

ются условия, исключаящие самосортирование готового продукта в дальнейших технологических процессах.

### Заключение

Рассмотрены различные варианты (комбинации) использования скребковых, ленточных, винтовых транспортеров в качестве питателей и сборных транспортеров; изложены требования к взаимному их расположению, а также относительно различных дозирующих и смешивающих устройств, обеспечивающих необходимые условия для получения качественного конечного продукта – подачу компонентов непрерывным равномерным потоком по всей технологической цепочке получения многокомпонентных смесей; приведены формулы, позволяющие увязать конструктивные и кинематические параметры упомянутого оборудования.

19.07.11

### Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация получения и применения многокомпонентных сельскохозяйственных материалов / Л.Я. Степук. – Минск: Ураджай, 1990. – 311 с.
2. Сыроватко, В.И. Программа и методические рекомендации по созданию цехов и поточных линий для приготовления комбикормов в хозяйствах / В.И. Сыроватко, И.С. Марычева. – М.: ВИЭСХ, 1973. – С. 9.
3. Степук, Л.Я. Цех по производству комбикорма в условиях хозяйства / Л.Я. Степук, А.Д. Селезнев, Е.Н. Михасенок // Корма. – 1973. – С. 30-31.
4. Дозатор сыпучих кормов: а.с. 1212393 СССР, А01 К5/02, G01 F 11/00 / Л.Я. Степук, И.М. Лабоцкий, К.А. Сивакова; ЦНИИМЭСХ. – Оpubл. 23.02.86. // Открытия. Изобрет. – № 7.
5. Дозатор измельченных грубых кормов: а.с. 1142075 СССР, А01 К5/00 / Л.Я. Степук, И.М. Лабоцкий, А.Д. Селезнев, Р.П. Гашка; ЦНИИМЭСХ. – Оpubл. 28.02.85. // Открытия. Изобрет. – № 8.
6. Сыманович, В.С. Исследование и обоснование параметров шнековых дозаторов для раздачи комбикормов на молочно-товарных фермах КРС: дис. ... канд. техн. наук / В.С. Сыманович. – Минск, 1974. – 214 л.
7. Степук, Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении. – Минск: Ураджай, 1986. – 152 с.

УДК 631.22.018.001

**В.В. Голдыбан,**

**Л.Я. Степук, П.П. Бегун**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»),*

*г. Минск, Республика Беларусь)*

**О РЕОЛОГИЧЕСКИХ  
СВОЙСТВАХ  
БЕСПОДСТИЛОЧНОГО  
ПОЛУЖИДКОГО  
НАВОЗА**

### Введение

Физико-механические свойства полужидкого бесподстилочного навоза играют важную роль при разработке новых и совершенствовании существующих средств механизации для их внесения. Характеристики, отображающие

реологические свойства навоза, являющегося объектом или средой для работы подающих и распределяющих устройств машин, ложатся в основу их расчета.

Бесподстилочный навоз является полидисперсной системой, состоящей из сухого вещества, тонкодисперсных частиц и газов. При содержании сухого вещества более 8% бесподстилочный навоз называют полужидким. Сухое вещество представлено твердыми частицами различных размеров, находящимися в виде суспензий и частично в коллоидном состоянии. Все растворенные соли и низкомолекулярные органические соединения находятся в молекулярно-дисперсном состоянии.

Полидисперсность определяет реологические свойства навоза (предельное сопротивление сдвигу и вязкость), отображающие его способность к течению и деформациям различного рода.

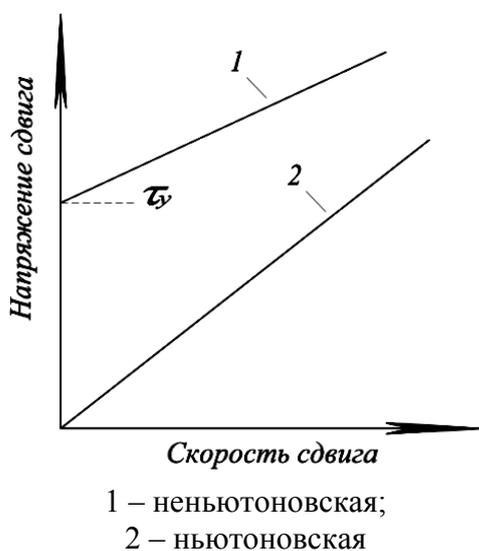
### Основная часть

Процесс течения навоза характеризуется зависимостью между напряжением сдвига  $\tau$ , возникающим при движении, и скоростью, изменяющейся перпендикулярно направлению движения (градиент скорости  $\dot{\gamma}$ ).

