

Научная статья

УДК 631.347:631.86

EDN OTCPVU

DOI: 10.22450/1999-6837-2024-18-1-65-73

Технологические аспекты очистки навозных стоков

Александр Николаевич Головки¹, Анатолий Михайлович Бондаренко²

^{1,2} Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, Ростовская область, Зерноград, Россия

¹ alexnikgol@rambler.ru, ² bondanmih@rambler.ru

Аннотация. Современные вызовы мировой экономики все чаще вынуждают обращать внимание на состояние животноводства в России. Являясь одним из ключевых направлений сырьевого ресурса пищевой промышленности, животноводство, в том числе его свиноводческое направление, испытывают значительные трудности в борьбе за экологичность и конкурентоспособность отрасли. Основные проблемы возникают в процессе производства побочных продуктов, таких как жидкий навоз. Так как по экологическим требованиям для переработки этого продукта требуются значительные затраты, возникает необходимость поиска и оптимизации технологий его переработки. Целью исследования является обоснование оптимизации технологии очистки навозных стоков. В процессе исследования рассматривается вариант технологической линии очистки навозных стоков с оптимальным набором технологического оборудования. Последняя ступень очистки представлена осветлением рабочей жидкости после разделения стоков в напорной флотационной установке. Проблемой применения напорной флотационной установки для осветления навозных стоков является низкая обеспеченность данными для расчета ее конструктивных параметров в соответствии с характеристиками нового осветляемого продукта.

Ключевые слова: глубокая переработка, технологический процесс, жидкий навоз, переработка жидкого навоза, разделение на фракции, напорная флотация

Для цитирования: Головки А. Н., Бондаренко А. М. Технологические аспекты очистки навозных стоков // Дальневосточный аграрный вестник. 2024. Том 18. № 1. С. 65–73. doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-1-65-73.

Original article

Technological aspects of manure wastewater treatment

Aleksandr N. Golovko¹, Anatoliy M. Bondarenko²

^{1,2} Azov Black Sea Engineering Institute – Branch of Don State Agrarian University
Rostov region, Zernograd, Russian Federation

¹ alexnikgol@rambler.ru, ² bondanmih@rambler.ru

Abstract. Modern challenges of global economy increasingly require focusing on the state of livestock farming in Russia. As one of key areas of raw material resource of food industry, livestock farming, including pig farming, is undergoing significant difficulties in the struggle for environmental friendliness and competitiveness of the industry. The main difficulties arise in the production of by-products such as liquid manure. The processing of this product requires significant costs according to environmental requirements, and there is a need to search for and optimize technologies for its processing. The purpose of the study is to substantiate the optimization of manure wastewater treatment technology. During the research, an option for a technological line for

treating manure wastewater with an optimal set of technological equipment is being considered. The last stage of purification is represented by clarification of the working fluid after separation of wastewater in a pressure flotation unit. The problem with using a pressure flotation unit for clarification of manure waste is the low availability of data for calculating its design parameters in accordance with the characteristics of the new clarified product.

Keywords: deep processing, technological process, liquid manure, liquid manure processing, division into factions, pressure flotation

For citation: Golovko A. N., Bondarenko A. M. Technological aspects of manure wastewater treatment. *Dal'nevostochnyj agrarnyj vestnik*. 2024;18;1:65–73. (in Russ.). doi: 10.22450/1999-6837-2024-18-1-65-73.

Введение. По данным Росстата поголовье свиней в Ростовской области на 1 января 2023 г. составило 331 754 голов; при этом выход жидкого навоза от указанного поголовья достигает в среднем 726 тысяч тонн в год. Распространение бесподстилочной технологии содержания животных с использованием гидросмыва и самотечных систем навозоудаления делает проблему хранения и утилизации навоза еще более актуальной.

Получаемый от животных навоз относится, согласно последним изменениям Федерального классификационного каталога отходов (приказ Росприроднадзора от 22.05.2017 № 242), к третьему классу опасности, и, соответственно, задача его обеззараживания находится на одном уровне с другими главными стратегическими задачами сельского хозяйства России [1, 2]. Основой правильного решения этой задачи является комплексный подход к использованию оборудования и технологий для обеззараживания и глубокой переработки жидкого свиного навоза.

Целью исследований явилось обоснование оптимизации технологии очистки навозных стоков.

