

7. Ikromov I.I. Vliyaniye differentsirovannogo glubokogo rykhleniya na vodno-fizicheskiye svoystva pochvy [Impact of variable-depth deep tillage on soil water-physical properties]. In: *Novyye metody i rezul'taty issledovaniy landshaftov v Yevrope, Tsentral'noy Azii i Sibiri*. Moscow, 2018: 139-144. (In Rus.).

8. Surikov V.V. Stroitel'nyye mashiny dlya mekhanizatsii meliorativnykh rabot [Construction equipment for the mechanization of land reclamation operations]. Moscow, Izdatel'stvo Agropromizdat, 1991: 463. (In Rus.).

9. Bigarayev O.K. Glubokoye rykhleniye pochvy v khlopokoseyushchey zone yuga Kazakhstana [Deep soil

tillage in cotton-growing area of South Kazakhstan]. *Nauka i Mir*. 2015; Vol. 3; 4 (20): 90-91. (In Rus.).

10. Kopytovskikh A.V. Izmeneniye vodopronitsayemosti svyaznykh mineral'nykh pochv pri glubokom bezotval'nom rykhlenii [Changes in the permeability of cohesive mineral soils with deep subsurface tillage]. *Melioratsiya*. 2009; 2 (62): 169-175. (In Rus.).

11. Abdulmazhidov Kh.A., Telovov N.K. Obrabotka dannykh eksperimental'nykh issledovaniy modeli kovsha kanaloochistitelya [Processing experimental research data of the model bucket of a canal cleaner]. *Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Logistika, transport, prirodoobustroystvo – 2014"*. Moscow, 2014: 95-102. (In Rus.).

Критерии авторства

Теловов Н.К., Абдулмажидов Х.А. выполнили экспериментальную работу, на основании полученных результатов провели обобщение и написали рукопись. Теловов Н.К., Абдулмажидов Х.А. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 18.03.2019

Contribution

Telovov N.K., Abdulmazhidov Kh.A. carried out the experimental work, on the basis of the results summarized the material and wrote the manuscript. Telovov N.K., Abdulmazhidov Kh.A. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on March 18, 2019

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК66.081.63:631.862.2

DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-27-35

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ЦЕНТРИФУГИРОВАНИЯ И УЛЬТРАФИЛЬТРАЦИИ СТОКОВ ЖИВОТНОВОДЧЕСКИХ ФЕРМ

НОВИКОВ АНДРЕЙ ЕВГЕНЬЕВИЧ, докт. техн. наук, доцент^{1,2}

E-mail: novikov-ae@yandex.ru

ШЕВЧЕНКО ВИКТОР АЛЕКСАНДРОВИЧ, докт. с.-х. наук³

E-mail: shevchenko.v.a@yandex.ru

ФИЛИМОНОВ МАКСИМ ИГОРЕВИЧ, мл. науч. сотрудник^{1,2}

E-mail: maks.filimonov.1986@mail.ru

¹ Волгоградский государственный технический университет; пр. им. Ленина, 28, Волгоград, 400005, Российская Федерация

² Всероссийский научно-исследовательский институт орошаемого земледелия; ул. им. Тимирязева, 9, Волгоград, 400002, Российская Федерация

³ Всероссийский научно-исследовательский институт гидротехники и мелиорации имени А.Н. Костякова; ул. Большая Академическая, д. 44, корп. 2, Москва, 127550, Российская Федерация

Экологизация животноводства лимитируется эффективностью утилизации на сельскохозяйственных полях навозных стоков, образующихся при бесподстильном разведении сельскохозяйственных животных и содержащих болезнетворные бактерии, яйца и личинки гельминтов. Для обработки навозных стоков как многокомпонентных сред предложена технология, включающая разделение их на твердую фракцию и жидкую фазу в осадительной центрифуге со шнековой выгрузкой осадка и последующую дегельминтизацию жидкой фазы на установке ультрафильтрации. Для оценки эффективности технологии использованы методы математического моделирования с применением как оригинальных подходов в процессе центрифугирования с определением локальных пофракционных степеней улавливания и интегральной степени очистки, так и классических в процессе ультрафильтрации, основанных на диффундировании вещества через полупроницаемую перегородку под действием градиента давления. Исследования проводились на примере племенного завода по разведению КРС. По результатам математического моделирования установлено, что при заданной производительности 3...4 м³/ч все рассматриваемые центрифуги типа ОГШ обеспечивают степень очистки навозных стоков от твердой фракции на 97%,

при этом, по критерию энергоэффективности, рекомендована машина типа ОГШ-202К-03 с мощностью привода 5,5 кВт. Определено, что для очистки жидкой фазы от патогенных микроорганизмов с увеличением рабочего давления от 0,1 до 0,7 МПа площадь фильтровальной перегородки мембран типа МФАС-Б-4 и МФАС-П-2 снижается с 78,2 до 11,2 м², для мембраны типа МФАС-МА-6 – соответственно с 33,0 до 4,7 м². Установлено, что при рабочем давлении 0,2 МПа, согласно критериям энергоёмкости процесса и материалоемкости установки ультрафильтрации, целесообразно использовать мембрану типа МФАС-П-3, имеющую площадь фильтровальной перегородки 2,73 м².

Ключевые слова: моделирование процессов, центрифугирование, ультрафильтрация, навозные стоки, болезнетворные бактерии и микроорганизмы, удобрения, ресурсоэффективные машинные технологии.

