

## Выводы

1. Сокращение кормоуборочным комбайном времени ожидания позволит существенно снизить себестоимость кормов, улучшить их качество путем сокращения сроков уборки и закладки на хранение, более рационально использовать сельскохозяйственную технику.

2. Разработанная методика выбора рационального количества транспортных средств при уборке сельскохозяйственных культур может быть использована при проектировании производственных процессов, планировании использования технического и трудового потенциала в природно-производственных условиях Республики Беларусь и конкретных условиях сельскохозяйственного производства.

22.05.12

## Литература

1. Новиков, А.В. Влияние грузоподъемности транспортных средств на производительность кормоуборочных комбайнов / А.В. Новиков, Т.А. Непарко, Д.А. Кушнер // Современные технологии и комплексы технических средств в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 25–27 мая 2005 г. – Минск: БГАТУ, 2005. – С. 59–60.
2. Шило, И.Н. Ресурсосберегающие технологии сельскохозяйственного производства / И.Н. Шило, В.Н. Дашков. – Минск: БГАТУ, 2003. – 183 с.
3. Дашков, В.Н. Техничко-технологические основы обоснования типажа кормоуборочных комбайнов / В.Н. Дашков, И.И. Пиуновский // Сельскохозяйственные машины для уборки зерновых культур, кормов и корнеклубнеплодов. Состояние, тенденции и направления развития: сб. докладов Междунар. науч.-практ. конф., Гомель, 22–23 марта 2007 г. / РКУП «ГСКБ по зерноуборочной и корнеуборочной технике». – Гомель, 2007. – С. 10–16.
4. Техническое обеспечение производства продукции растениеводства: учеб. / А.В. Новиков [и др.]; под ред. А.В. Новикова. – Минск: Новое знание, 2012. – 560 с.

УДК 636.4: 631.363.7

**С.В. Крылов, И.И. Гируцкий,  
М.В. Навыко, А.А. Жур,  
Ю.А. Кислый**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**МЕТОДИКА РАСЧЕТА  
ВМЕСТИМОСТИ  
СМЕСИТЕЛЯ ДЛЯ  
ЖИДКОГО КОРМЛЕНИЯ  
СВИНЕЙ**

## Введение

Определение расчетным способом вместимости смесителя, применяемого в системе откорма свиней, можно производить, исходя из различных подходов к проведению расчета. Поэтому необходимо рассмотреть различные варианты расчетов.

### Варианты определения вместимости смесителя

Необходимый объем бункера ( $v$ ) определяли во многих работах. Рассмотрим определение, представленное в работе [1]:

$$v = \frac{kNn}{\rho\varphi},$$

где  $k$  – коэффициент, учитывающий долю того или иного компонента в смеси;

$N$  – суточная производительность предприятия,  $m$ ;

$n$  – период, на который рассчитан запас сырья, сут.;

$\rho$  – плотность сырья,  $m/m^3$ ;

$\varphi$  – расчетный коэффициент заполнения бункера.

Данную формулу представим в более удобном для дальнейшего анализа виде, исключив из рассмотрения расчетный коэффициент заполнения бункера и анализируя лишь вместимость смесителя ( $v_{см}$ ):

$$v_{см} = \frac{m_k}{\rho}, \quad (1)$$

где  $m_k$  – масса корма, необходимая для скармливания животным,  $m$ .

Рассмотрим вариант, когда в смеситель могут подаваться различные компоненты корма с различной насыпной плотностью. Тогда формула (1) может быть представлена в следующем виде:

$$v_{см} = \sum_{i=1}^n \frac{m_{k,i}}{\rho_{k,i}}, \quad (2)$$

где  $m_{k,i}$  – масса  $i$ -го компонента корма;

$\rho_{k,i}$  – насыпная плотность  $i$ -го компонента корма;

$n$  – количество компонентов.

Обязательным и важным составляющим компонентом корма является вода, которая в корме характеризуется влажностью  $W$  и определяется как [2]:

$$W = \frac{m_v}{m_o} \cdot 100\%, \quad (3)$$

где  $m_v$  – масса воды, содержащейся в корме;

$m_o$  – масса корма.

