

УДК 621.929:636(476)

**И. М. Швед**

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»,  
пр-т Независимости, 99, 220023 Минск, Республика Беларусь, +375 (017) 272 68 18, terechovich@mail.ru

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОГО НАВОЗА МИКСЕРОМ С КОНИЧЕСКИМ КОЖУХОМ

Жидкий навоз при хранении легко расслаивается, при отсутствии его перемешивания на поверхность всплывают легкие примеси, а тяжелые частицы образуют осадок на дне навозохранилища. Для получения качественного органического удобрения необходимо обеспечить эффективное перемешивание жидкого навоза, осуществив размыв осадка на дне навозохранилища. Процесс перемешивания жидкого навоза совмещает в одной технологической цепи последовательно происходящие процессы размыва уплотненного за время хранения осадка навоза и его смешивания во всем объеме хранящейся навозной массы. Размыв осадка в навозохранилище осуществляется установленным в слое жидкой фракции миксером, что может быть сравнимо с подводным гидрорыхлением грунтов, которое осуществляется затопленной струей, истекающей из кожуха миксера. Для обеспечения работы необходимого оборудования, применяемого в данном технологическом процессе, с минимальными энергозатратами требуется поддержание оптимальных конструкционных и технологических параметров оборудования. В статье получены уравнения для определения длины участка размыва осадка и потребной мощности на привод миксера при известном диаметре выходного отверстия сопла. Построены графики зависимости потребной мощности миксера и длины участка размыва осадка от диаметра выходного отверстия сопла.

**Ключевые слова:** диаметр отверстия сопла; кожух; миксер; жидкий навоз; осадок; длина участка размыва; размыв осадка.

Рис. 3. Табл. 1. Библиогр.: 12 назв.

**I. M. Shved**

Institution of Education “Belarusian State Agrarian Technical University”, 99 Nezavisimosti Ave.,  
220023 Minsk, the Republic of Belarus, +375 (017) 272 68 18, terechovich@mail.ru

## RESEARCH OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF THE MIXING LIQUID MANURE PROCESS WITH A MIXER WITH A CONICAL CASING

During storage, liquid manure is easily stratified and, in the absence of its mixing, light impurities float to the surface, and heavy particles form a sediment at the bottom of the manure storage. To obtain high-quality organic fertilizer, it is necessary to ensure effective mixing of liquid manure by washing out the sediment at the bottom of the manure storage. The process of mixing liquid manure combines in one technological chain the processes of washing out the manure sediment compacted during storage and mixing it in the entire volume of the stored manure mass. Sediment erosion in the manure storage is carried out installed in the layer of the liquid fraction of the mixer, which can be compared with underwater hydraulic loosening of soils, which is carried out by a submerged jet flowing from the mixer casing. To ensure the operation of the necessary equipment used in this process with minimal energy consumption, it is required to maintain the optimal design and technological parameters of the equipment. In the article, equations for determining the length of the sediment washout section and the required power for the mixer drive with a known diameter of the nozzle outlet are obtained. Graphs of the required power dependence of the mixer and the length of the sludge washout section on the diameter of the nozzle outlet are plotted.

**Key words:** nozzle hole diameter; casing; mixer; liquid manure; sludge; washout section length; sludge washout.

Fig. 3. Table. 1. Ref.: 12 titles.

**Введение.** Главными направлениями развития сельского хозяйства Беларуси являются отрасли растениеводства и животноводства. Развитие животноводства — одно из приоритетных направлений агропромышленного комплекса Республики Беларусь. Для обеспечения своего благоприятного экономического положения производство животноводческой продукции должно быстро реагировать на требования рынка сбыта продукции.

Одной из основных задач Государственной программы «Аграрный бизнес» на 2021—2025 годы является развитие производства органической продукции и снижение негативного воз-

действия химических препаратов, гормонов роста, антибиотиков на окружающую среду и здоровье людей [1]. Для осуществления поставленной задачи необходимо совершенствовать машины и оборудование для утилизации и переработки жидкого навоза.

В Республике Беларусь действует более 200 животноводческих комплексов по производству молока, говядины и свинины. Общий годовой выход экскрементов при работе комплексов равен 51,6 млн тонн, из которых 25,3 млн тонн составляет жидкий навоз [2]. При этом в 2010 году общий годовой выход жидкого навоза на фермах и комплексах составлял 12,2 млн тонн [3].

