

сти производства молочной и мясной продукции за счёт экономного расхода кормовых смесей.

### **Список использованной литературы**

1. Нормы кормления крупного рогатого скота: справочник / Н.А. Попков [и др.]. – Жодино, 2011. – 260 с.

2. Кормление сельскохозяйственных животных: учеб. пособие / В.К. Пестис [и др.]; под ред. В.К. Пестиса. – Минск: ИВЦ Минфина, 2009. – 540 с.

**УДК 636.084.7**

**И.И. Гируцкий, д.т.н., доцент, А.А. Жур ст. преподаватель,  
Н.М. Матвейчук, к.ф.-м.н., доцент, А.Г. Сеньков, к.т.н., доцент**  
*УО «Белорусский государственный аграрный технический университет» г. Минск, Республика Беларусь*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ КОРМОРАЗДАТОЧНОЙ УСТАНОВКИ**

### **Введение**

Совершенствование, разработка и внедрение энергоэффективных технологий и оборудования в сельское хозяйство является важнейшим фактором повышения конкурентоспособности производимой продукции. Снижение количества потребляемой тепловой и электрической энергии может быть достигнуто за счет использования современных автоматизированных методов управления технологическими процессами, позволяющими оперативно корректировать и оптимизировать параметры и структуру алгоритма управления на основании использования информации о состоянии контролируемого объекта. Автоматизация и роботизация технологических процессов сельскохозяйственного производства становится главным фактором энерго- и ресурсосбережения.

Постановка задачи оптимизации энергозатрат.

Проектная производительность линий раздачи жидких кормов на свиноводческом комплексе должна обеспечивать кормление расчетного откармливаемого поголовья в соответствии с технологическими требованиями [1]. Основным потребителем электриче-

ской энергии в технологической линии для раздачи жидких кормов является центробежный насос [2]. Рассчитаем возможность снижения энергозатрат путем регулирования мощности электродвигателя насоса и его производительности в процессе раздачи корма с учетом ограничения на время раздачи, которое не должно превышать максимально допустимое время  $t_{\max}$ , предусмотренного технологическими требованиями.

Пусть имеется  $N$  кормушек (номера кормушек:  $i = 1, \dots, N$ ).

Введем следующие обозначения:

$V_i$  – объем корма, который необходимо выдать в  $i$ -ю кормушку, л.

$Q_i$  – производительность насоса при раздаче корма в  $i$ -ю кормушку, л./с.

$P_i$  – мощность двигателя насоса при раздаче корма в  $i$ -ю кормушку, кВт.

$l_i$  – расстояние от насоса до  $i$ -й кормушки, м.

В частном случае, при расположении соседних кормушек на равных расстояниях друг от друга, выполняется соотношение:

$$l_i = l_0 + (i - 1) \cdot \Delta l,$$

где  $l_0$  – расстояние от насоса до первой кормушки, м;

$\Delta l$  – расстояние между соседними кормушками, м.

При постоянном значении влажности корма, определяемом зоотехническими требованиями кормления, мощность двигателя насоса и производительность насоса связаны соотношением:

$$P_i = K_0 \cdot l_i \cdot Q_i^\gamma, \quad (1)$$

где  $K_0 = const$ ,  $\gamma = const$  – постоянные коэффициенты.

Отсюда производительность выражается через мощность двигателя насоса следующей формулой:

$$Q_i = (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot P_i^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (2)$$

Время, затрачиваемое на раздачу корма в  $i$ -ю кормушку, равно:

$$t_i = \frac{V_i}{Q_i}. \quad (3)$$

Энергозатраты на раздачу корма в  $i$ -ю кормушку, равны  
:

$$E_i = P_i \cdot t_i. \quad (4)$$

Преобразуя выражения (3), (4) с учетом (1), (2), получим.

$$t_i = V_i \cdot (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot P_i^{-\frac{1}{\gamma}};$$

$$E_i = P_i \cdot t_i = V_i \cdot (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot P_i^{1-\frac{1}{\gamma}}.$$

Суммарное время раздачи корма в  $N$  кормушек равно:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N t_i = \sum_{i=1}^N V_i \cdot (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot P_i^{-\frac{1}{\gamma}}. \quad (5)$$

Суммарные энергозатраты при раздаче корма в  $N$  кормушек:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N E_i = \sum_{i=1}^N V_i \cdot (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}} \cdot P_i^{1-\frac{1}{\gamma}}. \quad (6)$$

Значение входящего в (5) и (6) произведения  $V_i \cdot (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}}$  определяется:

- влажностью раздаваемого корма;
- расстоянием от насоса до  $i$ -й кормушки.