Для многокомпонентного корма общая влажность ( $W_o$ ) будет, исходя из формулы (3):

$$W_o = \frac{\sum_{i=1}^n m_{vi}}{\sum_{i=1}^n m_{ki}} \cdot 100\%, \quad (4)$$

где  $m_{vi}$  – масса воды, содержащейся в  $i$ -том компоненте корма;

$m_{ki}$  – масса  $i$ -го компонента корма.

Из формулы (3) следует:

$$m_{vi} = \frac{W_i \cdot m_{ki}}{100\%}, \quad (5)$$

где  $W_i$  – влажность  $i$ -го компонента корма.

Подставляя данное выражение в формулу (4), получим:

$$W_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{W_i \cdot m_{ki}}{100\%}}{\Sigma \cdot m_{ki}} \cdot 100\% = \frac{\sum_{i=1}^n W_i m_{ki}}{\sum_{i=1}^n m_{ki}},$$

$$W_0 \sum_{i=1}^n m_{ki} = \sum_{i=1}^n W_i m_{ki}. \quad (6)$$

При жидком кормлении свиней в промышленном масштабе, как правило, необходимо добавлять воду в готовый комбикорм так, чтобы влажность корма была в пределах от 70 % до 85 % [3]. Поэтому, добавляя воду, нам необходимо получить задаваемую влажность ( $W_3$ ).

Найдем количество воды ( $m_{в3}$ ), которое необходимо добавлять, чтобы получить заданную влажность:

$$W_3 = \frac{\sum_{i=1}^n m_{vi} + m_{в3}}{\Sigma m_{ki} + m_{в3}} \cdot 100\%;$$

$$\frac{W_3}{100\%} \cdot (\sum_{i=1}^n m_{ki} + m_{в3}) = \sum_{i=1}^n m_{vi} + m_{в3};$$

$$\left(1 - \frac{W_3}{100}\right) m_{в3} = \frac{W_3}{100} \sum_{i=1}^n m_{ki} - \sum_{i=1}^n m_{vi}.$$

Используя формулу (5), получим:

$$\left(1 - \frac{W_3}{100}\right) \cdot m_{в3} = \frac{W_3}{100} \sum_{i=1}^n m_{ki} - \sum_{i=1}^n \frac{W_i m_{ki}}{100\%}.$$

Используя формулу (6), получим:

$$\left(1 - \frac{W_3}{100}\right) \cdot m_{в3} = \frac{W_3}{100} \sum_{i=1}^n m_{ki} - \frac{1}{100} W_0 \sum_{i=1}^n m_{ki};$$

$$\left(1 - \frac{W_3}{100}\right) \cdot m_{в3} = \left(\frac{W_3}{100} - \frac{W_0}{100}\right) \sum_{i=1}^n m_{ki};$$

$$m_{в3} = \frac{(W_3 - W_0) \sum_{i=1}^n m_{ki}}{100 - W_3};$$

$$m_{к0} = \sum_{i=1}^n m_{ki};$$

$$m_{в3} = \frac{(W_3 - W_0) m_{к0}}{100 - W_3}. \quad (7)$$

Формула (7) позволяет определить, сколько воды при откорме свиней необходимо добавить в комбикорм.

Представленные выше формулы позволяют определить вместимость смесителя.

Проведем конкретный расчет смесителя для свинарника-откормочника с содержанием свиней 1200–1800 голов с кратностью кормления 2 раза в сутки. Максимальное потребление комбикорма в сутки при откорме согласно [3] составляет 3,37 *кг/гол*. В республике при откорме свиней применяется комбикорм СК-26 со следующими характе-

ристиками: насыпная плотность –  $850 \text{ кг/м}^3$ , влажность ( $W_0$ ) – 14 %, модуль помола – 3 мм, включения – не более 10 %.

Для расчета вместимости смесителя берем максимальное количество голов – 1800. Тогда масса комбикорма, необходимого для одного кормления:

$$m_k = 1800 \cdot \frac{3,37}{2} = 3033 \text{ (кг)}.$$

Согласно (1):

$$v_{\text{смк}} = \frac{m_k}{\rho_k} = \frac{3033}{850} = 3,5682 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Кроме комбикорма по технологии кормления необходимо добавлять воду, чтобы влажность составляла 75 %.

