

1 – влажность кормовой смеси 70 %; 2 – влажность кормовой смеси 75 %;  
3 – влажность кормовой смеси 80 %

Рисунок 29 – Зависимость вместимости смесителя от поголовья

зависит от того, какая плотность в них учитывается. Более существенная разница, примерно 36 %, возникает при учете в расчетах количества животных. 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.

16.09.13

### Литература

1. Степук, Л.Я. Механизация дозирования в приговлении / 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.

УДК [631.363: (621.22-225: 620.178.167)]

**С.В. Крылов, И.И. Гируцкий,  
А.А. Жур, Ю.А. Кислый,  
А.И. Лабкович, О.А. Кислый,  
Н.Г. Бакач, В.Ф. Марышев**  
(РУП «НППЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ  
ВЕЛИЧИНЫ ГИДРОУДАРА  
ПРИ ТУПИКОВОМ РЕЖИМЕ  
РАЗДАЧИ ЖИДКИХ КОРМОВ  
ПРИ РАЗЛИЧНОЙ  
ВЛАЖНОСТИ  
КОРМОСМЕСИ**

### Введение

Речь о получении прибыли при выращивании свиней не может идти без решения задачи организации их полноценного кормления.

В настоящее время кормление свиней, как правило, осуществляется жидким способом, когда комбикорм смешивают с водой, а затем полученная смесь по трубопроводам раздается животным [1]. Очевидно, что при такой раздаче будет обязательно возникать явление гидроудара, что может привести к срыву кормления и продолжительному ремонту.

Необходимо также проверить, будет ли на величину гидроудара влиять влажность смеси.

Одним из способов избежать разрушения трубопроводов и другой арматуры из-за гидроудара является применение робастного управления, то есть управления, которое значительно уменьшит гидроудар.

### Основная часть

Экспериментальные исследования проводились на реальной установке для кормления животных (рисунок 30).

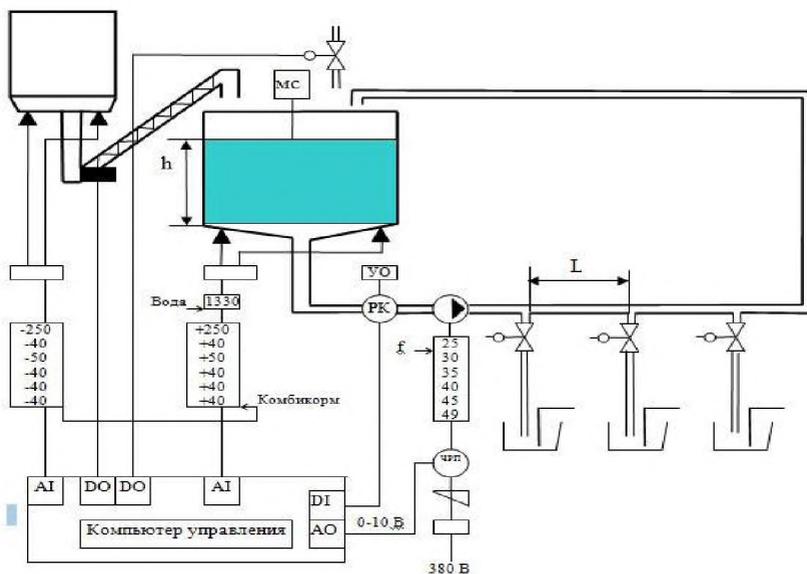


Рисунок 30 – Кормораздаточная установка

В смеситель наливалось необходимое количество воды. К сожалению, точное количество воды в системе кормления неизвестно, так как какая-то ее часть остается в системе от прошлого кормления, и эту часть невозможно удалить и измерить. Затем добавляется определенная часть комбикорма, происходит смешивание, а затем – перекачка полученной смеси по трубопроводам. Внутренний диаметр трубопровода составляет 50 мм, труба изготовлена из полимерных материалов. Проводились заме-

ры расхода смеси ( $Q$ , м<sup>3</sup>/ч) в зависимости от частоты работы двигателя центробежного насоса. Результаты измерений представлены в таблице 10.

