

Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 3 (47). С. 62–67
Vestnik Kurganskoj GSXA. 2023; (3-47): 62–67

Научная статья
УДК 621.924.93
Код ВАК 4.3.1

EDN: WKHQNP

ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА МАШИН ДЛЯ ГИДРОСТРУЙНОЙ ОЧИСТКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ

Борис Литта Иванов¹, Булат Гусманович Зиганшин², Ильнур Хамзович Гайфуллин³,
Рустем Ильясович Миннуллин⁴

^{1, 2, 3, 4} Казанский государственный аграрный университет, Казань, Россия

¹ littab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9080-5520>

² zigan66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8250-9403>

³ ilnur-gai@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9786-5227>

⁴ minrusi@mail.ru

Аннотация. Статья посвящена анализу результатов исследований процессов гидроструйной очистки поверхностей и конструктивных особенностей применяемых для этого машин. Исследования влияния конструктивно-технологических параметров конически сходящегося насадка с цилиндрическим проходным отверстием на эффективность процесса гидроструйной очистки проведены в условиях лаборатории Казанского государственного аграрного университета. Актуальность исследований заключается в том, что результаты представляют существенный интерес для поддержания должного санитарного благополучия сельскохозяйственных помещений ветеринарными службами страны. Цель – исследование и оценка влияния режимных параметров работы гидроструйного распылителя на качество удаления и очистки загрязнений с обрабатываемых поверхностей. Научная новизна исследования состоит в определении влияния давления струи на адгезию загрязнений в зависимости от температуры струи для разработки и создания высокоэффективных гидроструйных машин. Основопологающим методом при проведении исследований является изучение научной литературы по заявленной проблеме с последующим систематическим анализом данного материала и обобщение. Объектом изучения являются машины для гидроструйной очистки поверхностей. На основании литературных и производственных данных определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество удаления и очистки загрязнений. Для определения степени и характера влияния факторов на качество удаления и очистки загрязнений создан экспериментальный стенд. Установка позволяет провести исследования насадок с различными диаметрами отверстий. Определены перспективные направления разработки и создание новых машин для гидроструйной очистки поверхностей. Обоснованы задачи по повышению эффективности очистки обрабатываемых поверхностей, улучшению санитарного фона в сельскохозяйственных помещениях, а также уменьшению энергетических затрат технологического процесса гидроструйной очистки поверхностей.

Ключевые слова: гидроструйная очистка, насадок, давление.

Для цитирования: Иванов Б.Л., Зиганшин Б.Г., Гайфуллин И.Х., Миннуллин Р.И. Обоснование параметров рабочего процесса машин для гидроструйной очистки поверхностей // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 3 (47). С. 62–67. EDN: WKHQNP.

Scientific article

SUBSTANTIATION OF THE OPERATION PARAMETERS OF MACHINES FOR HYDRO-JET CLEANING OF SURFACES

Boris L. Ivanov¹, Bulat G. Ziganshin², Ilnur Kh. Gayfullin³, Rustem I. Minnullin⁴

^{1, 2, 3, 4} Kazan State Agrarian University, Kazan, Russia

¹ littab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9080-5520>

² zigan66@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8250-9403>

³ ilnur-gai@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9786-5227>

⁴ minrusi@mail.ru

Abstract. The article is devoted to the analysis of the research results of the processes of hydro-jet cleaning of surfaces and the design features of the machines used for this purpose. The research of the influence of structural and technological parameters of a conically convergent nozzle with a cylindrical orifice on the efficiency of the hydro-jet cleaning process was carried out in the laboratory of the Kazan State Agrarian University. The relevance of the research lies in the fact that the results are of significant interest for maintaining proper sanitary well-being of agricultural premises by the veterinary services of the country. The purpose of the research is to study and evaluate the influence of the standard parameters of the hydro-jet blaster on the quality of removal and cleaning of contaminants from the surfaces under treatment. The scientific novelty of the study consists in determining the influence of jet pressure on the contaminant adhesion depending on the temperature of the jet for

