

УДК 631.22.018

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА ГОМОГЕНИЗАЦИИ ЖИДКОГО РАССЛОИВШЕГОСЯ НАВОЗА В ОТКРЫТОМ КАНАЛЕ

И. И. СКОРЬ

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет»  
г. Минск, Республика Беларусь, 220023, e-mail: [igor.bgatu@mail.ru](mailto:igor.bgatu@mail.ru)

(Поступила в редакцию 13.08.2018)

Гидравлические системы удаления навоза в последние годы получают все большее распространение как наиболее простые и надежные в эксплуатации, позволяющие отказаться от применения трудоемких ручных операций и полностью автоматизировать технологический процесс, связанный с удалением и переработкой бесподстилочного навоза.

Исследования и опыт эксплуатации гидравлических способов уборки навоза, показали, что такие системы уборки успешно работают как при уборке навоза крупного рогатого скота, так и свиней.

Применение гидравлических систем уборки навоза периодического действия позволяет сократить трудовые и материальные затраты на 10–30 % по сравнению с механическими средствами уборки. Удельная металлоемкость гидравлических систем уборки и транспортировки навоза в 4–6 раз меньше, удельные капиталовложения на одно скотоместо ниже на 30–40 % по сравнению с механическими способами.

С учетом санитарно-гигиенических и ветеринарных требований гидравлические способы имеют преимущества, так как значительно снижается загрязненность пола по сравнению с уборкой транспортерами, скреперными установками и бульдозерами, содержание вредных веществ в помещении не превышает значений предельно допустимой концентрации. Однако при гидросмыве содержание их на 16–18 % выше, чем при самотечных способах уборки [1].

По комплексному показателю, включающему экономические, технические требования, надежность и условия работы обслуживающего персонала, самотечные способы уборки уступают только уборке с помощью бульдозера и мобильного погрузчика, которые применяются на небольших фермах.

При самотечных способах уборки навоз наиболее доступен механизации и автоматизации на всех этапах процесса, начиная с удаления из помещений и заканчивая внесением в почву. Использование гидротранспорта для перемещения жидкого навоза позволяет избежать загрязнения территории фермы опасным распространением инфекций, инвазий как в пределах фермы, так и вне ее.

Основные причины ограничения использования самотечных систем уборки: системы периодического действия чувствительны к утечке жидкости из-за плохой герметизации гидрозатворов, попадания инородных примесей, снижающих надежность их работы, образования осадка [2]; в каналах систем уборки непрерывного действия образуется осадок, они переполняются, увеличивается трудоемкость и расход воды на удаление осадка [3].

Неудовлетворительная работа самотечных систем уборки навоза складывается из несоответствия систем уборки технологии содержания, несовершенства конструкции параметров каналов, отсутствия надежных гидрозатворов, средств для удаления осадка и интенсификации процесса истечения навоза из гидравлических каналов [4].

Навоз в зависимости от консистенции и содержания свободной воды подвержен расслаиванию. При накоплении и хранении в каналах гидравлических систем жидкий навоз расслаивается на наиболее плотные включения – нижний осадочный слой, менее плотный верхний слой (жидкая фракция). Такое расслоение усложняет его транспортирование и истечение по гидравлическим каналам.

Для обеспечения постоянного перемещения с одновременной гомогенизацией (перемешиванием) осадка и жидкой фракции навоза применяются гомогенизаторы или лопастные мешалки.

**Ключевые слова:** навоз, расслоение, влажность, гомогенизация, мешалка, лопасть.

In recent years, hydraulic manure removal systems are becoming increasingly common as the simplest and most reliable in operation, which make it possible to abandon the use of labor-intensive manual operations and fully automate the technological process associated with the removal and processing of liquid manure.

Research and experience in the operation of hydraulic methods of manure removal have shown that such removal systems successfully work in the removal of both cattle manure and pig manure.

The use of hydraulic systems of periodic action for manure removal reduces labor and material costs by 10–30% compared with mechanical means of removal. The specific metal capacity of hydraulic systems for manure removal and transportation is 4–6 times less compared to mechanical methods, the specific capital investment per animal site is 30–40% lower.

Taking into account sanitary-hygienic and veterinary requirements, hydraulic methods have advantages, since floor pollution is significantly reduced compared to cleaning with conveyors, scraper installations and bulldozers, the content of harmful substances in the room does not exceed the values of the maximum permissible concentration. However, when washing with water, their content is 16–18% higher than with gravity cleaning methods.

