

# Технико-технологическое обеспечение подсистемы выращивания нетели

*О.В. Ужик, к.т.н., Белгородская ГСХА*

Один из критериев оценки целевой функции подсистемы выращивания нетели — биомасса молочной железы. Особо важным является период второй половины стельности животного. Начиная с 5–6 мес. происходит естественная активизация развития вымени, а также имеет место дополнительное наращивание его биомассы в результате возмущающего воздействия — массажа.

На рисунке приведена схема подсистемы выращивания нетели, состоящей из нескольких звеньев: главное звено — оператор; звено выращивания нетелей до 6-месячной стельности; звено выращивания нетелей с 6-месячной стельности.

Переходное состояние в данном случае — изменение физиологического состояния животного

под воздействием внешних факторов и внутренних процессов, происходящих в организме.

Действенным сигналом подсистемы выращивания нетели во второй половине стельности является массаж вымени животных, который стимулирует его рост (наращивание биомассы), что в конечном счёте должно привести к росту молочной продуктивности коровы. Это и будет служить оценкой эффективности выращивания нетели.

Предложенная нами подсистема формирования вымени нетели снабжена обратной связью, обеспечивающей оптимизацию управлений действием исполнительных машин и механизмов технологического процесса в текущий момент времени, оцениваемой по реакции как объекта воздействия, так и внешнего окружения.

При этом полагаем, что внешняя среда — субстрат, представляющий собой базовые эле-

менты технологии содержания нетели с соответствующим её физиологии режимами поения, кормления, микроклимата и т.д.

Однако, как показано на рисунке, в подсистеме формирования вымени нетели присутствуют и случайные факторы. Следует отметить, что оптимизация управлений, формируемая на опыте выращивания текущих животных, более значимой оказывается для последующих групп животных.

Каждое звено характеризуется своим выходным сигналом. Для первого звена выходным сигналом является масса вымени, формируемая в результате естественных биологических процессов, протекающих в организме нетели в соответствии с её физиологическим состоянием. Для второго звена масса вымени, формируемая за счёт механического воздействия на молочную железу (массажа), наряду с естественной активизацией тканеобразующих процессов сообразно периоду стельности животного.

Очевидно, что деятельность как каждого звена, так и подсистемы в целом должна оцениваться своей целевой функцией:

$$f(t) \begin{cases} f_1(\tau_\alpha) - \text{целевая функция звена} \\ \text{выращивания нетелей до 6 мес.} \\ \text{стельности;} \\ f_2(\tau_\beta) - \text{целевая функция звена} \\ \text{выращивания нетелей с 6 мес.} \\ \text{стельности до отёла,} \end{cases} \quad (1)$$

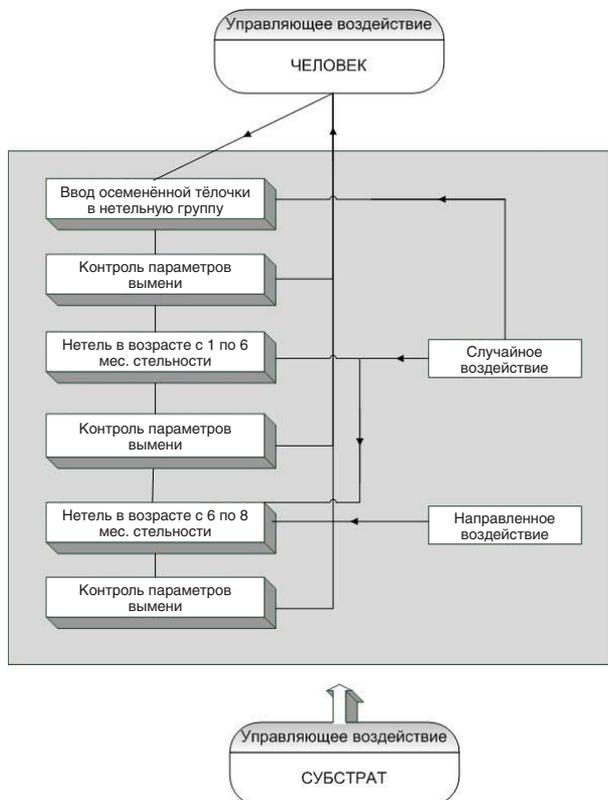


Рис. – Схема подсистемы выращивания нетели

где  $f(t)$  – целевая функция управления подсистемой выращивания нетелей.