© Иванов Б.Л., Зиганшин Б.Г., Гайфуллин И.Х., Миннуллин Р.И., 2023

developing and creating highly efficient hydro-jet machines. The fundamental method in conducting the research consists in studying scientific literature on the stated problem, with the following systematic analysis of this material and its integration. The object of study is machines for hydro-jet cleaning of surfaces. Based on the literature and technological data, the factors that have the greatest impact on the quality of removal and cleaning of contaminants are determined. To determine the degree and nature of the influence of the factors on the quality of removal and cleaning of contaminants, a test bed has been developed. The test bed allows you to conduct the studies of nozzles with different orifice diameters. The prospective areas for developing and creating new machines for hydro-jet cleaning of surfaces have been identified. The work has substantiated the tasks for increasing the efficiency of cleaning the surfaces under treatment, improving the sanitary conditions in agricultural premises, as well as reducing the energy costs of the technological process of hydro-jet cleaning of surfaces.

Keywords: hydro-jet cleaning, nozzles, pressure.

For citation: Ivanov B.L., Ziganshin B.G., Gayfullin I.Kh., Minnullin R.I. Substantiation of the operation parameters of machines for hydro-jet cleaning of surfaces. Vestnik Kurganskoj GSHA. 2023; (3-47): 62–67. EDN: WKHQNP. (In Russ).

Введение. В современном животноводстве высокая концентрация поголовья скота и птицы способствует возникновению и распространению патогенных и условно-патогенных микроорганизмов. Для уничтожения источников инфекций применяют дезинфекцию. Для повышения эффективности дезинфекции сначала проводят гидромеханическую очистку поверхностей, после – обеззараживание химическими средствами [1–2]. В зависимости от характера загрязнений гидромеханическую очистку проводят путем протирания при помощи ветоши, протирания и одновременно орошения водой, а также гидроструйной очистки поверхностей [3].

При протирании поверхностей ветошью качество очистки от загрязнений выше, чем при простой механической очистке, но снижается производительность и повышается энергоемкость технологического процесса. Протирание и одновременное орошение водой позволяет получить очистку требуемого качества при сравнительно невысоких временных и энергетических затратах по сравнению с протиранием ветошью. При гидроструйной очистке обеспечивается полное отделение загрязнений с поверхностей и их очистка, однако требуются значительные энергетические затраты для этого процесса.

Дальнейшее развитие конструкций моечных машин возможно на основе использования гидроструйной техники, что позволит значительно интенсифицировать удаление загрязнений с обрабатываемых поверхностей и добиться высокого качества очистки. Для этого целесообразно использовать гидродинамическое воздействие орошаемой струи распылителями на загрязненные участки обрабатываемых поверхностей [4–5]. Конструкции гидроструйных распылителей просты и компактны. При этом способе увеличивается гидродинамическое воздействие струи жидкости на удаляемые загрязнения, эффект очистки повышается. Кроме этого, появляется возможность удалять загрязнения с труднодоступных участков.

При активном перемещении распылителя по сложной траектории загрязнения подвергаются воздействию струи жидкости с разных направлений, что вызывает возбуждение моющей среды [6–7].

Применение гидроструйных распылителей позволяет существенно упростить технологический процесс удаления и очистки загрязнений с обрабатываемых поверхностей перед дезинфекцией и добиться получения желаемого качества.

Целью данной работы являются исследование и оценка влияния гидродинамических параметров гидроструйного распылителя на качество удаления и очистки загрязнений с обрабатываемых поверхностей при различных режимах его работы.

Научная новизна исследования состоит в определении влияния давления струи на адгезию загрязнений в зависимости от температуры струи для разработки и создания высокоэффективных гидроструйных машин.