Недостаточность осуществляемых работ по обеззараживанию и переработке жидкого навоза и сточных вод влечет за собой нарушение экологической обстановки вокруг ферм, что в дальнейшем может привести к возможности распространения инфекционных и инвазионных болезней.

Жидкий навоз перерабатывают двумя способами: компостированием и перемешиванием. Компостирование — экзотермический процесс биологического окисления, при котором под воздействием температуры наступает гибель болезнетворных микробов [4].

К преимуществу данного способа переработки навоза относят то, что компост является качественным органическим удобрением, оптимальным для полей, планируемых под высевание озимых и пропашных культур. Применение компостов улучшает качество почвы и сокращает количество органических отходов на животноводческих фермах и комплексах.

Основным недостатком является длительный процесс компостирования, который привлекает к себе разного рода вредителей (мух, грызунов и т. д.) и требует дополнительного обслуживания оборудования, эксплуатируемого при данном процессе.

Перемешивание — переработка жидкого и полужидкого навоза, получаемого на животноводческих фермах при гидравлическом способе уборки навоза [4].

Преимуществом перемешанного жидкого навоза является то, что его можно использовать различными способами: вносить в почву мобильными средствами, подавать по трубам на поле насосами, вносить на поле отдельно твердую и жидкую фракцию — что не требует применения высокотехнологичного оборудования.

В случае использования неразделенного жидкого навоза необходимо не реже одного раза в неделю проводить его перемешивание в полном объеме навозохранилища, так как хранящаяся навозная масса быстро расслаивается и в осадок выпадает до 80 % твердых частиц [5]. Частое использование оборудования для перемешивания навозной массы приводит к увеличению энергозатрат на уборку и утилизацию жидкого навоза.

В связи с вышеизложенным можно утверждать, что совершенствование оборудования для перемешивания жидкого навоза является актуальной задачей.

Цель работы — установление зависимости потребной мощности миксера и длины участка размыва осадка от выходного отверстия сопла кожуха.

**Материалы и методы исследования.** Согласно ГОСТ Р 53042-2008, жидким навозом называется навоз (помет), содержащий от 3 до 8 % сухого вещества.

Жидкий навоз представляет собой многокомпонентную среду. Вязкость ньютоновских жидкостей меняется при разной температуре, давлении и не остается величиной постоянной, а изменяется в зависимости от скорости деформаций сдвига [6]. Исследования физико-механических свойств жидкого навоза показали, что при концентрации сухого вещества менее 8 % он является ньютоновской жидкостью [7].

Для проверки теоретических исследований и установления зависимости длины участка размыва осадка навоза и потребной мощности миксера от диаметра выходного отверстия сопла кожуха были проведены экспериментальные исследования на устройстве, оснащённом коническим кожухом (рисунок 1), позволяющим создать стабильное ядро струи и обеспечивающим эффективный размыв уплотнённого осадка.

Исследования проводились на экспериментальной установке (рисунок 2), выполненной в соотношении 1:20 к эксплуатируемому на фермах (комплексах) оборудованию.

