

Научная статья

Original article

УДК 631.862

DOI 10.55186/25876740_2022_6_3_4

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ И КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЩЕТОЧНОГО ШНЕКА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ЖИДКОГО НАВОЗА В СОСТАВЕ МОБИЛЬНОЙ УСТАНОВКИ

DETERMINATION OF TECHNOLOGICAL AND DESIGN PARAMETERS OF A BRUSH AUGER FOR PROCESSING LIQUID MANURE AS PART OF A MOBILE INSTALLATION



Бондаренко Анатолий Михайлович, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой «Землеустройство и кадастры», Азово-Черноморский инженерный институт – филиал ФГБОУ ВО ДонГАУ, г. Зерноград, Россия, e-mail: bondanmih@rambler.ru, тел. 89281627646

Качанова Людмила Сергеевна, доктор экономических наук, кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры «Финансовый менеджмент», ГКОУ ВО Российская таможенная академия, г. Люберцы, Россия, e-mail: l.kachanova@customs-academy.ru, тел. 89067802157

Барышников Алексей Владимирович, начальник цикла - старший преподаватель военного учебного центра, подполковник, ФГБОУ ВО «Донской государственный технический университет», г. Ростов-на-Дону, Россия, e-mail: aleksey080283@yandex.ru, тел. 89885899485

Bondarenko Anatoliy Mikhailovich, Doctor of Technical Sciences, professor, head of the chair «Land management and cadastres», Azov Black Sea Engineering Institute, the branch of Don State Agricultural University, Zernograd, Russia. Email: bondanmih@rambler.ru. Telephone number: 89281627646

Kachanova Lyudmila Sergeevna, Doctor of Economics, PhD in Technical Sciences, associate professor, professor of the chair «Financial Management», Russian Customs Academy, Lyubertsy, Russia. Email: l.kachanova@customs-academy.ru. Telephone number: 89067802157

Baryshnikov Alexey Vladimirovich, Cycle chief - senior lecturer at the military training center, lieutenant colonel, Don State Technical University, Rostov-on-Don, Russia, Email: aleksey080283@yandex.ru. Telephone number: 89885899485.

Аннотация. В условиях ужесточения санкций в сторону России, на первый план выходит вопрос продовольственной безопасности государства. В связи со значительным сокращением импорта продовольствия, важным является разработка мероприятий по импортозамещению, в первую очередь, мясной продукции. В данном вопросе важная роль отводится животноводству и птицеводству. Наиболее скороспелой отраслью животноводства является свиноводство. В нашей стране существенная доля производства свинины отводится малым, средним и крупным фермам. На указанных предприятиях, в зависимости от технологий содержания животных, производятся значительные объемы жидкого, полужидкого и подстилочного навоза. В связи с усилением экологического контроля, повышенное внимание должно уделяться вопросам переработки жидкого навоза свиноводческих ферм. Для разделения на фракции жидкого навоза, как наиболее эффективного метода его переработки, должны использоваться компактные установки, органично вписывающиеся в технологический процесс производства свинины. К таким установкам относится щеточный шнек в составе мобильного агрегата. Эффективная работа щеточного шнека обеспечивается выбором его рациональ-

ных технологических и конструктивных параметров. Исходя из выхода получаемых объемов жидкого навоза на фермах и сменной производительности мобильного агрегата до 40 м³/час, определены его конструктивные параметры: длина щеточного шнека 4,5 м, диаметр шнека 0,3 м, шаг витков шнека 0,15 м.

Annotation. In the context of tougher sanctions against Russia, the issue of food security of the state comes to the fore. Due to the significant reduction in food imports, it is important to develop measures for import substitution, primarily meat products. Animal husbandry and poultry farming play an important role in this issue. The most precocious branch of animal husbandry is pig breeding. In our country, a significant share of pork production is allocated to small, medium and large farms. At these enterprises, depending on the technologies of animal husbandry, significant volumes of liquid, semi-liquid and litter manure are produced. Due to the strengthening of environmental control, increased attention should be paid to the processing of liquid manure from pig farms. To separate liquid manure into fractions, as the most effective method of its processing, compact installations should be used that organically fit into the technological process of pork production. Such installations include a brush auger as part of a mobile unit. The efficient operation of the brush auger is ensured by the choice of its rational technological and design parameters. Based on the output of the obtained volumes of liquid manure on farms and the replaceable capacity of the mobile unit up to 40 m³/hour, its design parameters were determined: the length of the brush auger is 4.5 m, the diameter of the auger is 0.3 m, the pitch of the auger turns is 0.15 m.

