к трубе 1 подача сжатого воздуха. Для усреднения скорости в соплах можно либо увеличить диаметр кольцевого трубопровода или изменить диаметр сопел. Увеличение диаметра кольцевого трубопровода приведет к увеличению расхода сжатого воздуха. Поэтому было принято решение на основе полученных данных из таблицы 1 и рисунка 5 изменить диаметры сопел для выравнивания скорости сжатого воздушного потока.

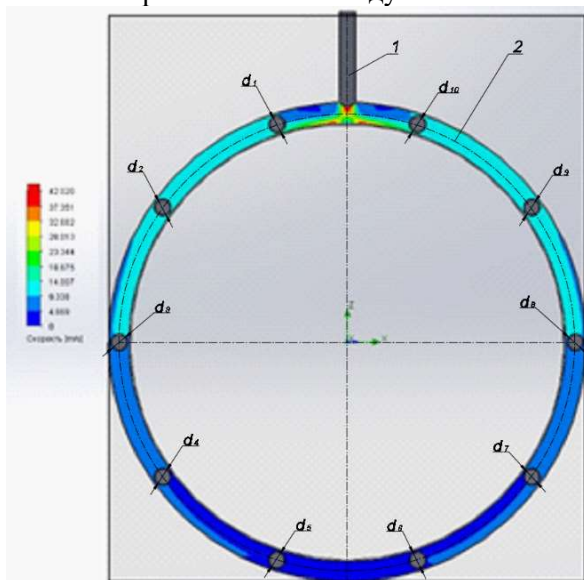


Рис. 6. Распределение воздушного потока в аэрационном устройстве:
1 – подводящий трубопровод;
2 – кольцевой трубопровод

В данном случае необходимо учесть то, что скорость движения сжатого воздуха по кольцевой трубе снижается, в связи с его истечением из

сопел d1, d2, d3, d4, d5, расположенных по ходу движения сжатого воздуха, необходимо рассчитать диаметры сопел таким образом, чтобы расход воздуха через них был одинаковым.

Поскольку скорость сжатого воздуха из сопел d4, d5, d6, d7 больше, чем из сопел d1, d2, d3, d8, d9, d10, то для обеспечения равного расхода сжатого воздуха через все сопла диаметр сопел d1, d2, d3, d8, d9, d10 должен быть меньше, чем сопел d4, d5, d6, d7 пропорционально скорости воздуха из них. Например, скорость воздуха сопла d6 равна около 6,5 м/с, а в зоне сопла d1 она составляет 2,8 м/с, следовательно, диаметр сопла d1 должен быть меньше диаметра сопла d6 примерно в 2,4 раза. При равном диаметре сопел d6 и d1 (50 мм) и скоростях, соответственно, 6,5 м/с и 2,8 м/с расход воздуха через сопло d6 будет равен 46 м³/ч, а через сопло d1 – 20 м³/ч, то есть в 2,3 раза меньше. Безусловно такой режим расхода воздуха через сопла не обеспечит равномерной аэрации порошкового материала в камере насоса.

Если выполнить диаметры сопел d1 и d6 в соответствии со скоростями режимов истечения, то, например, диаметр сопла должен быть d1 равен 32 мм, а сопла d6 – 50 мм. С учетом того, что расход воздуха из сопла d1 равна 21 м³/ч, а из сопла d6 – 40 м³/ч. Скорость сжатого воздуха из сопла d1 будет равна – 6.0 м/с, а из сопла d6 – 6.5 м/с. Было принято решение использовать при моделировании диаметры сопел d1, d10 равные 32 мм, а d2, d9 равные 40 мм.

Результаты моделирования представлены в таблице 2 и на рис. 7 и 8. Из рисунка 6 следует, что распределение воздушного потока по трубопроводу 2 изменилось незначительно. Скорость сжатого воздуха из сопел d1, d2, d3, d4, d5 имеет близкие значения к средней скорости равной 5,7 м/с. Величины скорости сжатого воздуха из сопел d10, d9, d8, d7, d6 и d1, d2, d3, d4, d5 имеют расхождение в пределах 5 %.