According to the complex indicator, which includes economic, technical and zoo-technical requirements, reliability and operating conditions of the staff, gravity cleaning methods are second only to cleaning with a bulldozer and mobile loader, which are used on small farms.

With gravity methods of manure removal, manure is most accessible to mechanization and automation at all stages of the process, starting with removal from the premises and ending with introduction into the soil. The use of hydro-transport to move

liquid manure helps you to avoid contamination of the farm's territory with dangerous spread of infections and invasions both within and outside the farm.

The main reasons for limiting the use of gravity cleaning systems: systems of periodic action are sensitive to fluid leakage due to poor sealing of hydraulic locks, ingress of foreign matter, reducing the reliability of their work, sedimentation; a sediment forms in the channels of continuous cleaning systems, they overflow, and the labor intensity and water consumption for sludge removal increase.

The unsatisfactory work of self-flowing manure removal systems consists of the incompatibility of removal systems with maintenance technology, imperfect design of the parameters of channels, the lack of reliable hydraulic locks, means for removing sludge and intensifying the process of manure outflow from hydraulic channels.

Manure, depending on the consistency and free water content, is susceptible to stratification. During accumulation and storage in the channels of hydraulic systems, liquid manure splits into the most dense inclusion – the lower sedimentary layer, and the less dense upper layer (liquid fraction). Such stratification complicates its transportation and outflow through hydraulic channels.

To ensure continuous movement with simultaneous homogenization (mixing) of the sediment and the liquid fraction of manure, homogenizers or paddle mixers are used.

**Keywords:** manure, stratification, moisture, homogenization, mixer, blade.

## Введение

Гомогенизация навоза в каналах гидравлических систем является важной технологической операцией, обеспечивающей полноту уборки навоза из таких каналов и влияющей на микроклимат в животноводческом помещении [5].

При оптимизации конструкции гомогенизатора для гомогенизации жидкого навоза необходимо рассматривать множество факторов. Поэтому для поиска этих параметров используем метод математического планирования эксперимента. Движение к оптимуму возможно, если выбрать один параметр оптимизации, а другие характеристики процесса принять в качестве ограничений [6].

Эффективность технологического процесса характеризуется двумя показателями – энергоемкостью процесса и качеством гомогенизации. Однако координаты экстремумов этих функций обычно не совпадают. Поэтому в качестве целевой функции целесообразно принять качество гомогенизации навоза обеспечивающее его гидротранспортабельность с наименьшими затратами энергии.

## Основная часть

С целью обоснования конструктивных и режимных параметров гомогенизатора проведены экспериментальные исследования, программой которых предусматривалось: выявление априорным ранжированием факторов, оказывающих наибольшее влияние на качество гомогенизации навоза; проведение многофакторного эксперимента с использованием центрального композиционного ортогонального плана второго порядка  $2^3$ ; обработка полученных экспериментальных данных; построение поверхностей отклика, отображающих зависимость количества сухого вещества в осадке от факторов, установленных в результате априорного ранжирования.

На первом этапе исследований определена область факторного пространства, в котором скорость течения навозной массы по каналу под действием гомогенизатора обеспечивает взаимное перемешивание слоев и выравнивание их концентраций, то есть гомогенизацию и соответственно гидротранспортабельность.

Осуществлен отбор факторов, предположительно наиболее сильно влияющих на качество гомогенизации (табл. 1).

Таблица 1. Факторы, влияющие на качество гомогенизации навоза

Обозначение факторов	Наименование фактора
Технологические факторы	
$x_1$	Точка установки мешалки в канале
$x_3$	Высота навозной массы в канале
Параметры экспериментальной установки	
$x_2$	Наружный диаметр мешалки гомогенизатора

На основании проведенных ранее исследований такие факторы, как наружный диаметр мешалки  $D$ , высота навозной массы в канале  $s$ , точка установки мешалки в канале  $s_{II}$  остаются неизученными. Под точкой установки мешалки в канале принимаем три значения: на дне канала, в средней части канала и в верхней части канала, под поверхностью навозной массы. Остальные параметры гомогенизатора при проведении исследований принимались следующие: частота вращения мешалки  $\omega=1000 \text{ мин}^{-1}$ , угол установки лопастей мешалки  $\alpha =35 \text{ градусов}$  к

плоскости, перпендикулярной оси вала гомогенизатора, количество лопастей мешалки  $z=4$  шт, форма лопасти плоская, без образования винтовой поверхности.

Для проведения многофакторного эксперимента целесообразно использовать центральный композиционный ортогональный план второго порядка  $2^3$ . Уровни варьирования факторов приведены в табл. 2.