Конечная цель функционирования подсистемы – получение максимальной массы вымени нетели. Известно, что математической моделью данной подсистемы является интегратор [1, 4], который с учётом смены режима работы в момент времени можно представить в виде:

$$m(t, \tau) \begin{cases} m_1(t), t < \tau \\ y_2^{(0)}(\tau)q_2(t, \tau) + \int_{\tau}^t q_2(t, u)x_2(u, \tau)du, t > \tau, \end{cases} \quad (2)$$

где  $m(t, \tau)$  – текущее значение массы вымени в период времени ;

$m_1(t)$  – конечное значение первого периода выращивания нетели;

$y_2^{(0)}(\tau)$  – исходное значение выходной переменной второго периода выращивания нетели;

$q_2(t, \tau)$  и  $q_2(t, u)$  – функции роста вымени в период времени  $t$  и  $u, u \in (t, \tau)$ ;  $x_2(u, \tau)$  – воздействие.

Так как технологический процесс формирования вымени непрерывен, то:

$$y_2^{(0)}(\tau) = m_1(\tau). \quad (3)$$

Отсюда

$$m(t, \tau) \begin{cases} m_1(t), t < \tau \\ m_1(\tau) + y_2(t - \tau), t \geq \tau, \end{cases} \quad (4)$$

где  $m_1(t)$  – выходная переменная при  $t < \tau$  ;

$y_2(t - \tau)$  – прирост вымени в результате внешнего воздействия, осуществляемого в интервале времени  $u \in (t - \tau, t)$ .

Математическое ожидание вектора выходных переменных подсистемы выращивания нетели может быть представлено суммой двух слагаемых, соответствующих возможному режиму функционирования:

$$\bar{m}(t, \tau) = \bar{Y}_1 + \bar{Y}_2, \quad (5)$$

где  $\bar{Y}_1$  и  $\bar{Y}_2$  – математическое ожидание выходных переменных первого и второго режимов.

Опуская промежуточные выкладки [1, 5], мы можем привести уравнение, полностью определяющее положение в пространстве подсистемы выращивания нетели:

$$\bar{m}(t, \tau) = \sum_{i=1}^{\beta} p_i(\tau_\alpha)m_i + \sum_{i=1}^k p_i^{r_i}(u_k)m_i^{r_i}, \quad (6)$$

где  $r_i$  – множество внешних воздействий;

$p_i$  – вероятности принятия значений массы  $m_i$ ;

$\tau_\alpha$  – множество моментов времени нахождения нетелей в первом режиме;

$u_k$  – множество моментов времени нахождения нетелей во втором режиме;

а также целевую функцию управления технологическим процессом:

$$f_2(t_{\alpha+u}) = \bar{m}(\tau_\alpha) + \bar{m}^{r_i}(u_k). \quad (7)$$

Получение максимальной массы (объёма) вымени – главная задача выращивания нетели. Поэтому условие оптимального управления технологическим процессом будет иметь вид:

$$\max f_2(t_{\alpha+u}) = \max \bar{m}(\tau_\alpha) + \max \bar{m}^{ri}(u_k). \quad (8)$$

Анализ уравнения (8) показывает, что максимум целевой функции  $f_2(t_{\alpha+u})$  может быть достигнут при максимуме функции первого режима, а также при выборе оптимальных управлений, обеспечивающих максимум прироста вымени, во втором режиме.

Известны многие математические выражения, характеризующие динамику развития биологических объектов в результате преобразования энергии [6]. Если эта система находится в равновесии, т.е. не получает из внешней среды и, наоборот, ничего не теряет, то для неё будет справедливо выражение:

$$\frac{dm}{dt} = -\frac{dS}{dt}. \quad (9)$$

Тогда

$$\frac{dm}{dt} + \frac{dS}{dt} = \frac{d}{dt}(m + S) = 0. \quad (10)$$

Из уравнения (10) следует, что

$$m + S = Const = m_0 + S_0 = m_f + S_f = C, \quad (11)$$

где  $m_0$  и  $S_0$  – исходные значения массы вымени  $m$  и энергии  $S$  источника преобразования в момент времени  $t=0$ ;

$m_f$  и  $S_f$  – значения, к которым приближаются значения  $m$  и  $S$  при  $t$ .

