

2. Козлов, С. И. Структурный анализ автоматизированных систем управления сельскохозяйственной техники / С. И. Козлов, С.А. Бортник // Конструирование, использование и надежность машин сельскохозяйственного назначения. – Брянск.: Издательство Брянского ГАУ, 2019. – С. 276–281.

3. Проектирование систем автоматизации технологических процессов / А. С. Клюев [и др.]. – Москва: Энергоатомиздат, 1990.

4. Автоматизация сельскохозяйственного производства / В. В. Концур [и др.]. – Киев: Урожай, 1988.

5. Радченко, Г. Е. Автоматизация сельскохозяйственной техники / Г. Е. Радченко. – Минск: Технопринт, 2005.

Аннотация. Упрощенный структурный анализ является наиболее простым, но весьма эффективным методическим приемом при изучении систем автоматизации современной техники. Он обеспечивает первоначальное и упрощенное представление о структуре систем автоматизации и позволяет иметь хотя и общее, но необходимое и полезное представление о ее сущности.

Ключевые слова: автоматизация, структурный анализ, структурная схема, структурные элементы.

УДК 532.135:631.22.018

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА СКРЕПЕРНОГО НАВОЗООБОРОЧНОГО ОБОРУДОВАНИЯ В ПРОХОДАХ С ПОДПОЛЬНЫМ КАНАЛОМ

Ю. А. КРУПЕНИН, ст. преподаватель

П. Ю. КРУПЕНИН, канд. техн. наук, доцент

УО «Белорусская государственная сельскохозяйственная академия»,
Горки, Республика Беларусь

Введение. При анализе бесподстильного метода содержания КРС можно отметить, что отказ от соломенной подстилки ухудшает условия содержания животных, негативно влияет на их здоровье и, в частности, на состояние копыт. Статистически до 27 % потерь продукции из-за нарушения здоровья животных в молочном скотоводстве приходится именно на болезни конечностей [1].

В вышеприведенном контексте особую важность приобретает своевременная и качественная очистка навозных и кормонавозных проходов в коровнике от экскрементов. Наиболее перспективным типом скреперного оборудования для уборки навоза являются скреперы,

предназначенные для работы в проходах с подпольным каналом. Поскольку такой тип оборудования является относительно новым, то в научно-методической литературе отсутствует методика обоснования его конструктивных и технологических параметров, что усложняет работу по проектированию подобных технических систем.

Основная часть. Для процесса движения полужидкого навоза с достаточной степенью приближения может быть применена реологическая модель Шведова – Бингама [2], часто используемая для описания разнообразных течений большого числа реальных вязкопластических сред [3].

Запишем реологическое уравнение вязкопластической среды Шведова – Бингама в общем виде [4]:

$$\tau = \tau_0 + \eta \frac{du}{dy}, \quad (1)$$

где τ – касательное напряжение сдвига, Па;

τ_0 – предельное напряжение сдвига, по достижении которого начинается движение вязкопластической среды, Па;

η – коэффициент динамической вязкости, Па · с;

$\frac{du}{dy}$ – проекция градиента скорости на направление, перпендикулярное направлению движения, с.

С целью адаптации реологической модели (1) для математического описания механического транспортирования полужидкого навоза в канале круглого поперечного сечения рассмотрим схему данного процесса (рис. 1).

Как видно из рис. 1, транспортирование навоза осуществляется скребком 5, установленным внутри горизонтального цилиндрического канала 3 с кольцевым зазором δ от его внутренней поверхности. Наличие зазора приводит к тому, что образующееся при движении скребка тело волочения 4 скользит внутри канала на своеобразной «подушке» – слое навозной массы толщиной δ . Градиент скорости в этом тонком слое навоза (при принятии допущения о линейной зависимости du / dy) составит v / δ , где v – скорость движения скребка, м/с.