Массу воды определяем из формулы (7):

$$m_{\text{вз}} = \frac{(W_3 - W_0) \cdot m_{\text{кк0}}}{100 - W_3} = \frac{(75 - 14) \cdot 3033}{100 - 75} = 7400,52 \text{ (кг)};$$

$$v_{\text{смв}} = \frac{m_{\text{вз}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{7400,52}{1000} = 7,40052 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Тогда вместимость составит:

$$v_{\text{см0}} = 3,5682 + 7,40052 = 10,96872 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Если кормление будет трехкратным, то, соответственно, получим:

$$m_k = 1800 \cdot \frac{3,37}{3} = 2022 \text{ (кг)};$$

$$v_{\text{смк}} = \frac{m_k}{\rho_k} = \frac{2022}{850} = 2,3788 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Для получения задаваемой влажности комбикорма 75 % необходимо количество воды:

$$m_{\text{вз}} = \frac{(W_3 - W_0) \cdot m_{\text{кк0}}}{100 - W_3} = \frac{(75 - 14) \cdot 2022}{100 - 75} = 4933,68 \text{ (кг)};$$

$$v_{\text{смв}} = \frac{m_{\text{вз}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{4933,68}{1000} = 4,93 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Тогда вместимость составит:

$$v_{\text{см0}} = 2,38 + 4,93 = 7,31 \text{ (м}^3\text{)}.$$

Исходя из реальных производственных условий работы смесителя, в него сначала добавляется вода, и лишь затем постепенно подается комбикорм. Если сделать наоборот, то энергоемкость процесса перемешивания для получения той же однородности значительно повысится. Теоретическое обоснование последовательности подачи материала требует отдельного рассмотрения, поэтому будем исходить из практического опыта работы со смесителями.

Исходя из вышеизложенного, формулу (1) необходимо представить в следующем виде:

$$v_{\text{см}} = \frac{m_c}{\rho_c}, \quad (8)$$

где  $m_c$  – масса смеси корма, необходимая для скармливания животным, кг;  
 $\rho_c$  – плотность готовой к скармливанию животным смеси корма, кг/м<sup>3</sup>.

Для двухразового кормления масса смеси заданной влажности 75 % останется прежней, то есть

$$m_c = 3033 + 7400,52 = 10433,52 \text{ (кг)}.$$

Интересное определение плотности приготовленной смеси воды и комбикорма представлено в работе [4], где влажность приготовленной смеси устанавливается по величине образующегося осадка в мерном стакане, но не представлена аналитическая зависимость плотности корма от его влажности. Найдем эту зависимость.

$$\rho_c = \frac{m_c}{V_c} = \frac{m_k + m_b}{V_c} = \frac{\rho_k \cdot V_k + \rho_b \cdot V_b}{V_c};$$

$$\rho_c = \rho_b \frac{(\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_b} V_{\text{п}} + V_b)}{V_c}.$$

Так как  $V_c = V_{\text{п}} + V_b$ , получим:

$$\rho_c = \rho_b \frac{(\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho_c} V_k + V_b)}{V_k + V_b}. \quad (9)$$

Для практических расчетов принимаем  $\rho_b = 1,00$  кг/л, соответственно, и объем выразится в литрах, тогда выражение (9) упростится:

$$\rho_c = \frac{(\rho_k V_k + V_b)}{V_k + V_b}.$$

При кормлении задается масса комбикорма и масса воды, поэтому данное выражение представим, исходя из того, что  $m_k = \rho_k V_k$  и  $m_b = \rho_b V_b$ :

$$\rho_c = \frac{(m_k + \frac{m_b}{\rho_b})}{\frac{m_k}{\rho_k} + \frac{m_b}{\rho_b}} = \frac{m_k + m_b}{\frac{m_k}{\rho_k} + m_b}.$$