Таблица 2. Кодирование варьируемых факторов

Показатель	Варьируемые факторы		
	$s$ , точка установки мешалки	$D$ , диаметр мешалки, м	$s$ , высота навозной массы, м
Кодовое обозначение факторов	$x_1$	$x_2$	$x_3$
Основные уровни ( $x_i = 0$ )	2	0,6	0,9
Интервалы варьирования	1	0,3	0,4
Нижние уровни ( $x_i = -1$ )	1	0,3	0,5
Верхние уровни ( $x_i = +1$ )	3	0,9	1,3

Основой эксперимента является матрица, представленная в табл. 3 и содержащая условия проведения всех опытов в соответствии с намеченным планом.

Для построения и анализа регрессионной модели используем результаты опытов, полученных согласно плану полного трехфакторного эксперимента.

Таблица 3. Построение трехфакторного плана первого порядка

№ опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$	№ опыта	$x_1$	$x_2$	$x_3$
1	-1	-1	-1	5	-1	-1	+1
2	+1	-1	-1	6	+1	-1	+1
3	-1	+1	-1	7	-1	+1	+1
4	+1	+1	-1	8	+1	+1	+1

Экспериментальные исследования выполнялись на специально изготовленной установке (рис. 1).

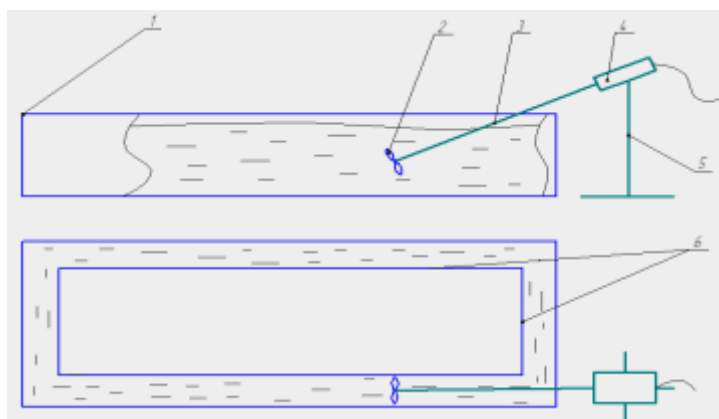


Рис. 1. Схема лабораторной модельной установки: 1 – резервуар; 2 – мешалка; 3 – вал; 4 – электродвигатель; 5 – стойка; 6 – перегородка

Установка создана с учетом основных законов теории подобия. При сохранении геометрического подобия выдерживалось и гидродинамическое. Экспериментальная установка состоит из резервуара 1 (размером  $2 \times 0,6 \times 0,3$  м), в котором имеются перегородки 6, стойки 5 на которой крепится электродвигатель 4 с валом 3, на конце которого крепится лопастная мешалка 2. Подставка имеет поворотную верхнюю часть, с помощью которой можно изменять угол наклона вала гомогенизатора в резервуаре и точку установки мешалки. Изготовлено 28 экспериментальных мешалок отличающимися количеством лопастей, разным углом их атаки и диаметром.

Установка создана с учетом основных законов теории подобия. При сохранении геометрического подобия выдерживалось и гидродинамическое. Для измерения частоты вращения вала использовался электронный бесконтактный тахометр DeLaval VPR100.

Из литературных источников известно, что навоз становится гидротранспортабельным и способен перемещаться самотеком по трубам и каналам при влажности 92 % [7]. Для проведения исследований был изготовлен аналог жидкого навоза, в состав которого входили: вода, торфокрошка и 5 % от всей массы силикатного клея. Готовый аналог жидкого навоза

загружался в лабораторную установку и выдерживался 48 часов. За это время происходило его расслоение на два слоя: нижний осадочный слой (осадок) и верхний слой (жидкая фракция). Измерения показали, что влажность нижнего осадочного слоя составила 78 %, верхнего слоя – 99 %. Далее в смесь погружалась мешалка и осуществлялась гомогенизация.

Проведенный анализ конструкций существующих перемешивающих устройств и поисковые исследования показали, что для достижения требуемой равномерности диспергирования в качестве рабочего органа эффективно использовать лопастную мешалку. По сравнению с другими конструкциями мешалок (турбинной, фрезерной и т. д.) лопастная более активно воздействует на массу и создает наибольший гидравлический напор. Все дальнейшие опыты по изучению процесса гомогенизации проводились с данным типом рабочего органа.

Таким образом, описанная установка позволяет проводить исследования процесса гомогенизации жидкого навоза.