Для однородных (ньютоновских) жидкостей связь между  $\tau$  и  $\dot{\gamma}$  представлена законом Ньютона:

$$\tau = \mu \dot{\gamma}, \quad (1)$$

где  $\mu$  – ньютоновская вязкость, Па·с.



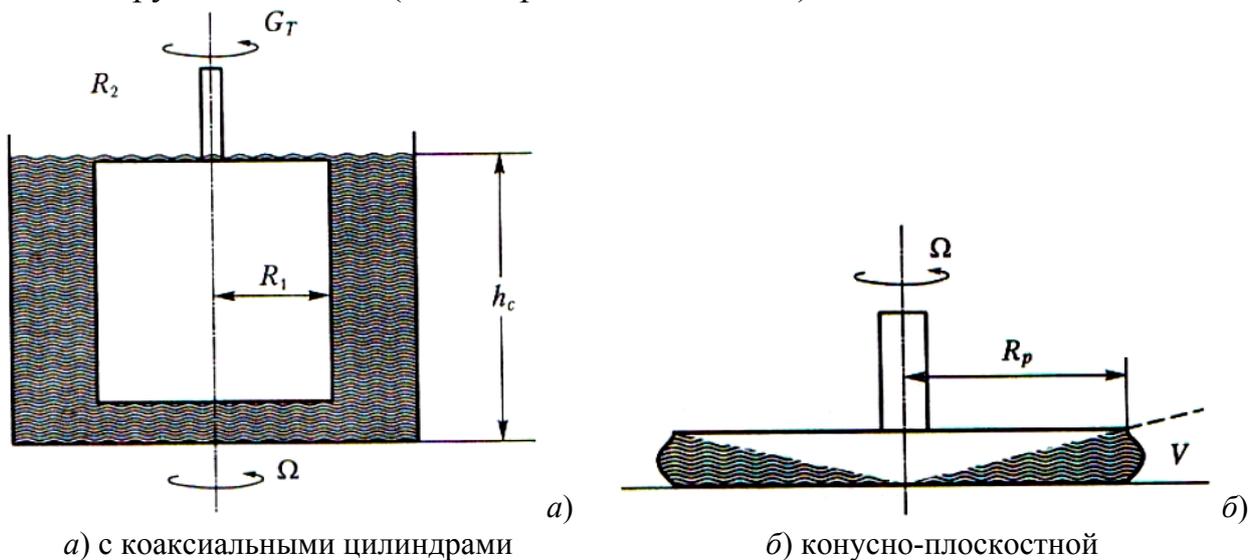
**Рисунок 25 – Кривые течения жидкости**

В координатах  $\tau(\dot{\gamma})$  закон Ньютона представлен кривой течения, проходящей через начало координат (рисунок 25).

Полужидкий навоз, в отличие от ньютоновских жидкостей, характеризуется более сложной связью между скоростью течения и напряжением сдвига. Его кривая течения пересекает ось напряжения сдвига на расстоянии  $\tau_y$  от ее начала (рисунок 25). Напряжение  $\tau_y$  представляет собой предельное напряжение сдвига (предел текучести) и отражает способность материала к течению. Тангенс угла наклона этой кривой к оси скорости сдвига равен  $\mu$ .

Кривые течения строят по экспериментальным данным, полученным в основном на ротационных вискозиметрах. Приборы подобного типа определяют вязкость ньютоновских и неньютоновских жидкостей, помещенных между двумя коаксиально расположенными цилиндрами (рисунок 26а) или расположенных как конус и плоскость (рисунок 26б), измеряя торможение жид-

кости на мобильном элементе (цилиндре или конусе) при остающемся неподвижном другом элементе (цилиндре или плоскости).



**Рисунок 26 – Схемы ротационных вискозиметров**

Наибольшее распространение на практике для определения реологических свойств полужидкого навоза получили ротационные вискозиметры с коаксиальными цилиндрами. В вискозиметре Сирла (*Searle*) внутренний цилиндр служит ротором, а в вискозиметре Куэтта (*Couette*) вращается внешний цилиндр. Вращающийся момент  $G_T$ , необходимый для обеспечения постоянной скорости вращения ротора  $\Omega$ , является мерой напряжения сдвига  $\tau$ , скорость вращения является мерой скорости сдвига  $\dot{\gamma}$ . В вискозиметрах Штормера (*Stormer*)  $\dot{\gamma}$  измеряется при постоянном  $G_T$ , в приборах МакМайкла (*McMichael*) измеряется  $G_T$  при постоянной  $\Omega$ .