Материалы и методы исследований. В ходе исследования использовались методы системного анализа и синтеза [3–5]. Использование системного анализа позволило выявить основные показатели модели технологической линии тонкой очистки жидкого навоза. Метод системного анализа использовался для подбора технологического оборудования по критериям и характеристикам, полученным в результате описания модели технологической линии. В процессе определения критериев и характеристик каждого технологического этапа для

подбора необходимого технологического оборудования методически необходимо было описать каждый этап соответствующим функциональным блоком с входными и выходными параметрами, соответствующими описанному технологическому этапу.

Для описания функциональных блоков в рамках данного исследования применялся метод моделирования, благодаря которому изменения характеристик выходящего из функционального блока продукта по сравнению с характеристиками входящего в функциональный блок описывались соответствующим математическим выражением с сохранением всех параметров входного и выходного свойства [6, 7].

Результаты исследований. Процесс глубокой переработки жидкого навоза предусматривает выполнение нескольких технологических операций, производимых последовательно в процессе изменения свойств перерабатываемого продукта.

Для достижения цели данного исследования проведен анализ опыта использования технологической линии с использованием флотации для очистки рабочей жидкости после разделения жидкого свиного навоза. *Рассмотрим один из вариантов технологической линии, содержащей оптимальный набор технологического оборудования, используемого на определенных технологических этапах очистки жидкого навоза.*

Технологическая линия тонкой очистки жидкого навоза представлена функциональными блоками, заменяющими реальное технологическое оборудование (рис. 1). В процессе движения продукта по технологической линии меняются