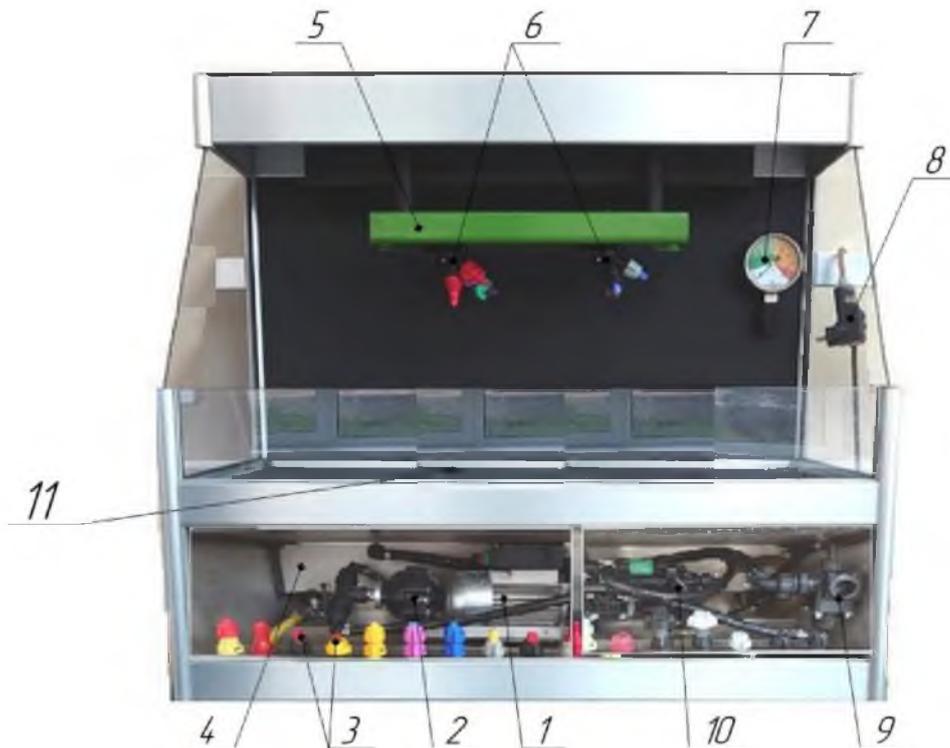
Материалы и методы. Исследовались процессы гидроструйной очистки поверхностей. На основании литературных и производственных данных были определены факторы, оказывающие наибольшее влияние на качество удаления и очистки загрязнений:

- 1 Конструктивные особенности насадок;
- 2 Рабочее давление жидкости в системе (Р, МПа);
- 3 Температура рабочей жидкости (°С);
- 4 Расстояние от среза насадка до очищаемой поверхности (l , м).

Для определения степени и характера влияния этих факторов на качество удаления и очистки загрязнений был создан экспериментальный стенд (рисунок 1).

Стенд состоит из электродвигателя 1, насоса 2 с предохранительным клапаном, гидробака 4, регулируемой по высоте станины 5, на который закреплены трехпозиционные гнезда 6 с насадками 3. Давление в системе изменяется при помощи регулятора 9 и для его измерения используется манометр 7.

Данная установка позволяет провести исследование насадок с различными диаметрами отверстий. На стенде имеется возможность изменять рабочее давление жидкости в системе (0...0,6 МПа) с целью определения рационального рабочего давления, при котором происходит полное удаление грязевых отложений с обрабатываемых поверхностей.



1 – электродвигатель; 2 – насос центробежный; 3 – насадки; 4 – емкость для жидкости; 5 – станина; 6 – трехпозиционные гнезда; 7 – манометр; 8 – розетка питания; 9 – регулятор давления; 10 – фильтр-отстойник; 11 – подложка с грязевыми отложениями

Рисунок 1 – Экспериментальный стенд

Результаты исследований и их обсуждение.

В процессе очистки особая роль отводится насадке, так как он формирует струю и определяет расход очищающей среды и энергии на ее образование.