Ключевые слова: щеточный шнек, мобильная установка, жидкий навоз, твердая и жидкая фракции, экологическая безопасность

Keywords: brush auger, mobile installation, liquid manure, solid and liquid fractions, environmental safety

Введение. Увеличение поголовья свиней на свиноводческих фермах применительно к югу России, в зависимости от технологий содержания жи-

вотных, сопровождаются возрастанием объемов производимого жидкого, полужидкого и подстилочного навоза. В свежем виде навоз любой консистенции имеет в своем составе значительное количество патогенной микрофлоры, что создает прямую угрозу экологической безопасности в местах его накопления и хранения [1, 2].

Вопросами переработки и обеззараживания жидкого свиного навоза занимаются ученые многих развитых стран мира. Однако полностью данный вопрос не решен до конца [3-6]. Наиболее перспективным направлением является переработка жидкого навоза путем разделения его на жидкую и твердую фракции с последующим производством на их основе твердых и жидких органических удобрений. Для переработки жидкого свиного навоза на фермах мощностью до 12000 голов требуется наличие компактных установок органично вписывающихся в технологический процесс производства свинины, имеющих невысокую производительность, металлоемкость и энергоемкость. Большинство разработок по разделению жидкого навоза свиноводческих ферм носят, как правило, конструктивно локальный характер, слабо адаптированы к конкретным технологическим характеристикам фермы, имеют ряд недостатков, основными из которых являются высокая стоимость и низкое качество разделения навоза на фракции [8-11].

Практика эксплуатации свиноводческих ферм на юге России показывает, что наиболее перспективной машиной для разделения навоза на фракции является щеточный шнек в составе мобильной установки.

Щеточный шнек устанавливается на платформе тракторного прицепа 2-ПТС-4 с дополнительным оборудованием: фекальным насосом для подачи жидкого навоза из приемного резервуара, системы трубопроводов и задвижек обеспечивающих функционирование установки. Привод фекального насоса производится от ВОМ трактора, щеточного шнека – от гидромотора.

Основным преимуществом мобильного агрегата в указанной комплектации являются простота в обслуживании и компактность установки, низкая металлоемкость и энергоемкость, высокое качество разделения навоза

(до 75%), а также возможность одной установкой перерабатывать жидкий навоз от поголовья, расположенного в технологических помещениях на расстоянии друг от друга, что снижает себестоимость производимой продукции (твердой и жидкой фракций).

Целью исследования является определение технологических и конструктивных параметров щеточного шнека для переработки жидкого навоза в составе мобильной установки.

Материалы и методы исследования. Основным технологическим параметром щеточного шнека является его производительность ($Q_{щш}$). Конструктивными параметрами, влияющими на $Q_{щш}$ и качество разделения по влажности твердой фракции ($W_{тф}$) и жидкой фракции ($W_{жф}$), являются длина щеточного шнека ($L_{ш}$), диаметр ($D_{ш}$) и шаг ($S_{ш}$) витков шнека. Схема установки показана на рисунке 1.