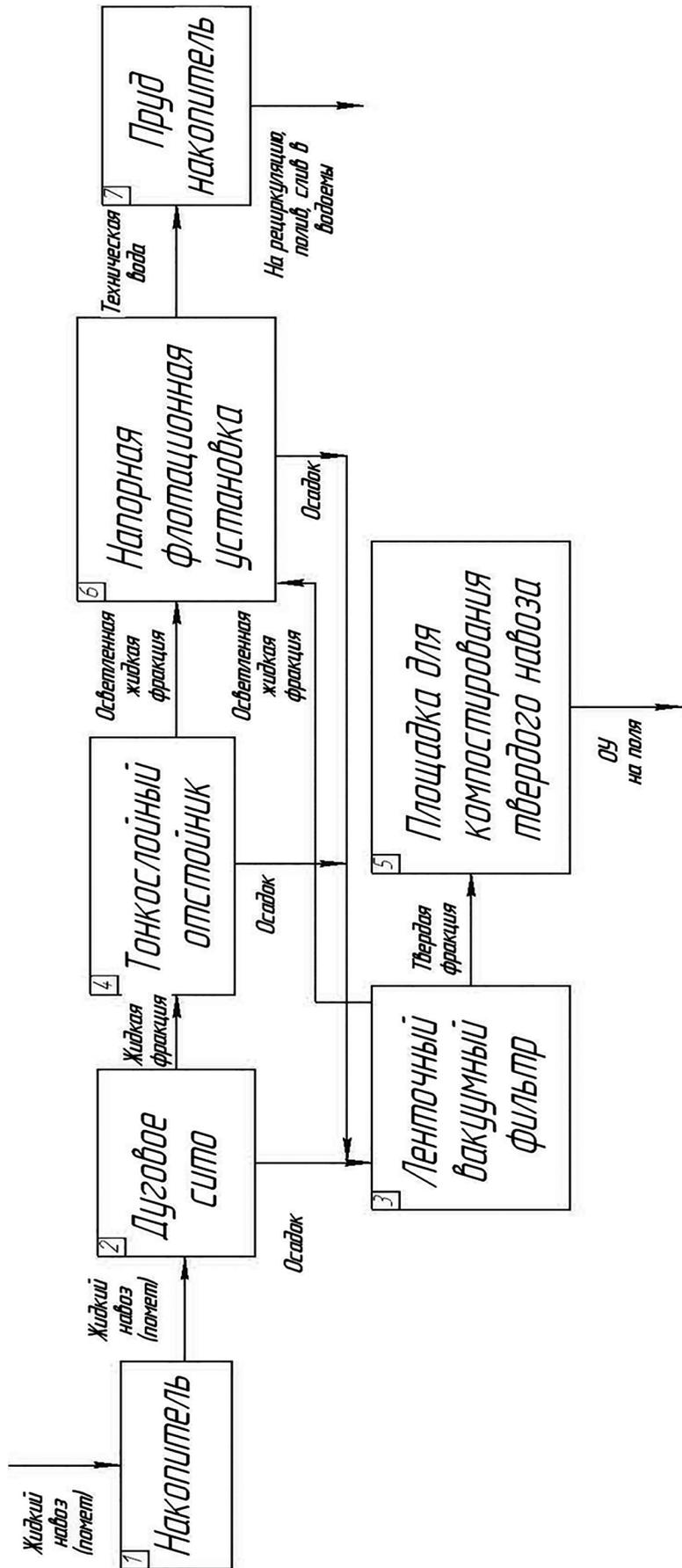


Рисунок 1 – Функциональная схема технологической линии тонкой очистки жидкого навоза
 Figure 1 – Functional scheme of technological line for fine purification of liquid manure

его физико-химические и микробиологические характеристики. Движение продукта по технологической линии обозначено стрелками. Основным показателем, который меняется в процессе прохождения продукта, является его влажность.

Расчет режима работы технологической линии отстраивался от производительности основного оборудования и сооружений, входящих в ее состав. Основным входным параметром модели линии являются количество жидкого навоза и его влажность.

Работа технологической линии предусматривает накопление жидкого навоза в навозоприемнике, представленном в рассматриваемой технологической линии блоком 1. При этом, согласно Федеральному классификационному каталогу отходов, навозоприемник должен быть рассчитан на объем жидкого навоза, накапливаемого в течение 14 дней.

Второй блок разделения на фракции представлен в линии дуговым ситом. В рекомендациях по использованию дуговых сит представлены две модификации: СДФ-50 и дуговое сито конструкции Всероссийского научно-исследовательского проектно-технологического института механизации и электрификации сельского хозяйства (ВНИПТИМЭСХ). Указанное оборудование имеет одинаковую производительность ($50 \text{ м}^3/\text{ч}$) и одинаковую влажность фильтрата, равную 98,7 %.

Влажность твердой фракции, получаемой после дугового сита СДФ-50, составляет 88 %, а у дугового сита конструкции ВНИПТИМЭСХ находится в диапазоне от 82 до 88 %. После модернизации конструкции ВНИПТИМЭСХ в соответствии с уровнем современной автоматизации процесса, влажность твердой фракции можно снизить до 78–80 %.

В результате, согласно нормативам, установленным Федеральным классификационным каталогом отходов, влажность рабочей жидкости после разделения составит 98,7 %, а влажность твердой фракции будет равна 88 %.

По ходу технологического цикла жидкая фракция подвергается гравитационному отделению твердых взвесей в тонкослойном отстойнике (блок 4). Для расчета в данном исследовании будет рас-

смотрена конструкция горизонтального тонкослойного отстойника.

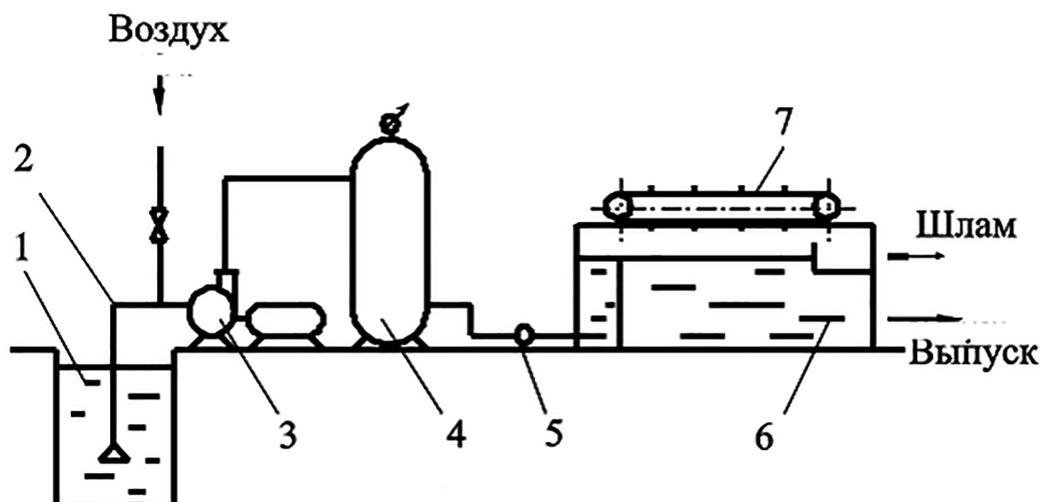
Твердая фракция после дугового сита направляется на ленточный вакуум-фильтр (блок 3), в котором происходит дообезвоживание твердого осадка до влажности 70–75 %. После ленточного вакуум-фильтра твердая фракция транспортируется на площадку для компостирования, представленную в исследуемой технологической линии блоком 5, на которой в процессе компостирования происходит ее термическое обеззараживание.

