

УДК 631.22.018

РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И ДРУГИЕ СВОЙСТВА ЖИДКОГО НАВОЗА ПРИ ЕГО НАКОПЛЕНИИ, ХРАНЕНИИ И УДАЛЕНИИ ИЗ КАНАЛОВ ГИДРАВЛИЧЕСКИХ СИСТЕМ

И.И. Скорб,

ст. преподаватель каф. технологий и механизации животноводства БГАТУ

А.М. Волк,

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

Рассмотрены реологические характеристики и другие свойства жидкого навоза при его накоплении, хранении и удалении из каналов гидравлических систем.

Ключевые слова: накопление, хранение, жидкость, осаждение, осадок, вязкость, дисперсная фаза.

Rheological characteristics and other properties of liquid manure when accumulating, storing and removing it from the channels of hydraulic systems are considered.

Keywords: accumulation, storage, liquid, precipitation, sediment, viscosity, dispersed phase.

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 бесподстильного навоза.

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, а удельные капиталовложения на одно скотоместо ниже на 30...40 % по сравнению с механическими способами.

С началом применения гидравлических способов уборки навоза связаны исследования реологических и физико-механических свойств жидкого бесподстильного навоза.

Основная часть

Основными факторами, определяющими процессы накопления и истечения навоза из каналов и их параметры, а также параметры и режимы оптимального функционирования гидротранспорта, являются: предельное напряжение сдвига и динамическая вязкость [1].

Главными параметрами самотечного канала являются: длина, ширина и глубина. Длину и ширину канала задают преимущественно конструктивно. В большинстве случаев она не превышает 50 м. Ширину каналов принимают преимущественно 0,8...1,2 м для свиарников и 0,8...1,5 м для коровников, глубину – 0,7...1,3 м. Минимальная глубина продольного канала самотечной системы периодического действия

для крупного рогатого скота и свиней, которых содержат в групповых станках, составляет 0,8 м [2].

В канале, не перекрытом порошком или шиберной заслонкой, навозная масса накапливается до такой высоты, при которой статическое давление не превышает силу сопротивления массы, процесс истечения ее начинается при значительном увеличении высоты слоя, т.е. при переходе потенциальной энергии в кинетическую [1].

Ученый В.В. Гордеев вывел уравнение высоты слоя навоза h_c , находящегося в равновесном состоянии [3]:

$$h_c = \sqrt{\frac{LB\tau_0}{(k_1 B \rho g - 2k_2 \tau_0)}}, \quad (1)$$

где L – длина канала, м;

B – ширина канала, м;

k_1 – коэффициент гидростатического давления ($k_1=0,333$);

k_2 – относительная длина канала, ($k_2=L/B$);

ρ – плотность навоза, кг/м^3 .

В полученном уравнении произведение $k_1 B \rho g$ определяет удельную гидростатическую силу движения, $2k_2 \tau_0$ – силу сопротивления сдвигу навоза в вертикальных плоскостях, $LB\tau_0$ – силу сопротивления движению навоза в горизонтальной плоскости. Уравнение описывает статическое состояние навоза в канале до начала движения (непрерывный режим) или после окончания (периодический режим). Для определения начала движения навоза по каналу определена [3] толщина приращения слоя навоза Δh , которая составила 0,02-0,05 м. Высота слоя в начале канала определяется по формуле:

$$h = h_c + \Delta h. \quad (2)$$

Знание высоты слоя в начале канала, определяемой по этому выражению, обеспечивает стабильное удаление навоза из навозоприемного канала. Глубину канала с горизонтальным и наклонным дном соответственно можно определить по формулам:

$$H_G = h_c + \Delta h + h_{зан}; \quad (3)$$

$$H_H = h_c + \Delta h + Li + h_{зан}, \quad (4)$$

где $h_{зан}$ – расстояние между решетчатым полом и максимальным уровнем навоза (0,25-0,3 м);

i – уклон дна канала ($i = 0,005 \dots 0,02$).

Ширину самотечного канала B можно рассчитать из условия [2]:

$$B \geq L_{жс} - (A + D), \quad (5)$$

где $L_{жс}$ – длина животного, м;

A – ширина цельной бетонной полосы между кормушкой и каналом удаления навоза, м (для свиней 0,2-0,3 м);

D – ширина той части кормушки, которую занимает голова животного во время поедания корма, м (ее можно принять равной 2/3 всей ширины кормушки).