Формат цитирования: Новиков А.Е., Шевченко В.А., Филимонов М.И. Моделирование процессов центрифугирования и ультрафильтрации стоков животноводческих ферм // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. №3(91). С. 27-35. DOI: 10.34677/1728-7936-2019-3-27-35.

MODELING PROCESSES OF CENTRIFUGAL SEPARATION AND ULTRAFILTRATION OF WASTEWATER ON LIVESTOCK FARMS

ANDREY E. NOVIKOV, DSc (Eng), Associate Professor^{1,2}

E-mail: novikov-ae@yandex.ru

VIKTOR A. SHEVCHENKO, DSc (Agr)³

E-mail: shevchenko.v.a@yandex.ru

MAKSIM I. FILIMONOV, Research Assistant^{1,2}

E-mail: maks.filimonov.1986@mail.ru

¹ Volgograd State Technical University; Lenina Ave., 28, Volgograd, 400005, Russian Federation

² All-Russian Research Institute of Irrigated Agriculture; Timiryaseva Str., 9, Volgograd, 400002, Russian Federation

³ All-Russian Research Institute of Hydraulic Engineering and Land Reclamation; Bolshaya Akademicheskaya Str., 44, bld. 2, Moscow, 127550, Russian Federation

Ecologization of animal husbandry is determined by the efficiency of manure disposal in agricultural fields. Manure effluents are formed as a result of livestock keeping without litter and they contain pathogenic bacteria, helminth eggs and larvae. For the treatment of manure effluents as multicomponent substances, the authors have proposed a technology including their separation into solid and liquid fractions in a precipitation centrifuge with a screw sediment discharge and subsequent deworming of the liquid fraction in an ultrafiltration installation. To evaluate the effectiveness of the technology, the methods of mathematical modeling were applied. The methods are based on both original approaches to the centrifugation process with the determination of local fractional degrees of capturing and the integral degree of cleaning, and conventional ones consisting in the ultrafiltration process based on the diffusing of a substance through a semipermeable partition under the action of a pressure gradient. The research was carried out in a livestock breeding farm enterprise. According to the results of mathematical modeling, it was established that for a given performance of 3...4 m³/h all considered centrifuges of the ОГШ type provide 97% degree of manure removal from the solid fraction, while according to the energy efficiency criterion, it is advisable to recommend the ОГШ-202К-03 machine with the drive power of 5.5 kW. It was found that to clean the liquid fraction from pathogenic microorganisms, an increase in the operating pressure p from 0.1 to 0.7 МПа is accompanied by a decrease in the area F of the membrane filter partition of the МФАС-Б-4 and МФАС-П-2 type from 78.2 to 11.2 м² for membrane type МФАС-МА-6 – respectively from 33.0 to 4.7 м². It was found that at an operating pressure of 0.2 МПа, according to the criteria of energy intensity of the process and material capacity of the ultrafiltration installation, it is advisable to use a МФАС-П-3 membrane type with a filter partition area of 2.73 м².

Keywords: process modeling, centrifugation, ultrafiltration, manure effluents, pathogenic bacteria and microorganisms, fertilizers, resource-efficient machine technologies.

For citation: Novikov A.E., Shevchenko V.A., Filimonov M.I. Modeling processes of centrifugal separation and ultrafiltration of wastewater of livestock farms. *Vestnik of Moscow Goryachkin Agroengineering University*. 2019; 3(91): 27-35. (In Rus.). DOI: 10.34677/1728-7936-2019-3-27-35.

Введение. В настоящее время в практику проектирования и строительства промышленных животноводческих комплексов и ферм широко внедряются технологии бесподстилочного содержания сельскохозяйственных животных, что обусловлено недостаточной ресурсоэффективностью и производительностью труда при их подстилочном содержании. При традиционной технологии содержания

сельскохозяйственных животных на соломенной подстилке дополнительные затраты ресурсов связаны с необходимостью уборки соломы с полей и её транспортировкой к местам содержания животных, вывозу и утилизации отработанной соломы с фекальными массами.

Утилизация на сельскохозяйственных полях продуктов жизнедеятельности сельскохозяйственных животных

при бесподстилочном содержании в качестве органического удобрения или удобрительного полива весьма перспективна, что обусловлено, с одной стороны, оптимальным соотношением N, P и K для питания растений и наличием микроэлементов, а с другой, – рациональным использованием этого ресурса и экологизацией сельскохозяйственного производства [1-3].

Однако внесение необработанных специальными методами навозных стоков, образующихся при бесподстилочном содержании животных, приводит к заражению почвы и водосборных бассейнов болезнетворными бактериями, яйцами и личинками гельминтов; причем особую опасность для окружающей среды представляет неподготовленная жидкая фаза навозных стоков, которая по объёму превышает количество твёрдой фракции в 7...8 раз.

Процесс отделения жидкой фазы от твёрдой фракции является определяющим в технологии обработки навозных стоков, так как от качества отделенных компонентов зависит её ресурсоэффективность. Исследования в области разделения многокомпонентных сред указывают на целесообразность применения аппаратов и машин, в основе которых лежит использование центробежных и фильтрационных полей [4-9]. Однако сложность протекания этих процессов обуславливает проблему разработки математического алгоритма, позволяющего на стадии проектирования смоделировать и оптимизировать процесс разделения навозных стоков.