Обработка результатов экспериментальных исследований проводилась в соответствии с принятыми правилами теории вероятностей и математической статистики и использованием математического пакета MathCad. Статистическая обработка проводится с целью проверки его адекватности экспериментальным данным.

В результате получили уравнение регрессии в раскодированном виде:

$$y = 0,118 + 0,017s_{II} + 0,021D - 0,004208s - 0,012s_{II}D - 0,007375s_{II}s - 0,004042Ds .$$

Для анализа полученного уравнения регрессии построены поверхности отклика, представленные на рис. 2, 3, 4.

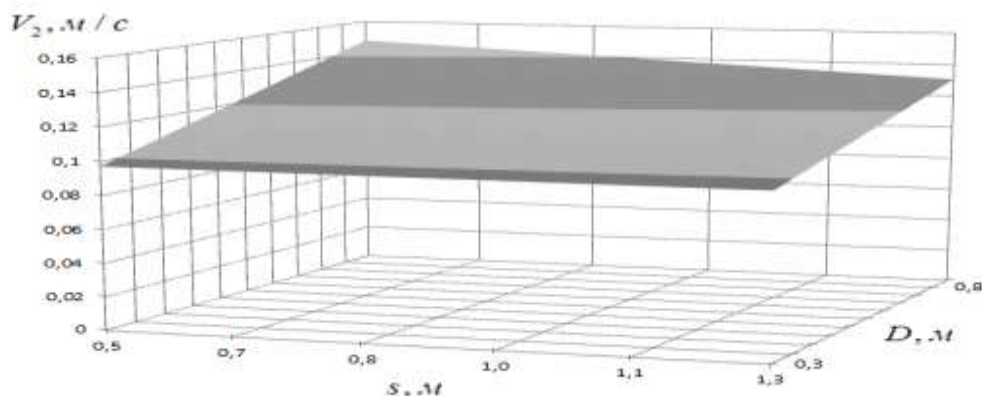


Рис. 2. Зависимость скорости движения навозной массы по каналу от диаметра мешалки и высоты навозной массы

При анализе поверхностей отклика учитываем, что функция отклика  $y$  – скорость движения навозной массы по каналу, должна соответствовать её гидротранспортабельности.

Было установлено, что минимальная скорость движения навозной массы по каналу под действием гомогенизатора, при которой значение параметра  $y$  обеспечивает взаимное перемешивание слоев и выравнивание их концентраций, то есть гомогенизацию и гидротранспортабельность, равна 0,14–0,17 м/с.

Из графика на рис. 2 видно, что значение параметра  $y$  соответствует гидротранспортабельности при диаметре мешалки  $D$ , находящемся в пределах 0,72–0,9 м и высоте навозной массы  $s$  от 0,5–1,3 м.

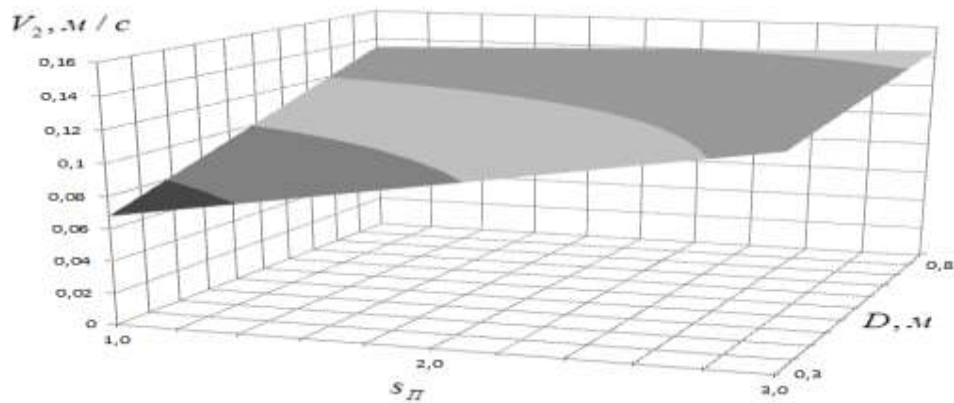


Рис. 3. Зависимость скорости движения навозной массы по каналу от диаметра мешалки и точки ее установки в канале

Анализ графика на рис. 3 показал, что значение параметра  $y$  соответствует гидротранспортабельности при диаметре мешалки  $D$ , находящегося в пределах 0,48–0,9 м и точке установки мешалки в канале  $s_{II}$  от 1 до 3.