Таблица 2

Влияние диаметра сопел на скорость аэрационного устройства

Параметры	Значения									
	d1	d2	d3	d4	d5	d6	d7	d8	d9	d10
Ø, мм	32	40	50	50	50	50	50	50	40	32
v, м/с	6,2	5,8	4,9	5,7	6,6	6,8	5,8	4,8	5,7	6,5

Таким образом, мы обеспечиваем равную скорость сжатого воздуха из всех сопел и, естественно равномерную аэрацию пылевоздушной смеси и стабильную работу пневмокамерного насоса. Из этого следует, что диаметр всех сопел

в аэрационном устройстве не должен быть одинаковым, он должен учитывать скорость сжатого воздуха в зоне установки каждого сопла, чтобы обеспечить одинаковую скорость сжатого воздуха из сопел.

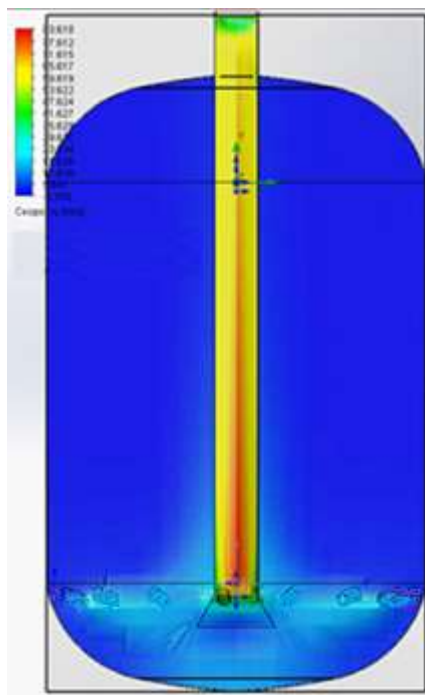


Рис. 7. Результаты моделирования движения воздушного потока в корпусе

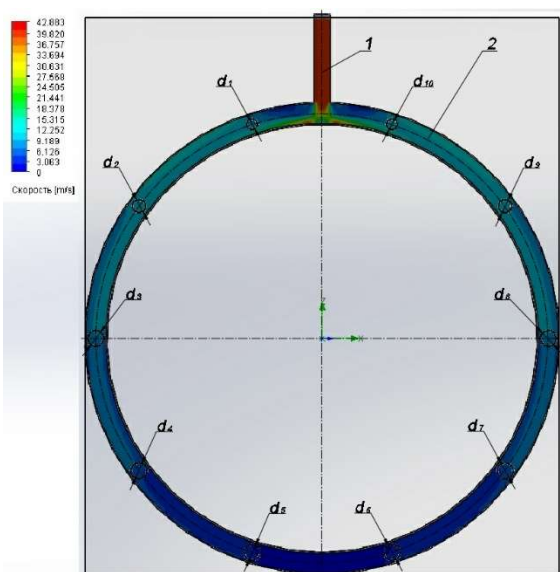


Рис. 8. Результаты моделирования движения воздушного потока в аэрационном устройстве

Вывод. Снижение скорости в разгрузочной трубе ниже скорости витания частицы может привести к закупорке разгрузочной трубы, снижению производительности, повышенному абразивному износу, повышению расхода сжатого воздуха. Поэтому обеспечение равномерной аэрации пылевоздушной смеси в пневмокамерном насосе является актуальной проблемой энергосбережения. Для представленной конструкции были подобраны диаметры сопел аэрационного устройства с помощью программного продукта SolidWorks. Решение подобных задач еще на этапе проектирования позволит сократить сроки испытания оборудования, повысить технические