Ниже приведены уравнения (1)–(5), используемые для расчета реологических свойств с помощью этих вискозиметров:

$$\mu = G_T (1/R_1^2 - 1/R_2^2) / 4\pi h_c \Omega; \quad (2)$$

$$\dot{\gamma}_{\min} = 2\Omega R_1^2 / (R_2^2 - R_1^2); \quad (3)$$

$$\dot{\gamma}_{\max} = 2\Omega R_2^2 / (R_2^2 - R_1^2); \quad (4)$$

$$\tau = (1/R_1^2 - 1/R_2^2) / 4\pi h_c; \quad (5)$$

$$\tau_y = \tau G(\Omega \rightarrow 0) / \ln(R_2 - R_1), \quad (6)$$

где  $R_1$  – радиус внутреннего цилиндра, м;

$R_2$  – радиус внешнего цилиндра, м;

$h_c$  – высота внешнего цилиндра, м.

Современные вискозиметры позволяют изучить сдвиговое поведение различных систем в широком диапазоне и получить полные реограммы, включая тиксотропное восстановление и релаксацию напряжений, а также проводить осцилляционные эксперименты при программируемом изменении температуры. Под осцилляцией здесь следует понимать неразрушающий метод исследова-

ния структуры вязких жидкостей, идеально подходящий для измерения структурных изменений.

При построении кривых течения имеет место разброс опытных данных, вследствие чего возникает необходимость экстраполяции линий, что служит серьезным источником погрешностей, в том числе и субъективных. Поэтому при отсутствии надежных экспериментальных данных об реологических свойствах полужидкого навоза обеспечить точные оценки для их инженерного применения помогут эмпирические модели.

Поведение полужидкого навоза можно описать несколькими моделями, самыми простыми из которых для этой категории неньютоновских жидкостей являются модели Бингама-Шведова (7), Гершеля-Балкли (8) и Кассона (9) [1, с. 20, 2, с. 26, 3, с. 556]:

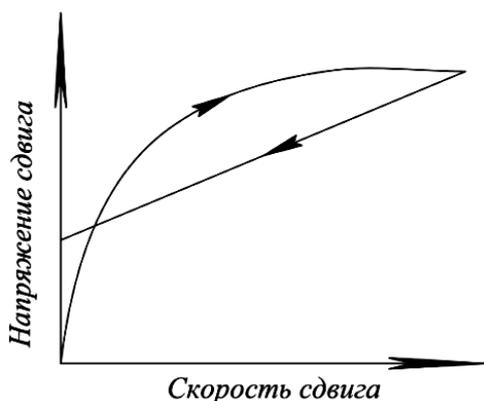
$$\tau = \tau_y + \mu \dot{\gamma}; \quad (7)$$

$$\tau = \tau_y + K \dot{\gamma}^n; \quad (8)$$

$$\tau^{1/2} = \tau_y^{1/2} + K \dot{\gamma}, \quad (9)$$

где  $K$  – определяемый параметр,  $c^{-1}$ ;

$n$  – показатель текучести, определяемый экспериментально.



**Рисунок 27 – Зависимость напряжения сдвига от скорости сдвига**

Важным свойством полужидкого навоза, особенно крупного рогатого скота (КРС), является его тиксотропное состояние. Здесь под тиксотропией следует понимать известный в коллоидной химии физический процесс, при котором коллоидные системы, находящиеся в состоянии покоя, переходят в студенистую форму, то есть становятся тверже, консистентнее, а от напряжения сдвига снова превращаются в золь и приобретают свойства жидкости. Типичный график поведения жидкостей с тиксотропными свойствами приведен на рисунке 27.

Тиксотропное поведение полужидкого навоза можно описать в терминах модифицированного тела Бингама, которое удовлетворяет кинетическому уравнению первого порядка типа

$$\tau = \tau_e + (\tau_0 - \tau_e) \exp(-Kt), \quad (10)$$

где  $\tau_e$  – равновесное значение  $\tau$ , достигаемое после достаточно

продолжительного времени сдвига,  $Па$ ;

$\tau_0$  – начальное напряжение сдвига,  $Па$ ;

$t$  – продолжительность сдвига,  $с$ .

Для описания реологического поведения, зависящего от времени, используется также модель Хана [4]:

$$\log(\tau - \tau_e) = A_1 - A_2 t, \quad (11)$$

где  $A_1$  и  $A_2$  – определяемые константы.

Тиксотропное поведение полужидкого навоза должно учитываться при проектировании рабочих органов машин для его внесения. Необходимо, чтобы изменяющимся свойствам навоза в процессе загрузки, транспортирования и внесения соответствовал непрерывно изменяющийся характер воздействия на него рабочих органов.

