

## К ВОПРОСУ О СДВИГОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ СЫПУЧИХ КОРМОВЫХ СИСТЕМ

Возможность прогнозирования качества приготовляемых многокомпонентных кормосмесей во многом определяется реологическими, физико-механическими характеристиками компонентов, входящих в их состав. Выделение наиболее значимых из них с последующим определением позволяет упростить процедуру поиска решения ряда оптимизационных задач.

Известно, что реология занимается изучением деформаций и течений различных тел. Когда речь идет о сыпучих системах, обладающих свойствами как жидкостей, так и твердых тел, то кроме вязкостных характеристик следует отметить такой вид деформации, как сдвиг.

Простой сдвиг рассыпного корма представляет собой плоскую деформацию, параллельную неподвижной плоскости, т. е. это один из случаев ламинарного течения. Сопротивление сдвигу  $\tau$  может определяться в состоянии статического равновесия смеси и является наименьшим касательным напряжением  $\tau'$ , при котором смесь, находясь под нормальным давлением  $p$ , сдвигается.

В сыпучих системах сопротивление сдвигу функционально связано с силами внутреннего трения между частицами.

При повышении влажности смеси, когда частицы в ней становятся как бы связанными жидкой пленкой, сопротивление сдвигу складывается из двух составляющих, то есть сил внутреннего трения и сцепления.

Экспериментально можно установить зависимость между нормальным давлением и сопротивлением сдвига. Предельное сопротивление рассыпных кормосмесей сдвигу:

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi, \quad (1)$$

где  $\sigma$  – нормальное напряжение по площадкам сдвига, кгс/см<sup>2</sup>;  $\varphi$  – угол внутреннего трения, град.

При влажности выше 12,5% добавляется составляющая  $c$  – удельного сцепления, кгс/см<sup>2</sup>.

$$\tau = \sigma \cdot \operatorname{tg} \varphi + c \quad (2)$$

Наиболее доступный способ основан на применении специального прибора для определения сопротивления сыпучей системы сдвигу типа ГПП-30 (рисунок 1). Нормальная (вертикальная) нагрузка  $P$  передается на цилиндрический образец смеси 1, находящийся в приборе, через рычаг 2 посредством гирь 3, а горизонтальная (сдвигающая) сила  $Q$  – через рычаг 4. Отношение плеч обоих рычагов 1:10.

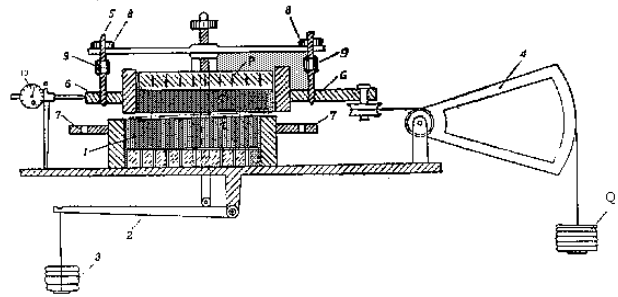


Рисунок 1. Схема прибора для определения сопротивления смеси сдвигу.

1 – образец смеси, 2, 4 – рычаги, 3 – гири, 5 – стопорные винты с гайками, 8, 6, 7 – верхняя и нижняя каретки, 9 – накладки, 10 – индикатор измерения давления

Сдвигающая сила постепенно (ступенями) увеличивается до тех пор, пока ее величина не превзойдет прочность образца на сдвиг.

Величину предельной сдвигающей силы  $Q_{\text{пред}}$  можно найти при вертикальных давлениях 1, 2 и 3 кгс/см<sup>2</sup>. Для этого три одинаковых образца помещают в сдвижные приборы, где они уплотняются при нормальном давлении  $p_1 = 1$  кгс/см<sup>2</sup>,  $p_2 = 2$  кгс/см<sup>2</sup>,  $p_3 = 3$  кгс/см<sup>2</sup>.

