

ТЕЧЕНИЕ ДВУХ НЕСМЕШИВАЮЩИХСЯ ЖИДКОСТЕЙ В КАНАЛЕ ПРЯМОУГОЛЬНОЙ ФОРМЫ

И. И. Скорб,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

А. М. Волк,

доцент каф. высшей математики БГТУ, канд. техн. наук, доцент

Рассмотрено течение двух несмешивающихся жидкостей различной вязкости в канале прямоугольной формы.

Ключевые слова: смешивание, жидкость, осадок, вязкость, давление, скорость.

The flow of two immiscible liquids of different viscosity in a rectangular channel is considered.

Keywords: mixing liquid sludge, viscosity, pressure, speed.

Введение

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 [1].

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 [2].

По комплексному показателю, включающему экономические, технические и зоотехнические 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 гидро-транспорта для перемещения жидкого навоза позво-

ляет избежать загрязнения территории фермы опасным распространением инфекций, инвазий, как в пределах фермы, так и вне ее.

Вместе с тем гидравлические системы уборки имеют недостатки. Применение гидросмыва приводит к увеличению объема в 3...7 раз и влажности навоза с 87...90 % до 96...98 %. При уборке самотечным способом получают навоз влажностью 92...96 %, что означает увеличение его объема в 1,5...2 раза, хотя надежность работы системы обеспечивается при влажности 88...92 % [3].

Применение систем гидросмыва не рекомендуется рядом авторов из-за увеличения объема навоза, уменьшения концентрации питательных веществ в единице объема, выделения вредных газов, выше норм предельно допустимых концентраций [4, 5].

Опыт эксплуатации самотечных систем уборки показал, что снижению влажности навозной массы в каналах способствуют попадания остатков кормов и испарение влаги с поверхности, которое достигает 25 л в сутки из одного канала. С целью улучшения условий истечения навозной массы в каналы, необходимо добавлять воду [5-8].

Расход воды на промывку каналов при гидравлических способах уборки установлен от 1,5 до 32 л/сутки на одно животное [9].

Основными причинами ограничения использования самотечных систем уборки являются:

- системы периодического действия чувствительны к утечке жидкости из-за плохой герметизации гидрозатворов, попадания инородных примесей, снижающих надежность их работы, образованию осадка [6, 8, 10, 11, 12, 13, 14];

- в каналах систем уборки непрерывного действия образуется осадок, они переполняются, появляется сплошная корка, увеличивается трудоемкость и расход воды на удаление осадка [15].

Среди ученых нет единого мнения о том, какие самотечные системы лучше: периодического [16, 17] или непрерывного действия [6, 15].

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 [18-22].

При проектировании новых ферм возникает вопрос об экологически безопасной утилизации навоза и технологии хранения и его переработки в удобрение.

Чтобы сократить затраты на строительство лагун и будущие расходы на их обслуживание, а также на транспортировку навоза от ферм, существует вариант устройства хранилища внутри фермы под щелевыми полами, образующими слаломную систему (рис. 1).

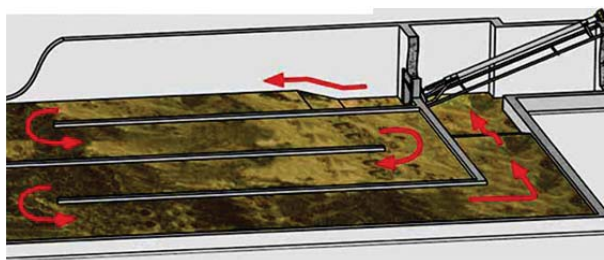


Рисунок 1. Слаломная система

В слаломной системе каналы расположены таким образом, что жидкий навоз циркулирует под щелевыми полами и удаляется самосплавом. Шахта перемешивания является самым глубоким местом системы, находится под стойлами или за границами животноводческого помещения и одновременно может выполнять функцию насосного приемка или шахты забора жидкого навоза.

Навоз крупного рогатого скота 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 средний слой (жидкая фракция) и верхний слой – поверхностная корка, которую составляют наименее плотные включения. Такое расслоение усложняет его транспортирование и истечение по гидравлическим каналам.

Для обеспечения постоянного перемещения с одновременным диспергированием (перемешиванием) осадка и жидкой фракции навоза применяется гомогенизатор (рис. 2).