Подача самотечного канала $Q_{ск}$ определяется:

$$Q_{ск} = 3600 F_c \vartheta, \quad (6)$$

где $F=0,8F$; F – площадь поперечного сечения канала, m^2 ;

ϑ – скорость движения навоза в канале, м/с.

При самотечном способе уборки навоза периодического действия высота гидрозатвора (шиберной заслонки) определяется глубиной канала [3], т.е.

$$H_0 \leq H_{зат} \leq H_k,$$

где $H_{зат}$ – высота гидрозатвора (шиберной заслонки), м.

H_k – высота канала, м.

За показатель эффективности работы самотечной системы принимают коэффициент надежности функционирования каналов η_k , представляющий собой отношение объема навоза $V_{ост}$, оставшегося в канале после истечения, к объему навоза, попавшего в канал за период эксплуатации $V_{полн}$, т.е. со дня постановки животных до их вывода или очистки канала.

Если принять, что $V_{ост} = H_s LB$ и $V_{полн} = H_0 LB$,

то $\eta_k = 1 - V_{ост} / V_{полн}$ или $\eta_k = 1 - H_s / H_0$,

где H_s – высота слоя навозной массы, оставшейся в канале, м

$$H_s = (\tau_{ост} L + \sqrt{\tau_{ост}^2 L^2 + 2\tau_{ост} L \rho g B^2 / \rho g B}), \quad (7)$$

где $\tau_{ост}$ – предельное напряжение сдвига,

$$\tau_{ост} \approx (0,3 \dots 0,35) \tau_{max}.$$

Движение навозной массы в канале прекратится при достижении предельного напряжения сдвига равновесного значения $\tau_{ост}$ [4].

При решении ряда технических задач, связанных с использованием жидкого навоза, необходимо знать закономерности его движения [5].

К жидкому навозу с достаточной степенью приближения может быть применена теория Бингама. Согласно этой теории, пластичные тела могут характеризоваться двумя константами – предельным напряжением сдвига τ_0 и коэффициентом динамической вязкости η .

Реологические параметры τ_0 и η жидкого навоза определяются двумя методами: вискозиметрии и по анализу потерь напора в трубах (опытных установках).

Жидкий навоз обладает аномалией вязкости, а именно: η зависит от скорости вращения ротора (рис. 1) [5].

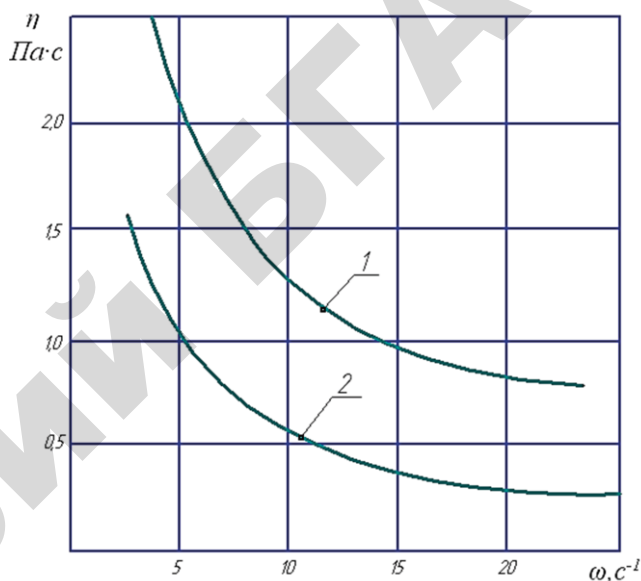


Рис. 1. Зависимость коэффициента динамической вязкости от угловой скорости ротора вискозиметра: 1 – навоз крупного рогатого скота ($C=14\%$, $t=4^\circ C$); 2 – навоз свиной ($C=5,5\%$, $t=0^\circ C$)

Анализ данных источника [5] показывает, что изменение концентрации сухого вещества C влияет на вязкость и предельное напряжение сдвига жидкого навоза. Вязкость навоза крупного рогатого скота увеличивается в среднем в 24,1 раза с возрастанием C от 5 до 16 %, а свиного навоза – в 5,9 раза. Предельное напряжение сдвига при этом изменяется в 67,2 раза для навоза крупного рогатого скота и в 38,7 раза для свиного навоза. С увеличением температуры жидкого навоза происходит снижение как τ_0 , так и η . Изменение температуры от 0° до 20° вызывает уменьшение τ_0 в среднем в 2 раза для навоза крупного рогатого скота и в 2,5 раза для свиного навоза, η при этом уменьшается в 2,4 раза и в 2 раза соответственно. Вязкость свиного навоза и навоза крупного рогатого скота при содержании сухого вещества до 8 % примерно одинакова. Однако при дальнейшем увеличении содержания сухого вещества у навоза КРС происходит интенсивное возрастание η , в то время как для свиного растет медленно. Предельное напряже-