Работу проводят следующим образом. Стопорные винты 5, соединяющие верхнюю 6 и нижнюю 7 каретки сдвижного прибора (рисунок 1), вывинчиваются так, чтобы концы их на 3-5 мм не доходили до выступов нижней каретки. На верхнюю резьбовую часть винтов 5 навинчиваются гайки 8 до упора в перекладину. Затем, придерживая винт за утолщенную часть с накаткой 9 (чтобы не вращался), обе гайки одновременно поворачивают еще на 1-2 оборота так, чтобы между верхней и нижней каретками сдвижного прибора образовался зазор 1-1,5 мм. Рычаг передачи горизонтальной нагрузки соединяют тросом с верхней кареткой сдвижного прибора. Прикладывают первую ступень сдвигающей силы, для чего на подвеску плавно укладывают гири первой ступени, и замечают время. Отсчеты по индикатору снимают через каждые 60 сек. Сдвигающая нагрузка не изменяется до тех пор, пока два последующих отсчета по индикатору не будут отличаться друг от дру-

га менее чем на 0,02 мм. После чего прикладывают вторую ступень нагрузки. Вторая и все последующие ступени сдвигающей нагрузки прикладываются и выдерживаются так же, как и первая ступень. Сдвигающая нагрузка увеличивается до разрушения (сдвига) образца. За предельную сдвигающую нагрузку принимаем горизонтальную нагрузку перед разрушением образца (без последней ступени):

$$Q_{\text{пред}} = 10 \sum_{i=1}^{n-1} q_i, \quad (3)$$

Касательное напряжение  $\tau^1$  в плоскости сдвига, соответствующее нагрузке  $Q_{\text{пред}}$ , принимаем равным сопротивлению смеси сдвигу при данном нормальном напряжении  $p$ :

$$\tau = \tau^1 = \frac{Q_{\text{пред}}}{F}, \quad (4)$$

где  $F$  – площадь поверхности сдвига, равная 40 см<sup>2</sup>.

Вертикальные напряжения  $P_1, P_2, P_3$ , имеющие разные значения, необходимы для построения графической зависимости сопротивления смеси сдвигу, рисунок 2:

$$\tau = f(P), \quad (5)$$

Модуль сдвига (модуль поперечной упругости)  $G$  – определяется как отношение касательного напряжения  $\tau$  к углу сдвига  $\gamma$  между плоскостями, к которым применимо это касательное напряжение [1]:

$$G = \frac{\tau}{\gamma}; \quad (\dim G = L^{-1}MT^{-2}, [G] = 1 \text{ Па}) \quad (6)$$

или  $G = \frac{E}{2(1-\mu)}$

Модуль  $E$  определяется экспериментально.

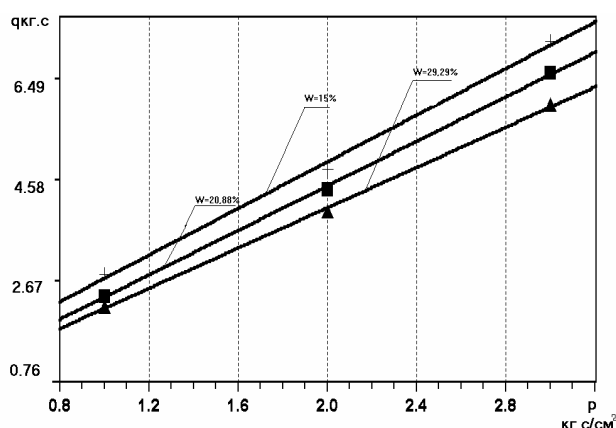


Рисунок 2. Графические зависимости предельной сдвигающей нагрузки от вертикального давления для кормосмесей различной влажности  $W\%$

Примеры экспериментальных данных для кормосмесей влажности 15% отражены в таблице 1.