В лаборатории гидравлики Казанского ГАУ проведены исследования влияния конструктивно-технологических параметров конически сходящегося насадка с цилиндрическим проходным отверстием на эффективность процесса гидроструйной очистки [7–8]. Насадок такой формы обладает наиболее высоким КПД, преобразует потенциальную энергию давления жидкости в кинетическую энергию струи. Запас кинетической энергии струи зависит от давления у насадка. С повышением давления увеличивается скорость истечения и кинетическая энергия струи, а следовательно, силы ее воздействия на очищаемую поверхность. Увеличение давления вызывает рост расхода жидкости и существенно сокращает время очистки поверхности [9–10]. При этом установлено, что для каждого диаметра насадка существует строго определенное давление, при котором обеспечивается минимум затрат на единицу поверхности [11]. Чем меньше диаметр насадка, тем выше значение давление жидкости у насадка. При диаметре насадка 2 мм давление превышает 10 МПа. Однако такой путь интенсификации процесса мойки накладывает

ограничения со стороны защитных лакокрасочных покрытий оборудования.

Исследованиями установлена степень влияния температуры очищающей среды на процесс очистки. В значительной мере это относится к процессам мойки деталей или машин с целью обезжиривания их поверхностей, где используются высокотемпературные растворы. При этом выбор температуры определяется требованием обеспечения оптимальных тепловых условий для наиболее полного проявления свойств моющих присадок [12–13].

Повышение температуры очищающей среды усиливает процесс разжижения загрязнений на очищаемой поверхности, что приводит к изменению их исходных физико-механических свойств. Применительно к мойке оборудования установлены ограничения по предельному значению теплового удара на лакокрасочные покрытия [14].

В процессе очистки расстояние между насадком и очищаемой поверхностью изменяется в широких пределах, а при использовании гидроструйных машин, выбирается исходя из навыков оператора. В то же время исследования показывают, что расстояние между насадком и очищаемой поверхностью в значительной мере определяет эффективность процесса.

На основании результатов исследований при очистке компактной струёй расстояние между насадком и очищаемой поверхностью должно соответствовать $250...300 \cdot d_{\text{он}}$ (диаметр отверстия насадка).

Использование моющих средств при очистке обрабатываемых поверхностей оборудования зависит от требований завода-производителя. Преимуществом предварительного размачивания является возможность дифференцированного применения моющих средств по видам загрязнений. Однако в этом случае необходимо дополнительное устройство для реализации процесса.

Применение моющих средств отличается простотой и совмещается во времени с процессом очистки. Основной недостаток этого способа – необходимость иметь специальные высокоэффективные быстродействующие моющие средства, исключающие образование накипи на стенках теплообменной моечной установки.

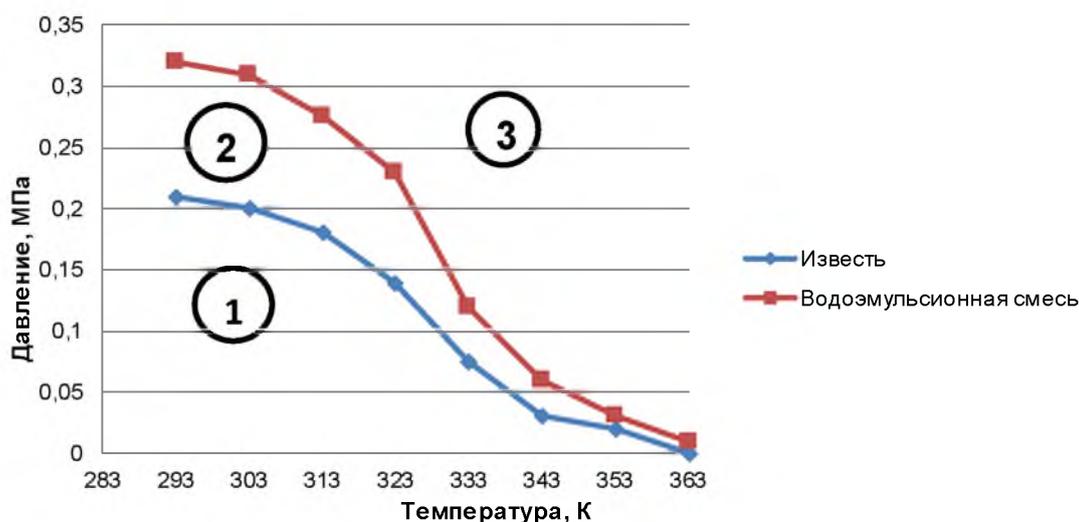
Интенсификация процесса очистки и более высокая степень чистоты поверхностей, достигаемые применением моющего средства, основываются на резком снижении поверхностного натяжения очищающей среды, ее эмульгирующим действием на маслянисто-жировые компоненты загрязнения. Это создает условия, при которых исключается возможность повторного осаждения отмытых загрязнений [15].

