

8. Кулаков, Г.Т. Сравнительные исследования методов оптимизации пропорционально-интегральных и пропорционально-интегрально-дифференциальных регуляторов для объектов без самовывравнивания / Г.Т. Кулаков, А.Т. Кулаков, А.Н. Кухоренко // Материалы 12-й Международной научно-технической конференции «Наука – образованию, производству, экономике»: В 4-х т. Т. 1. – Минск: БНТУ, 2014. – С. 242–243.

9. Aidan, O'Dwyer. Handbook of PI and PID Controller Tuning Rules / O'Dwyer Aidan. – 3rd Edition. – Dublin: Institute of Technology; Ireland, Imperial College Press, 2009. – 529 p.

10. Тимофеев, В.А. Инженерные методы расчета и исследования динамических систем // В.А. Тимофеев. – Л.: «Энергия», 1975. – 320 с.

## **ОПТИМИЗАЦИЯ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА ПРИ РАЗДАЧЕ ЖИДКИХ КОРМОВ В СВИНАРНИКЕ**

Матвейчук Н.М., к.ф.-м.н., Сеньков А.Г., к.т.н., доцент  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, РБ*

В данной работе решается задача по снижению энергозатрат в технологическом процессе раздачи жидких кормов на свиноводческих комплексах за счет оптимального управления мощностью и производительностью насоса, подающего жидкий корм в трубопровод, в зависимости от расстояния до станка, суммарного объема выдаваемого корма и его распределения по станкам. Оптимизация процесса кормораздачи позволяет снизить установленную мощность кормораздаточного насоса и снизить энергозатраты на однократную раздачу корма на 10%.

### **Разработка математической модели а**

Производительность линии раздачи жидких кормов на свиноводческом комплексе должна обеспечивать кормление заданного поголовья свиней в соответствии с технологическими требованиями (общее время кормораздачи не должно превышать  $t_{max}$ ). Основным потребителем электрической энергии в технологической линии для раздачи жидких кормов является центробежный насос [1]. Развиваемый центробежным насосом гидростатический напор  $H$ ,

затрачиваемый на преодоление жидким кормом сопротивления кормопровода, зависит от мощности электродвигателя насоса  $P$ , кВт и определяет значение производительности насоса  $Q$ , л./с., т.е. скорость раздачи корма. При этом, как показывают экспериментальные данные [2], основной составляющей потерь напора, а следовательно, и потерь энергии на электропривод насоса, являются потери на перемещение жидкого корма по трубопроводу, которые, в свою очередь, зависят от влажности раздаваемого корма  $W$ , %. Таким образом,

$$P = P(Q, W).$$

Теоретическое определение данной зависимости весьма затруднительно, так как при этом следует учитывать множество факторов, таких, как скорость движения кормосмеси по кормопроводу, геометрические размеры кормопровода, влажность кормосмеси и т.д. Поэтому в рамках данного исследования зависимость мощности электродвигателя насоса  $P$  от представляющих практическое значение параметров – производительности насоса  $Q$  и влажности раздаваемой кормосмеси  $W$  – определялась на основе экспериментальных данных [2], представленных в следующей таблице 1 и на рис. 1.

Таблица 1: Экспериментальные данные зависимости мощности электродвигателя насоса  $P$  от производительности насоса  $Q$  и влажности корма  $W$ .

Влажность кормосмеси $W$ , %							
85.9	$Q$ , л./с.	1.28	1.52	2.25	2.98	3.63	3.79
	$P$ , кВт	0.8	1.2	1.6	2.3	3.4	4.2
84	$Q$ , л./с.	1.32	1.69	2.33	2.96	3.41	3.82
	$P$ , кВт	0.6	1	1.6	2.3	3.3	4.3
82.5	$Q$ , л./с.	1.11	1.74	2.28	2.63	3.28	3.56
	$P$ , кВт	0.6	1.1	1.6	2.4	3.4	4.3
80	$Q$ , л./с.	0.93	1.32	1.51	1.94	2.82	3.37
	$P$ , кВт	0.68	1.1	1.6	2.4	3.3	4.3
78.6	$Q$ , л./с.	0.44	0.71	0.92	1.11	1.47	2.03
	$P$ , кВт	0.7	1.1	1.7	2.4	3.3	4.3
77	$Q$ , л./с.	0.28	0.53	0.85	1.1	1.2	1.33
	$P$ , кВт	0.7	1.2	1.8	2.6	3.5	4.4

Исходя из графического представления экспериментальных данных (рис. 1), был выбран следующий вид функциональной зависимости  $P = P(Q, W)$ :

$$P = l \cdot K_0 \cdot Q^\gamma \cdot e^{\alpha \cdot W},$$

где  $l$  – длина кормопровода, м;

$K_0, \gamma, \alpha$  – аппроксимационные коэффициенты.