Примем:

$$c_i = V_i \cdot (K_0 \cdot l_i)^{\frac{1}{\gamma}}. \quad (7)$$

Целевая функция (минимизация энергозатрат) принимает вид:

$$E_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N c_i \cdot P_i^{1-\frac{1}{\gamma}} \rightarrow \min.$$

Ограничение на максимальное время кормораздачи имеет вид:

$$t_{\Sigma} = \sum_{i=1}^N c_i \cdot P_i^{-\frac{1}{\gamma}} \leq t_{\max}.$$

Ограничение на максимальное и минимальное значение мощности двигателя:

$$P_i \leq P_{\max}.$$

Введя новую переменную:

$$x_i = P_i^{\frac{1}{\gamma}}, \quad (8)$$

получим оптимизационную задачу

$$\begin{aligned} E_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i^{1-\gamma} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i - t_{\max} &\leq 0, \\ x_{\min} &\leq x_i \leq x_{\max} \end{aligned} \quad (9)$$

с нелинейной целевой функцией и линейными ограничениями.

Аналитическое решение задачи оптимизации энергозатрат.

Составим для задачи (9) функцию Лагранжа:

$$L(x_1, \dots, x_N, \lambda) = \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i^{1-\gamma} + \lambda \cdot \left( \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i - t_{\max} \right).$$

Для проверки существования оптимального решения нелинейной задачи (9) воспользуемся условиями Куна-Такера:

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L(x^*, \lambda^*)}{\partial x_i} \geq 0; \\ x_i^* \cdot \frac{\partial L(x^*, \lambda^*)}{\partial x_i} = 0; \\ x_i^* \geq 0; \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L(x^*, \lambda^*)}{\partial \lambda} \leq 0; \\ \lambda^* \cdot \frac{\partial L(x^*, \lambda^*)}{\partial \lambda} = 0; \\ \lambda^* \geq 0. \end{array} \right. \quad (10)$$

**Вычислим частные производные функции Лагранжа:**

$$\frac{\partial L}{\partial x_i} = c_i \cdot (1 - \gamma) \cdot x_i^{-\gamma} + \lambda \cdot c_i;$$

$$\frac{\partial L}{\partial \lambda} = \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i - t_{\max}.$$

Учитывая, что  $x_i > 0$ , получаем, что для выполнения второго равенства в условии (10) необходимо равенство  $\frac{\partial L}{\partial x_i} = 0$ , откуда:

$$\lambda^* = -(1 - \gamma) \cdot (x_i^*)^{-\gamma}. \quad (11)$$

В нашем случае  $\gamma > 1$ , а, следовательно, должно выполняться:  $\lambda^* > 0$ . В этом случае выполнение условий (11) влечет  $\frac{\partial L(x^*, \lambda^*)}{\partial \lambda} = 0$ . Отсюда следует, что оптимальное решение задачи (9) будет существовать на границе области, задаваемой ограничением  $\sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i - t_{\max} \leq 0$ , т.е. при  $\sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i = t_{\max}$ .

Таким образом, задача (9) может быть преобразована к следующему виду:

$$\begin{aligned} E_{\Sigma} &= \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i^{1-\gamma} \rightarrow \min, \\ \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i - t_{\max} &= 0, \\ x_{\min} &\leq x_i \leq x_{\max}. \end{aligned} \quad (12)$$

Для решения задачи (12) приравняем нулю частные производные функции Лагранжа, получим следующую систему:

$$\begin{cases} (1-\gamma) \cdot x_i^{-\gamma} + \lambda = 0, & i = 1, \dots, N; \\ \sum_{i=1}^N c_i \cdot x_i - t_{\max} = 0. \end{cases} \quad (13)$$

Решив систему (13), получим:

$$\begin{cases} x_i^* = \left( \frac{\lambda}{(\gamma-1)} \right)^\gamma, & i = 1, \dots, N; \\ \left( \frac{\lambda}{(\gamma-1)} \right)^\gamma \cdot \sum_{i=1}^N c_i = t_{\max}; \end{cases} \quad \begin{cases} x_i^* = t_{\max} \cdot \left( \sum_{i=1}^N c_i \right)^{-1}, & i = 1, \dots, N; \\ \lambda = (1-\gamma) \cdot t_{\max}^{1/\gamma} \cdot \left( \sum_{i=1}^N c_i \right)^{-1/\gamma}. \end{cases} \quad (14)$$