Результаты лабораторных исследований приведены в таблице. На основании показателей таблицы построен график (рисунок 2) зависимости адгезии от давления и температуры струи.

Таблица – Результаты лабораторных исследований

Температура моющей жидкости, °С	Адгезия загрязнений, МПа	
	Известь	Водоземulsionная смесь
20	0,21	0,32
30	0,2	0,31
40	0,18	0,275
50	0,14	0,23
60	0,075	0,12
70	0,03	0,06
80	0,02	0,03
90	0	0,01

Из представленных данных видно, что в процессе мойки давление струи жидкости на поверхность не должно превышать 0,2 МПа при ее температуре менее 47 °С. С ростом температуры очищающей среды свыше 57 °С давление должно снижаться в 2 и более раза.



1 – зона стойкости загрязнений; 2 – предельная зона разрушений загрязнений;
3 – зона возможного разрушения загрязнений

Рисунок 2 – Результаты влияния давления струи на адгезию загрязнений в зависимости от температуры струи

Заключение. На основании полученных результатов исследований можно сделать вывод, что совершенствование машин для гидроструйной очистки поверхностей представляет собой актуальную проблему. Её решение позволит повысить эффективность очистки обрабатываемых поверхностей, улучшить санитарный фон в сельскохозяйственных помещениях, а также уменьшить энергетические затраты технологического процесса гидроструйной очистки поверхностей. В свою очередь это указывает на перспективность разработки новых машин для гидроструйной очистки поверхностей с конически сходящимися насадками с цилиндрическими проходными отверстиями.