Осветленная жидкость после тонкослойного отстойника и ленточного вакуум-фильтра поступает в напорную флотационную установку, представленную в рассматриваемой технологической линии блоком 6. Конструкции флотаторов, выпускаемых отечественными и иностранными производителями, разделяются по количеству камер на однокамерные и многокамерные; по форме – на радиальные и горизонтальные; по способу образования пузырьков воздуха в жидкости установки – с механической флотацией, с электрофлотацией и с напорной флотацией (выделение пузырьков из раствора).

Одна из конструкций напорной флотационной установки радиального типа была разработана ВНИПТИМЭСХ для осветления животноводческих стоков [8]. Существующие флотаторы, разработанные для очистных сооружений канализационных стоков городской канализации, малоэффективны для очистки животноводческих стоков, состав и другие характеристики которых существенно отличаются от стоков городской канализации. Конструкция флотатора ВНИПТИМЭСХ предусматривает изменение характеристик обрабатываемой жидкости, обеспечивая ее эффективное осветление.

Рассмотрим классическую схему напорной флотационной установки (рис. 2).

Особенность использования классической конструкции для осветления навозных стоков состоит в том, что существующие параметры таких установок, имеющиеся в нормативно-справочной литературе, не содержат сведений по этому продукту. Поэтому необходимо дополнительное исследование установки для выявления наиболее оптимальных параметров ее работы.



1 – приемный резервуар; 2 – приемный трубопровод; 3 – нагнетающий насос;
 4 – напорный бак; 5 – регулятор давления; 6 – флотационная камера;
 7 – поверхностные скребки
 1 – receiving tank; 2 – receiving pipeline; 3 – injection pump; 4 – pressure tank;
 5 – pressure regulator; 6 – flotation chamber; 7 – surface scrapers

Рисунок 2 – Схема напорной флотационной установки
Figure 2 – Scheme of a pressure flotation unit

Для исследования процесса осветления жидкого навоза в напорной флотационной установке наиболее целесообразно рассмотреть ее модель с заданием реальных параметров процесса. Для моделирования используем тип модели «Черный ящик», чтобы иметь возможность изучить воздействие внешних факторов на систему моделирования (рис. 3).

На вход объекта поступают объем рабочей жидкости Q_1 с плотностью ρ_1 . На

выходе модели получаем объем осветленной жидкости Q_2 , плотность осветленной жидкости ρ_2 и объем пены с осадком Q_3 . Внешние воздействия, влияющие на параметры выхода, представлены в модели степенью очистки ε и конструктивными параметрами: высотой камеры флотационной установки H и ее диаметром D .

В модели приняты следующие допущения: поступающие на вход модели объем рабочей жидкости Q_1 и плотность

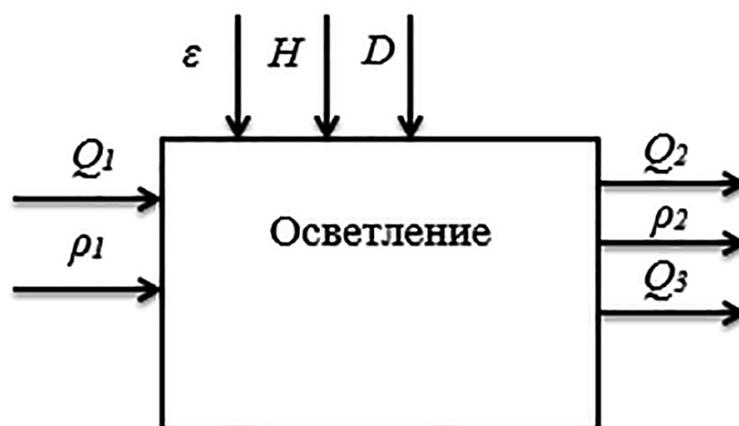


Рисунок 3 – Функциональная модель напорной флотационной установки
Figure 3 – Functional model of a pressure flotation unit

жидкости ρ_1 принимаются постоянными и не зависящими от внешних факторов величинами; объем осветленной жидкости $Q_2 \leq Q_1$; плотность осветленной жидкости на выходе модели $\rho_2 \leq \rho_1$.