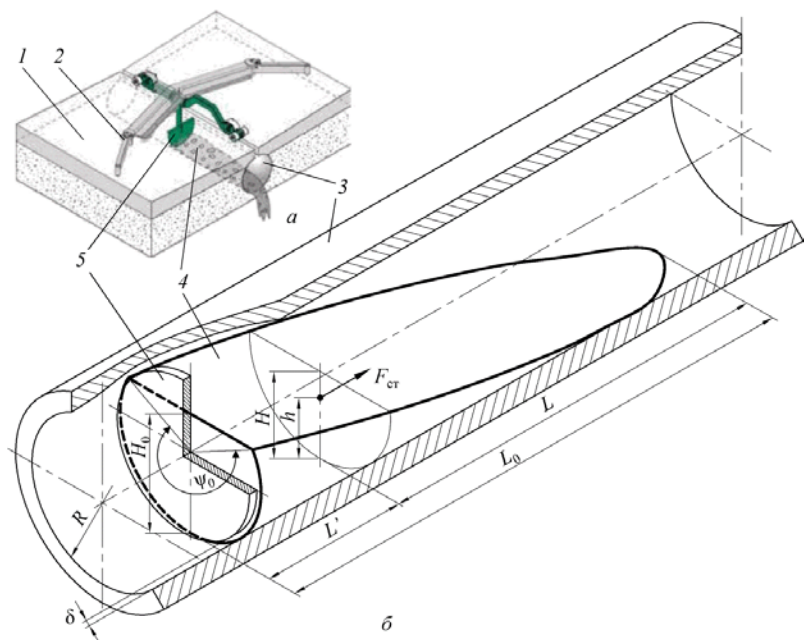


Рис. 1. Общий вид оборудования и физика процесса транспортирования навоза в цилиндрическом канале:

a – общий вид скрепера с подпольным каналом; *б* – схема процесса;

1 – пол навозного прохода; 2 – скрепер; 3 – канал; 4 – тело волочения; 5 – скребок

Преобразуем реологическую модель вязкопластической среды Шведова – Бингама (1) в уравнение баланса сил, действующих на равномерно движущееся тело волочения навозной массы:

$$F_{\text{ст}}(H) = \left(\tau_0 + \eta \frac{v}{\delta} \right) S_{\text{см}}(H), \quad (2)$$

где $F_{\text{ст}}(H)$ – функция силы гидростатического давления на поперечное сечение тела волочения, Н;

$S_{\text{см}}(H)$ – функция площади смоченной поверхности канала, м^2 .

Зависимость силы гидростатического давления $F_{\text{ст}}$ от высоты H поперечного сечения тела волочения также может быть выражена в виде:

$$F_{\text{ст}}(H) = \rho g h(H) S_{\text{пн}}(H), \quad (3)$$

где ρ – плотность навоза, кг/м³;

g – ускорение свободного падения, м/с²;

$h(H)$ – функция координаты высоты центра тяжести поперечного сечения тела волочения, м;

$S_{\text{пн}}(H)$ – функция площади поперечного сечения тела волочения, м².

Функции высоты $h(H)$ и площади $S_{\text{пн}}(H)$ тела волочения определим посредством преобразования известных зависимостей площади и центра тяжести кругового сегмента [5] к следующему виду:

$$h(H) = R - \frac{2H(2R-H)\sqrt{H(2R-H)}}{3S_{\text{пн}}(H)}; \quad (4)$$

$$S_{\text{пн}}(H) = \frac{R^2}{2} [\psi(H) - \sin \psi(H)]; \quad (5)$$

$$\psi(H) = 2 \arccos \left(1 - \frac{H}{R} \right), \quad (6)$$

где R – радиус канала, м;

H – высота поперечного сечения тела волочения, м;

$\Psi(H)$ – функция угла между радиус-векторами к поверхности тела волочения, рад.

Выполнив подстановку параметров из формул (3–6) в уравнение (2), получим зависимость для определения площади смоченной поверхности канала $S_{\text{см}}$:

$$S_{\text{см}}(H) = \frac{\rho g h(H) S_{\text{пн}}(H)}{\tau_0 + \eta \frac{v}{\delta}}. \quad (7)$$

Выражение (7) позволяет определять площадь смоченной поверхности $S_{\text{см}}$ в зависимости от геометрических параметров канала, высоты тела волочения и реологических свойств навоза.