Список источников

1. Оценка распределения капель дезинфицирующей жидкости по обрабатываемой поверхности / Б.Л. Иванов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 3 (54). С. 103-107.
2. Суханова С.Ф., Ярославцев Ф.В. Формирование мясной продуктивности молодняка гусей за счет использования пробиотической кормовой добавки // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 4 (44). С. 48-54.
3. Абделфаттах А.Х., Иванов Б.Л., Зиганшин Б.Г. Исследование некоторых параметров капельного орошения путем гидравлической оценки капельниц // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2019. Т. 14. № 2 (53). С. 72-76.
4. Исследование работы вихревого пневматического распылителя дезинфицирующих жидкостей / Б.Л. Иванов [и др.] // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2023. Т. 18. № 2 (70). С. 66-71.
5. Методы интенсификации процессов экстрагирования биологически активных веществ из растительного сырья / Д.Н. Сёмушкин [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2023. № 1 (45). С. 78-88.
6. Влияние аэрозольной обработки гуминовыми препаратами на посевные качества семян зерновых культур / О.А. Тетерина [и др.] // Инженерные технологии и системы. 2020. Т. 30. № 2. С. 254-267.
7. Ecological-energy directions for improving multiple sprinkling machines / A.I. Ryazantsev [et al.] // ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences. 2019. Vol. 14. No. 3. Pp. 677-685.
8. Мударисов С.Г., Рахимов З.С., Гареев Р.Т. Моделирование пневматических распределительных систем зерновых сеялок методами двухфазных течений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2018. № 4 (44). С. 45-49.
9. Галиев И.Г., Хусаинов Р.К. Результаты определения оптимальных значений межремонтных работ тракторов в аграрном производстве с учетом уровня их эксплуатации // Вестник Казанского государственного аграрного университета. 2016. Т. 11. № 2 (40). С. 87-90.
10. Zinnatullina A.N., Ibyatov R.I., Shamsiev M.N. Simulating a pollution process in water filtration under a hydraulic structure // Mathematical Models and Computer Simulations. 2015. Vol. 7. No. 3. Pp. 254-258.
11. Вакуумная выпарная установка для повышения концентрации кормовых суспензий / А.В. Фоминых [и др.] // Вестник Курганской ГСХА. 2022. № 2 (42). С. 63-71.
12. Study of aerosol charging in electro-aerosol generator / P.L. Lekomtsev [et al.] // Journal of Applied Engineering Sciences. 2017. Vol. 7. No 2 (20). Pp. 69-77.
13. Mechatronic System Linear Swing Vibrating Screen of a Grain Cleaner / R.S. Aipov [et al.] // Journal of Engineering and Applied Sciences. 2018. Vol. 13. No. S8. Pp. 6473-6477.
14. Soil compaction management: Reduce soil compaction using a chain-track tractor / S. Mударисов [et al.] // Journal of Terramechanics. 2020. Vol. 89. Pp. 1-12.
15. Study of vortex pneumatic sprayer for liquid disinfection / B.L. Ivanov [et al.] // BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources». 2022. Vol. 52. P. 00086.
16. Ковалева А.Р. Насос высокого давления для гидроструйной очистки // Инновации. Наука. Образование. 2020. № 14. С. 520-523.
17. Анженков А.С., Болбышко В.А. Оценка воздействия насадок на поток пульпы при гидродинамическом способе очистки дренажа // Мелиорация. 2023. № 1 (103). С. 5-10.

References

1. Ivanov B.L. et al. Otsenka raspredeleniya kapel' dezinfitsiruyushchei zhidkosti po obrabatyvaemoy poverkhnosti [Assessment of the distribution of disinfectant liquid droplets over the treated surface]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019; (14-3-54): 103-107. (In Russ).
2. Sukhanova S.F., Yaroslavtsev F.V. Formirovanie myasnoi produktivnosti molodnyaka gusei za schet ispol'zovaniya probioticheskoi kormovoi dobavki [Formation of meat productivity of young geese through the use of

probiotic feed additive]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2022; (4-44): 48-54. DOI: 10.52463/22274227_2022_44_48. (In Russ).

3. Abdelfattakh A.Kh., Ivanov B.L., Ziganshin B.G. Issledovanie nekotorykh parametrov kapel'nogo orosheniya putem gidravlicheskoj otsenki kapel'nits [Study of some parameters of drip irrigation by hydraulic evaluation of drippers]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2019; (14-2-53): 72-76. (In Russ).

4. Ivanov B.L. et al. Issledovanie raboty vikhrevogo pnevmaticheskogo raspylatelya dezinfitsiruyushchikh zhidkostei [Study of the operation of a vortex pneumatic sprayer of disinfectant liquids]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2023; (18-2-70): 66-71. (In Russ).

5. Semushkin D.N. et al. Metody intensivatsii protsessov ekstrahirvaniya biologicheski aktivnykh veshchestv iz rastitel'nogo syr'ya [Methods for intensification of extraction processes biologically active substances from plant raw materials]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2023; (1-45). 78-88. (In Russ).

6. Teterina O.A. Vliyanie aerol'noi obrabotki guminovymi preparatami na posevnye kachestva semyan zemnykh kul'tur [The influence of aerosol treatment with humic preparations on the sowing qualities of grain seeds]. *Engineering technologies and systems*. 2020; (30-2): 254-267. (In Russ).