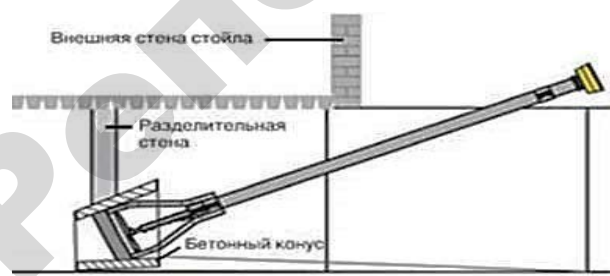


Рисунок 2. Гомогенизатор, установленный в канал слаломной системы

Наиболее эффективными с экономической точки зрения являются каналы прямоугольной формы, шириной 1,0-1,2 м и глубиной 0,6-1,2 м – для свиней, шириной 1,2-1,5 м и глубиной 0,8-1,4 м – для крупного рогатого скота. Большая ширина ограничивается пределом прочности решетчатого пола, перекрывающего канал, и временем накопления навоза до начала истечения [23-25].

Установлено, что при ширине каналов до 1 м загрязненность пола и кожного покрова животных повышается, увеличивается испарение влаги, из которой выделяются соединения азота, в результате чего ценность навоза как удобрения снижается. При ширине каналов более 1,5 м концентрация аммиака в помещении повышается до 22 мг/м³, то есть выше предельно допустимых концентраций [15, 26].

Основная часть

Как отмечалось ранее, при накоплении в каналах гидравлических систем жидкий навоз расслаивается: образуется осадок и жидкая фракция. Для интенсификации процесса перемещения осадка и жидкой фракции навоза по гидравлическим каналам слаломной системы (рис. 1) используют гомогенизатор определенной производительности (рис. 2).

При решении ряда технических задач, связанных с использованием жидкого навоза, необходимо знать закономерности его движения.

Предположим, что движущая сила гомогенизатора обеспечивает производительность Q , м³/ч.

Рассмотрим установившееся движение (рис. 3) двух вязких несжимающихся жидкостей в канале прямоугольной формы длиной L , м. Ось V прямоугольной системы координат направим вдоль канала, а ось x – вертикально вверх.

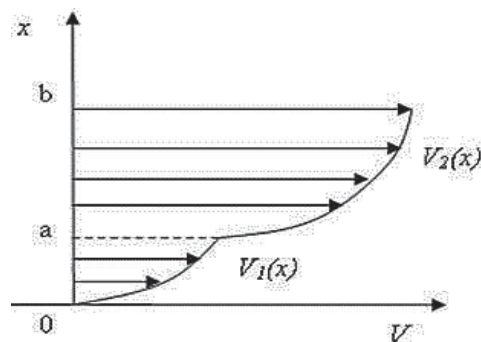


Рисунок 3. Схема течения двух несмешивающихся жидкостей

В источниках [27, 28] приводится описание того, как, исходя из уравнений Навье – Стокса и неразрывности потока, может быть получено дифференциальное уравнение для скорости стационарного плоского движения вязкой жидкости в канале, ограниченного плоскими параллельными стенками

$$-\mu \frac{dV(x)}{dx} = c_0 x + c_1, \quad (1)$$

где μ – динамическая вязкость, Н·с/м².

$$c_0 = \frac{\Delta P}{L}.$$

где ΔP – перепад давления по длине канала, Па.

Данным дифференциальным уравнением будем описывать движение каждого слоя жидкости.

Интегрируя (1), получим общее решение распределения по высоте канала скорости текучего осадка

$$V_1(x) = -\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 - \frac{c_1}{\mu_1}x + c_2 \quad (2)$$

и скорости верхнего слоя жидкости

$$V_2(x) = -\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 - \frac{c_1}{\mu_2}x + c_3, \quad (3)$$

где μ_1 – динамическая вязкость осадка, Н·с/м²;

μ_2 – динамическая вязкость верхнего слоя жидкости, Н·с/м².

Произвольные постоянные находим из граничных условий. Из условия прилипания по дну канала получим [28]:

$$x = 0, \quad V_1(0) = 0, \quad c_2 = 0.$$

На поверхности потока отсутствуют касательные напряжения сил трения, поэтому

$$\left. \frac{dV_2(x)}{dx} \right|_{x=b} = 0, \quad -\frac{c_0}{\mu_2}b - \frac{c_1}{\mu_2} = 0, \quad c_1 = -c_0b,$$

где b – высота слоя жидкой фракции, м.