Анализ существующих исследований в области обеззараживания сточных вод, в том числе промышленных и ЖКХ, позволяет выделить химические, физические и биологические методы воздействия. При химической обработке стоков используемые химические средства реагируют с загрязняющими компонентами, связывают и разлагают их. Биологическая обработка стоков осуществляется в аэротенках, метантенках, отстойниках, биологических прудах, почве и других объектах за счёт процессов жизнедеятельности аэробных и анаэробных бактерий [10]. Однако в исследованиях [11] отмечается, что применение химических или биологических методов для очистки и обеззараживания стоков животноводческих комплексов и ферм недостаточно эффективно, требуется комплексное воздействие, например, термическое воздействие при температуре 60°C в течение 30 минут с последующей химической обработкой формалином, гидроксидом натрия или гидроксидом кальция. Констатируется [11], что аэробная или анаэробная обработка навозных стоков, длительность которой может достигать от нескольких суток до года и более, лишь частично обеззараживает стоки. Эти выводы находят подтверждение и в других исследованиях [10, 12-15]. В частности, в работе [10] отмечается, что при анаэробной переработке бесподстилочного навоза КРС в рекомендуемом мезофильном режиме брожения после обеззараживания стоки, используемые в качестве удобрения на сельскохозяйственных полях, не соответствуют ветеринарно-санитарным требованиям ГОСТа 26074-84 (СТ СЭВ 2705-80).

Таким образом, новизна работы заключается в моделировании и совершенствовании технологии обработки навозных стоков КРС с использованием процессов центрифугирования для разделения их на жидкую фазу и твёрдую фракцию и ультрафильтрации для обеззараживания жидкой фазы от болезнетворных бактерий и гельминтов. Новый подход позволит повысить эффективность и экологичность

обработки навозных стоков, в том числе за счёт исключения энергозатратного термического воздействия и их химизации.

Цель исследования – разработка технологии и математической модели разделения навозных стоков на компоненты с последующей их утилизацией на сельскохозяйственных полях.

Материал и методы. Эффективность работы различных типов центрифуг и мембран установки ультрафильтрации, а также их конструктивные параметры оценивались методом математического моделирования. Для моделирования процесса разделения навозных стоков на твёрдую фракцию и жидкую фазу в центрифугах использовались оригинальные подходы, основанные на равенстве времени пребывания и времени осаждения частиц дисперсной фазы с выходом на локальные пофракционные степени улавливания и интегральную степень очистки. Для моделирования процесса ультрафильтрации использовалась классическая модель, заключающаяся в «продавливании» жидкой фазы навозных стоков под давлением через полупроницаемую перегородку – мембрану.

Исследования проводились на Племенном заводе ФГУП «Орошаемое» (Городищенский район г. Волгоград), который занимается разведением крупного рогатого скота молочного направления голштинской породы.

Сушка твёрдой фракции (после отделения жидкой фазы) проводилась при температуре 75...90°C под вакуумом в сушильном шкафу ВШ-0,035М при непрерывном определении массы образца с помощью лабораторных весов ВК1500.1. Сушка прекращалась, когда два последовательных взвешивания образца показывали одинаковые результаты.

Дисперсность твёрдой фракции определялась ситовым методом. Для этого образец массой 500 г пропускать через набор сит, установленных одно над другим в порядке убывания размеров отверстий сверху вниз. Определялась масса каждой фракции m_i (кг) и процентное содержание y (%) этой фракции по отношению к массе исходного образца M (кг):

$$y = m_i/M.$$

Средний размер твёрдой фракции рассчитывался по формуле:

$$d_{cp} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i m_i}{M},$$

где d_i – средний размер i -й фракции (полусумма размеров отверстий верхнего и нижнего сит), мм.

Однородность образца устанавливалась по среднеквадратическому отклонению:

$$\sigma = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n y a^2}{100}};$$

$$a = d_i - d_{cp},$$

где a – отклонение размера i -й фракции от среднего размера фракции.

Для получения достоверных результатов все опыты проводились четырёхкратно.

Результаты и обсуждение. Процесс разделения навозных стоков на компоненты может быть реализован по технологии, представленной на рисунке 1.

Фекальные массы, образующиеся в процессе жизнедеятельности сельскохозяйственных животных, ежесуточно

смываются в отстойник 1, откуда фекальным насосом 2 подаются в осадительную центрифугу, где происходит их разделение на твёрдую фракцию и жидкую фазу. Конструктивное исполнение центрифуги обеспечивает непрерывную выгрузку осадка на компостирование. Очищенная от механических примесей жидкая фаза насосом 4 подается на установку ультрафильтрации 5 для улавливания болезнетворных бактерий и гельминтов. После мембранного разделения ретант (биоорганический концентрат) обеззараживают, например, биотермическим способом и также компостируют, а пермеат самотеком отводится в пруд-накопитель 6 и откуда насосом 7 подается на орошение сельскохозяйственных культур.

Для обработки навозных стоков целесообразно выбрать центрифугу марки ОГШ с автоматической выгрузкой твёрдой фракции влажностью 25...30% и эффективностью разделения 95...98% [6, 16].

Для подбора типа и размера центрифуги разработана математическая модель (рис. 2), для решения которой необходимо располагать сведениями о концентрации и фракционном составе твёрдой фракции. При бесподстильном содержании сельскохозяйственных животных навозные стоки представляют собой 10%-ю суспензию, из которых 97% – это песок, ил, остатки кормов и твёрдых экскрементов, а 3% – болезнетворные бактерии [5].