7. Ryazantsev A.I. et al. Ecological-energy directions for improving multiple sprinkling machines. *ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2019; (14-3): 677-685.

8. Mudarisov S.G., Rakhimov Z.S., Gareev R.T. Modelirovanie pnevmaticheskikh raspredelitel'nykh sistem zemnykh seyalok metodami dvukhfaznykh techenii [Modeling of pneumatic distribution systems of grain seeders using two-phase flow methods]. *Vestnik of Ulyanovsk state agricultural academy*. 2018; (4-44): 45-49. (In Russ).

9. Galiev I.G., Khusainov R.K. Rezul'taty opredeleniya optimal'nykh znachenii mezhremontnykh narabotok traktorov v agrarnom proizvodstve s uchetom urovnya ikh ekspluatatsii [Results of determining the optimal values of between-repairs operating hours for tractors in agricultural production, taking into account the level of their operation]. *Vestnik of the Kazan State Agrarian University*. 2016; (11-2-40): 87-90. (In Russ).

10. Zinnatullina A.N., Ibyatov R.I., Shamsiev M.N. Simulating a pollution process in water filtration under a hydraulic structure. *Mathematical Models and Computer Simulations*. 2015; (7-3): 254-258.

11. Fominykh A.V. et al. Vakuumnaya vyparnaya ustanovka dlya povysheniya kontsentratsii kormovykh suspenzii [Determination

of jet compression ratio in the gate valves]. *Vestnik Kurganskoj GSHA*. 2022; (2-42): 63-71. DOI: 10.52463/22274227_2022_42_63. (In Russ).

12. Lekomtsev P.L. et al. Study of aerosol charging in electro-aerosol generator. *Journal of Applied Engineering Sciences*. 2017; (7-2-20): 69-77.

13. Aipov R.S. et al. Mechatronic System Linear Swing Vibrating Screen of a Grain Cleaner. *Journal of Engineering and Applied Sciences*. 2018; (13-S8): 6473-6477.

14. Mudarisov S. et al. Soil compaction management: Reduce soil compaction using a chain-track tractor. *Journal of Terramechanics*. 2020; (89): 1-12.

15. Ivanov B.L. et al. Study of vortex pneumatic sprayer for liquid disinfection. *BIO Web of Conferences: International Scientific-Practical Conference «Agriculture and Food Security: Technology, Innovation, Markets, Human Resources»*. 2022; (52): 00086.

16. Kovaleva A.R. Nasos vysokogo davleniya dlya gidrostruinoi ochistki [High pressure pump for hydro jetting]. *Innovatsii. Nauka. Obrazovanie*. 2020; (14): 520-523. (In Russ).

17. Anzhenkov A.S., Bolbyshko V.A. Otsenka vozdeistviya nasadok na potok pul'py pri gidrodinamicheskom sposobe ochistki drenazha [Evaluation of the impact of nozzles on pulp flow during the hydrodynamic method of drainage cleaning]. *Melioratsiya*. 2023; (1-103): 5-10. (In Russ).

Информация об авторах

Б.Л. Иванов – кандидат технических наук, доцент; AuthorID 703475.

Б.Г. Зиганшин – доктор технических наук, профессор; AuthorID 326952.

И.Х. Гайфуллин – кандидат технических наук; AuthorID 797764.

Р.И. Миннуллин – соискатель; AuthorID 1219466.

Information about the author

B.L. Ivanov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor; AuthorID 703475.

B.G. Ziganshin – Doctor of Technical Sciences, Professor; AuthorID 326952.

I.Kh. Gayfullin – Candidate of Technical Sciences; AuthorID 797764.

R.I. Minnullin – applicant; AuthorID 1219466.

Статья поступила в редакцию 24.08.2023; одобрена после рецензирования 25.10.2023; принята к публикации 15.11.2023.

The article was submitted 24.08.2023; approved after reviewing 25.10.2023; accepted for publication 15.11.2023.