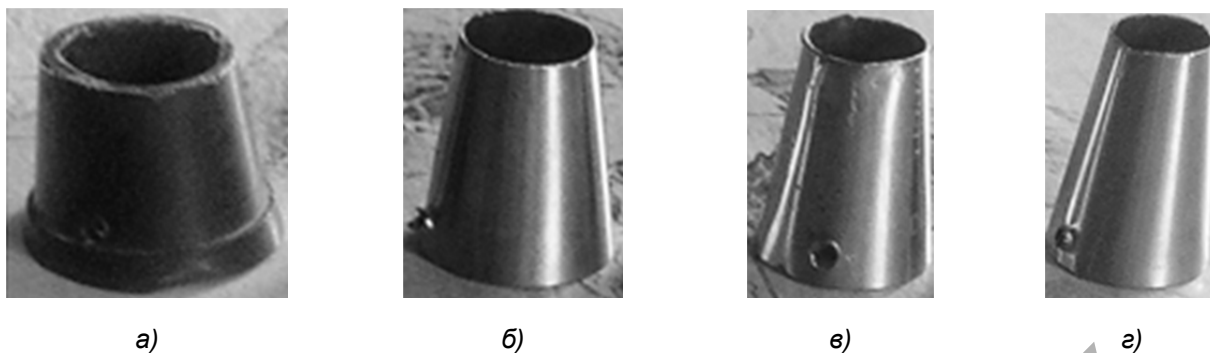
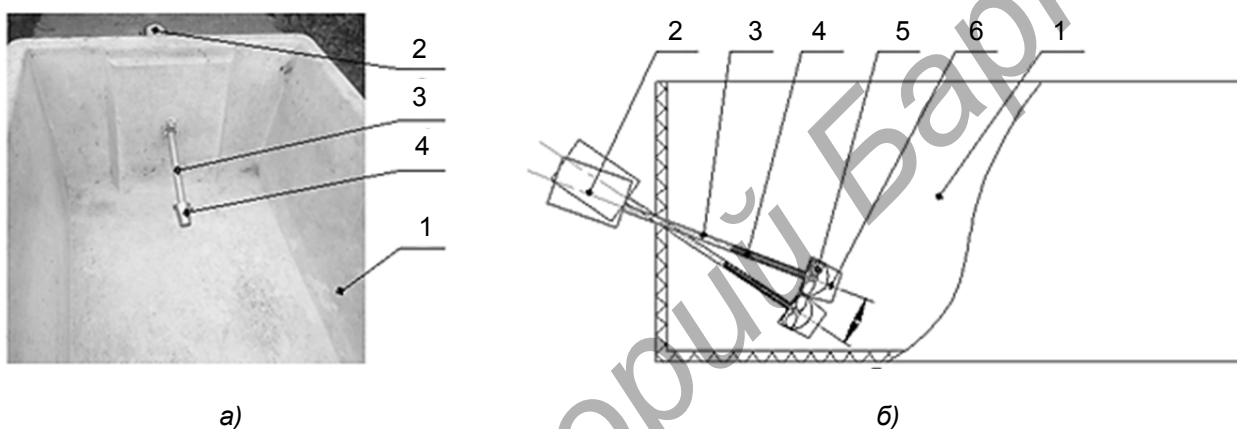


Рисунок 1. — Модели конических кожухов: а —  $d_c = 25$  мм,  $\alpha = 35^\circ$ ; б —  $d_c = 20$  мм,  $\alpha = 35^\circ$ ; в —  $d_c = 20$  мм,  $\alpha = 30^\circ$ ; г —  $d_c = 15$  мм,  $\alpha = 30^\circ$



1 — емкость; 2 — привод мешалки; 3 — труба; 4 — кожух; 5 — вал; 6 — мешалка

Рисунок 2. — Экспериментальная установка с коническим кожухом: а — общий вид; б — схема экспериментальной установки

При проведении экспериментальных исследований были использованы кожухи конической формы с разными диаметрами сопла  $d_c$  и углами наклона образующей конической поверхности кожуха ( $\alpha = 30^\circ$  и  $\alpha = 35^\circ$ ).

Оптимальная геометрическая конфигурация формы кожуха миксера способствует наиболее эффективному использованию струи жидкого навоза в процессе размыва уплотненного осадка, так как от угла образующей боковой поверхности кожуха зависит баланс энергозатрат на трение жидкого навоза по внутренним стенкам кожуха и на рассеяние потока навозной массы в объеме хранящегося навоза. С увеличением скорости потока жидкого навоза осуществляется внедрение струи в осадок, при образовании воронки в дальнейшем происходит сводоразрушение краев воронки с увеличением общей площади участка размыва осадка.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Независимо от того, как выполняется переработка жидкого навоза (по раздельной технологии или нет), необходимо в любом случае осуществлять процесс его перемешивания.

Для раздельной технологии переработки жидкого навоза можно применить одно перемешивание перед его внесением на поле в отличие от неразделенного навоза, у которого из-за высокой плотности осадка и быстрого его осаждения перемешивание необходимо осу-

ществлять не менее трех раз в неделю. Последствием невыполнения операции перемешивания жидкого навоза будут затраты, связанные с ремонтом оборудования, используемого в навозохранилищах, и постепенное заиливание, уменьшающее их полезный объем.