Рассмотрим зависимость выходных параметров от параметров внешнего воздействия. Степень осветления рабочей жидкости вычисляется по формуле (1) [8]:

$$\varepsilon = \frac{C_p - C_o}{C_p} \quad (1)$$

где C_p и C_o – концентрации взвеси в рабочей и осветленной жидкости соответственно.

Как видно из формулы (1), напрямую объем осветленной жидкости не связан со степенью ее осветления.

Высота флотационной камеры известна также как рабочая глубина флотатора [8] и рассчитывается по формуле (2):

$$H_{\phi} = 0,06 \cdot V_{\text{восх}} \cdot t_k \quad (2)$$

где $V_{\text{восх}}$ – скорость восходящего движения воды в камере, мм/с (принимается в пределах 6–8 мм/с);

t_k – время пребывания воды в камере (рекомендуется принимать 6–8 мин. для камер грубой очистки и отстойной, 4–5 мин. – для флотационной).

Диаметр флотатора или его ширины определяется по формуле (3) [8]:

$$B = \sqrt{\frac{W_{\text{кф}}}{H_{\phi}}} \quad (3)$$

$$W_{\text{кф}} = \frac{Q_{\text{ч}} + Q_{\text{р}}}{60 \cdot \eta_0} \quad (4)$$

где $W_{\text{кф}}$ – объем рабочей камеры флотатора, определяемый по формуле (4), м³;

$Q_{\text{ч}}$ – часовая производительность установки, м³/ч;

$Q_{\text{р}}$ – расход рециркулирующей воды, м³/ч (при давлении 5–6 кгс/см² принимают равным (0,15 – 0,2) от величины $Q_{\text{ч}}$);

η_0 – коэффициент объемного использования флотатора (равен 0,4).

Такой параметр входа, как плотность жидкости, связан в расчетах следующими формулами.

Максимально возможное время нахождения пузырька во флотационной камере определяется по формуле (5):

$$\tau = \frac{H}{\omega} \quad (5)$$

$$\omega = \frac{2,8 \cdot 10^{-2} \cdot d^2 \cdot (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{в}}) \cdot g}{\mu} \quad (6)$$

где H – высота слоя жидкости, находящейся во флотационной камере, м;

ω – скорость движения пузырька в слое жидкости, находящейся во флотационной камере, определяемая по формуле (6), м/с;

d – диаметр воздушного пузырька, м;

$\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{в}}$ – соответственно плотности жидкости и воздуха, кг/м³;

μ – динамическая вязкость жидкости, Па·с.

Для определения диаметра пузырька, образующегося при дросселировании перенасыщенного водного раствора воздуха, существует зависимость (7) [8]:

$$d = 10^4 \cdot \exp(-0,09 \cdot u) \quad (7)$$

где u – скорость дросселирования рабочей жидкости, м/с.

Полученные экспериментальным путем зависимости параметров выхода от внешних воздействий представлены на рисунках 4, 5.

Из рисунка 4 видно, что с увеличением производительности установки (Q) степень осветления (ε) уменьшается, а высота камеры (H) увеличивается.

При этом рациональное значение этих параметров, согласно графикам, наблюдается при значении производительности, составляющей около $6,8 \cdot 10^3$ м³/с.

Из рисунка 5 видно, что диаметр (D) камеры напорной флотационной установки принимает значения от 1,3 до 3 м в зависимости от высоты камеры (H) установки и ее производительности (Q).