Получим следующее упрощенное выражение:

$$\rho_c = \frac{m_k + m_b}{\frac{m_k}{\rho_k} + m_b}. \quad (10)$$

Поскольку на практике нам надо получить заданную влажность корма, поэтому  $m_b = m_{b_3}$ . Подставляя ранее полученное выражение (7) в формулу (10), получим:

$$\rho_c = \frac{m_{\text{кО}} + m_{\text{вЗ}}}{\frac{m_{\text{кО}}}{\rho_{\text{к}}} + m_{\text{вЗ}}} = \frac{m_{\text{кО}} + (\frac{W_3 - W_0}{100 - W_3}) m_{\text{кО}}}{\frac{m_{\text{кО}}}{\rho_{\text{к}}} + (\frac{W_3 - W_0}{100 - W_3}) m_{\text{кО}}} = \frac{1 + (\frac{W_3 - W_0}{100 - W_3})}{\frac{1}{\rho_{\text{к}}} + (\frac{W_3 - W_0}{100 - W_3})}.$$

Так как, согласно нормативным документам, для комбикорма  $W_0 = 14\%$ , а  $\rho_k = 1,38 \text{ кг/л}$  [4], полученное выражение примет вид:

$$\rho_c = \frac{1 + \left(\frac{W_3 - W_0}{100 - W_3}\right)}{\frac{1}{\rho_k} + \left(\frac{W_3 - W_0}{100 - W_3}\right)}. \quad (11)$$

Окончательно получим для проведения расчетов:

$$\rho_c = \frac{1 + \left(\frac{W_3 - 14}{100 - W_3}\right)}{1,38 + \left(\frac{W_3 - 14}{100 - W_3}\right)}. \quad (12)$$

График данной зависимости представлен на рисунке 124.

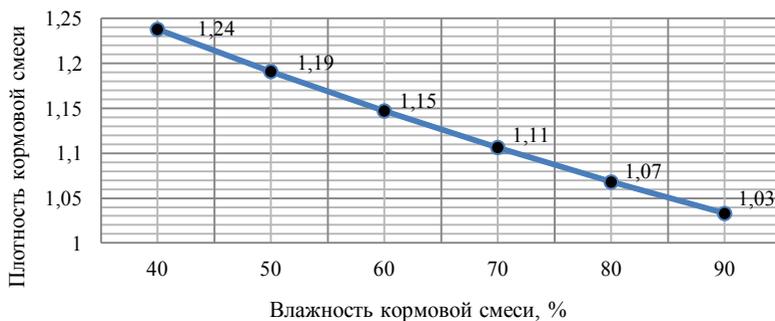


Рисунок 124 – Зависимость плотности корма от влажности

Плотность смеси для влажности 75 % составит  $1,087 \text{ кг/л} = 1087 \text{ кг/м}^3$  (формула (12)).

Тогда получим (8):

$$v_{\text{см}} = \frac{m_c}{\rho_c} = \frac{10433,52}{1087} = 9,599 \text{ м}^3.$$

Произведем сравнение с полученной ранее вместимостью смесителя:

$$\frac{v_{\text{см0}} - v_{\text{см}}}{v_{\text{см}}} = \frac{10,969 - 9,599}{9,599} = 0,14.$$

Относительная разница составит почти 14 %, а абсолютная –  $1,37 \text{ м}^3$ .

Для трехразового питания получим следующие цифры: абсолютная разница составит  $0,91 \text{ м}^3$ , а относительная – 14 %.

Необходимо рассмотреть также более общий вариант, удовлетворяющий уровню промышленного производства, когда группа откорма состоит из свиней разного возраста и, следовательно, веса и каждой возрастной группе необходима своя норма кормления. Тогда числитель из формулы (8) необходимо представить следующим образом:

$$m_c = m_{\text{к0}} + m_{\text{вз}} = \sum_{i=1}^N a_i \frac{B_i}{c} + m_{\text{вз}},$$

где  $a_i$  – количество свиней в отдельной возрастной группе;

$v_i$  – суточная норма кормления, кг;

$c$  – количество кормлений в сутки;

$N$  – количество возрастных групп.