характеристики оборудования, что в конечном счете повысит конкурентоспособность продукции.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Nakagawa J., Tanabe S. Residential pneumatic floor-heating system using phase-change material // *Journal of Environmental Engineering*. 2019. Vol. 84. №. 757. Pp. 271–280.
2. Deng X., Dong J., Wang Z., Tu J. Numerical analysis of an annular water-air jet pump with self-induced oscillation mixing chamber // *Journal of Computational Multiphase Flows*. 2017. Vol. 9. №. 1. Pp. 47-53.
3. Богданов В.С., Лозовая С.Ю., Фадин Ю.М., Гавриленко А.В., Кулаков Л.С., Гавшин А.П. Исследование мультисоплового аэрационного устройства в пневмокамерном насосе // *Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова*. 2017. №. 8. С. 145–148.
4. Bogdanov V.S. Research of influence of the main parameters on the capability of the pneumatic chamber pump with multijet aeration unit // *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. №. 4. Pp. 24669–24680.
5. Rodionov G.A., Buhmirov V.V. Energy efficiency improvement systems with pneumatic chamber pump // *EPJ Web of Conferences*. 2016. Vol. 110. 01066.
6. Liao Y., Shu C., Liao Q., Wei Y., Wang L., Wang D., Zheng J. Air pressure stabilizing method and experiment of pneumatic seed-metering system of precision rapeseed planter // *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 33. №. 15 Pp. 49–56.
7. Lukianov E.S., Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M. Modeling of thermal mode of drying special purposes ceramic products in batch action chamber dryers // *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. 2018. Vol. 327. 2. 022043.
8. Cavazutti M., Corticelli M.A., Karayiannis T.G. Compressible Fanno flows in micro-channels: An enhanced quasi-2D numerical model for laminar flows // *Thermal Science and Engineering Progress*. 2019. Vol. 10. Pp. 10–26.
9. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger // *Energy*. 2018. Vol. 163. Pp. 52–60.
10. Gebhart T.E., Shiraki D., Baldzuhn J., Baylor L.R., Meitner S.J. Design and modeling of vacuum pumping for steady-state pellet fueling systems // *Fusion Science and Technology*. 2019 Vol. 75. №. 2. Pp. 89–97.
11. Karan P., Chakraborty J., Chakraborty S. Small-scale flow with deformable boundaries // *Journal of the Indian Institute of Science*. 2018. Vol. 98. №. 2. Pp. 159–183.

12. He W., Wang J. Optimal selection of air expansion machine in Compressed Air Energy Storage:

A review Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2018. Vol. 87. Pp. 77–95.

Информация об авторах

Богданов Василий Степанович, доктор технических наук, заведующий кафедры механического оборудования. E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Анциферов Сергей Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Богданов Денис Васильевич, кандидат технических наук, доцент кафедры механического оборудования. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Vöth Stefan, доктор технических наук, профессор кафедры материаловедения и технологии материалов. E-mail: Stefan.Voeth@thga.de. Technische Hochschule Georg Agricola. Germany, 44787, Bochum, Herner Str. 45

Кулаков Леонид Сергеевич, аспирант. Белгородский государственный технологический университет им. В.Г. Шухова. Россия, 308012, Белгород, ул. Костюкова, д. 46.

Поступила 27.01.2020

© Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Vöth S, Кулаков Л.С., 2020

^{1,}Bogdanov V.S., ¹Anciferov S.Ig., ¹Bogdanov D.V., ²Vöth S., ¹Kulakov L.S.*

*¹Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov
Russia, 308012, Belgorod, Kostukova st., 46*

*²Technische Hochschule Georga Agricola
Germany, 44787, Bochum, Herner Str. 45*

**E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com*

MODELING THE INFLUENCE OF THE DESIGN OF THE AERATION DEVICE ON THE UNLOADING OF THE AIR PUMP

Abstract. *It is impossible to imagine the technological process of production of building materials, dry building mixes, reinforced concrete products without an important technological operation of transporting powder materials. Pneumatic chamber pumps are widely used for transporting powder bulk materials and are a mandatory element in the configuration of concrete plants and other mixing equipment. Their advantages are the possibility of full automation of work, reliable protection from atmospheric influences and the necessary sanitary and hygienic working conditions. Therefore, pneumatic chamber pumps are increasingly used for transportation. Compressed air is piped into the pump chamber. The bulk material is saturated with air, the resulting aerated mixture under the influence of excess pressure enters the pipeline and is transported in the specified direction. The disadvantage of pneumatic chamber pumps is the increased consumption of compressed air during transportation. To reduce air consumption, various aeration devices are used. Currently, at the modeling stage, modern software is used to determine the effectiveness of the developed aeration device. The influence of the air flow velocity on the discharge of a pneumatic chamber pump is considered. A design solution for the aeration device of the TA-29 pneumatic chamber pump is proposed.*

Keywords: *pneumatic chamber pump, aeration device, compressed air, transportation.*

REFERENCES

1. Nakagawa J., Tanabe S. Residential pneumatic floor-heating system using phase-change material. Journal of Environmental Engineering (Japan). 2019. Vol. 84. No. 757. Pp. 271–280.