Выводы. На основании представленных зависимостей получено значение высоты камеры (H), равное 2,25 м, для модернизации напорной флотационной

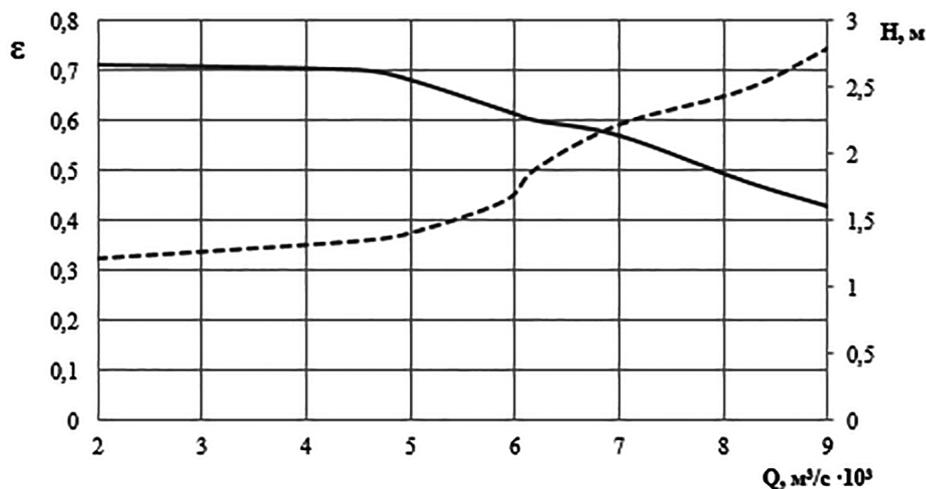


Рисунок 4 – Зависимость степени осветления и высоты камеры напорной флотационной установки от производительности установки
Figure 4 – Dependence of clarification degree and chamber height of a pressure flotation unit on the productivity of unit

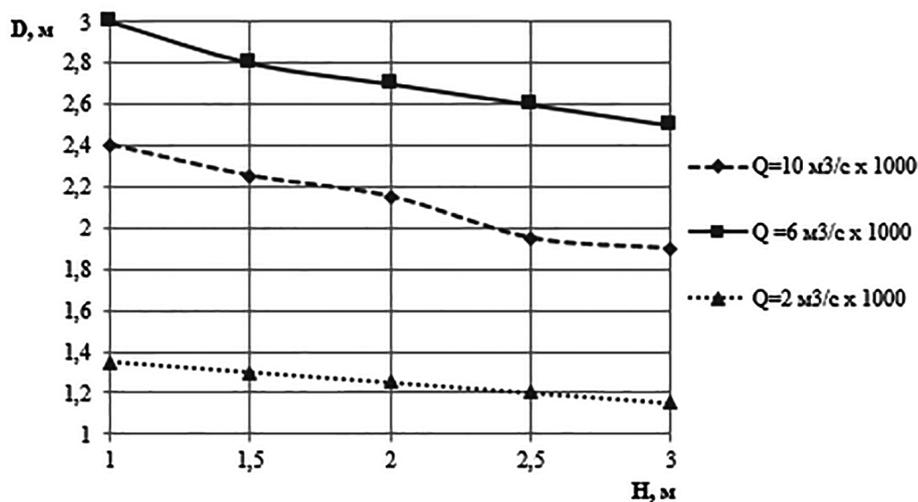


Рисунок 5 – Зависимость диаметра камеры напорной флотационной установки от ее высоты при определенных значениях производительности
Figure 5 – Dependence of chamber diameter of a pressure flotation unit on its height at certain productivity values

установки, конструктивные параметры которой обеспечивают:

степень осветления (ϵ), равную 5,78;
 производительность (Q), приблизительно имеющую значение $6,8 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{с}$.

При модернизации напорной флотационной установки требуется проведение дополнительных исследований, направленных на повышение качества очистки навозных стоков с учетом физико-механических и физических показателей.

Список источников

1. Брюханов А. Ю., Максимов Д. А., Хухта Х., Васильев Э. В., Минин В. Б., Субботин И. А. Рекомендации по организации и проведению производственного экологического контроля систем переработки и использования навоза (помета): порядок разработки технологического регламента. Санкт-Петербург : Северо-Западный НИИ механизации и электрификации сельского хозяйства, 2012. 53 с. EDN QLDALD.

2. Гречишкина Ю. И., Есаулко А. Н., Горбатко Л. С., Беловолова А. А., Коростылев С. А., Айсанов Т. С. Экологические аспекты применения удобрений в современной земледелии // Вестник АПК Ставрополя. 2012. № 3 (7). С. 112–115. EDN PCQTUR.

3. Качанова Л. С. Многокритериальная модель обоснования выбора ресурсосберегающей технологии производства и применения органических удобрений // Вестник Московского государственного агроинженерного университета имени В. П. Горячкина. 2016. № 3 (73). С. 33–40. EDN WAGPJR.