Таблица 10 – Экспериментальные данные

№ эксперимента	Вес комбикорма, кг	Рабочая частота насоса, Гц	Расход смеси, м <sup>3</sup> /ч
1.1	250	25	4,60
1.2	250	30	5,46
1.3	250	35	8,10
1.4	250	40	10,72
1.5	250	45	13,08
1.6	250	49	13,64
2.1	290	25	4,76
2.2	290	30	6,10
2.3	290	35	8,40
2.4	290	40	10,64
2.5	290	45	12,26
2.6	290	49	13,76
3.1	340	25	3,98
3.2	340	30	6,26
3.3	340	35	8,22
3.4	340	40	9,48
3.5	340	45	11,82
3.6	340	49	12,82
4.1	380	25	3,34
4.2	380	30	4,74
4.3	380	35	5,42
4.4	380	40	7,00
4.5	380	45	10,14
4.6	380	49	12,14
5.1	420	25	1,60
5.2	420	30	2,55
5.3	420	35	3,30
5.4	420	40	4,00
5.5	420	45	5,28
5.6	420	49	7,30
6.1	460	25	1,03
6.2	460	30	1,90
6.3	460	35	3,08
6.4	460	40	3,98
6.5	460	45	4,33
6.6	460	49	4,80

Было проведено 6 экспериментов, в течение некоторых из них брались пробы смеси, по которым была определена ее влажность. При начальной массе комбикорма 460 кг влажность составила 76,18 %, при начальной массе комбикорма 420 кг – 77,61 %, при начальной массе 340 кг – 82,26 %. Определим теоретически влажность смеси в остальных вариантах. Влажность смеси ( $W_c$ ), согласно [2], определяется по формуле:

$$W_c = \frac{m_B + m_K \frac{W_K}{100}}{m_B + m_K} \cdot 100 \% , \quad (1)$$

где  $m_B$  – масса воды, кг;

$m_K$  – масса комбикорма, кг;

$W_K$  – влажность комбикорма, %.

Был выбран путь нахождения  $W_K$  и  $m_B$  методом наименьших квадратов.

$$\begin{aligned} \sum_{i=1}^3 \left( W_{c_i} - \frac{m_B + m_K \frac{W_K}{100}}{m_B + m_K} \cdot 100\% \right)^2 \Rightarrow \min; \\ \left( 82,26 - \frac{m_B + 340 \frac{W_K}{100}}{m_B + 340} \cdot 100\% \right)^2 + \\ + \left( 77,6 - \frac{m_B + 420 \frac{W_K}{100}}{m_B + 420} \cdot 100\% \right)^2 + \\ + \left( 76,18 - \frac{m_B + 460 \frac{W_K}{100}}{m_B + 460} \cdot 100\% \right)^2 \Rightarrow \min, \quad (2) \end{aligned}$$

где  $W_{c_i}$  – экспериментальное значение влажности, %.

Естественно, найти минимум выражения (2) можно лишь численным способом.

Локальный минимум выражения (2) лежит в окрестностях точки со значениями  $m_B = 1306$  кг и  $W_K = 8$  %.

Поэтому в последующих расчетах были задействованы именно эти значения.

Величину гидроударов при тупиковом режиме раздачи жидких кормов оценивают по следующей формуле Жуковского:

$$\Delta p = \rho_{ж} V_0 c,$$

где  $\Delta p$  – перепад давления, вызванный гидроударом, Па;

$\rho_{ж}$  – плотность жидкости, кг/м<sup>3</sup>;

$V_0$  – начальная скорость жидкости до удара, м/с;

$c$  – скорость ударной волны при гидроударе,  $м/с$ .