Эксплуатируемые миксеры для перемешивания жидкого навоза, представленные на рынке Республики Беларусь, просты по устройству. Они оснащены разного типа мешалками и кожухами для улучшения характеристик потока жидкого навоза, созданного истекающей из его отверстия струей [8; 9].

Основными геометрическими параметрами, влияющими на работу миксера, оснащенного коническим кожухом, являются длина и диаметр выходного отверстия сопла [10—12], так как при использовании сопел большой длины и с большим выходным отверстием на размыв осадка навоза приходится основная часть энергозатрат миксера ввиду перемещения большого объема струи жидкого навоза. При использовании сопел с маленьким диаметром выходного отверстия на размыв осадка навоза затрачивается только часть мощности миксера. Поэтому если ограничиться только разрушением уплотненного слоя навоза и не рассматривать качество перемешивания, то целесообразнее применять кожухи с малым диаметром выходного отверстия сопла, а так как процесс перемешивания жидкого навоза в навозохранилище подразумевает выполнение разрушения уплотненных слоев и перемешивание их в полном объеме хранящейся навозной массы, то необходимо выполнить исследования по определению влияния диаметра выходного отверстия сопла на технологические параметры миксера.

Также на процесс размыва осадка навоза влияют следующие параметры: угол наклона миксера относительно горизонтальной плоскости, плотность осадка и высота расположения миксера в навозохранилище.

На основании проведенных теоретических исследований [12] была получена формула для определения длины участка размыва осадка навоза, которая позволила установить основные факторы, влияющие на процесс разрушения уплотненного слоя навоза:

$$L_p = \frac{2 \sin(180^\circ - (\alpha + \beta_o))}{\sin \beta_o} \left( \frac{\varphi d_c \sqrt{\frac{\varepsilon \rho_o}{\rho_c}}}{1 - 0,475 \varphi \sqrt{\frac{\rho_o}{\rho_c}}} - \frac{h_{\text{микс}} - h_o}{\sin \alpha} \right), \quad (1)$$

- где  $\alpha$  — угол наклона струи жидкого навоза, град.;
- $\beta_o$  — угол откоса наклонной поверхности на участке размыва, град.;
- $\varphi$  — опытный коэффициент;
- $d_c$  — диаметр отверстия сопла кожуха, м;
- $\rho_o$  — плотность осадка навоза, кг / м<sup>3</sup>;
- $\rho_c$  — плотность навозной массы, выходящей из кожуха, кг / м<sup>3</sup>;
- $h_{\text{микс}}$  — высота расположения миксера относительно дна хранилища, м;
- $h_o$  — высота осадка навоза, м.

Согласно расчету, проведенному по формуле (1), длина участка размыва осадка навоза составила 5,1 м (для  $h_{\text{микс}} = 1,0$  м,  $h_o = 0,75$  м,  $d_c = 0,380$  м).

Программой исследования предусмотрено перемешивание навоза влажностью не менее 92 % при помощи перемешивающего устройства, оснащенного кожухом конической формы и без него. Устройство монтировалось в емкости с возможностью регулирования высоты поднятия и угла наклона кожуха относительно дна емкости.

В процессе исследований было установлено, что в устройстве без кожуха происходит отрыв потока жидкого навоза, перемещающегося вдоль лопасти к ее кромке, что приводит к образованию зоны турбулентности, препятствующей продвижению струи в уплотненный осадок.

Установка кожуха конической формы позволила исключить описанный выше отрыв потока навозной массы, что способствовало увеличению скорости движения и созданию стабильного ядра струи жидкого навоза, необходимого для осуществления размыва уплотненного осадка.

Результаты исследования технологических параметров процесса перемешивания жидкого навоза миксером с коническим кожухом представлены в таблице 1 и на рисунке 3, на котором приведены графические зависимости длины участка размыва осадка навоза и потребной мощности на привод миксера от диаметра выходного отверстия сопла кожуха.