4. Качанова Л. С. Технико-экономические критерии обоснования эффективности технологических процессов производства и использования удобрений // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. 2015. № 2 (18). С. 188–205. EDN UAHACZ.

5. Качанова Л. С. Модель планирования дополнительного дохода от применения удобрений // Аграрная наука. 2016. № 6. С. 8–11. EDN WIAKBN.

6. Брюханов А. Ю., Васильев Э. В., Шалавина Е. В. Проблемы обеспечения экологической безопасности животноводства и наилучшие доступные методы их решения // Региональная экология. 2017. № 1 (47). С. 37–43. EDN YTFDPN.

7. Богачев А. И., Полухина М. Г. Экологическая безопасность как фактор социально-экономического роста отрасли свиноводства // Агротехника и энергообеспечение. 2015. № 3 (7). С. 32–37. EDN YIUHN.

8. Калмыков В. П. Осветление фильтрата и уплотнение избыточного активного ила стоков свиноводческих комплексов напорной фильтрацией : автореф. дис. ... канд. техн. наук. Зерноград, 1985. 18 с. EDN TZHCLP.

References

1. Bryukhanov A. Yu., Maksimov D. A., Khukhta Kh., Vasilev E. V., Minin V. B., Subbotin I. A. *Recommendations on organizing and conducting industrial environmental control of manure (dung) processing and management systems: the procedure for the development of technological regulations*, Saint-Petersburg, Severo-Zapadnyi NII mekhanizatsii i elektrifikatsii sel'skogo khozyaistva, 2012, 53 p. EDN QLDALD (in Russ.).

2. Grechishkina Yu. I., Esaulko A. N., Gorbatko L. S., Belovolova A. A., Korostylev S. A., Aysanov T. S. Ecological aspects of fertilizer use in modern agriculture. *Vestnik APK Stavropol'ya*, 2012;3(7):112–115. EDN PCQTUR (in Russ.).

3. Kachanova L. S. Multicriterion model of selecting resource-saving production technologies and organic fertilizer application. *Vestnik Moskovskogo gosudarstvennogo agroinzhenernogo universiteta imeni V. P. Goryachkina*, 2016;3(73):33–40. EDN WAGPJR (in Russ.).

4. Kachanova L. S. Technical and economic criteria for substantiation the efficiency of technological processes of fertilizer production and application. *Nauchnyy zhurnal Rossiyskogo NII problem melioratsii*, 2015;2(18):188–205. EDN UAHACZ (in Russ.).

5. Kachanova L. S. Model planning for additional income from fertilizer application. *Agrarnaya nauka*, 2016;6:8–11. EDN WIAKBN (in Russ.).

6. Bryukhanov A. Yu., Vasilev E. V., Shalavina E. V. Challenges of environmental safety in livestock farming and best available methods to address them. *Regional'naya ekologiya*, 2017;1(47):37–43. EDN YTFDPN (in Russ.).

7. Bogachev A. I., Polukhina M. G. Environmental safety as a factor of social and economic growth pig industry. *Agrotekhnika i energoobespechenie*, 2015;3(7): 32–37. EDN YIUHN (in Russ.).

8. Kalmykov V. P. Clarification of leachate and thickening of excess activated sludge from pig farm effluents by pressure filtration. *Extended abstract of candidate's thesis*. Zernograd, 1985, 18 p. EDN TZHCLP (in Russ.).

© Головки А. Н., Бондаренко А. М., 2024

Статья поступила в редакцию 15.02.2024; одобрена после рецензирования 04.03.2024; принята к публикации 05.03.2024.

The article was submitted 15.02.2024; approved after reviewing 04.03.2024; accepted for publication 05.03.2024.

Сведения об авторах

Головко Александр Николаевич, кандидат технических наук, доцент кафедры землеустройства и кадастров, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, alexnikgol@rambler.ru;

Бондаренко Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой землеустройства и кадастров, Азово-Черноморский инженерный институт – филиал Донского государственного аграрного университета, bondanmih@rambler.ru

Information about the authors

Aleksandr N. Golovko, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Land Management and Cadastre, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University, alexnikgol@rambler.ru;

Anatoliy M. Bondarenko, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Land Management and Cadastre, Azov-Black Sea Engineering Institute – branch of the Don State Agrarian University, bondanmih@rambler.ru

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.