Скорость ударной волны определяется следующим образом:

$$c = \frac{\sqrt{\frac{E_{ж}}{\rho_{ж}}}}{\sqrt{1 + \frac{d}{\delta} \frac{E_{ж}}{E_{тр}}}}, \text{ м/с,}$$

где  $E_{ж}$  и  $E_{тр}$  – модуль упругости жидкости и материала, из которого изготовлена труба,  $Па$ ;

$d$  – диаметр трубопровода,  $м$ ;

$\delta$  – толщина стенки,  $м$ .

Из этих формул следует, что нам необходимо определить, с какой скоростью по трубопроводам движется приготовленная смесь для кормления свиней.

Механизмом, осуществляющим перемещение кормосмеси, является центробежный насос. Теория работы центробежного насоса хорошо известна. Так, мощность ( $N$ ), с которой движется жидкость под воздействием насоса, определяется по формуле:

$$N = QP, \quad (3)$$

где  $Q$  – расход жидкости,  $м^3/с$ ;

$P$  – давление,  $Па$ .

На основании экспериментальных данных нам необходимо определить как давление в трубопроводе при обычной работе, так и скорости движения смеси.

Давление определяем следующим образом.

$$E = \frac{mV^2}{2} = A,$$

где  $E$  – величина кинетической энергии жидкости, текущей по трубе;

$A$  – работа жидкости, которая движется по трубе,  $Дж$ ;

$m$  – масса жидкости,  $кг$ ;

$V$  – скорость жидкости,  $м/с$ .

$$\frac{A}{t} = N = QP,$$

где  $t$  – время,  $с$ .

$$A = N \cdot t = QP \cdot t.$$

Тогда получим:

$$\frac{mV^2}{2} = QP \cdot t,$$

$$P = \frac{mV^2}{2 \cdot Qt}.$$

Скорость выразим следующим образом:

$$V = \rho \frac{Q}{S},$$

где  $S$  – площадь сечения трубопровода,  $m^2$ .

$$P = \frac{m_c \left(\frac{Q}{S}\right)^2}{2Qt} = \frac{m_c Q}{2 + S^2}. \quad (4)$$

Массу смеси выражаем следующим образом:

$$m_c = \rho_c V_c,$$

где  $V_c$  – объем смеси,  $m^3$ .

$$V_c = S \cdot l = SVt = \rho S \frac{Q}{S} t = \rho Qt,$$

где  $l$  – расстояние, пройденное смесью за время  $t$ .

Подставляя полученные выражения в формулу (4), получим:

$$P = \frac{\rho Qt \cdot Q}{2tS^2} = \frac{1}{2} \rho \frac{Q^2}{S^2}. \quad (5)$$

Данное выражение можно получить лишь исходя из непрерывности потока.

По определению

$$P = \frac{F}{S},$$

где  $F$  – сила, действующая перпендикулярно поверхности площадью  $S$ .

Очевидно,

$$\begin{aligned} A &= E = \frac{mV^2}{2}; \\ N &= \frac{A}{t} = \frac{F \cdot l}{t} = F \cdot V; \\ A &= F \cdot V \cdot t. \end{aligned}$$

Поэтому

$$\begin{aligned} \frac{mV^2}{2} &= F \cdot V \cdot t; \\ F &= \frac{m_c V^2}{2Vt} = \frac{m_c V}{2t}. \end{aligned}$$

С такой силой движется смесь в трубе, тогда

$$P = \frac{F}{S} = \frac{m_c V}{2tS}.$$

Выражаем

$$m_c = \rho V_c = \rho SVt.$$

Тогда

$$P = \frac{1}{2} \rho \left(\frac{Q}{S}\right)^2.$$

Данная формула целиком совпадает с формулой (5). Полученная формула (5) позволяет рассчитать давление на основании данных, полученных в результате эксперимента, и скорость движения жидкости.

$$V = \frac{Q}{S}$$

Необходимо также провести расчет плотности кормосмеси в зависимости от количества комбикорма.

$$\rho_c = \frac{m_B + m_K}{V_c} = \frac{m_B + m_K}{V_K + V_B},$$

где  $V_c$  – объем смеси,  $M^3$ ;

$V_K$  – объем, занимаемый комбикормом в кормосмеси,  $M^3$ ;

$V_B$  – объем, занимаемый водой в кормосмеси,  $M^3$ .