Для определения длины и объема тела волочения рассмотрим его элементарный фрагмент бесконечно малой длины dL . Приращение его площади смоченной поверхности составит:

$$dS_{\text{см}}(H) = dP_{\text{см}}(H)dL(H), \quad (8)$$

где $dP_{\text{см}}(H)$ – приращение функции длины смоченного периметра канала, м;

$dL(H)$ – приращение функции длины тела волочения, м.

Функция длина смоченного периметра представляет собой $P_{\text{см}}(H) = R\psi(H)$, а ее производная, вычисленная с учетом формулы (6), соответственно равна:

$$dP_{\text{см}}(H) = \frac{10R}{\sqrt{2+H-H^2/4}}. \quad (9)$$

Выполним подстановку выражения (9) в формулу (8) и решим ее относительно $dL(H)$:

$$dL(H) = \frac{\sqrt{2+H-H^2/4}}{10R} dS_{\text{см}}(H). \quad (10)$$

Для определения функции длины $L(H)$ тела волочения необходимо интегрирование выражения (10) в пределах от 0 до H :

$$L(H) = \frac{1}{10R} \int_0^H \sqrt{2+H-\frac{H^2}{4}} dS_{\text{см}}(H) dH. \quad (11)$$

Объем dV элементарного фрагмента тела волочения может быть определен произведением площади поперечного сечения $S_{\text{пп}}$ на приращение длины $dL(H)$:

$$dV(H) = S_{\text{пп}}(H)dL(H) = \frac{R\sqrt{2+H-H^2/4}[\psi(H) - \sin\psi(H)]}{20} dS_{\text{см}}(H). \quad (12)$$

Функцию объема $V(H)$ тела волочения получим интегрированием вышеприведенного выражения $dV(H)$:

$$V(H) = \frac{R}{20} \int_0^H \sqrt{2 + H - H^2 / 4} [\psi(H) - \sin \psi(H)] dS_{\text{см}}(H) dH. \quad (13)$$

Зависимости (11) и (13) позволяют рассчитывать объем и размеры тела волочения навозной массы с учетом конструктивно-кинематических параметров транспортной системы и реологических свойств полужидкого навоза.

Заключение. Полученные математические модели могут быть использованы студентами, магистрантами, инженерами-конструкторами, а также научными работниками для решения задач, связанных с обоснованием технологических параметров и режимов работы скреперного навозоуборочного оборудования с центральным подпольным каналом.

ЛИТЕРАТУРА

1. Финогенов, А. Больные копыта коров: причины, следствия, профилактика / А. Финогенов // Белорусское сельское хозяйство. – № 7. – 2014. – С. 38–41.
2. Назаров, С. И. Механизация обработки и внесение органических удобрений / С. И. Назаров, В. А. Шаршунов. – Минск: Ураждай, 1993. – 296 с.
3. Рейнер, М. Реология / М. Рейнер. – Москва: Наука, 1965. – 223 с.
4. Вишняков, В. И. К теории нестационарных течений вязкопластических сред / В. И. Вишняков, Л. Д. Покровский // Инженерный журнал: наука и инновации. – Вып. 8. – 2013. – С. 37–41.
5. Жуковский, Н. Е. Теоретическая механика. Статика и графостатика / Н. Е. Жуковский. – Москва: Государственное научно-техническое издательство, 1934. – 143 с.

Аннотация. В статье приводятся результаты теоретических исследований по адаптации реологической модели вязкопластической среды Шведова – Бингама к рабочему процессу скреперного оборудования с подпольным каналом. Полученные математические выражения позволяют определять размеры тела волочения навозной массы и могут быть использованы для обоснования технологических параметров и режимов работы скреперного навозоуборочного оборудования с подпольным каналом.

Ключевые слова: полужидкий навоз, скреперное оборудование, реология, модель Шведова – Бингама, неньютоновская жидкость.