В полученную формулу подставим формулу (7), получим:

$$m_c = \sum_{i=1}^N a_i \frac{v_i}{c} + m_{вз} = \sum_{i=1}^N a_i \frac{v_i}{c} + \frac{(W_3 - W_0)}{(100 - W_3)} \cdot \sum_{i=1}^N a_i \frac{v_i}{c} = \\ = \sum_{i=1}^N a_i \frac{v_i}{c} \left( 1 + \frac{W_3 - W_0}{100 - W_3} \right).$$

Тогда формула (8) приобретет вид:

$$v_{см} = \frac{m_c}{\rho_c} = \frac{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^N a_i v_i \left( 1 + \frac{W_3 - W_0}{100 - W_3} \right)}{\rho_c}.$$

Подставим в данное выражение формулу (11) и получим:

$$v_{см} = \frac{\frac{1}{c} \sum_{i=1}^N a_i v_i \left( 1 + \frac{W_3 - W_0}{100 - W_3} \right)}{\frac{\left( 1 + \frac{W_3 - W_0}{100 - W_3} \right)}{\frac{1}{\rho_k} + \frac{(W_3 - W_0)}{(100 - W_3)}}} = \frac{1}{c} \sum_{i=1}^N a_i v_i \left( \frac{1}{\rho_k} + \frac{(W_3 - W_0)}{(100 - W_3)} \right). \quad (13)$$

Формулы (13) можно также получить, исходя из следующего выражения:

$$v_{см} = v_{смк} + v_{смв} = \frac{m_{ко}}{\rho_k} + \frac{m_{вз}}{\rho_v} = \\ = m_{ко} \left( \frac{1}{\rho_k} + \frac{W_3 - W_0}{100 - W_3} \right) = \frac{1}{c} \sum a_i v_i \left( \frac{1}{\rho_k} + \frac{W_3 - W_0}{100 - W_3} \right),$$

естественно,  $\rho_v = 1,00$  кг/л.

Из данной формулы видно, что с увеличением числа кормлений вместимость смесителя будет уменьшаться. Эта зависимость представлена на рисунке 125 для жидкого режима кормления, когда общее количество свиней будет состоять из трех групп с разными нормами кормления. Максимальные нормы следующие: первая группа – 3,37 кг; вторая – 2,55 кг; третья – 2,15 кг комбикорма максимально в сутки на одну голову. Если при расчете вместимости, вполне очевидно, нужно исходить из максимального значения нормы кормления для данной группы животных, то количество животных как в группе, так и общее может значительно колебаться. Как уже упоминалось ранее, эти колебания составят от 1200 до 1800 голов. Учесть в предыдущих расчетах все 1800 голов не было бы правильным, так как вероятность данного события достаточно мала. Поэтому в расчете необходимо учитывать такое количество животных при откорме, которое соответствует 95 % вероятности. Так как такие экспериментальные данные отсутствуют, можно предположить, что распределение количества свиней будет подчиняться нормальному закону распределения, в таком случае интервал 1200–1800 голов будет соответствовать  $4\sigma$ . Поэтому количество свиней, удовлетворяющее ве-

роятности 95 %, – 1650 голов; следовательно, каждая группа будет состоять из 550 голов.

$$v_{см} = \frac{1}{c} 550(2,15 + 2,55 + 3,37) \left[ \frac{1}{1,38} + \frac{W_3 - 14}{100 - W_3} \right] =$$

$$= \frac{4438,5}{c} \left[ \frac{1}{1,38} + \frac{W_3 - 14}{100 - W_3} \right].$$

Результаты расчетов для  $W_3 = 70$  (-),  $W_3 = 85$  (- -) представлены на рисунке 125.