Далее получим:

$$\rho_c = \frac{m_K + m_B}{\frac{m_K}{\rho_K} + \frac{m_B}{\rho_B}},$$

где  $\rho_K$  – плотность комбикорма,  $\rho_K = 1380 \text{ кг}/M^3$  (согласно [3]);

$\rho_B$  – плотность воды, которую принимаем равной  $1000 \text{ кг}/M^3$ .

Поэтому плотность кормосмеси будем находить по следующей формуле:

$$\rho_c = \frac{m_K + 1306 \text{ кг}}{\frac{m_K}{1380 \text{ кг}/M^3} + \frac{1306 \text{ кг}}{1400 \text{ кг}/M^3}} \quad (6)$$

Рассчитанные данные изображены на рисунках 31–33.

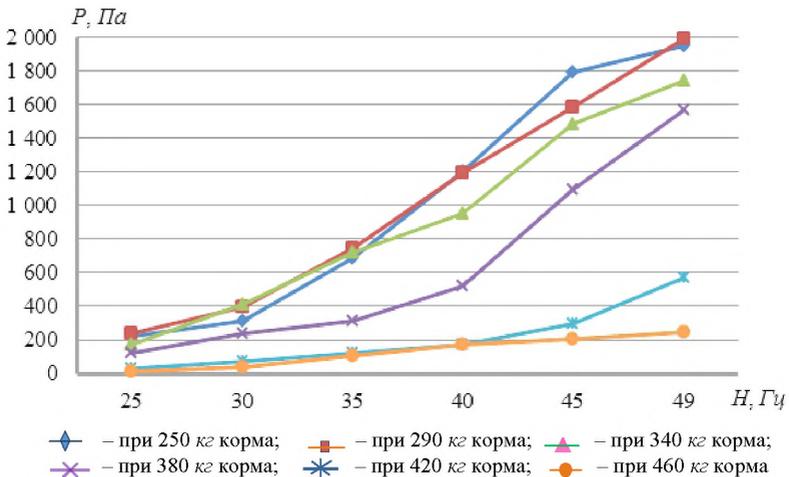
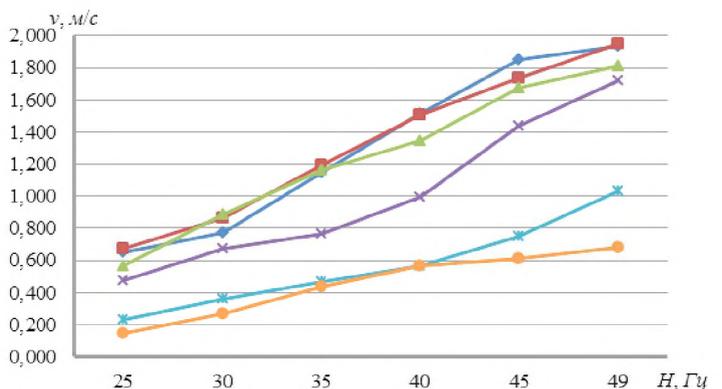
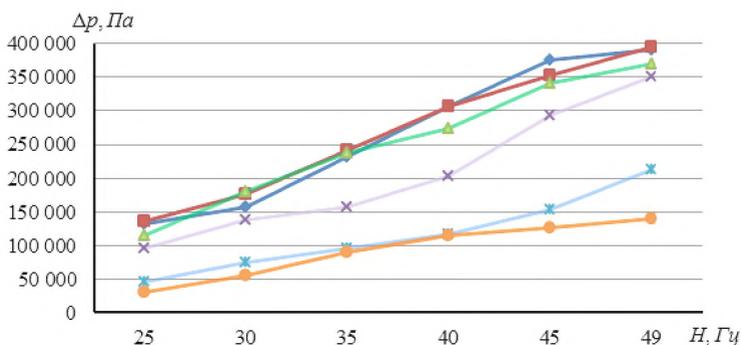