ние сдвига свиного навоза во всех случаях ниже, чем у навоза КРС. Такое поведение τ_0 и η во многом объясняется разным гранулометрическим составом навоза КРС и свиней. Решающее влияние на реологические параметры имеют частицы, размером меньше 0,1 см. У навоза крупного рогатого скота их содержание доходит до 20 %, у свиного – не более 10 % частиц. При детальном анализе жидкого навоза в его составе обнаруживается также большое количество частиц коллоидной и молекулярной дисперсии. Характерным для жидкого навоза является то, что твердые и мелкие частицы имеют, так называемые, водные (сольватные) оболочки. Водные оболочки как бы прорастают друг в друга, в результате чего образуется структура, в которой твердые частицы оказываются связанными друг с другом дисперсионной жидкой фазой, содержащей растворимые соли, сырой жир, белковые вещества, придающие навозу свойства клейковидной многофазной дисперсной системы органического происхождения. Чем выше консистенция навоза и чем мельче частицы, тем прочнее структурные связи.

Динамическая вязкость η дисперсной фазы зависит от температуры (рис. 2) [5].

Из графика видно, что дисперсная фаза навоза КРС имеет значительно (в среднем в 2 раза) большую динамическую вязкость. Уменьшение вязкости и предельного напряжения жидкого навоза с увеличением температуры объясняется увеличением в нем газовых включений в связи с повышением брожения. Газовые оболочки между частицами жидкого навоза резко снижают и τ_0 и η .

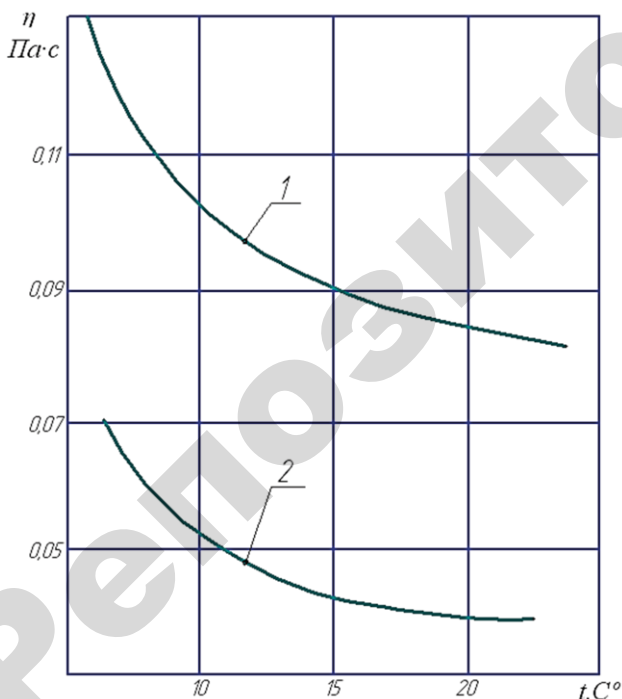


Рис. 2. Зависимость динамической вязкости от температуры дисперсной фазы:
1 – навоз крупного рогатого скота; 2 – свиной навоз

С увеличением влажности жидкого навоза значение η приближается к вязкости воды при данной температуре, то есть кривая $\eta = f(C)$ стремится к оси абсцисс. Предельное напряжение сдвига жидкого навоза в смеси с водой начинает проявляться только при некоторой концентрации в ней сухого вещества ($C=3-4$ %).

Жидкий навоз довольно медленно отдает свободную воду. Увеличение количества воды, добавляемой в процессе уборки навоза, приводит к более интенсивному расслоению массы, а наличие остатков кормов в навозе замедляет процессы осаждения, и тем более, чем выше их содержание.

В результате многочисленных исследований, установлено, что влажность бесподстильного навоза крупного рогатого скота и свиней зависит от вида, возраста и пола животных, способов их содержания, кормления и составляет 70...91,5 % [6-13] и 82-91 % [8, 9, 14-20] соответственно.

Некоторые авторы утверждают, что влажность свиного навоза не зависит от рациона [14, 15].