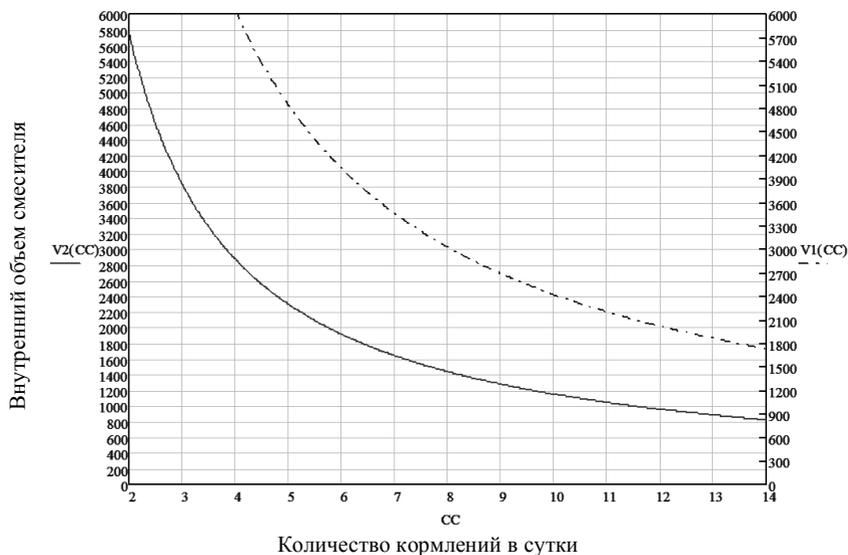


Рисунок 125 – Зависимость вместимости смесителя от количества кормлений в сутки

Представленные данные наглядно демонстрируют, что режим многократного кормления является наиболее выгодным, так как позволяет в несколько раз (для двукратного кормления – в 7 раз) снизить вместимость, получить выигрыш в площади помещения, а также в мощности всех соответствующих электродвигателей. Оценка снижения мощности электродвигателей будет проведена в другой статье.

Важно подчеркнуть, что без автоматизации кормления свиней невозможно организовать непрерывный режим кормления.

### Заключение

Анализ результатов расчетов показывает, что относительная разница в определении вместимости составляет 14 % и зависит от того, какая плотность учитывается в расчетах. Более существенная разница, при-

мерно 36 %, возникает и при учете количества животных в расчетах. При увеличении влажности на 15 % вместимость возрастет в 2,1 раза, но наибольшее изменение вместимости смесителя – в 7 раз – происходит из-за количества кормлений животных. Значительное сокращение вместимости смесителя из-за увеличения количества кормлений невозможно без применения автоматизированных систем управления.

14.03.12

### Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация дозирования в кормоприготовлении / Л.Я. Степук. – Минск: Урожай, 1986. – 152 с.
2. Корма растительные. Методы определения влаги: ГОСТ 27548–97. Введ. 01.01.1999. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 6 с.
3. Кабанов, В.Д. Свиноводство / В.Д. Кабанов. – М.: Колос, 2001. – 431 с.
4. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней: дис. ... докт. техн. наук: 05.20.01. – Москва, 2007. – 333 л.

УДК 621.926:621.927

**В.А. Михайлов, Н.П. Киселева,  
А.С. Алферов, Е.С. Кочегура**

*ГНУ «Северо-Кавказский научно-исследовательский институт механизации и электрификации сельского хозяйства Российской академии сельскохозяйственных наук» (СКНИИМЭСХ),  
г. Зерноград, Ростовская область,  
Российская Федерация)*

**РЕЗУЛЬТАТЫ  
ИССЛЕДОВАНИЯ  
РАБОЧЕГО  
ПРОЦЕССА  
МОЛОТКОВОЙ  
ДРОБИЛКИ  
ВД-1**

Основной операцией при подготовке зерновых компонентов на комбикормовых заводах и в цехах является измельчение, осуществляемое дезинтеграторами, плющилками, молотковыми дробилками. Простота устройства и обслуживания, высокая технологическая надежность, сравнительно низкие капиталовложения – основные преимущества молотковых дробилок, обусловившие их широкое распространение.

В течение многих лет стандартным конструктивным решением для дробилок являлось горизонтальное расположение вала ротора. Но с появлением в 1993 году промышленных образцов молотковых дробилок с вертикально установленным валом ротора [1] положение резко изменилось. Такие дробилки имеют ряд преимуществ, главное из которых состоит в умеренных удельных энергозатратах. Невысокая скорость воздушного потока в дробилке с вертикальным валом ротора позволяет отказаться от дорогостоящей централизованной системы аспирации и перейти к применению локальных фильтров, а также использовать венти-