Т а б л и ц а 1. — Результаты исследования технологических параметров процесса перемешивания жидкого навоза миксером с коническим кожухом

Диаметр выходного отверстия сопла $d_c$ , мм	Число оборотов мешалки $n$ , мин <sup>-1</sup>	Угол наклона образующей конической поверхности кожуха 30°		Угол наклона образующей конической поверхности кожуха 35°	
		Длина участка размыва осадка навоза $L_p$ , м	Потребная мощность на привод миксера $N$ , кВт	Длина участка размыва осадка навоза $L_p$ , м	Потребная мощность на привод миксера $N$ , кВт
300	150	0,85	2,8	0,82	2,9
330	180	1,98	3,0	1,67	3,2
360	215	3,21	3,3	2,76	3,6
390	250	4,58	4,0	3,95	4,3
420	290	6,54	4,8	5,60	5,2
450	350	9,05	5,7	7,98	6,1

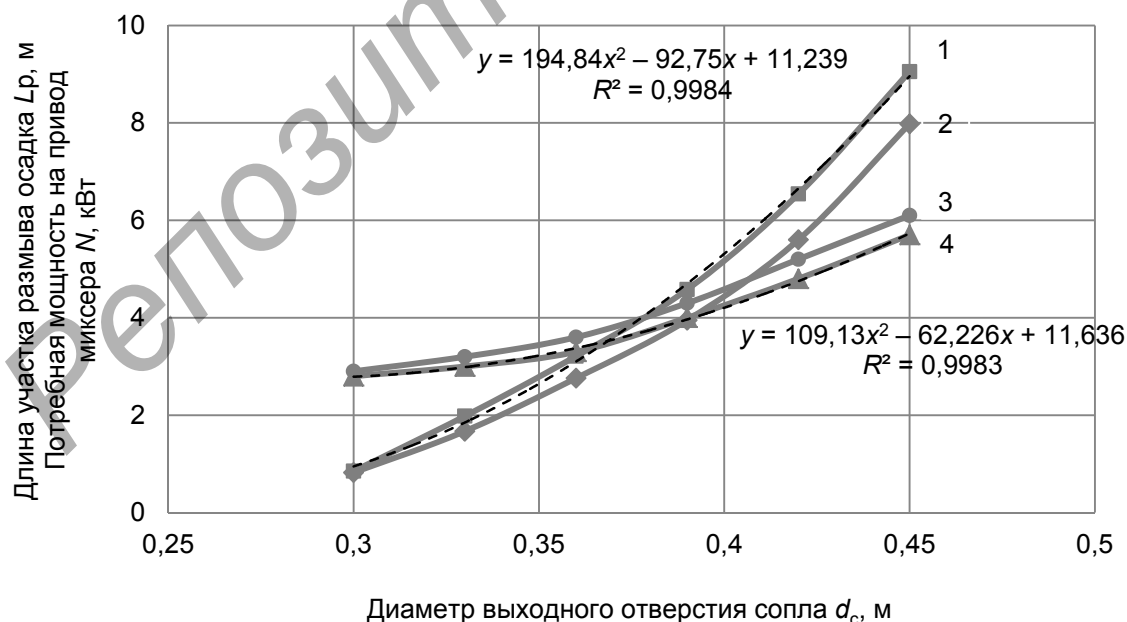


Рисунок 3. — Графические зависимости длины участка размыва осадка (1, 2) и потребной мощности на привод миксера (3, 4) от диаметра выходного отверстия сопла: 1 и 4 — модель с углом наклона образующей боковой поверхности кожуха 30°; 2 и 3 — модель с углом наклона образующей боковой поверхности кожуха 35°

На основании зависимостей, представленных на рисунке 3, получены уравнения для определения длины участка размыва осадка навоза и потребной мощности на привод миксера:

$$L_p = 194,84d_c^2 - 92,75d_c + 11,239, \quad (2)$$

где  $L_p$  — длина участка размыва осадка навоза, м;

$d_c$  — диаметр выходного отверстия сопла, м.

Величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9984$ ;

$$N = 109,13d_c^2 - 62,226d_c + 11,636, \quad (3)$$

где  $N$  — потребная мощность на привод миксера, кВт.

Величина достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,9983$ .

**Заключение.** Анализ зависимостей, представленных на рисунке 3, показал, что для осуществления процесса размыва осадка навоза с последующим его перемешиванием во всем объеме навозохранилища целесообразно использовать конические кожухи с диаметром выходного отверстия сопла более 370 мм и углом образующей боковой поверхности кожуха  $30^\circ$ . При использовании кожуха с диаметром выходного отверстия сопла меньше 370 мм энергозатраты ниже, но при этом и длина участка размыва осадка навоза не превышает 4 м, что потребует установки дополнительного оборудования в навозохранилище.