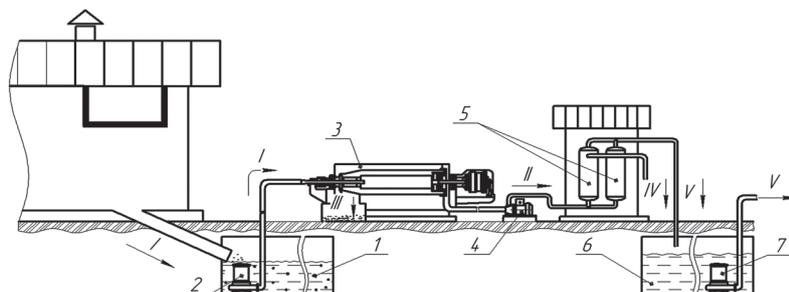


Рис. 1. Схема технологического процесса разделения навозных стоков:

I – навозные стоки; II – жидкая фаза после центрифугирования; III – твёрдая фракция; IV – биоорганический концентрат (ретант); V – жидкая фаза после ультрафильтрации (пермеат)

Fig. 1. Scheme of the technological process of manure effluent separation:

I – manure effluents; II – liquid fraction after centrifugation; III – solid fraction; IV – bioorganic concentrate (retant); V – liquid phase after ultrafiltration (permeate)

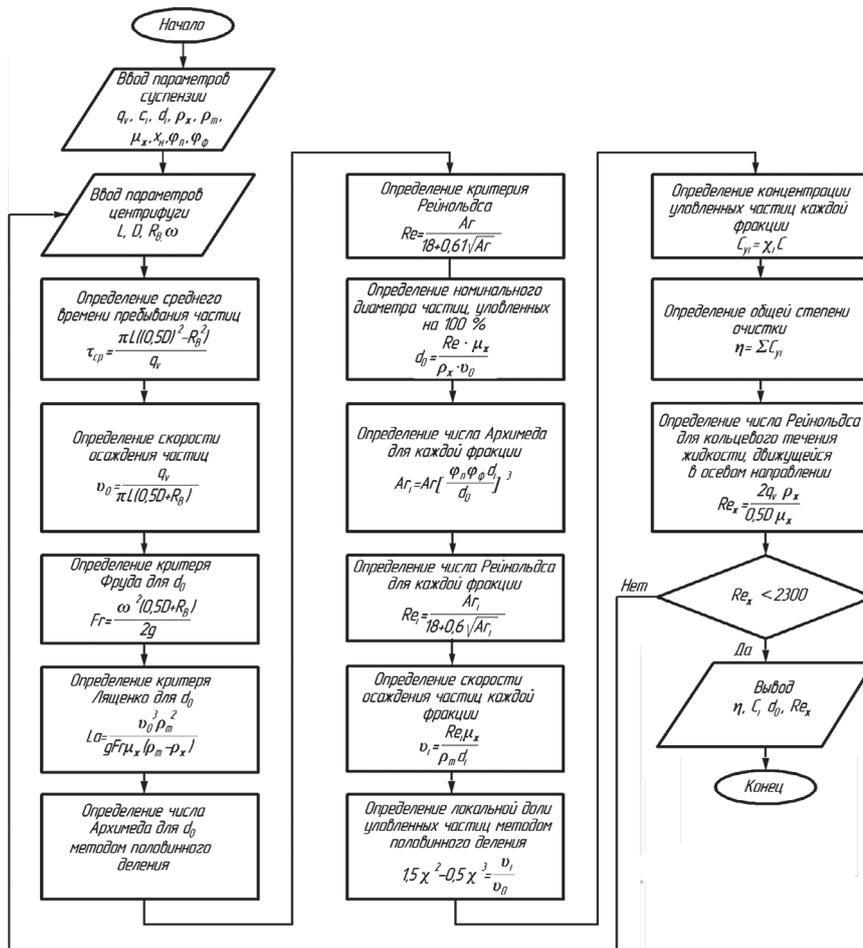


Рис. 2. Блок-схема для расчёта параметров центрифуги

Fig. 2. Block diagram for calculating the centrifuge parameters

Значения параметров различных типов осадительных центрифуг в результате математического моделирования процесса представлены в таблице 1. Анализируя таблицу, можно сказать, что все рассматриваемые центрифуги при заданной производительности (из расчёта на 100 условных голов [5]) по навозному стоку

теоретически обеспечивают 97%-ю степень очистки, что соответствует содержанию твёрдой фракции в навозном стоке. Однако, учитывая энергопотребление машины, наиболее целесообразным будет применение центрифуги типа ОГШ-202К-03 с мощностью привода 5,5 кВт.