Получаем частные решения для скорости каждого слоя жидкости:

$$V_1(x) = -\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_1}x; \quad (4)$$

$$V_2(x) = -\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_2}x + c_3. \quad (5)$$

Приравняв скорости на границе раздела жидкостей $V_1(a) = V_2(a)$, получим:

$$-\frac{c_0}{2\mu_1}a^2 + \frac{c_0b}{\mu_1}a = -\frac{c_0}{2\mu_2}a^2 + \frac{c_0b}{\mu_2}a + c_3;$$

$$c_3 = \frac{c_0a(2b-a)}{2\mu_1} - \frac{c_0a(2b-a)}{2\mu_2} = \frac{c_0a(2b-a)}{2} \left(\frac{1}{\mu_1} - \frac{1}{\mu_2} \right), \quad (6)$$

где a – высота слоя осадка, м.

Находим средние значения скоростей в канале единичной ширины:

$$\bar{V}_1 = \frac{1}{a} \int_0^a V_1(x) dx = \frac{1}{a} \int_0^a \left(-\frac{c_0}{2\mu_1}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_1}x \right) dx =$$

$$= \frac{1}{a} \left(-\frac{c_0x^3}{6\mu_1} + \frac{c_0bx^2}{2\mu_1} \right) \Big|_0^a =$$

$$= \frac{1}{a} \left(-\frac{c_0a^3}{6\mu_1} + \frac{c_0ba^2}{2\mu_1} \right) = \frac{c_0a(3b-a)}{6\mu_1}; \quad (7)$$

$$\bar{V}_2 = \frac{1}{b-a} \int_a^b V_2(x) dx =$$

$$= \frac{1}{b-a} \int_a^b \left(-\frac{c_0}{2\mu_2}x^2 + \frac{c_0b}{\mu_2}x + c_3 \right) dx =$$

$$= \frac{1}{b-a} \left(-\frac{c_0x^3}{6\mu_2} + \frac{c_0bx^2}{2\mu_2} + c_3x \right) \Big|_a^b =$$

$$= \frac{c_0(b-a)^2}{3\mu_2} + \frac{c_0a(2b-a)}{2\mu_1}. \quad (8)$$

Рассчитаем расход жидкости по поперечному сечению прямоугольного канала и приравняем его соответствующему расходу, обеспеченному заданной производительностью гомогенизатора:

$$\frac{\bar{V}_1 ah + \bar{V}_2 (b-a)h}{bh} = \frac{Q}{bh3600} \quad \text{или}$$

$$\frac{\bar{V}_1 a + \bar{V}_2 (b-a)}{b} = \frac{Q}{bh3600}, \quad (9)$$

где Q – производительность гомогенизатора, м³/ч;

h – ширина прямоугольного канала, м.

Из последнего уравнения определяем постоянную c_0 и получим математическую модель для скорости движения двух несмешивающихся жидкостей с учетом их вязкости и распределения по высоте канала.