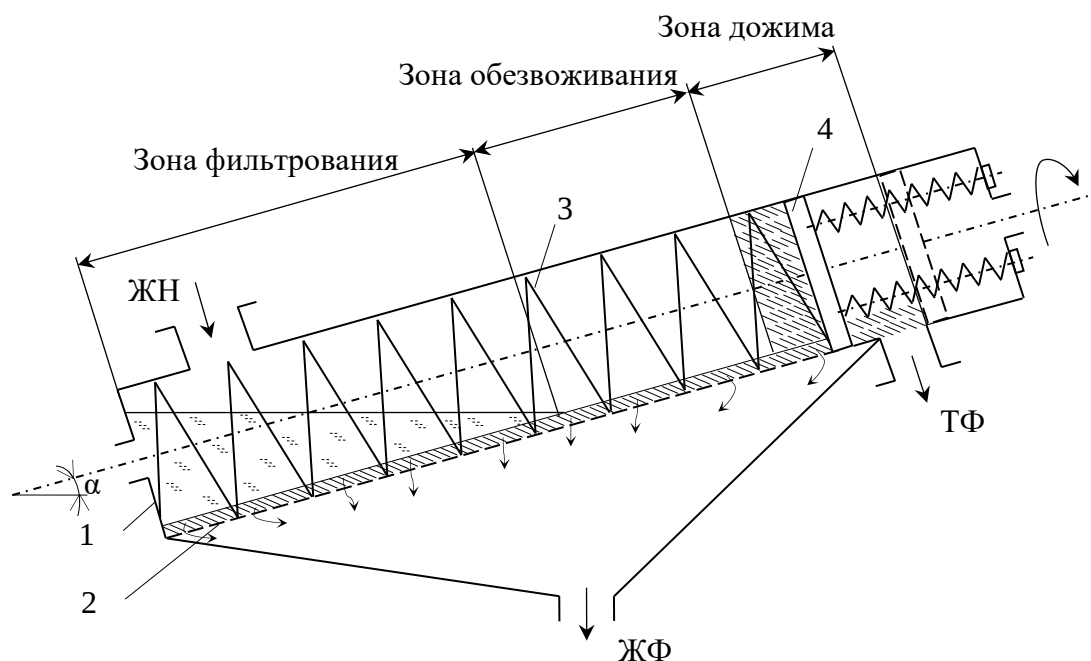


Рисунок 1 – Схема конструкции щеточного шнека: 1-корпус шнека; 2-перфорированный желоб U-образной формы; 3- шнек; 4-дожимное устройство

Принцип работы щеточного шнека заключается в следующем. Жидкий навоз через загрузочное отверстие подается в зону работы шнека, который транспортирует массу к выгрузным отверстиям. Жидкость в процессе движения массы фильтруется через слой образуемого осадка и перфорацию, поступает в накопитель жидкой фракции, откуда подается через выгрузное отверстие на последующее хранение и переработку. Осадок перемещается витками шнека в зону работы дожимного устройства, где дополнительно происходит удаление физико-механически связанной влаги и образуемая твердая фракция поступает на последующее хранение и переработку [7]. По периферийным кромкам витков шнека установлены щетки для регенерации фильтровальной перегородки.

На $Q_{\text{щш}}$ оказывают влияние конструктивные параметры шнека ($D_{\text{ш}}$, $S_{\text{ш}}$) и режимный параметр частота вращения шнека (ω). Определение указанных параметров проводилось на основе знаний системного подхода и основанного на нем системного анализа.

Результаты исследования. На основании теоретических исследований была выдвинута гипотеза о том, что получить требуемую влажность твердой фракции возможно за счет соответствующей длины зоны фильтрования и образования осадка, а также за счет зоны дожима осадка. Необходимый диаметр шнека определяли из условия переработки всего объема навоза, поступающего в приемный резервуар из животноводческого помещения. Односменная работа щеточного шнека в составе мобильного агрегата составляет при односменной работе от 2,5 до 20,3 м³/час, при разовых включениях до 40 м³/час. Расчет параметров щеточного шнека представлен в таблице 1 и на рисунках 2-3.

Таблица 1 – Расчет параметров щеточного шнека при разных углах наклона его к горизонту

Диаметр витков	Сечение потока, F ,	Частота вращения	Осевая ско-	Коэффициент уменьшения	Производительность, $Q_{\text{щш}}$, м ³ /ч
----------------	-----------------------	------------------	-------------	------------------------	---

шнека, D , м	м ²	ния, ω , с ⁻¹	рость, v , м/с	производитель- ности, K_β	при $S=0,1$	при $S=0,15$
1	2	3	4	5	6	7
$\alpha=0$						
0,3	0,074	2,07	0,033	1,00	8,90	13,30
		6,63	0,100		26,60	40,00
		10,30	0,165		29,30	44,00
0,4	0,011	2,07	0,033		1,27	1,91
		6,63	0,100		3,82	5,72
		10,30	0,165		6,30	9,44
0,5	0,019	2,07	0,033		2,25	3,38
		6,63	0,100		6,77	10,20
		10,30	0,165		11,20	16,80
0,6	0,042	2,07	0,033		5,27	7,91
		6,63	0,100		15,80	23,80
		10,30	0,165		26,10	39,20
$\alpha=15^0$						
0,3	0,074	2,07	0,033	0,70	6,23	9,31
		6,63	0,100		18,62	28,00
		10,30	0,165		20,51	30,80
0,4	0,011	2,07	0,033		0,89	1,34
		6,63	0,100		2,67	4,00
		10,30	0,165		4,41	6,61
0,5	0,019	2,07	0,033		1,58	2,37
		6,63	0,100		4,74	7,14
		10,30	0,165		7,84	11,76
0,6	0,042	2,07	0,033		3,69	5,54
		6,63	0,100		11,06	16,66
		10,30	0,165		18,27	27,44
$\alpha=45^0$						
0,3	0,074	2,07	0,033	0,55	4,90	7,32
		6,63	0,100		14,63	22,00
		10,30	0,165		16,12	24,20
0,4	0,011	2,07	0,033		0,70	1,10
		6,63	0,100		2,10	3,15
		10,30	0,165		3,47	5,19
0,5	0,019	2,07	0,033		1,24	1,86
		6,63	0,100		3,72	5,61
		10,30	0,165		6,16	9,24
0,6	0,042	2,07	0,033		2,90	4,35
		6,63	0,100		8,69	13,10
		10,30	0,165		14,36	21,56