Плотность жидкого навоза при различных типах содержания и кормления КРС и изменении влажности от 84 до 94 % составила 993...1300 $\text{кг}/\text{м}^3$, сухого вещества – 1250...1350 $\text{кг}/\text{м}^3$. Плотность навоза КРС меньше плотности свиного навоза [9, 21-28].

Многочисленными исследованиями установлено, что плотность свиного навоза изменяется в зависимости от влажности в пределах 1013...1400 $\text{кг}/\text{м}^3$, а плотность сухого вещества навоза составляет 1800 $\text{кг}/\text{м}^3$ и 1208...1320 $\text{кг}/\text{м}^3$ [8, 10, 14, 15, 18-20, 26, 29].

Исследованиями многих ученых установлено, что гранулометрический состав свиного навоза зависит от рациона кормления и места приготовления корма [6, 11, 19, 25, 27, 30, 31].

Исследования гранулометрического состава показали, что в свином навозе, при концентратном типе кормления, частиц размером 0,5 мм и меньше содержится более 50 %, в навозе КРС частиц размером до 0,5 мм – около 50 %, частиц размером от 3 до 10 мм – около 30 % [4].

По данным Н.М. Марченко и других авторов, средневзвешенная длина включений в навозе КРС составляет 2,2 мм, частиц длиной более 10 мм – не более 0,8 % [32].

С.Д. Дурдыбаевым установлено, что в навозе КРС содержится более 55 % частиц размером до 0,25 мм, в свином навозе – около 58 % частиц размером 0,25...1,0 мм [33].

Во время хранения жидкого навоза происходят сложные биофизико-химические процессы, вызывающие изменения состава его по глубине. Интенсивность этих процессов зависит от вида навоза, его состояния, условий хранения, погодных условий и т.д.

Жидкий навоз при хранении подвержен расслаиванию (разделению), которое обусловлено разной плотностью жидкой и твердой фракций. Так, исследованиями В.И. Якубаускаса установлено, что жидкий бесподстильный навоз во время длительного

хранения расслаивается на верхний слой влажностью 73...78 %, высотой до 0,7 м, средний слой влажностью 92...96,5 % – до 1 м и нижний слой – осадок влажностью 87...88,9 % до 0,5 м [8].

Навоз крупного рогатого скота имеет меньший удельный вес, содержит больше (примерно в пять раз) коллоидов, чем свиной, поэтому расслаивается медленнее.

Верхний слой представляет собой рыхлую массу из подстилки, остатков корма и волокнистой части твердых выделений животных. Нижний слой включает остатки корма, песок, ил, образуемый тяжелыми частицами твердых выделений животных. Замечено, что свиной навоз склонен образовывать очень плотный осадочный слой (рис. 3). Между верхним и нижним слоями находится более однородный средний слой, почти не содержащий твердых и волокнистых включений [5].

Наиболее интенсивно процесс разделения протекает в первые 10 дней хранения (рис. 4) [5].

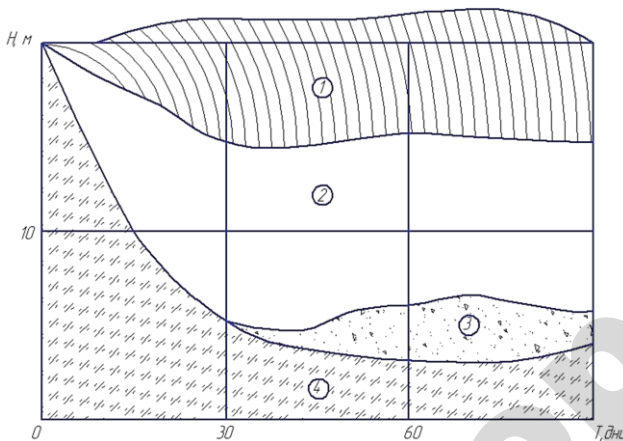


Рис. 3. Характер расслоения жидкого свиного навоза по глубине H в зависимости от продолжительности хранения: 1 - густой слой; 2 - жидкая часть навоза; 3 - полужидкий слой; 4 - полугустой слой