Для рассмотрения достаточных условий экстремума найдем гессиан целевой функции. Вторые частные производные равны

$$\begin{aligned} \frac{\partial^2 E_\Sigma}{\partial x_i^2} &= c_i \cdot (\gamma-1) \cdot \gamma \cdot x_i^{-\gamma-1}, & i = 1, \dots, N; \\ \frac{\partial^2 E_\Sigma}{\partial x_i \cdot \partial x_j} &= 0, & i \neq j. \end{aligned}$$

Таким образом, гессиан целевой функции представляет собой диагональную матрицу:

$$H = (\gamma-1) \cdot \gamma \cdot \begin{pmatrix} c_1 \cdot x_1^{-\gamma-1} & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & c_i \cdot x_i^{-\gamma-1} & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ 0 & \dots & 0 & \dots & c_N \cdot x_N^{-\gamma-1} \end{pmatrix}.$$

Соответствующие диагональные миноры

$$\Delta_1 = (\gamma - 1) \cdot \gamma \cdot c_1 \cdot x_1^{-\gamma-1};$$

...

$$\Delta_i = ((\gamma - 1) \cdot \gamma)^i \cdot c_1 \cdot x_1^{-\gamma-1} \cdot \dots \cdot c_i \cdot x_i^{-\gamma-1};$$

...

$$\Delta_N = ((\gamma - 1) \cdot \gamma)^N \cdot c_1 \cdot x_1^{-\gamma-1} \cdot \dots \cdot c_i \cdot x_i^{-\gamma-1} \cdot \dots \cdot c_N \cdot x_N^{-\gamma-1};$$

положительны, поскольку  $\gamma > 1$ .

Так как гессиан положительно определен, то, следовательно, функция  $E_{\Sigma}(\vec{x})$  выпуклая, и найденные по (14) координаты являются координатами точки ее глобального минимума.

Таким образом, для минимизации энергозатрат на раздачу корма электродвигатель насоса должен работать с постоянной мощностью, значение которой (с учетом введенных обозначений (7), (8)) равно:

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

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

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

### Заключение

Разработана математическая модель распределенной системы раздачи жидких кормов свиньям. Осуществлена оптимизация параметров кормораздаточной установки по критерию энергозатрат. Для распределенной линии раздачи кормов определена оптимальная мощность насоса в зависимости от расстояния до станка, объема выдаваемого корма и его распределения по станкам.

### Список использованной литературы

1. Гируцкий И.И. Оценка энергозатрат на раздачу жидких кормов различной влажности свиньям / Гируцкий И.И., Жур А.А., Сеньков А.Г. // Агропанорама, №4(104) - 2014, с. 26-28.
2. Гируцкий И.И. Энергосберегающий потенциал интеллектуального управления раздачей жидких кормов на свиноводческих комплексах / Гируцкий И.И., Жур А.А., Матвейчук Н.М. // Агропанорама, №5(105) - 2014, с. 18-21.

УДК 631.333.92

**Павленко С.И., к.т.н., доц., Ляшенко А.А., инженер.**

*Запорожский научно-исследовательский центр механизации  
Животноводства, Украина, г. Запорожье*

## РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ СМЕСИТЕЛЯ-АЭРАТОРА КОМПОСТОВ

### Введение

Получение высококачественных органических удобрений остается одним из наиболее актуальных вопросов не только с точки зрения повышения плодородия сельскохозяйственных угодий, но и как основной технологический процесс переработки отходов животноводства и растениеводства (навоз, помет, твердая фракция жидкого навоза, уплотненные иловые осадки, подстилочные материалы, солома и другие). Эффективное решение экологически безопасного обращения с отходами требует внедрения новых технологических решений с соответствующим техническим обеспечением наиболее энергоемких операций.

Одним из перспективных направлений переработки сельскохозяйственных отходов является технология ускоренного биотермического компостирования. Отличие технологии от известных решений компостирования, в т.ч. путем длительного выдерживания в буртах, заключается в контроле и управлении процессом на различных стадиях [1]. Основные принципы разработанной технологии изложены в целом ряде работ [2, 3] и предполагают выполнение таких технологических операций как подготовка исходных смесей путем смешивания компонентов, измельчение крупных