В таком случае наиболее приемлемым для описания характера преобразования энергии питательной среды в конечный продукт будет уравнение логистического роста, при использовании которого делается двойное допущение: энергия роста пропорциональна массе вымени  $m$ ; механизм роста работает со скоростью, пропорциональной ресурсу источника энергии  $S$ ; процесс роста необратим. Тогда:

$$\frac{dm}{dt} = kmS, \quad (12)$$

где  $k$  – коэффициент пропорциональности, который в свою очередь определяется как:

$$k = \frac{\mu}{m_f}, \quad (13)$$

где  $\mu$  – удельный темп роста вымени нетели.

Так как из (11) следует, что при  $S_f=0$  (условие завершения преобразования энергии среды обитания):

$$S = Const = m_f - m, \quad (14)$$

то уравнение (12) можно представить в виде:

$$\frac{dm}{dt} = km(m_f - m), \quad (15)$$

а с учётом (13):

$$\frac{dm}{dt} = \frac{\mu}{m_f} m(m_f - m) = \mu m \left(1 - \frac{m}{m_f}\right). \quad (16)$$

В таком случае:

$$\int_{m_0}^m \left( \frac{1}{m_f - m} + \frac{1}{m} \right) dm = \int_0^t \mu dt. \quad (17)$$

Проинтегрировав (17), получим уравнение:

$$m = \frac{m_0 m_f e^{\mu t}}{m_f + m_0 (e^{\mu t} - 1)}, \quad (18)$$

из которого следует, что рост вымени нетели осуществляется по экспоненте и носит асимптотический характер с замедлением темпа роста при достижении  $m_f$ .

Исходя из условия формирования вымени нетели путём проведения массажа во второй половине стельности представляется весьма важным установление времени, с которого необходимо начинать применять эту технологическую операцию. Наиболее вероятный момент – точка перегиба кривой роста вымени. Определить её можно, продифференцировав уравнение (16) и приравняв его правую часть нулю. Из его решения следует, что перегиб кривой роста имеет место при достижении массы вымени:

$$m = \frac{1}{2} m_f, \quad (19)$$

в момент времени  $t_{mac}$ , который можно определить путём подстановки (19) в уравнение (18):

$$t_{mac} = \frac{1}{\mu} \ln \left( \frac{m_f - m_0}{m_0} \right). \quad (20)$$

Рост вымени нетели под воздействием массажа, реализуемого во второй половине стельности, достаточно подробно рассмотрен в работе В.Ф. Ужика [6]. Полученное им уравнение роста молочной железы имеет вид:

$$m_s = m + \frac{P n_{10}}{r} (1 - e^{-rt}), \quad (21)$$

где  $m_s$  – суммарная масса вымени, кг;

$m$  – масса вымени, определяемая полученным нами уравнением роста молочной железы (18), кг;

$P$  – мощность процесса массажа вымени нетели, Вт;

$n_{10}$  – удельный прирост массы вымени нетели на единицу сообщаемой мощности в процессе массажа в период времени  $t=0$ , кг/Вт;

$r$  – коэффициент, учитывающий изменение влияния на прирост вымени в процессе массажа по мере старения организма нетели.

После подстановки (18) в (21) последнее приобретет вид:

$$m_s = \frac{m_0 m_f e^{\mu t}}{m_f + m_0 (e^{\mu t} - 1)} + \frac{P n_{10}}{r} (1 - e^{-rt}) \quad (22)$$

Таким образом, нами получено уточнённое уравнение, характеризующее динамику увеличения массы вымени нетели при наличии возмущающего воздействия на него.

После отёла из отелившихся нетелей формируют группы раздоя, где их оценивают по динамике роста молочной продуктивности в сравнении со средним показателем по предприятию. Не соответствующих критериям оценки коров и первотёлок по завершении периода раздоя выбраковывают.

Одним из механических приспособлений, обеспечивающих пневмомеханическое воздействие на рецепторные зоны молочной железы, может быть предложенное нами устройство [7]. Принцип его действия основан на вызове колебаний системы массажное устройство – вымя под воздействием пневмовибратора.