Рисунок 31 – Изменение давления при изменении частоты



◆ – при 250 кг корма;    ■ – при 290 кг корма;    ▲ – при 340 кг корма;  
 ✕ – при 380 кг корма;    ✱ – при 420 кг корма;    ● – при 460 кг корма

Рисунок 32 – Изменение скорости потока при изменении частоты



◆ – при 250 кг корма;    ■ – при 290 кг корма;    ▲ – при 340 кг корма;  
 ✕ – при 380 кг корма;    ✱ – при 420 кг корма;    ● – при 460 кг корма

Рисунок 33 – Изменение перепада давления при изменении частоты

### Заключение

Из представленных результатов измерений и расчетов следует, что для снижения риска гидроудара оптимальное управление должно приводить к уменьшению частоты вращения центробежного насоса, так как минимальное значение давления гидроудара наблюдается при частоте вращения двигателя, равной 25 Гц для всех кормосмесей с различной влажностью.

Значение гидроудара также уменьшается с уменьшением влажности смеси, но, как было продемонстрировано ранее в других работах [4, 5], уменьшение влажности приводит к значительному возрастанию энерго-

затрат. Поэтому оптимальное условие для снижения риска гидроудара должно сводиться к уменьшению частоты вращения двигателя при автоматическом закрытии клапанов, регулирующих раздачу кормосмеси в кормушки.

30.09.13

### Литература

1. Кабанов, В.Д. Свиноводство / В.Д. Кабанов. – М.: Колос, 2001. – 431 с.
2. Корма растительные. Методы определения влаги: ГОСТ 27548–97. – Введ. 01.01.1999. – М.: Изд-во стандартов, 1997. – 6 с.
3. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней: дис... докт. техн. наук: 05.20.01. / И.И. Гируцкий. – Москва, 2007. – 333 л.
4. Автомагизированная система для откорма свиней: пат. № 7909 РБ, МПК А 01К 1/02 / И.И. Гируцкий, А.А. Жур, С.В. Крылов, В.Ф. Марышев; заявитель РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – № и 20110478, заявл. 15.06.2011; опубл. 28.02.2012 // Афіцыйны бюл. / Нац. цэнтр інтэлектуал. уласнасці. – 2012. – № 1. – С. 198.
5. Крылов, С.В. Сравнение основных теоретических выводов о работе центробежного насоса с экспериментальными данными / С.В. Крылов, И.И. Гируцкий, А.А. Жур, Ю.А. Кислый, А.И. Лабкович, В.Ф. Марышев // Научно-технический прогресс в сельскохозяйственном производстве: материалы Междунар. науч.-техн. конф.: в 3 т. / РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства». – Минск, 2012. – Т. 2. – С. 170–174.

УДК 637.118

**М.В. Колончук, В.И. Передня,  
С.А. Антошук, Э.П. Сорокин**  
*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по  
механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

### **ОПТИМИЗАЦИОННЫЕ МЕТОДЫ РАСЧЕТА ЧИСЛА ПЛАСТИН И ЛОПАТОК РОТАЦИОННЫХ ВАКУУМНЫХ НАСОСОВ**

#### **Введение**

В настоящее время многие фирмы изготавливают ротационные вакуумные насосы. При выборе числа пластин или лопаток вакуумных насосов исходят из ряда соображений [1]. Так, например, увеличение числа пластин и лопаток позволяет снизить перепад давления между соседними ячейками, уменьшить перетекание сжатого воздуха из стороны нагнетания во всасывающую сторону. Однако увеличение их числа повышает потери на трение пластин по корпусу или уменьшает описываемый объем ротора за счет толщины лопаток. Поэтому практически для ротационных вакуумных насосов число пластин принимают от 2 до 20, а лопаток – от 12 до 24 [1, 2]. В настоящее время лучшие результаты