На основании полученной зависимости (см. рисунок 3) была подтверждена достоверность теоретических исследований. Для сопла с диаметром 380 мм и углом образующей боковой поверхности кожуха  $30^\circ$  длина участка размыва осадка навоза составила 4,5 м. Отклонения от данных, полученных расчетным путем, составили 12 %.

Получены уравнения (2) и (3), устанавливающие зависимость длины участка размыва осадка навоза и потребной мощности на привод миксера от диаметра выходного отверстия сопла кожуха.

Результаты проведенных исследований могут быть использованы при проектировании конических кожухов, устанавливаемых на оборудовании для перемешивания жидкого навоза.

#### Список цитированных источников

1. О Государственной программе «Аграрный бизнес» на 2021—2025 годы [Электронный ресурс] : постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 1 февр. 2021 г., № 59 // ЭТАЛОН. Законодательство Республики Беларусь / Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. — Минск, 2021.
2. Сельское хозяйство Республики Беларусь : стат. сб. — Минск : Нац. стат. ком. Респ. Беларусь, 2016. — 230 с.
3. Самосюк, В. Г. Биогазовые технологии в Беларуси: состояние и перспективы / В. Г. Самосюк, Н. Ф. Капустин, А. Н. Басаревский // Механизация и электрификация сельского хозяйства : межведомств. темат. сб. : в 2 т. / Науч.-практ. центр Нац. акад. наук Беларуси по механизации сел. хоз-ва. — Минск, 2011. — Вып. 45. — С. 234—240.
4. Кольга, Д. Ф. Биологическое компостирование навоза как наиболее эффективный метод его утилизации / Д. Ф. Кольга, В. С. Сыманович, С. А. Зелинский // Инновационные технологии в производстве и переработке сельскохозяйственной продукции : докл. Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 14—15 апр. 2011 г. : в 2 ч. — Минск : БГАТУ, 2011. — Ч. 1. — С. 270—272.
5. Справочник агрохимика / В. В. Лапа [и др.] ; под ред. В. В. Лапа. — Минск : Белорус. наука, 2007. — 390 с.
6. Караева, Ю. В. Оценка динамической вязкости субстратов, используемых для получения биогаза / Ю. В. Караева, И. А. Трахунова // Технические науки — от теории к практике : сб. ст. по материалам XXV междунар. науч.-практ. конф. — Новосибирск : СибАК, 2013. — № 8 (21). — С. 84—90.
7. Ворожцов, О. В. Обоснование технологических и конструктивных параметров перемешивающего устройства, обеспечивающего гомогенизацию жидкого свиного навоза при его хранении в плёночных навозохранилищах : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / О. В. Ворожцов. — СПб., 2018. — 195 л. : ил.

8. *Куріс, Ю. В.* Підвищення теплотехнічних та технологічних показників спалювання біогазу в теплогенеруючому обладнанні : дис. ... канд. техн. наук : 05.20.01 / Ю. В. Куріс. — Київ : НУХТ, 2007.

9. *Schlicht, A. C.* The Gaslifter. A time-honored, proven anaerobic digester mixing system / A. C. Schlicht. — Aurora : Walker Process Equipment, 2001. — P. 12.

10. *Виноградов, Л. В.* Исследование геометрических параметров сопла с контуром Витошинского / Л. В. Виноградов, Ш. Р. Лотфулин // Вестн. Рос. ун-та дружбы народов. Сер. «Инженерные исследования». — 2004. — № 2 (9). — С. 44—49.

11. Теоретическое и экспериментальное исследование течения газа в коллекторах (соплах) при малых дозвуковых скоростях / А. П. Быркин [и др.] // Уч. зап. ЦАГИ. — 1983. — Т. XIV, № 5 — С. 100—103.

12. *Китун, А. В.* Определение параметров участка размыва осадка в навозохранилище направленным действием струи жидкого навоза / А. В. Китун, И. М. Швед // Вестн. БарГУ. Сер. «Технические науки». — 2022. — № 1 (11). — С. 81—87.

Поступила в редакцию 03.02.2023.

Репозиторий БарГУ