Из таблицы 1 видно, что на производительность щеточного шнека, кроме геометрических параметров, влияют сечение потока, осевая скорость, угол наклона шнека к горизонту (α). С увеличением $D_{ш}$ от 0,3 до 0,6м, произ-

водительность сначала снижается, затем возрастает. Это связано с изменением сечения потока и осевой скорости. Угол наклона щеточного шнека к горизонту также влияет на производительность установки: с увеличением угла наклона от 0° до 45° этот показатель изменяется от $0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $29,3 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $S=0,1\text{м}$ и от $1,1 \text{ м}^3/\text{ч}$ до $44,0 \text{ м}^3/\text{ч}$ при $S=0,15 \text{ м}$ (таблица 1). Из представленных данных видно, что достаточно принять $D_{\text{щш}}=0,3\text{м}$ и $S_{\text{щш}}=0,15\text{м}$.

На рисунке 2 показана зависимость $Q_{\text{щш}}$ от $D_{\text{щш}}$ при разных осевых скоростях движения материала.

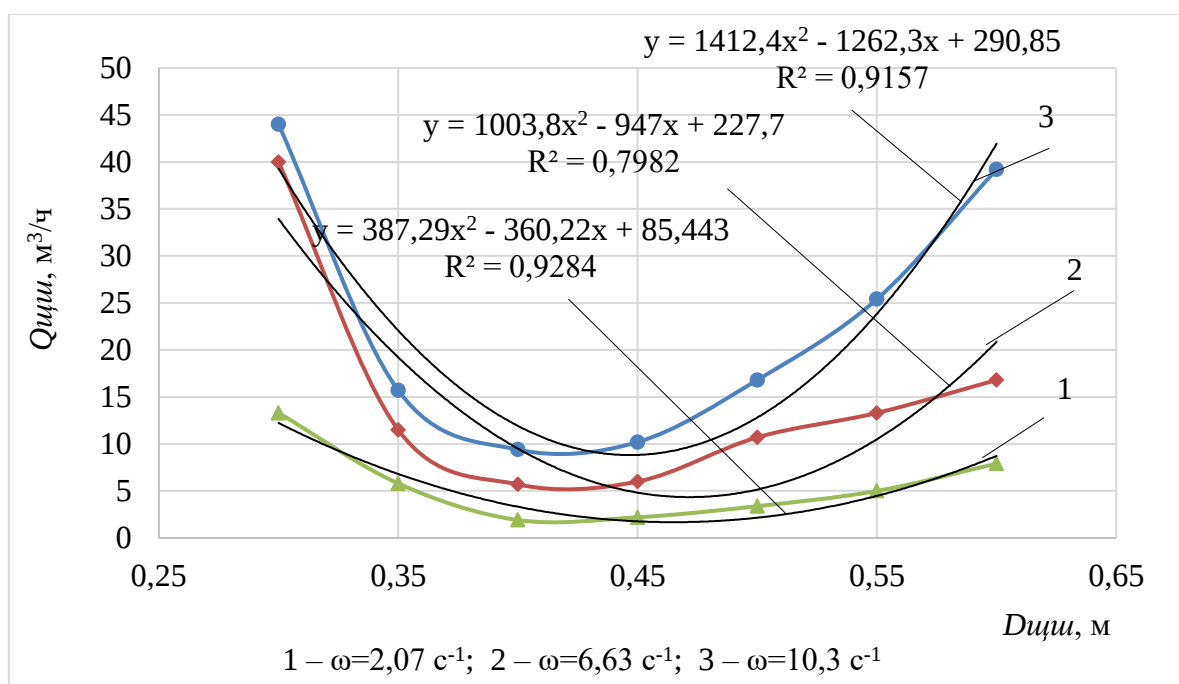


Рисунок 2 – Зависимость производительности шнека при разделении жидкого навоза на фракции от диаметра витков при шаге $S=0,15\text{м}$ и угле наклона $\alpha=0^\circ$.