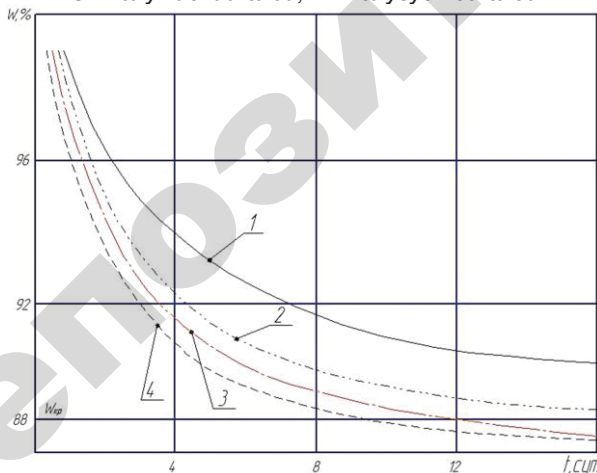


Рис. 4. Изменение влажности навоза крупного рогатого скота по глубине залегания в хранилище при различных сроках хранения: 1 - 0-25 см; 2 - 50 см; 3 - 100 см; 4 - 170 см

У свиного навоза осадок имеет плотность 1120...1180 кг/м³, а у навоза крупного рогатого скота – 1050...1090 кг/м³. По данным источника [5], влажность осадка навоза крупного рогатого скота составляет 83-86 %, свиного навоза – 78-84 %, влажность среднего слоя – 94-98 %.

С увеличением срока хранения по мере разложения навоза происходит некоторое изменение в толщине слоя. Нижний и верхний слои несколько уменьшаются, а средний увеличивается. Наиболее быстро процесс протекает в более жидком навозе. У такого навоза имеются более резкие переходные зоны между слоями.

По агротехническим требованиям разность влажности жидкого навоза при вывозке по высоте резервуара не должна превышать 2-3 %. Установлено, что после 2...3 часов разница влажности между слоями превышает норму агротехнических требований. Следовательно, в период хранения и использования жидкий навоз необходимо гомогенизировать через определенные промежутки времени.

Осаждение твердых частиц в свином навозе начинается при влажности выше 88 % [15]. Наибольшая скорость осаждения происходит по одним источникам в первые 15...20 минут, по другим – в течение 2...3 часов и заканчивается через 3...6 суток [27].

Наиболее интенсивно свиной навоз расслаивается при влажности 90 % и выше, а навоз крупного рогатого скота – при влажности более 91 % [5].

При исследовании физико-механических свойств свиного навоза получены уравнения для определения количества частиц, выпавших в единицу времени и осадок [34]:

$$G_0 V = 0,84(100 - W), \quad (8)$$

где G_0 – масса взвешенных частиц в единице объема, г/см³;

V – объем, м³;

W – влажность исходного навоза, %.

При разделении жидкого навоза в цилиндрических отстойниках Н.М. Лукашевич [2] использовал понятие эффект осветления суспензии \mathcal{E} , который показывает на сколько снизилось содержание взвешенных (твердых) веществ в жидкой фракции G_B , и высчитывается в % к содержанию их в выходной массе G_r :

$$\mathcal{E} = \frac{G_r - G_B}{G_r} 100. \quad (9)$$

Чем выше величина эффекта осветления, тем меньше в жидком навозе взвешенных веществ.

На скорость осаждения частиц влияют их размеры, влажность и температура [35, 36, 37].

Интенсивное осаждение частиц происходит в течение часа и заканчивается через 4 часа (рис. 5) [35, 36]. С повышением влажности, температуры и увеличением размеров частиц скорость осаждения повышается [37]. В зависимости от размеров частиц скорость их осаждения составляет $(1,5...5,2)10^{-2}$ м/с [35, 37].

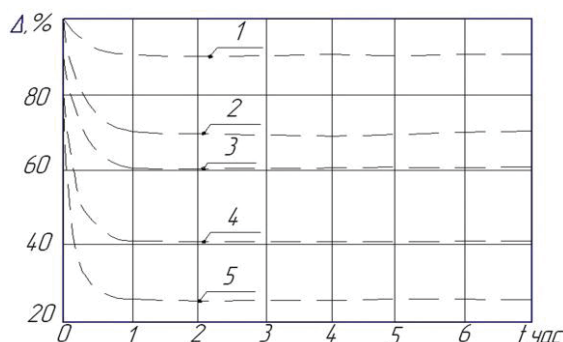


Рис. 5. График осаждения твердой фракции свиного навоза при различной влажности: 1 - при $W=90\%$; 2 - при $W=92\%$; 3 - $W=94\%$; 4 - $W=96\%$; 5 - $W=98\%$

Рассмотрим процесс осаждения твердой частицы навоза после перемешивания в канале гидравлической системы периодического действия под воздействием силы тяжести, которая является движущей силой процесса осаждения. Принимаем, что частицы имеют сферическую форму диаметра d , плотность ρ_T , объем V_T и массу m . Скорость частицы $\vec{\vartheta}$ по направлению совпадает с силой тяжести \vec{G} . При движении частицы на нее действует выталкивающая сила Архимеда \vec{F}_A и сила сопротивления среды (сила Стокса) \vec{F}_C .