Заключение

Полученные распределения скоростей текучего осадка и верхнего слоя жидкости в канале прямоугольной формы дают возможность рассчитать их средние скорости с учетом вязкости и распределения слоев по высоте, при некоторой заданной производительности гомогенизатора. Данная математическая модель позволит оценить время, необходимое для перемешивания, а также решать различные технические задачи, связанные с использованием жидкого навоза.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения; предисл. и пер. с нем. П.Я. Семенова. – М.: Колос, 1978. – 271 с.
2. Лукашевич, Н.М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета: учеб. пособие / Н.М. Лукашевич. – Мозырь: Белый Ветер, 2000. – 248 с.
3. Капустин, В.П. Совершенствование систем уборки и транспортировки бесподстилочного навоза / В.П. Капустин. – Тамбов: ТГТУ, 2001. – 122 с.
4. Васильев, В.А. Применение бесподстилочного навоза для удобрения / В.А. Васильев, М.М. Швецов. – М.: Колос, 1983. – 174 с.
5. Капустин, В.П. Уборка навоза в автоматизированном свиноматнике-откормочнике / В.П. Капустин, Е.С. Дудышев, В.А. Саяпин // Техника в сельском хозяйстве, 1975. – №5. – С. 42-44.
6. Зуев, В.А. Самотечное перемещение экскрементов в канале / В.А. Зуев, М.С. Текучева // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1971. – №7. – С. 26-29.
7. Назаров, С.И. Расчет параметров и режимов работы самотечной системы уборки навоза / С.И. Назаров, С.П. Захаревич // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981. – № 5. – С. 19-22.
8. Письменов, В.Н. Эксплуатационные показатели шиберных систем уборки навоза на молочных фермах / В.Н. Письменов, П.Н. Фоманюк, Г.В. Рулевский // Научн.-техн. Бюллетень ЦНИПТИМЭЖ. – Запорожье, 1978. – Вып. 17. – С. 96-105.
9. Общесоюзные нормы технологического проектирования систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения, подготовки и использования навоза и помета: ОНТП 17-81. – М.: Колос, 1983. – 22 с.
10. Вороневский, С.И. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР: обзор / С.И. Вороневский, А.Т. Перекрестов, Л.С. Полонский. – Кишинев: МолдНИИТИ, 1974. – 62 с.
11. Линник, Н.К. Совершенствование технологий и технических средств использования органических удобрений / Н.К. Линник // Техника в сельском хозяйстве, 1990. – №5. – С. 51-53.
12. Буряк, Ю.И. Системы удаления и хранения бесподстилочного навоза: обзорн. информация / Ю.И. Буряк, В.П. Рязанцев. – М.: ВНИИТЭИагропром, 1986. – 48 с.
13. Обоснование, исследование и совершенствование оптимальных способов и технических средств для уборки, обработки и транспортировки навоза на молочных (КРС) и свиноводческих промышленных комплексах, применительно к зоне ЦЧО: отчет о НИР (заключительный) / Тамбовский филиал ВИЭСХ; рук. темы В.П. Капустин. – Тамбов, 1980. – 125 с. – № ГР.7707912.
14. Капустин, В.П. Применение самотечных систем уборки навоза на молочных комплексах Тамбовской области / В.П. Капустин, В.А. Саяпин // Удаление, транспортировка, переработка, обеззараживание и использование жидкого навоза на животноводческих комплексах: тез. докл., Волгоград, 24-27 февраля 1976 г. / Волгоград, 1976. – С. 8-9.
15. Ковалев, Н.Г. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих фермах / Н.Г. Ковалев, И.К. Глазков, И.Н. Матяш. – М.: Россельхозиздат, 1981. – 63 с.
16. Яли, И.И. Удаление навоза самотеком / И.И. Яли // Молочное и мясное скотоводство, 1978. – №1. – С. 46-48.
17. Андреев, В.А. Использование навоза свиней на удобрение / В.А. Андреев, М.Н. Новиков, С.М. Лукин. – М.: Росагропромиздат, 1990. – 94 с.
18. Текучева, М.С. Исследование самотечной системы непрерывного удаления навоза из коровников: автореф... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / М.С. Текучева; Всесоюз. науч.-исслед. институт механизации сельского хоз-ва.– М., 1973. – 23 с.
19. Методические рекомендации по профилактике гельминтозов сельскохозяйственных животных и птиц в крупных специализированных хозяйствах и комплексах промышленного типа. – М., 1975. – 33 с.
20. Вейнла, В.Д. Сравнительная оценка систем удаления навоза / В.Д. Вейнла, А.О. Сейлер, А.А. Вольмар // Механизация и электрификация сельского хозяйства, 1981. – №5. – С. 17-19.
21. Капустин, В.П. Гидрозатворы для систем уборки навоза / В.П. Капустин, В.А. Саяпин, А.В. Колесников // Техника в сельском хозяйстве, 1978. – № 3. – С. 36-38.
22. Ото, Ф.К. Оборудование и методы чистки коровников и свиноматок / Ф.К. Ото // Европейская экономическая комиссия. – Нью Йорк: ООН, 1971. – 21 с.
23. Письменов, В.Н. Уборка, транспортировка и использование навоза / В.Н. Письменов. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 200 с.
24. Методические рекомендации по проектированию систем удаления, обработки, обеззараживания, хранения и утилизации навоза и помета. – М.: Колос, 1983. – 61 с.
25. Залыгин, А.Г. Механизация реконструируемых свиноводческих комплексов / А.Г. Залыгин. – М.: Агропромиздат, 1990. – 255 с.
26. Проектирование и эксплуатация систем удаления, переработки и использования навоза ферм и комплексов КРС: рекомендации. – М.: Россельхозиздат, 1979. – 63 с.
27. Шлихтинг, Г. Теория пограничного слоя / Г. Шлихтин. – М.: Наука, 1969. – 742 с.
28. Берд, Р. Явления переноса / Р. Берд, В. Стюарт, Е. Лайтфут. – М.: Химия, 1974. – 688 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 09.02.2017