Мощность  $P_{мас}$  процесса массажа вымени нетели, развиваемая предлагаемым устройством, равна:

$$P_{мас} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{S\beta\sqrt{A_{\max}}}{m_1 + m_2} - \frac{a^2}{2(m_1 + m_2)^2}} \times \left( aA_{\max}^2 \sqrt{\frac{S\beta\sqrt{A_{\max}}}{m_1 + m_2} - \frac{a^2}{4(m_1 + m_2)^2}} + aA_{\max}^2 \sqrt{\frac{S\beta\sqrt{A_{\max}}}{m_2} - \frac{a^2}{4m_2^2}} \right), \quad (23)$$

где  $m_1$  – масса вымени, кг;  
 $m_2$  – масса массажного устройства, кг;  
 $a$  – коэффициент пропорциональности, кг/с;  
 $S$  – площадь поперечного сечения вымени, м<sup>2</sup>;  
 $\beta$  – коэффициент пропорциональности деформации вымени, Н/м<sup>7/2</sup>;  
 $A_{\max}$  – амплитуда колебаний системы вымя – массажное устройство, м.

Подставив данное выражение в уравнение (22):

$$m_s = \frac{m_0 m_f e^{\mu t}}{m_f + m_0 (e^{\mu t} - 1)} + (1 - e^{-rt}) \frac{n_{10}}{\pi r} \sqrt{\frac{S\beta\sqrt{A_{\max}}}{m_1 + m_2} - \frac{a^2}{2(m_1 + m_2)^2}} \times \left( aA_{\max}^2 \sqrt{\frac{S\beta\sqrt{A_{\max}}}{m_1 + m_2} - \frac{a^2}{4(m_1 + m_2)^2}} + aA_{\max}^2 \sqrt{\frac{S\beta\sqrt{A_{\max}}}{m_2} - \frac{a^2}{4m_2^2}} \right), \quad (24)$$

мы получим математическую модель роста вымени нетели при внешнем воздействии на молочную железу путём массажа с учётом конструктивно-режимных параметров массажного устройства.

Экспериментальными исследованиями массажного устройства установлено, что амплитуда колебаний вымени под его воздействием зависит от массы устройства, массы груза пневмовибратора, частоты колебаний, а также диаметра мембраны. Так, для обеспечения амплитуды колебаний вымени, равной 18 мм, при массе молочной железы 3 кг, устройство для массажа вымени должно обладать следующими параметрами: масса 0,5 кг, масса груза пневмовибратора 0,13 кг, частота пульсаций – 1,7 Гц, диаметр мембраны – 0,12 м.

Обработкой результатов производственных испытаний массажного устройства подтверждена адекватность математических и эмпирических моделей роста вымени нетели при наличии возмущающего воздействия – массажа молочной железы. Установлено, что первотёлки, которым массаж вымени в нетельный период осуществляли экспериментальным устройством, превосходили своих аналогов в группе с массажем устройством АПМ-Ф-1 на 78 кг, а животных контрольной группы – на 156,7 кг молока. Это указывает на целесообразность его использования в производстве при формировании вымени высокопродуктивных коров.

### Литература

1. Ужик В.Ф., Ужик О.В., Ужик Я.В. Теория технологий и технических средств в животноводстве: монография. Белгород: Изд-во БелГСХА, 2009. 198 с.
2. Скляревич А. Е, Скляревич Ф. К. Вероятностные модели объектов с возможными изменениями. Рига: Зинатне, 1989. 366 с.
3. Поляк Б.Т. Введение в оптимизацию. М.: Наука, 1983. 384 с.
4. Вентцель Е.С., Овчаров Л.А. Теория вероятностей и её инженерные приложения. М.: Наука, 1988. 480 с.
5. Ужик В.Ф. Совершенствование средств механизации для формирования вымени высокопродуктивных коров: автореф. дисс.... докт. техн. наук. Оренбург, 1994. 38 с.
6. Франс Дж., Торнли Дж.Х.М. Математические модели в сельском хозяйстве / Пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. Предисл. Ф.И. Ерешко, А.С. Каменского. М.: Агропромиздат, 1987. 400 с.
7. Патент №2368133 RU, С1 МПК А 01 J 7/00 Устройство для массажа вымени нетелей / Ужик О.В. (RU). №2008140357/12; Заявлено 10.10.2008; Опубл. 27.09.2009, Бюл. №27.