Присущей полужидкому навозу полидисперсностью объясняется также процесс осаждения навоза, то есть отделения твердых частиц от жидких. Так, в навозохранилищах и цистернах это приводит к образованию осадочного и плавающего слоев с высоким содержанием твердых веществ. Из-за образующихся отложений и необходимости вносить постоянно однородную жижу навоз в хранилищах необходимо гомогенизировать, а цистерны для его внесения должны быть оборудованы перемешивающим устройством.

Благодаря хорошему перемешиванию достигаются беспрепятственная загрузка и транспортировка навоза, равномерное распределение органического вещества и питательных элементов при внесении навоза. В машинах, не оборудованных перемешивающим устройством, полезная емкость цистерны сокращается до 7%, что исключает возможность ее полного заполнения [5].

Характеристики, отображающие свойства полужидкого навоза, ложатся в основу расчета потерь напора в загрузочных рукавах машин. Потери напора возникают вследствие трения в рукавах при загрузке навоза, в результате завихрения, изменения направления потока и действия реактивных сил в фитингах и арматуре. Фактор потери напора, наряду с различием в геодезической высоте, решающим образом влияет на выбор загрузочных насосов, а также на выбор диаметра рукавов.

Полидисперсность полужидкого навоза не позволяет выполнять расчет потерь напора по математическим моделям для ньютоновских жидкостей. Точный расчет параметров следует проводить на основе отношения напряжения сдвига – градиент скорости по уравнениям (7)–(9).

При проектировании машин реологические свойства полужидкого навоза должны быть увязаны с агротехническими требованиями и протекающими рабочими процессами.

### **Заключение**

Изменчивость свойств полужидкого навоза, его тиксотропное восстановление и способность к осаждению являются теми факторами, без знания которых невозможно определить рациональные схемы удобренческих машин и параметры их рабочих органов.

14.06.11

### **Литература**

1. Уилкинсон, У.Л. Неньютоновские жидкости. Гидромеханика, перемешивание и теплообмен / У.Л. Уилкинсон. – М.: Мир, 1964. – 216 с.
2. Кориат, Г. Бесподстилочный навоз и его использование для удобрения / Г. Кориат; пер. с нем. под ред. П.Я. Семенова. – М.: Колос, 1978. – 271 с.
3. Валентас, К.Дж. Пищевая инженерия: справочник с примерами расчетов / К.Дж. Валентас, Э. Ротштейн, Р.П. Сингх (ред.); пер. с англ. под ред. А.Л. Ивешского. – СПб.: Профессия, 2004. – 848 с.
4. Hahn, S.J. Flow mechanism of thixotropic substances / S.J. Hahn, T. Ree, H. Eyring // Ind. Eng. Chem. – 1959. – № 51. – P. 856.
5. Банк, Г. Заметные успехи внесения полужидкого бесподстилочного навоза / Г. Банк, Х.Х. Ковалевски, К. Герс-Граппенхауз (пер. с нем.) // Landwirtsch. – Bl. Weser-Ems, 1998. – Jg. 145, № 36 (Beil.).

УДК 631.331.022

**Н.Д. Лепешкин, А.Н. Юрин,  
Н.С. Высоцкая, С.О. Синяк**  
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

## **ОБОСНОВАНИЕ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ РАБОЧИХ ОРГАНОВ ДЛЯ ГЛУБОКОГО ПОСЛОЙНОГО РЫХЛЕНИЯ ПОЧВ**

### **Введение**

Агрономические исследования научных институтов и практика говорят о том, что от качества обработки почвы, ее структуры зависит не только дружность и полнота всходов высеянных семян, но и дальнейшее развитие и в целом судьба урожая.

В настоящее время в республике практически имеется вся необходимая техника для качественной обработки почвы. Нерешенным вопросом еще остается обработка тяжелых глинистых и суглинистых по составу почв, содержащих 25% и более физической глины (частиц размером менее 0,01 мм). Таких почв в республике насчитывается около 700 тыс. га. Наиболее распространены они в Витебской и Могилевской областях.

Эти почвы имеют высокое потенциальное плодородие. По данным Института почвоведения и агрохимии НАН Беларуси, они обладают наибольшими в сравнении с другими почвами республики запасами микроэлементов, таких как магний, хром, ванадий, бор и кобальт, содержащихся в материнских породах. Хотя тяжелые почвы и обладают большими резервами минерального питания растений, они имеют неудовлетворительные водно-физические свойства, связанные со слабой водопроницаемостью и низкой водоотдачей, что является главной причиной их переувлажнения или пересыхания в весенний и осенний периоды. По этим причинам период их оптимальной спелости и пригодности для механической обработки очень короткий. В результате этого вся созданная для безотвальной обработки новая техника, широко испытанная и положительно зарекомендовавшая себя на легких и средних почвах центральной и южной зон республики, является малопригодной для обработки тяжелых почв.