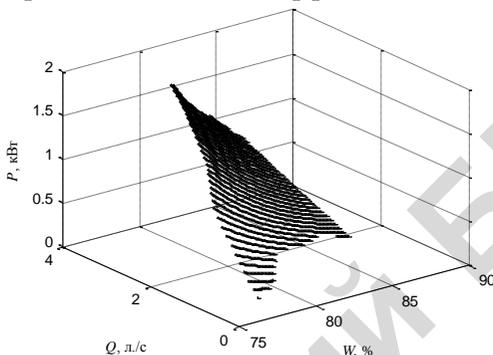


Рис. 1. Графическая зависимость  $P = P(Q, W)$ , полученная на основе экспериментальных данных

Так как значение влажности кормосмеси  $W$  определяется зоотехническими требованиями, то практический интерес представляет аппроксимация зависимости мощности двигателя насоса  $P$  от его производительности  $Q$  при постоянном значении влажности кормосмеси:

$$P_{W=const} = l \cdot K_0(W) \cdot Q^\gamma,$$

где значения коэффициентов  $K_0$  для различных значений влажности кормосмеси могут быть табуированы. Указанный подход к анализу экспериментальных данных позволил получить следующие результаты, отраженные в таблице 2.

Таблица 2: Результаты аппроксимации экспериментальных данных по формуле (3).

$W, \%$	77	78.6	80	82.5	84	85.9
$\gamma$	1.12	1.26	1.42	1.68	1.78	1.36
$K_0, \text{кВт} \cdot (\text{с./л.})^\gamma$	0.02102	0.01522	0.00642	0.00369	0.00295	0.00473

Таким образом, добиться снижения энергозатрат при раздаче корма возможно путем регулирования мощности электродвигателя насоса  $P$  и его производительности  $Q$  в процессе раздачи корма с учетом ограничения на время раздачи, которое не должно превышать максимально допустимое время  $t_{\max}$ , предусмотренного технологическими требованиями.

В работе [3] получено, что для минимизации энергозатрат на раздачу корма электродвигатель насоса должен работать с постоянной мощностью, значение которой определяется по формуле:

$$P^* = t_{\max}^{-\gamma} \cdot K_0 \cdot \left( \sum_{i=1}^N V_i \cdot l_i^{\gamma} \right)^{\frac{1}{\gamma}}.$$

где  $V_i$  – объем корма, который необходимо выдать в  $i$ -ю кормушку,  $i = 1, \dots, N$ , л.;

$l_i$  – расстояние от насоса до  $i$ -й кормушки,  $i = 1, \dots, N$ , м.

При этом энергозатраты на раздачу всего требуемого корма могут быть оценены по формуле:

$$E_{\Sigma}^* = P^* \cdot t_{\max}.$$

### Оценка эффективности оптимизации энергозатрат

Практический интерес в данном случае представляет оценка сокращения энергозатрат при изменении влажности и объема раздаваемой кормосмеси, так как эти параметры определяются зоотехническими требованиями и могут изменяться в зависимости от возраста, массы, суточных привесов и других особенностей выращиваемых животных.

В качестве исходных данных для количественного расчета примем следующие:

$N = 24$  – число станков, в которые раздается корм;

$l_0 = 30$  м – расстояние от насоса до первого станка;

$l = 4$  м – расстояние между соседними станками;

$V_{\min} = 500$  л – минимальный суммарный объем раздаваемого корма;

$V_{\max} = 5000$  л – максимальный суммарный объем раздаваемого корма;

$t_{\max} = 30$  мин – максимальная продолжительность кормораздачи;

$W_{\min} = 77\%$  – минимальная влажность раздаваемой кормосмеси;

$W_{\max} = 85.9\%$  – максимальная влажность раздаваемой кормосмеси.