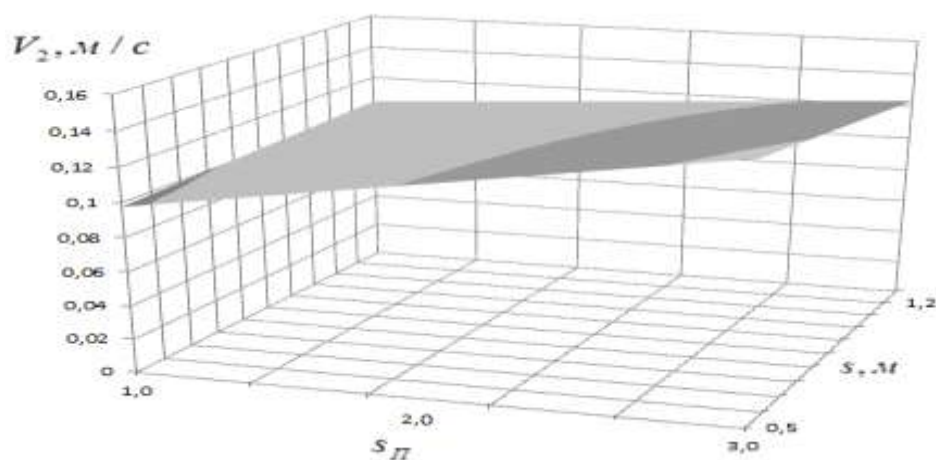


Рис. 4. Зависимость скорости движения навозной массы по каналу от высоты навозной массы и точки установки мешалки в канале

В результате анализа графика на рис. 4 было установлено, что значение параметра  $y$  соответствует гидротранспортабельности при высоте навозной массы  $s$ , находящейся в пределах 0,5–1,3 м и точке установки мешалки в канале  $s_{II}$  от 2 до 3.

Полученные зависимости (рис. 2 – 4) позволяют определить рациональные значения факторов для достижения гидротранспортабельности жидкого навоза. Мешалка в канале должна находиться в точках 1, 2 или 3, диаметр мешалки – 0,48–0,9 м, а высота навозной массы 0,5–1,3 м.

Стоит отметить, что при расположении мешалки непосредственно под поверхностью навозной массы (точка 3) наблюдалось образование воздушной воронки с подсосом воздуха с поверхности и интенсивным выбрасыванием навозной массы из канала, что в производственных условиях недопустимо. Поэтому целесообразнее размещать рабочий орган гомогенизатора непосредственно у дна канала или в середине канала, что соответствует точкам 1 и 2.

В соответствии с полученным диапазоном параметров гомогенизатора принимаем точку установки мешалки в канале – у дна или в центре канала, минимальный диаметр мешалки – 0,48 м. При этих параметрах гомогенизатора обеспечивается гидротранспортабельность при высоте навозной массы в канале от 0,5 до 1,3 м.

### Заключение

Полученные зависимости позволяют определить рациональные значения факторов для достижения гидротранспортабельности жидкого навоза в каналах гидравлических систем уборки навоза. Точка установки мешалки гомогенизатора в канале – у дна или в центре

канала, минимальный диаметр рабочего органа гомогенизатора – 0,48 м. При этих параметрах гомогенизатора обеспечивается гомогенизация и гидротранспортабельность расслоившегося жидкого навоза при высоте навозной массы в канале от 0,5 до 1,3 м.

*ЛИТЕРАТУРА*

1. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения; предисл. и пер. с нем. П. Я. Семенова. – М.: Колос, 1978.
2. Зуев, В. А. Самотечное перемещение экскрементов в канале / В. А. Зуев, М. С. Текучева // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1971. – №7. – С. 26–29.
3. Ковалев, Н. Г. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах / Н. Г. Ковалев, И. К. Глазков, И. Н. Матяш. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 63 с.
4. Текучева, М. С. Исследование самотечной системы непрерывного удаления навоза из коровников: автореф. дис. канд. техн. наук.:05.20.01 / М. С. Текучева. – М., 1973. – 23 с.
5. Семенов, М. Я. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения / М. Я. Семенов. – М.: Колос, 1978. – 271 с.
6. Мельников, С. В. Планирование эксперимента в исследованиях сельскохозяйственных процессов [Текст] / С. В. Мельников, В. Р. Алешкин, П. М. Рощин. – Л.: Колос, 1980. – 168 с.
7. Лукашевич, Н. М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помёта: учебное пособие / Н. М. Лукашевич. – Мозырь:Издательский Дом «Белый Ветер», 2000. – 248 с.