Таблица 1

Исходные и расчётные значения параметров осадительных центрифуг

Table 1

Initial and calculated values of the parameters of precipitation centrifuges

Параметр	Размерность и обозначение		Значение			
Исходные данные						
Производительность	м ³ /с	q_v	1,05 · 10 ⁻³			
Плотность твёрдой фракции	кг/м ³	ρ_T	1400			
Плотность жидкой фазы	кг/м ³	$\rho_{ж}$	1085			
Вязкость жидкой фазы	Па · с	$\mu_{ж}$	0,0025			
Начальная концентрация твёрдой фракции	% масс.	x_n	10			
Дисперсность твёрдой фракции	%	$c_{(i)}$	3	15	58	21
Размер твёрдой фракции	мкм	$d_{(i)}$	50	75	125	250
Справочные данные						
Тип центрифуги	–	–	ОГШ-202К-03	ОГШ-321К-01	ОГШ-501К-06	ОГШ-631К-02
Внутренний диаметр ротора	м	D	0,2	0,32	0,5	0,63
Внутренний радиус кольцевого слоя жидкости	м	R_B	0,05	0,11	0,2	0,265
Длина ротора	м	L	0,6	0,576	0,93	2,34
Мощность привода	кВт	N	5,5	11	30	90
Частота вращения	об/мин	ω	6000	4000	2800	2000
Расчётные данные						
Интегральная степень очистки	%	η	97	97	97	97
Номинальный диаметр частиц, уловленных на 100%	мкм	d_0	19	13	9,2	7,5
Фактор разделения	–	F_r	3015	2412	1969	1293
Критерий Рейнольдса	–	$Re_{ж}$	2190	1465	1900	1770

Особую опасность при использовании жидкой фазы на орошение представляют болезнетворные бактерии (табл. 2), которые при попадании в организмы людей, домашних и сельскохозяйственных животных, выделяя токсины, поражают внутренние органы, вызывают отравление и развитие гнойно-воспалительных процессов [5, 6].

Наименьший размер болезнетворных бактерий составляет 0,3 мкм (табл. 2 [5]), в связи с этим для

обеспечения полного их удаления необходимо подбирать мембрану с размером пор, близким к размеру микроорганизмов.

Эффективное удаление болезнетворных бактерий, в том числе яиц и личинок гельминтов, возможно за счёт применения ультрафильтрации. Для подбора типа мембраны была разработана математическая модель, блок-схема которой представлена на рисунке 3.

Исходные и расчётные значения параметров установки ультрафильтрации

Table 2

Initial and calculated values of the parameters of the ultrafiltration installation

Параметр	Размерность и обозначение		Значение			
Исходные данные						
Производительность	кг/с	q_v	0,83			
Номинальный диаметр отделяемого компонента	мкм	d_0	0,3			
Коэффициент диффузии отделяемого компонента	m^2/c	$D_{ж}$	$7,0 \cdot 10^{-11}$			
Начальная концентрация отделяемого компонента в исходном растворе	% масс.	x_n	3,0			
Конечная концентрация отделяемого компонента в ретанте	% масс.	x_k	15			
Требуемая концентрация отделяемого компонента в пермеате на выходе	% масс.	x_p	0,01			
Плотность жидкой фазы	кг/ m^3	$\rho_{ж}$	1085			
Вязкость жидкой фазы	m^2/c	$\mu_{ж}$	$2,1 \cdot 10^{-6}$			
Вязкость чистой воды	Па·с	μ_0	$1004 \cdot 10^{-6}$			
Отделяемый компонент	–	–	энтерококки	стафилококки	клостридии	яйца гельминтов
Концентрация отделяемого компонента	шт./л	$c_{(i)}$	$0,2 \cdot 10^6$	$10^{10} \dots 10^{12}$	$1,8 \cdot 10^2 \dots 4 \cdot 10^4$	158... 427
Размер отделяемого компонента	мкм	$d_{(i)}$	0,6...2,5	0,6...1,2	0,3...20	11...26
Справочные данные						
Тип мембраны	–	–	МФАС-П-2	МФАС-П-3	МФАС-Б-4	МФАС-МА-6
Средний диаметр пор	мкм	d_{cp}	0,2...0,5	0,8...1,5	0,2	0,3
Производительность мембраны по воде при давлении $p_0 = 0,05$ МПа	мл/ ($cm^2 \cdot min$)	q_0	6,1...26	85...180	6...10	14...20
Рабочее давление мембраны	МПа	p	0,2	0,2	0,2	0,2
Проницаемость мембраны	%	f	95	95	90	97
Расчётные данные						
Конечная концентрация отделяемого компонента в пермеате	% масс.	x_{kp}	0,055	0,055	0,055	0,055
Расход пермеата	кг/с	L_p	0,675	0,675	0,683	0,672
Расход ретанта	кг/с	L_k	0,158	0,158	0,15	0,161
Поверхность мембраны	m^2	F	37,98	2,73	39,09	16,46

Используя каталожные данные существующих на отечественном рынке мембран [17], были рассчитаны их требуемые поверхности (рис. 4, табл. 2). Исследования показали, что рассматриваемые мембраны обеспечивают высокую степень концентрирования (степень очистки 0,95... 0,945%). При этом с увеличением

рабочего давления от 0,1 до 0,7 МПа площадь фильтровальной перегородки мембран типа МФАС-Б-4 и МФАС-П-2 снижается с 78,2 до 11,2 m^2 , а для мембраны типа МФАС-МА-6 – соответственно с 33,0 до 4,7 m^2 . Однако, учитывая материалоемкость и энергоёмкость установки, наиболее целесообразным будет принять

мембрану типа МФАС-П-3 с требуемой площадью перегородки 2,73 м² и рабочим давлением 0,2 МПа. Необходимая поверхность формируется за счёт скручивания полупроницаемой перегородки в рулон. Данная

мембрана представляет собой микропористый плёночный материал, в основе которого находятся ацетаты целлюлозы, что позволяет получить размер пор от 0,8 до 1,5 мкм.