Напишем в декартовой системе координат уравнения движения твердой частицы в жидкости под воздействием силы тяжести [38]

$$m \frac{d\vec{\vartheta}}{dt} = \sum \vec{F}_i = \vec{G} + \vec{F}_C + \vec{F}_A. \quad (10)$$

Спроецировав на ось y (рис. 6), получим:

$$m \frac{d\vartheta_y}{dt} = G - F_C - F_A. \quad (11)$$

Рассмотрим силы, входящие в уравнение движения (11).

Сила тяжести:

$$G = mg = \frac{\pi d^3}{6} \rho_T g, \quad (12)$$

где d – диаметр частицы, м;

ρ_T – плотность частицы, кг/м^3 ;

m – масса частицы, кг.

Сила Архимеда:

$$F_A = \rho_{ж} V_T g = \frac{\pi d^3}{6} \rho_{ж} g, \quad (13)$$

где V_T – объем частицы, м^3 .

Сила гидродинамического сопротивления среды, отнесенная к поперечному сечению, сила Стокса:

$$F_C = \varphi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho_{ж}, \quad (14)$$

где φ – коэффициент гидравлического сопротивления среды.

При условии постоянства скорости осаждения уравнение (11) примет вид:

$$G - F_C - F_A = 0.$$

Подставляя выражения для действующих сил, получим:

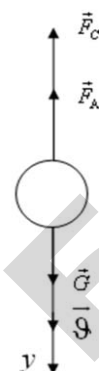


Рис. 6. Схема сил, действующих на частицу

$$\varphi \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{\vartheta^2}{2} \rho_{ж} = \frac{\pi d^3}{6} \rho_T g - \frac{\pi d^3}{6} \rho_{ж} g. \quad (15)$$

Отсюда получаем скорость осаждения:

$$\vartheta = \sqrt{\frac{4d(\rho_T - \rho_{ж})g}{3\varphi\rho_{ж}}}. \quad (16)$$

Коэффициент сопротивления φ зависит от числа Рейнольдса:

$$Re = \frac{\vartheta \rho_{ж}}{\mu}.$$

Выполненные расчеты показывают, что режим является переходным ($2 < Re < 500$). В данном случае коэффициент сопротивления будет:

$$\varphi = \frac{18,5}{Re^{0,5}}.$$

Время осаждения:

$$t = b / \vartheta, \quad (17)$$

где b – высота слоя жидкого навоза

Рассчитаем скорость и время осаждения твердых частиц различного диаметра. Плотность твердой частицы принимаем равной 1120 кг/м^3 , а динамическую вязкость жидкости – $0,0001 \text{ Н·с/м}^2$. Результаты вычислений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Скорость и время осаждения частиц различного диаметра

d, мм	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5
ϑ , м/с	0,01	0,02	0,03	0,041	0,051	0,061	0,071	0,081	0,091	0,102
Re	5,6	22,4	50,4	91,8	142,8	208,4	282,2	362,9	458,6	572,2
t, с	100	50	33,3	24,6	19,7	16,34	14,0	12,32	10,9	9,8

Заключение

Знание реологических характеристик и других свойств жидкого навоза при его накоплении и хранении в каналах гидравлических систем позволяет выбирать соответствующие технические средства для осуществления транспортировки, хранения и переработки, способствуя оптимальному функционированию систем и получению навоза хорошего качества. В статье определена скорость осаждения частиц различного диаметра в жидком навозе и время осаждения, знание которых позволяет оптимизировать функционирование гидравлических систем уборки навоза при решении технических задач, связанных с удалением жидкого навоза из гидравлических каналов таких систем.

**СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ
ЛИТЕРАТУРЫ**

1. Сарычев, П. П. Исследование процесса обезживания жидкого навоза / П.П. Сарычев, В.П. Капустин // Науч.-техн. бюллетень по электрификации сельского хозяйства. – М.: ВИЭСХ. – 1977. – Вып. 1 (31). – С. 33 -38.
2. Лукашевич, Н.М. Механизация уборки, переработки и хранения навоза и помета: учеб. пос. / Н.М. Лукашевич. – Мозырь: Белый Ветер, 2000. – 248 с.
3. Гордеев, В.В. Параметры и режимы работы универсальной самотечной системы удаления навоза из свиарников: автореф. дис. канд. техн. наук: В.В. Гордеев. – Л: Пушкин, 1989. – 18 с.
4. Капустин, В.П. Совершенствование систем уборки и транспортировки бесподстильного навоза / В.П. Капустин. – Тамбов: ТГТУ, 2001. – 122 с.
5. Назаров, С.И. Механизация и внесение органических удобрений: учеб. пос. для с.-х. вузов по специальности «Механизация животноводства» / С.И. Назаров, В.А. Шаршунов. – Мн.: Ураджай, 1993. – 296 с.
6. Лер, Р. Переработка и использование сельскохозяйственных отходов: пер. с англ.; под ред. А.Н. Шамко. – М.: Колос, 1979. – 415 с.
7. Семенов, М.Я. Бесподстильный навоз и его использование для удобрения / М. Я. Семенов. – М.: Колос, 1978. – 271 с.
8. Якубаускас, В. И. Технологические основы механизированного внесения удобрений / В.И. Якубаускас. – М.: Колос, 1973. – 231 с.
9. Берглунд С., Анианссон Г., Экесбу И. Транспортировка жидкого навоза: пер. со швед.; под ред. И. Ф. Ромашкевича. М.: Колос, 1962. – 183 с.
10. Бакулов. Обеззараживание навозных стоков в условиях промышленного животноводства / И.А. Бакулов, В.А. Кокурин, В.М. Котляров. – М.: Росагропромиздат, 1988. – 126 с.
11. Вороневский, С. И. Механизация удаления и утилизации навоза на животноводческих фермах Молдавской ССР / С.И. Вороневский, А.Т. Перекрестов, Л.С. Полонский. – Кишинев: МолдПИИИТИ, 1974. – 62 с.
12. Сизов, В. Д. О критерии подобия при движении навозной массы в самотечной системе / В.Д. Сизов, Е.Е. Хазанов // Науч. тр. НИПТИМЭСХС., 1970. – Вып. 6. – С. 141 -143.
13. Марченко, Н.М. Технологические и научно-технические решения проблемы рационального применения органических удобрений в условиях интенсивного земледелия: автореф. дис. д-ра техн. наук: 05.20.01 / Н.М. Марченко. – М., 1991. – с.
14. Голушко, А. С. Исследование линейных и местных сопротивлений в навозопроводах на свиноводческих фермах: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.С. Голушко – М., 1969. – 31 с.
15. Николаенков, А.И. Исследование и обоснование перспективной системы удаления навоза на свиноводческих фермах и комплексах в условиях БССР: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / А.И. Николаенков. – Минск, 1977. – 20 с.
16. Личман, Г. И. Исследование процесса движения навоза по напорным трубопроводам с целью обоснования их параметров и режимов транспортирования: автореф. ... дис. канд. техн. наук: 05.20.01 / Г.И. Личман. – М., 1975. – 27 с.
17. Максимовский, Н. С. Методы очистки сточных вод свиноферм / Н.С. Максимовский // Опыт проектирования, строительства и эксплуатации систем удаления, переработки и утилизации навоза на животноводческих комплексах: тезисы доклада к Всесоюз. совещанию-семинару, Москва, 13-17 мая 1973 г. – М., 1973. – С. 20-21.
18. Чиненова О. Д. Исследование и обоснование оптимальных параметров системы непрерывного удаления навоза из свиарников: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.20.01. – М., 1979. – 18 с.
19. Бацанов, И. Н. Уборка и утилизация навоза на свиноводческих комплексах / И.Н. Бацанов, И.И. Лукьяненко. – М.: Россельхозиздат, 1977. – 160 с.
20. Рекомендации по устройству и эксплуатации самотечной и смывной систем удаления навоза на свиарниках / И.И. Лукьяненко [и др.] М.: Россельхозиздат, 1973. – 48 с.
21. Яли, И. И. Исследование коэффициента трения навоза / И.И. Яли // Вопросы механизации и электрификации: Киев: УНИИМЭСХ. – 1962. – Т. – 4. – С. 18-23.
22. Письменов, В. Н. Уборка, транспортировка и использование навоза / В.Н. Письменов. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 200 с.
23. Утилизация навоза на фермах промышленного типа / И.И. Кузьменко [и др.]. – Киев: Урожай. – 104 с.
24. Физико-механические свойства жидкого бесподстильного навоза / В.М. Верховский [и др.] // Научные основы механизации внесения органических удобрений. – М., 1974. – С. 50-54.
25. Мельников, С. В. Гидравлический транспорт в животноводстве / С.В. Мельников, В.В. Калюга, Ю.К. Сафронов. – М.: Россельхозиздат, 1976. – 187 с.