2. Deng X., Dong J., Wang Z., Tu J. Numerical analysis of an annular water-air jet pump with self-induced oscillation mixing chamber. Journal of

Computational Multiphase Flows. 2017. Vol. 9. No. 1. Pp. 47–53.

3. Bogdanov V.S., Lozovaya S.Yu., Fadin Yu.M., Gavrilenko A.V., Kulakov S.L., Gavshin A.P. Research of the aeration device in the pneumatic chamber pump [Issledovanie mul'tisoplovnogo aeracionnogo ustrojstva v pnevmokamernom nasose]. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2017. No. 8. Pp. 145–148. (rus)

4. Bogdanov V.S. Research of influence of the main parameters on the capability of the pneumatic chamber pump with multijet aeration unit. *International Journal of Pharmacy & Technology*. 2016. Vol. 8. No. 4. Pp. 24669–24680.
5. Rodionov G.A., Buhmirov V.V. Energy efficiency improvement systems with pneumatic chamber pump. *EPJ Web of Conferences*. 2016. Vol. 110. 01066.
6. Liao Y., Shu C., Liao Q., Wei Y., Wang L., Wang D., Zheng J. Air pressure stabilizing method and experiment of pneumatic seed-metering system of precision rapeseed planter. *Nongye Gongcheng Xuebao/Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*. 2016. Vol. 33. No. 15. Pp. 49–56.
7. Lukianov E.S., Lozovaya S.Y., Lozovoy N.M. Modeling of thermal mode of drying special purposes ceramic products in batch action chamber dryers *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* 2018 Vol. 327. 2. 022043.
8. Cavazutti M., Corticelli M.A., Karayiannis T.G. Compressible Fanno flows in micro-channels: An enhanced quasi-2D numerical model for laminar flows. *Thermal Science and Engineering Progress*. 2019. Vol. 10. Pp. 10–26.
9. Rogovyi A. Energy performances of the vortex chamber supercharger. *Energy*. 2018. Vol. 163. Pp. 52–60.
10. Gebhart T.E., Shiraki D., Baldzuhn J., Baylor L.R., Meitner S.J. Design and modeling of vacuum pumping for steady-state pellet fueling systems. *Fusion Science and Technology*. 2019. Vol. 75. No. 2. Pp. 89–97.
11. Karan P., Chakraborty J., Chakraborty S. Small-scale flow with deformable boundaries. *Journal of the Indian Institute of Science*. 2018. Vol. 98. No. 2. Pp. 159–183.
12. He W., Wang J. Optimal selection of air expansion machine in Compressed Air Energy Storage. *A review Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2018. Vol. 87. Pp. 77–95.

Information about the authors

Bogdanov, Vasilij S. DSc, Professor. E-mail: v.bogdanov1947@gmail.com. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Anciferov, Sergej Ig. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Bogdanov, Denis V. PhD, Assistant professor. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Vöth Stefan, DSc, Professor. E-mail: Stefan.Voeth@thga.de. Technische Hochschule Georg Agricola. Germany, 44787, Bochum, Herner Str. 45

Kulakov, Leonid S. Postgraduate student. Belgorod State Technological University named after V.G. Shukhov. Russia, 308012, Belgorod, st. Kostyukova, 46.

Received 27.01.2020

Для цитирования:

Богданов В.С., Анциферов С.И., Богданов Д.В., Vöth S., Кулаков Л.С. Моделирование влияния конструкции аэрационного устройства на разгрузку пневмокамерного насоса // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2020. № 4. С. 94–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-94-100

For citation:

Bogdanov V.S., Anciferov S.Ig., Bogdanov D.V., Vöth S., Kulakov L.S. Modeling the influence of the design of the aeration device on the unloading of the air pump. *Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov*. 2020. No. 4. Pp. 94–100. DOI: 10.34031/2071-7318-2020-5-4-94-100