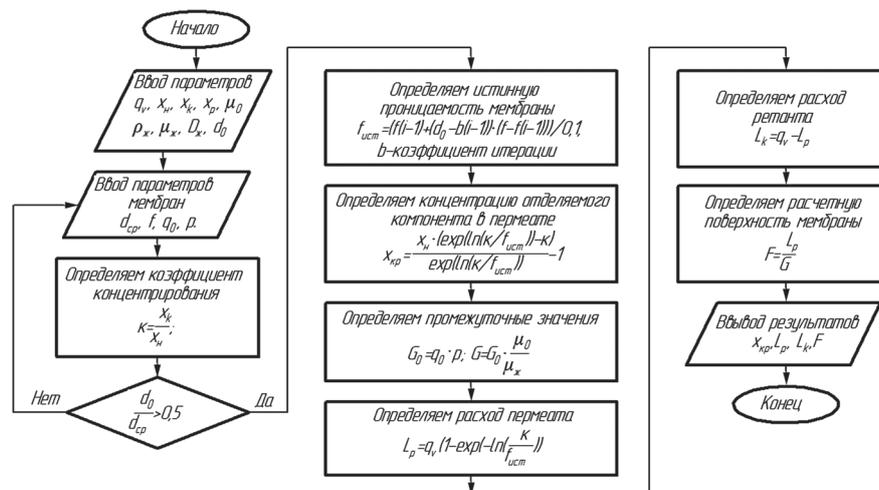


Рис. 3. Блок-схема для расчёта параметров установки ультрафильтрации
 Fig. 3. Flowchart for calculating the parameters of the ultrafiltration installation

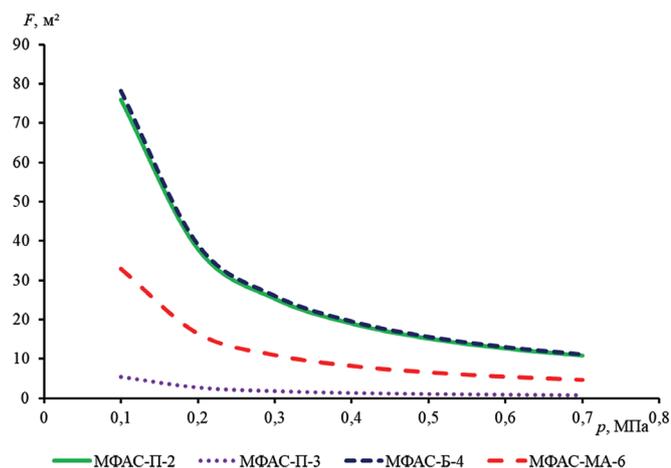


Рис. 4. Зависимость поверхности мембраны F от давления p

Fig. 4. Dependence of the membrane surface F on pressure p

Выводы

Современные физические методы разделения многокомпонентных жидкофазных систем с использованием мембранных процессов обеспечивают глубокую переработку навозных стоков, в том числе и их обеззараживание от болезнетворных бактерий и гельминтов, ресурсоэффективность и экологичность технологии в целом за счёт исключения термических и химических воздействий, а также сокращения времени трансформации в сравнении с биологическими методами. Анализ полученных данных по результатам математического моделирования подтверждает целесообразность использования центрифуг и установок ультрафильтрации для разделения навозных стоков и дегельминтизации жидкой фазы для последующего её использования на сельскохозяйственных полях орошения.

Для стоков объёмом образования 3...4 м³/ч по критериям энергоэффективности и материалоемкости целесообразно использовать центрифугу типа ОГШ-202К-03 с мощностью привода 5,5 кВт и мембрану типа МФАС-П-3 с площадью фильтровальной перегородки 2,73 м² и рабочим давлением 0,2 МПа.

Библиографический список

- Новиков С.А., Шевченко В.А., Соловьев А.М. [и др.]. Использование соломы и стоков животноводческих комплексов при возделывании зерновых культур // Плодородие. 2014. № 5. С. 32-34.
- Просвирык П.Н., Шевченко В.А., Цыбизов В.А. Технология использования жидких стоков свиноводческих комплексов при возделывании кукурузы в условиях Верхневолжья // Плодородие. 2011. № 6. С. 39-41.
- Яковлев С.В., Прозоров И.В., Иванов Е.Н. [и др.]. Рациональное использование водных ресурсов. М.: Высш. шк., 1991. 400 с.
- Киров Ю.А. Повышение эффективности процесса разделения навозных стоков свиноводческих ферм и комплексов на фракции совершенствованием способов и технических средств: Автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Саратов, 2013. 42 с.
- МУ 2156-80. Методические указания по осуществлению государственного санитарного надзора за системами сбора, удаления, хранения, обеззараживания и использования навоза и навозных стоков животноводческих комплексов и ферм промышленного типа. Утв. 12.03.1980. 17 с.
- РД-АПК 1.10.15.02-17. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помета. М., 2017. 167 с.
- Голованчиков А.Б., Новиков А.Е., Филимонов М.И. [и др.]. Моделирование гидродинамических процессов

в центробежном поле гидроциклонов: Монография. Волгоград, 2017. 200 с.

8. Голованчиков А.Б., Новиков А.Е., Филимонов М.И. [и др.]. Физическое и математическое моделирование процессов центрифугирования: Монография. Волгоград, 2018. 157 с.

9. Максименко В.П., Зайцев С.А. Регулирование качества поливной воды на оросительных системах // Природобустройство. 2011. № 5. С. 15-20.