В качестве базового варианта примем мощность электродвигателя насоса, при постоянном значении которой максимальный объ-

ем корма  $V_{\max} = 5000$  л при влажности  $W_{\min} = 77\%$  раздается равномерными порциями в  $N = 24$  станков за максимально допустимое время  $t_{\max} = 30$  мин.:

$$P_{\text{ref}} = t_{\max}^{-\gamma(W=77\%)} \cdot K_0(W=77\%) \cdot \left( \sum_{i=1}^N \frac{V_{\max}}{N} \cdot l_i^{\gamma(W=77\%)} \right)^{\gamma(W=77\%)}$$

Подставив указанные числовые данные, получим:

$$P_{\text{ref}} \approx 5 \text{ кВт.}$$

В базовом варианте оценки энергозатрат предполагается, что мощность электродвигателя насоса не изменяется в зависимости от влажности и объема раздаваемой кормосмеси, а имеет постоянное значение, равное  $P_{\text{ref}}$ .

Расчитанная зависимость сокращения энергозатрат при изменении влажности кормосмеси показана на рис. 2, а при изменении суммарного выдаваемого объема кормосмеси – на рис. 3.

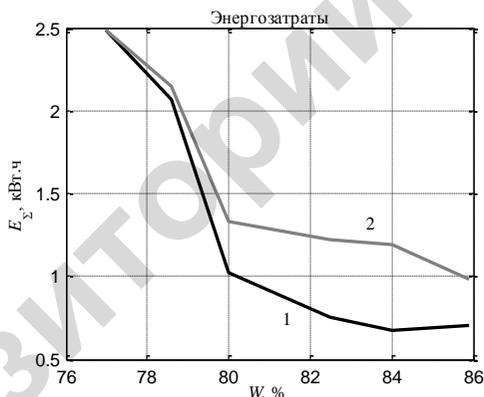


Рис. 2. Сравнение энергозатрат на кормораздачу для кормов с различной влажностью при оптимизации мощности электродвигателя насоса (кривая 1) и без оптимизации (кривая 2)

Таким образом, как видно из рис. 2, 3, в результате регулирования мощности электродвигателя насоса и его производительности предложенным способом в зависимости от влажности, объема кормосмеси и с учетом геометрических параметров трубопровода и расположения станков можно ожидать сокращения энергозатрат на кормораздачу в среднем до 10%.

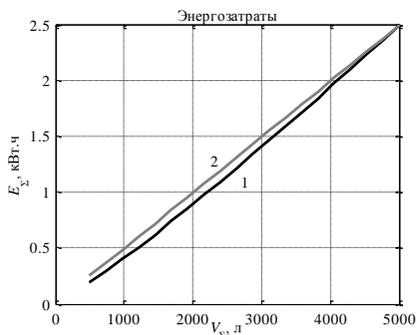


Рис. 3. Сравнение энергозатрат на кормораздачу в зависимости от суммарного объема раздаваемого корма (влажностью  $W = 80\%$ ) при оптимизации мощности электродвигателя насоса (кривая 1) и без оптимизации (кривая 2)

#### Литература

1. Боченков, Д.А. Энергосберегающее регулирование режима работы главных водоотливных установок шахт и рудников средствами электропривода: автореф. дис. канд. техн. наук / Д.А. Боченков – Новочеркасск, 2010. – 19 с.

2. Гируцкий И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для корма свиней: автореф. дис. докт. техн. наук 052001 / И.И. Гируцкий; Москва, ФГОУ НИИ «МГАУ». – М., 2008. – 36 с.

3. Гируцкий, И.И. Оптимизация производительности кормораздаточной установки / И.И. Гируцкий, А.А. Жур, Н.М. Матвейчук, А.Г. Сеньков // Материалы Международной научно-практической конференции «Инновационные технологии в производстве сельскохозяйственной продукции», Минск, БГАТУ, 2–3 июня 2015 г.

### ПРИНЦИПЫ ПРАКТИКООРИЕНТИРОВАННОЙ ПОДГОТОВКИ ИНЖЕНЕРОВ ПО АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОИЗВОДСТВА

Гируцкий И.И., д.т.н., доцент.

УО «Белорусский государственный аграрный технический университет», г. Минск, РБ

Современный этап общественного развития характеризуется движением в направлении информационного общества – динамич-