Из рисунка 2 видно, что представленные кривые носят полиномиальный характер и адекватно описываются уравнениями:

-при $\omega = 2,07 \text{ с}^{-1}$

$$Q_{\text{щш}} = 85,443 - 360,22 D_{\text{щш}} + 387,29 D_{\text{щш}}^2$$

- при $\omega = 6,63 \text{ с}^{-1}$

$$Q_{\text{щш}} = 227,70 - 947,00 D_{\text{щш}} + 1003,80 D_{\text{щш}}^2$$

- при $\omega = 10,3 \text{ c}^{-1}$

$$Q_{\text{шш}} = 290,85 - 1262,3 D_{\text{шш}} + 1412,40 D_{\text{шш}}^2$$

Из рисунка 2 также видно, что при наличии $D_{\text{шш}} = 0,3 \text{ м}$ и $\omega = 10,3 \text{ c}^{-1}$ наибольшая производительность шнека достигает $44,0 \text{ м}^3/\text{ч}$.

При указанных выше параметрах, производительность установки в зависимости от частоты вращения шнека носит возрастающий характер по логарифмической кривой (рисунок 3).

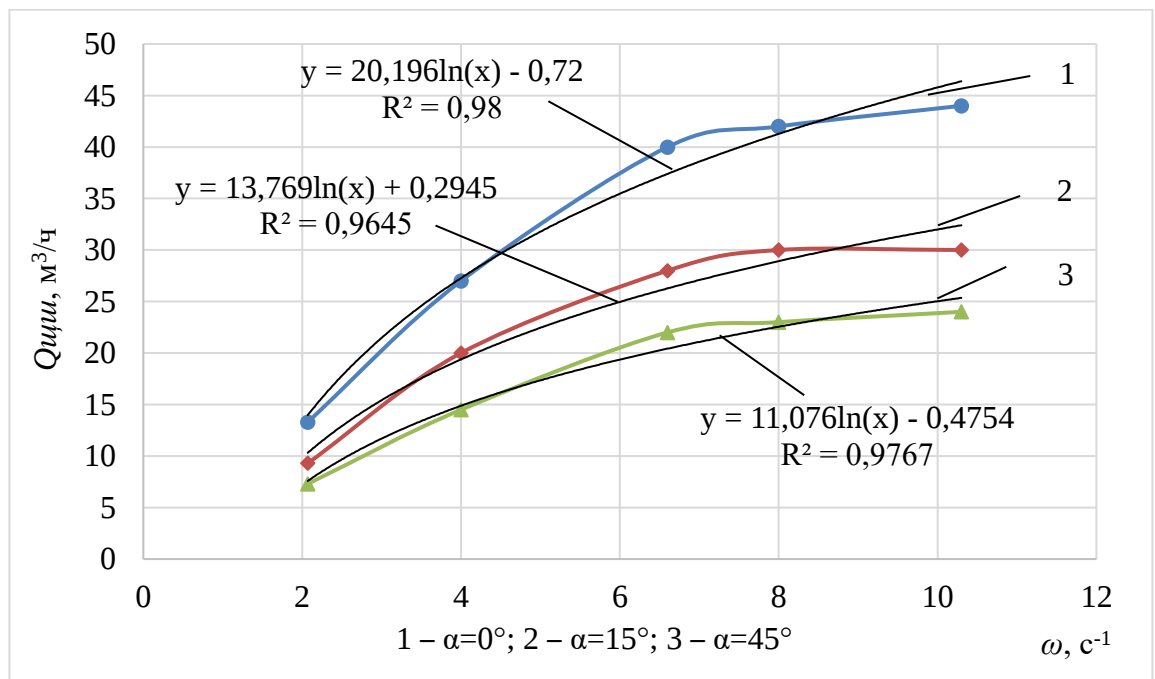


Рисунок 3 – Изменение производительности установки от частоты вращения шнека

Из рисунка 3 видно, что с увеличением частоты вращения шнека до $6,6 \text{ c}^{-1}$ производительность Θ при разных углах наклона его к горизонту возрастает значительно и достигает от $22 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при $\alpha=45^\circ$) до $40 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при $\alpha=0^\circ$), затем наблюдается незначительное ее увеличение от $24 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при $\alpha=45^\circ$) до $44 \text{ м}^3/\text{ч}$ (при $\alpha=0^\circ$).