10. Телюбаев Ж.Б. Повышение качества переработки отходов животноводства для получения удобрений // АПК России. 2017. Т. 24. № 2. С. 508-515.

11. Turner C., Burton C.H. The inactivation of viruses in pig slurries: A review. *Bioresource Technology*. Vol. 61. Issue 1, July 1997, Pp. 9-20. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0960-8524\(97\)84693-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)84693-7).

12. Dong L., Cao G., Guo X. et al. Efficient biogas production from cattle manure in a plug flow reactor: A large scale long term study. *Bioresource Technology*. 2019. Vol. 278. Pp. 450-455. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.100>

13. Azevedo A., Fornasier F., Silva M. et al. Life cycle assessment of bioethanol production from cattle manure. *Journal of Cleaner Production*. Vol. 162. 20 September 2017, Pp. 1021-1030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.141>

14. Yuan X., He T., Cao H. et al. Cattle manure pyrolysis process: Kinetic and thermodynamic analysis with isoconversional methods. *Renewable Energy*. Vol. 107. July 2017. Pp. 489-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.026>

15. Vancov T., Schneider R.C.S., Palmer J. et al. Potential use of feedlot cattle manure for bioethanol production. *Bioresource Technology*. Vol. 183, May 2015. Pp. 120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.027>

16. Тимонин А.С., Божко Г.В., Борщев В.Я. [и др.]. Машины и аппараты химических производств и нефтегазопереработки. Калуга: Изд-во «Ноосфера», 2017. 948 с.

17. Микрофилтрационные мембраны типа МФАС-М. Режим доступа: <http://www.vladipor.ru/catalog/&cid=001> (дата обращения 24.02.2019).

References

1. Novikov S.A., Shevchenko V.A., Solov'yev A.M. [et al.]. Ispol'zovaniye solomy i stokov zhitovnovodcheskikh kompleksov pri vzdelyvanii zernovykh kul'tur [Use of straw and cattle-breeding effluents in the cultivation of cereals]. *Plodorodie*, 2014; 5: 32-34 (In Rus.).

2. Prosviryak P.N., Shevchenko V.A., Tsybizov V.A. Tekhnologiya ispol'zovaniya zhidkikh stokov svinovodcheskikh kompleksov pri vzdelyvanii kukuruzy v usloviyakh Verkhnevolsk'ya [Technology of using liquid effluents of pig-breeding facilities in maize cultivation in the conditions of the Upper Volga region]. *Plodorodie*, 2011; 6: 39-41 (In Rus.).

3. Yakovlev S.V., Prozorov I.V., Ivanov E.N. [et al.]. Ratsional'noye ispol'zovaniye vodnykh resursov [Rational use of water resources]. Moscow, Vyssh. shk., 1991: 400. (In Rus.).

4. Kirov Yu.A. Povysheniye effektivnosti protsessa razdeleniya navoznykh stokov svinovodcheskikh ferm i kompleksov na fraktsii sovershenstvovaniem sposobov i tekhnicheskikh sredstv [Improving the efficiency of separating manure effluents of pig farms and facilities into fractions by improving

the methods and technical means]. Self-review of PhD (Eng) thesis, Saratov, Saratovskiy GAU, 2013: 42. (In Rus.).

5. MU2156-80. Metodicheskiye ukazaniya po osushchestvleniyu gosudarstvennogo sanitarnogo nadzora za sistemami sbora, udaleniya, khraneniya, obezzarazhivaniya i ispol'zovaniya navoza i navoznykh stokov zhitovnovodcheskikh kompleksov i ferm promyshlennogo tipa [Guidelines for the implementation of state sanitary supervision of systems for the collection, removal, storage, disinfection and use of manure and manure effluents from livestock facilities and industrial-type farms]. Approved on 12.03.1980: 17. (In Rus.).

6. RD-APK 1.10.15.02-17. Metodicheskiye rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu sistem udaleniya i podgotovki k ispol'zovaniyu navoza i pometa [Guidelines for the technological design of systems of manure and litter removing and preparing for the use]. Moscow, 2017: 167. (In Rus.).

7. Golovanchikov A.B., Novikov A.Ye., Filimonov M.I. [et al.]. Modelirovaniye gidrodinamicheskikh protsessov v tsentrobeznom pole gidrotsiklonov [Modeling of hydrodynamic processes in the centrifugal field of hydrocyclones]. Volgograd, 2017: 200. (In Rus.).

8. Golovanchikov A.B., Novikov A.Ye., Filimonov M.I. [et al.]. Fizicheskoye i matematicheskoye modelirovaniye protsessov tsentrifugirovaniya [Physical and mathematical modeling of centrifuging processes]. Volgograd, 2018: 157. (In Rus.).

9. Maksimenko V.P., Zaytsev S.A. Regulirovaniye kachestva polivnoy vody na orositel'nykh sistemakh [Regulation of the irrigation water quality in irrigation systems]. *Prirodobuystvo*, 2011; 5: 15-20 (In Rus.).

10. Telyubaev Zh.B. Povysheniye kachestva pererabotki otkhodov zhitovnovodstva dlya polucheniya udobreniy [Improving the quality of animal waste processing for fertilizer production]. *APK Rossii*, 2017; 24(2): 508-515 (In Rus.).