$C$  – удельное сопротивление (отрезок, отсекаемый прямой на оси ординат),  $\phi - tg$  угла наклона прямой к оси абсцисс, является углом внутреннего трения сыпучей кормосмеси, определяется из графика, рисунок 2.

Полученные в результате экспериментов графические зависимости (рисунок 2) при определенных мотивированных обоснованиях могут быть использованы в аналитическом прогнозе качества приготавливаемых кормосмесей.

Учитывая, что смесь с одинаковыми физико-механическими характеристиками, но разной массы испытывает соответственно разное вертикальное давление, как видно из графической зависимости, отображенной на рисунке 3, уменьшение сопротивления смеси сдвигу способствует улучшению качества конечных продуктов при смешивании.

Кроме этого, наложение вибрационного поля на смесь с меньшим сопротивлением

Таблица 1. Результаты определения предельной сдвигающей нагрузки смеси с влажностью 15% при нормальном напряжении  $p = 1 \text{ кгс/см}^2$

№ ступени нагрузки	Величина ступени нагрузки $q_i$ , кгс	Суммарная нагрузка на подвеске $\sum q_i$	Время от начала приложения данной ступени нагрузки, мин.	Отсчеты по индикатору, мм	Деформация сдвига за каждую мин., мм
1	0,8	0,8	0	0	0
			1	0,315	0,315
			2	0,350	0,035
			3	0,379	0,029
			4	0,400	0,021
2	0,6	1,4	5	0,420	0,020
			1	0,730	0,310
			2	0,800	0,070
			3	0,812	0,012
			3	0,2	1,6
2	1,050	0,070			
3	1,115	0,065			
4	1,185	0,070			
5	1,190	0,015			
4	0,2	1,8	1	1,400	0,210
			2	1,460	0,060
			3	1,500	0,040
			4	1,540	0,040
			5	1,549	0,009
5	0,2	2,0	1	1,775	0,226
			2	1,850	0,075
			3	1,920	0,070
			4	1,965	0,045
			5	1,980	0,015
6	0,2	2,2	1	2,205	0,225
			2	2,269	0,064
			3	2,335	0,066
			4	2,395	0,060
			5	2,410	0,015
7	0,2	2,4	1	2,660	0,250
			2	2,800	0,140
			3	2,987	0,187
			4	3,000	0,013
			8	0,2	2,6
2	3,770	0,270			
3	3,850	0,080			
4	3,989	0,149			
5	4,003	0,014			
9	0,2	2,8			сдвиг

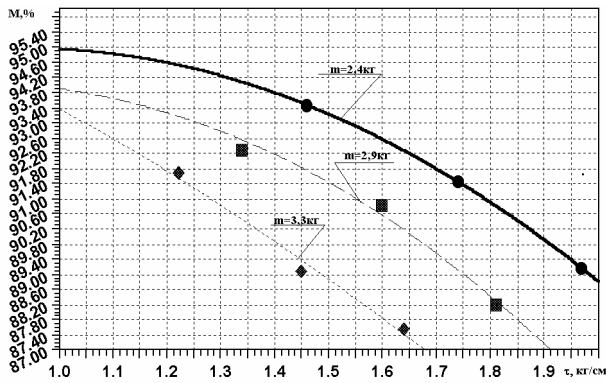


Рисунок 3. Влияние сопротивления смеси сдвигу на качество кормосмеси при разной по величине загрузке вибросмесителя

сдвигу быстрее ведет к ослаблению силы сцепления между частицами и уменьшению коэффициента внутреннего трения, а следовательно, быстрее достигается заданная однородность кормосмеси.

Таким образом, решая задачу оптимизации процесса смешивания, используя при этом вибрацию, необходимо для обеспечения высокого качества сыпучих кормовых смесей учитывать не только физико-механические, но и реологические свойства, в частности сдвиговые характеристики смешиваемых материалов.

#### Использованная литература:

1. Овчинников П.Ф. Виброреология. – Киев: Наукова думка, 1983. – 271 с.