На рисунке 4 показано влияние длины рабочей зоны шнека на влажность твердой фракции.

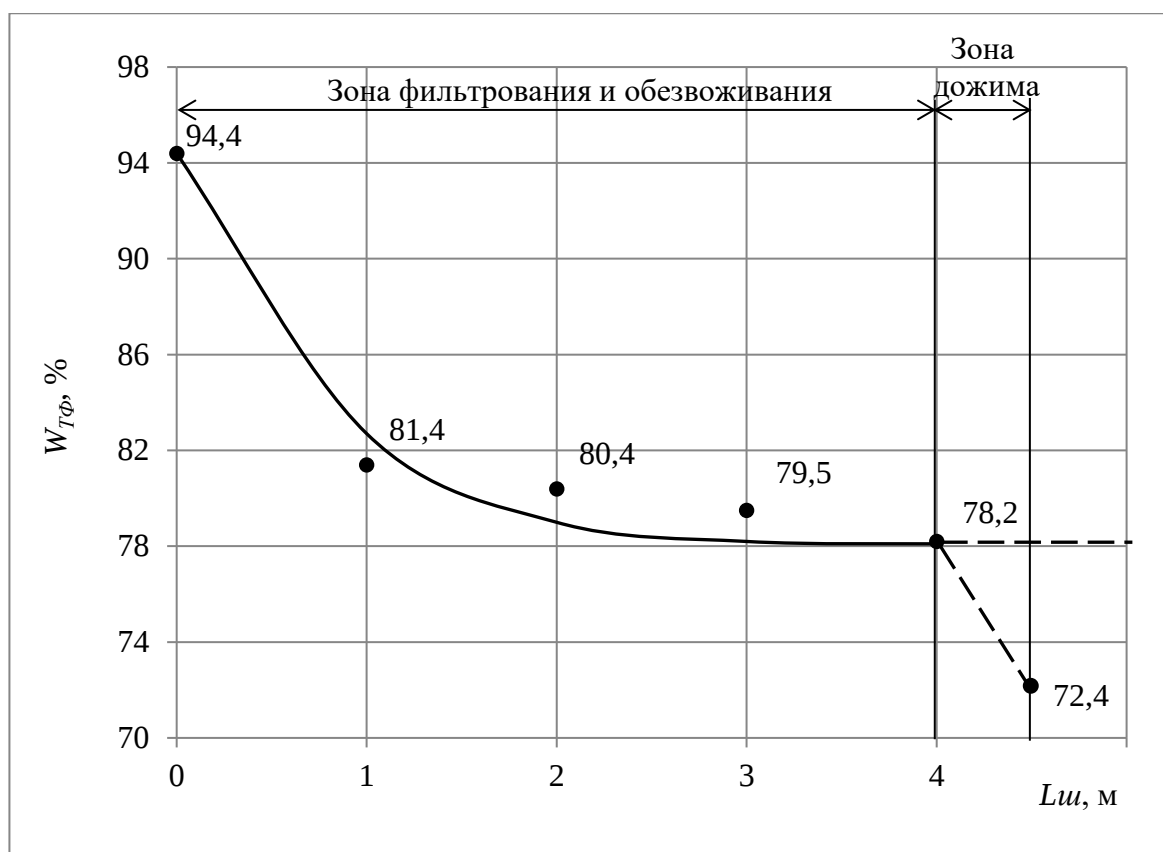


Рисунок 4 – Влияние длины рабочей зоны шнека на влажность твердой фракции при $W_{жн}=94,4\%$, $\alpha=0^0$, $\omega=10,3 \text{ с}^{-1}$

Из рисунка 4 видно, что на $W_{тф}$ значительное влияние оказывают первые метры рабочей части шнека. На участке до 4,0 м (зона фильтрации и обезвоживания) влажность осадка достигает 78,2%. На участке от 4,0 до 4,5 м установлено дожимное устройство (зона дожима) позволяющее снизить $W_{тф}$ до 72,4%. Полученные результаты позволяют сделать щеточный шнек компактным при длине его рабочей части 4,5 метра.