11. Dong L., Cao G., Guo X. et al. Efficient biogas production from cattle manure in a plug flow reactor: A large scale long term study. *Bioresource Technology*, 2019; 278: 450-455. DOI: [10.1016/j.biortech.2019.01.100](https://doi.org/10.1016/j.biortech.2019.01.100)

12. Turner C., Burton C.H. The inactivation of viruses in pig slurries: a review. *Bioresource Technology*, 1997; 1: 9-20. DOI: [10.1016/S0960-8524\(97\)84693-7](https://doi.org/10.1016/S0960-8524(97)84693-7).

13. Azevedo A., Fornasier F., Silva M. et al. Life cycle assessment of bioethanol production from cattle manure. *Journal of Cleaner Production*, 2017; 162: 1021-1030. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.141>.

14. Yuan X., He T., Cao H. et al. Cattle manure pyrolysis process: Kinetic and thermodynamic analysis with isoconversional methods. *Renewable Energy*. Vol. 107. July 2017. Pp. 489-496. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.02.026>.

15. Vancov T., Schneider R.C.S., Palmer J. et al. Potential use of feedlot cattle manure for bioethanol production. *Bioresource Technology*. Vol. 183, May 2015. Pp. 120-128. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.02.027>

16. Timonin A.S., Bozhko G.V., Borshchev V.Ya. [et al.]. Mashiny i apparaty khimicheskikh proizvodstv i neftegazopереработки [Machines and equipment for chemical production and oil and gas processing]. Kaluga, Izd-vo "Noosfera", 2017: 948. (In Rus.).

17. Mikrofil'tratsionnye membrany tipa МФАС-М [Microfiltration membrane of МФАС-М type] Available at: <http://www.vladipor.ru/catalog/&cid=001> (accessed 24 February 2019). (In Rus.).

Критерии авторства

Новиков А.Е., Шевченко В.А., Филимонов М.И. провели обобщение и написали рукопись. Новиков А.Е., Шевченко В.А., Филимонов М.И. имеют на статью авторские права и несут ответственность за плагиат.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Статья поступила 13.03.2019

Contribution

Novikov A.E., Shevchenko V.A., Filimonov M.I. summarized the material and wrote the manuscript. Novikov A.E., Shevchenko V.A., Filimonov M.I. have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this paper.

The paper was received on March 13, 2019

ТЕХНИКА И ТЕХНОЛОГИИ АПК / FARM MACHINERY AND TECHNOLOGIES

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ / ORIGINAL ARTICLE

УДК 631.81/631.5/539.1.07/ 546.02

DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-35-39

СОЗДАНИЕ ОЗОННО-ИОННОЙ ВОЗДУШНОЙ СРЕДЫ В ЗАКРЫТЫХ ПОМЕЩЕНИЯХ ДЛЯ СОДЕРЖАНИЯ ЖИВОТНЫХ И ПТИЦЫ

ВЛАДИМИР ФЕДОРОВИЧ СТОРЧЕВОЙ, докт. техн. наук, профессор

E-mail: V_Storchevoy@mail.ru

СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ СУЧУГОВ, канд. техн. наук, доцент

E-mail: Sergei-Suchugov@yandex.ru

АЛЕКСАНДР ЕВГЕНЬЕВИЧ КОМПАНИЕЦ, аспирант

E-mail: kompaniets.a@yandex.ru

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; ул. Тимирязевская, 49, Москва, 127550, Российская Федерация

Проведены исследования по прединкубационной обработке куриных яиц в дезинфекционной камере инкубатория с помощью озонатора воздуха. Установлено, что содержание озона и отрицательных ионов в дезинфекционной камере зависит от объёма камеры, точки размещения выходного патрубка озонатора и от времени насыщения дезинфекционной камеры инкубатория. Отмечено, что с увеличением насыщения дезинфекционной камеры инкубатория озоном и ионами, концентрация озона достигает до 12 мг/м³, ионов – 2500 пКл/м³. Получены математические модели, описывающие рабочие процессы насыщения и разложения озона в дезинфекционной камере инкубатория. Установлены основные параметры и требуемые режимы работы озонаторов с концентрацией 0,12 мг/м³ по озону и 490 пКл/м³ по ионам. Концентрация озона и ионов в дезинфекционной камере инкубатория, в зависимости от времени работы озонатора, представлена степенной функцией. Определено, что для обеспечения концентрации озона в камере 5 мг/м³ и отрицательных ионов порядка 500 пКл/м³ продолжительность работы озонатора должна составлять 30 мин. При этом удельные энергозатраты на достижение требуемой концентрации озона в дезинфекционной камере инкубатория составят 2,2 кВт·ч/г, удельный расход электроэнергии на выработку 1000 яиц – 0,0004 кВт·ч.

Ключевые слова: озонирование, ионизация, озонатор, ионизатор, озонно-ионная воздушная смесь.

Формат цитирования: Сторчевой В.Ф., Сучугов С.В., Компаниец А.В. Создание озонно-ионной воздушной среды в закрытых помещениях для содержания животных и птицы // Вестник ФГОУ ВПО «МГАУ имени В.П. Горячкина». 2019. №3(91). С. 35-39. DOI 10.34677/1728-7936-2019-3-35-39.

PROVIDING OZONE-ION AIR INDOOR ENVIRONMENT FOR KEEPING LIVESTOCK AND POULTRY

VLADIMIR F. STORCHEVOY, DSc (Eng), Professor

E-mail: V_Storchevoy@Mail.Ru

SERGEY V. SUCHUGOV, PhD (Eng), Associate Professor

E-mail: Sergei-Suchugov@Yandex.Ru