26. Ковалев Н. Г., Глазков И. К. Проектирование систем утилизации навоза на комплексах. М.: Агропромиздат, 1989. – 160 с.

27. Лукьяненко, И. И. Перспективные системы утилизации навоза (в хозяйствах Нечерноземья) / И.И. Лукьяненко. – М.: Россельхозиздат, 1985. – 176 с.

28. Рекомендации по проектированию и эксплуатации гидравлических систем уборки навоза на фермах КРС / И.И. Лукьяненко [и др.]. – М.: Россельхозиздат, 1975. – 27 с.

29. Мелер, Х. Постройки и оборудование для содержания КРС: пер. с нем.; под ред. В. С. Алимова. – М.: Колос, 1974. – 560 с.

30. 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.

31. Линник, Н.К. Исследование свойств фракций жидкого навоза / Н.К. Липник, И.М. Шкодкин, Н.Г. Ковалев // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 1986. – № 12. – С. – 32-33.

32. Марченко, Н.М. Механизация внесения органических удобрений / Н.М. Марченко, Г.И. Личман, А.Е. Шебалин. – М.: Агропромиздат, 1980. – 207 с.

33. Дурдыбаев, С.Д. Утилизация отходов животноводства и птицеводства: обзор / С.Д. Дурдыбаев,

В.С. Данилкина, В.П. Рязанцев. – М.: Агропромиздат, 1989. – 56 с.

34. Марченко, П.М. Основные вопросы теории расчета движения жидкого навоза / П.М. Марченко, Г.И. Личман // Научные основы механизации внесения и приготовления удобрений. М.: Колос. – 1974. – С. 17-49.

35. 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; руководитель темы В.П. Капустин. – Тамбов, 1976. – 152 с. – № ГР 7707740.

36. Капустин, В. П., Саяпин В. А, Дудышев Е. С. Исследование расслаивания и скорости осаждения свиного навоза / В.П. Капустин, В.А. Саяпин, Е.С. Дудышев // Механизация и автоматизация животноводческих ферм: крат. тез. докл. конф. Тамбов, 1974. – Ч. 2. – С. 98-100.

37. Рекомендации по расчету и применению поточных технологических линий уборки, обработки и транспортировки жидкого навоза на животноводческих комплексах / В.П. Капустин [и др.]. – Тамбов, 1980. – 64 с.

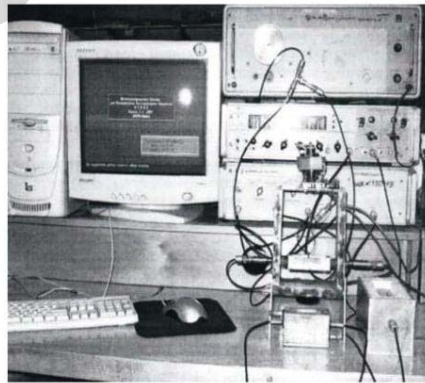
38. Соу, С. Гидродинамика многофазных систем / С. Соу. – М.: Мир, 1971. – 536 с.

ПОСТУПИЛА В РЕДАКЦИЮ 22.05.2017

Информационная измерительная система для измерений физических, геометрических, структурных характеристик материалов

Предназначена для исследования и тестирования состояния материалов и сред на основе анализа закономерностей параметрического воздействия изменяющихся во времени характеристик на частотно-фазовые соотношения зондирующих акустических и электрических колебаний.

Измерительная система успешно применена для изучения свойств и состояния магнитных и немагнитных металлов, полимерных композитов, включая кинетику их перехода к твердому состоянию.



Основные технические данные

Измеряемая величина	Диапазон измерения	Погрешность
Электрическая емкость	20... 1000 пФ	$3 \cdot 10^{-2}$ пФ
Индуктивность	10... 1000 мкГн	$3 \cdot 10^{-2}$ мкГн
Удельная электрическая проводимость	$10^2 \dots 5 \cdot 10^4$ См/м	10^{-3} См/м
Диэлектрическая проницаемость	1...20	10^{-3}
Избыточная температура	100...500 К	10^{-3} К
Относительные изменения скорости ультразвука	300...6000 м/с	10^{-3}
Малые перемещения	0...1 мм	1 мкм