Выводы. Для переработки жидкого навоза свиноводческих ферм от 1000 до 12000 голов целесообразно использование мобильных установок для разделения его на твердую и жидкую фракции, основным рабочим органом которых является щеточный шнек. В зависимости от мощности фермы, определяющей объема выхода жидкого навоза, производительность щеточного шнека в составе мобильной установки должна составлять от 22,0 до 44,0 м³/ч.

Основным качественным показателем работы установки является

влажность получаемой твердой фракции, которая должна быть ниже 75%.

Определены основные конструктивные параметры щеточного шнека: рабочая длина 4,5 м; диаметр витков шнека 0,3 м; шаг витков 0,15 м.

При указанных конструктивных параметрах щеточного шнека и частоте вращения $10,3 \text{ с}^{-1}$ на участке дожима осадка влажность получаемой твердой фракции составила 72,4%.

Литература

1. Методические рекомендации по технологическому проектированию систем удаления и подготовки к использованию навоза и помёта РД-АПК 1.10.15.02-17 (утв. Министерством сельского хозяйства РФ 23 мая 2017 г.). Режим доступа: <https://base.garant.ru/72017908/>. Дата обращения: 21.10.2021 г.
2. Еськов А.И. Справочная книга по производству и применению органических удобрений/ А.И. Еськов, М.Н. Новиков, С.М. Лукин и др.//Владимир: ВНИПТИОУ, 2001. – 496 с.
3. Bittman, S., Dedina, M., Howard C.M., Oenema, O., Sutton, M.A. (ред.) 2014. Сокращение выбросов аммиака: меры и действия. Рекомендации Целевой группы по химически активному азоту, ЕЭК ООН. Центр экологии и гидрологии. Эдинбург, Великобритания. – 100 с.
4. Oenema O., Bittman S., Dedina M., Sutton M.A. Производство продукции животноводства и тенденции/ Сокращение выбросов аммиака: меры и действия. Рекомендации Целевой группы по химически активному азоту, ЕЭК ООН. Центр экологии и гидрологии. Эдинбург, Великобритания. – 2014. – С. 5-7.
5. Groenestein C.M., Valli L., Pineiro Noguera C., and others. Содержание сельскохозяйственных животных. Сокращение выбросов аммиака: меры и действия. Рекомендации Целевой группы по химически активному азоту, ЕЭК ООН. Центр экологии и гидрологии. Эдинбург. Великобритания. – 2014. – С. 17-30.
6. B. Amon B., Smith K., Valli L., and others. Методы хранения навоза/ Сокращение выбросов аммиака: меры и действия. Рекомендации Целевой

группы по химически активному азоту, ЕЭК ООН. Центр экологии и гидрологии. Эдинбург, Великобритания. – 2014. – С. 31-34.

7. Бондаренко, А.М. Определение количественных соотношений влаги различных видов в навозных стоках/А.М. Бондаренко, Н.И. Кучма-сов//Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1980. – №6 – С. 19-20.

8. Бышов, Н.В. Методика оценки уровня экологической нагрузки свиноводческих предприятий/ Н.В. Бышов, Н.В. Лимаренко, И.А. Успенский, И.А. Юхин, А.А. Цымбал// Известия нижеволжского агроуниверситетского комплекса. – 2020. – №1(57). – С. 268-278.

9. Борычев, С.Н. Экосистема утилизации органических отходов животноводства/ С.Н. Борычев, И.А. Успенский, И.А. Юхин, Н.В. Лимаренко// Вестник Рязанского агротехнологического университета им. П.А. Костычева. – Рязань. – 2020. – №4. – С. 83-91.

10. Киров, Ю.А. Исследование параметров новой конструкции центрифуги для разделения навозных стоков на фракции/Ю.А. Киров// Научное обозрение – 2018. – №2. – С. 18-23.

11. Куликова, М.А. Переработка жидких отходов свинокомплексов на основе принципов наилучших доступных технологий/М.А. Куликова, К.О. Оковитая, О.А. Суржко// Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – №4-1(106). – С. 123-129.

Literatura

1. Metodicheskie rekomendatsii po tekhnologicheskomu proektirovaniyu sistem udaleniya i podgotovki k ispol'zovaniyu navoza i pometa RD-APK 1.10.15.02-17 (utv. Ministerstvom sel'skogo khozyaistva RF 23 maya 2017 g.). Rezhim dostupa: <https://base.garant.ru/72017908/>. Data obrashcheniya: 21.10.2021 g.

2. Es'kov A.I. Spravochnaya kniga po proizvodstvu i primeneniyu organicheskikh udobrenii/ A.I. Es'kov, M.N. Novikov, S.M. Lukin i dr.//Vladimir: VNIPTIOU, 2001. – 496 s.

3. Bittman, S., Dedina, M., Howard C.M., Oenema, O., Sutton, M.A. (red.) 2014. Sokrashchenie vybrosov ammiaka: mery i deistviya. Rekomendatsii Tsele-voi gruppy po khimicheski aktivnomu azotu, EEHK OON. Tsentr ehkologii i gid-rologii. Ehdinburg, Velikobritaniya. – 100 s.
4. Oenema O., Bittman S., Dedina M., Sutton M.A. Proizvodstvo pro-duktsii zhivotnovodstva i tendentsii/ Sokrashchenie vybrosov ammiaka: mery i de-istviya. Rekomendatsii Tselevoi gruppy po khimicheski aktivnomu azotu, EEHK OON. Tsentr ehkologii i gidrologii. Ehdinburg, Velikobritaniya. – 2014. – S. 5-7.
5. Groenestein C.M., Valli L., Pineiro Noguera C., and others. Soderzhanie sel'skokhozyaistvennykh zhivotnykh. Sokrashchenie vybrosov am-miaka: mery i deistviya. Rekomendatsii Tselevoi gruppy po khimicheski aktivno-mu azotu, EEHK OON. Tsentr ehkologii i gidrologii. Ehdinburg. Velikobritaniya. – 2014. – S. 17-30.
6. B. Amon B., Smith K., Valli L., and others. Metody khraneniya navo-za/ Sokrashchenie vybrosov ammiaka: mery i deistviya. Rekomendatsii Tselevoi gruppy po khimicheski aktivnomu azotu, EEHK OON. Tsentr ehkologii i gidrolo-gii. Ehdinburg, Velikobritaniya. – 2014. – S. 31-34.
7. Bondarenko, A.M. Opredelenie kolichestvennykh sootnoshenii vlagi razlichnykh vidov v navoznykh stokakh/A.M. Bondarenko, N.I. Kuchma-sov//Mekhanizatsiya i ehlektrifikatsiya sel'skogo khozyaistva. – 1980. – №6 – S. 19-20.
8. Byshov, N.V. Metodika otsenki urovnya ehkologicheskoi nagruzki svi-novodcheskikh predpriyatii/ N.V. Byshov, N.V. Limarenko, I.A. Uspenskii, I.A. Yukhin, A.A. Tsymbal// Izvestiya nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa. – 2020. – №1(57). – S. 268-278.
9. Borychev, S.N. Ehkosistema utilizatsii organicheskikh otkhodov zhi-votnovodstva/ S.N. Borychev, I.A. Uspenskii, I.A. Yukhin, N.V. Limarenko// Vestnik Ryazanskogo agrotekhnologicheskogo universiteta im. P.A. Kostycheva. – Ryazan'. – 2020. – №4. – S. 83-91.
10. Kirov, YU.A. Issledovanie parametrov novoi konstruktsii tsentri-fugi

dlya razdeleniya navoznykh stokov na fraktsii/YU.A. Kirov// Nauchnoe obo-zrenie – 2018. – №2. – S. 18-23.

11. Kulikova, M.A. Pererabotka zhidkikh otkhodov svinokompleksov na osnove printsipov nailuchshikh dostupnykh tekhnologii/M.A, Kulikova, K.O. Okovitaya, O.A. Surzhko// Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal. – 2021. – №4-1(106). – S. 123-129.

© Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Барышников А.В., 2022. *International agricultural journal*, 2022, № 3, 1031-1044.

Для цитирования: Бондаренко А.М., Качанова Л.С., Барышников А.В. РАЗВИТИЕ ПИЩЕВЫХ ПРОИЗВОДСТВ КАК ФАКТОР ПРОДОВОЛЬСТВЕННОЙ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ РЕГИОНА (НА ПРИМЕРЕ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ – КУЗБАССА) // *International agricultural journal*. 2022. №3, 1031-1044.