

ОПТИМИЗАЦИЯ СТРАТЕГИИ ФОРМИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ И ОТКОРМЕ КРУПНОГО РОГАТОГО СКОТА НА КОМПЛЕКСАХ

А.И. КУЦЕНКО, к.э.н.

(Кафедра электрификации и автоматизации)

На основе математического анализа биологических закономерностей роста и развития молодняка крупного рогатого скота при выращивании и откорме на комплексах определяются оптимальные варианты формирования динамики продуктивности, обеспечивающие реализацию потенциальных продуктивных возможностей животных.

Одним из важных направлений восстановления и развития отрасли животноводства в соответствии с приоритетным национальным проектом является использование накопленного в прошлом опыта работы комплексов по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота. В середине 80-х годов в стране насчитывалось около 2,5 тыс. крупных откормочных комплексов, что составляло всего 5% общего числа хозяйств, которые производили более 25% валового прироста и откармливали 7-8 млн гол. молодняка крупного рогатого скота [2]. Наилучшие результаты производства были достигнуты на 320 промышленных комплексах и межхозяйственных предприятиях, производственные мощности которых составили 2,3 млн скотомест с годовым оборотом в 2 млн гол. Особенно высокие показатели были получены на 34 промышленных комплексах, освоивших типовую технологию с полным циклом производства. Из них 8 комплексов продавали государству в год по 80,8 тыс. гол. молодняка средней живой массой одной головы 432 кг в 14-месячном возрасте. Среднесуточный прирост живой массы за весь цикл выращивания и откорма составлял 992 г, расход кормов на 1 кг прироста — 5,8 кг корм, ед., затраты

труда на 1 ц прироста — 3,7 чел.-ч с колебаниями от 2,9 до 5,3 чел.-ч [6].

В настоящее время в различных регионах осуществляется возрождение подобных комплексов. Так, восстановлен и набирает обороты комплекс «Дубровский» в Челябинской обл. Успешно работают комплексы «Мценский» в Орловской обл., «Маяк», «Лискинский» в Воронежской обл., «Кировский» в Московской обл. и др.

Для обеспечения эффективной работы подобных комплексов в условиях рыночной экономики необходимо установить закономерности функционирования и тенденции развития производства для реализации потенциальных продуктивных возможностей животных. В решении этой задачи основное значение приобретает применение методов математического моделирования и оптимизации производственных и технологических процессов.

1. Моделирование роста и формирования продуктивности животных на комплексах по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота. Рост и формирование продуктивности являются двумя взаимосвязанными и взаимообусловленными сторонами единого процесса последовательного изменения физиологического состояния животного. При этом

рост животного характеризуется абсолютными показателями, а формирование продуктивности — относительными.

Рост животного сопровождается последовательным изменением его живой массы во времени $p(t)$ и описывается выражением

$$p(t) = p_0 + \Phi(t), \quad (1)$$

где p_0 — живая масса животного при рождении или постановке на откорм, $\Phi(t)$ — общий прирост живой массы животного за время t .

Формирование продуктивности животного характеризуется скоростью изменения живой массы во времени и представлено функцией $\varphi(t)$, которая получена из (1) путем дифференцирования

$$\varphi(t) = \frac{dp}{dt} = \frac{d\Phi}{dt} \quad (2)$$

и рассматривается как функция продуктивности животного при его откорме. Другими словами $\varphi(t)$ отражает динамику приростов живой массы животного.

Из (2) и (1) следует, что

$$\Phi(t) = \int_0^t \varphi(t) dt, \quad p(t) = p_0 + \int_0^t \varphi(t) dt. \quad (3)$$

Экспериментальными исследованиями установлено, что отношение суточных приростов живой массы животного $\varphi(t)$ к общему приросту массы животного за предыдущий период $\Phi(t)$ описывается гиперболической зависимостью [7]. Сказанное является справедливым также и для случая, когда в качестве функции продуктивности рассматриваются надои коров в пределах одной лактации, т.е. когда рассматривается отношение суточных надоев к общему надою за предыдущий период. Принимая данное утверждение в качестве рабочей гипотезы, математически это можно выразить в виде соотношения

$$\frac{\varphi(t)}{\Phi(t)} = \frac{k}{t} + a \quad (4)$$

и, используя (2), получить дифференциальное уравнение

$$\frac{1}{\Phi(t)} \frac{d\Phi(t)}{dt} = \frac{k}{t} + a. \quad (5)$$

Решением уравнения (5) является функция

$$\Phi(t) = t^k e^{at+b}, \quad (6)$$

где k, a, b — параметры, определяющие форму кривой.

Отсюда путем дифференцирования (6) получено описание функции продуктивности в виде

$$\varphi(t) = \frac{d\Phi}{dt} = t^k e^{at+b} \left(\frac{k}{t} + a \right). \quad (7)$$

Рекуррентные соотношения в дискретной форме при расчете общего прироста живой массы животного или надоя от коровы за t суток следующие:

$$\begin{aligned} \Phi_{t+1} &= \sum_{r=1}^t \varphi_r, \quad \varphi_{t+1} = \Phi_{t+1} \left(\frac{k}{t} + a \right), \\ \varphi_1 &= \varphi_0, \quad \Phi_1 = 0. \end{aligned} \quad (8)$$

В общем случае функция продуктивности животных может быть определена путем аппроксимации данных научно-производственных экспериментов. При отсутствии необходимой информации по фактической динамике продуктивности при выращивании и откорме на комплексах молодняка крупного рогатого скота до 550-650 кг, что препятствует определению соответствующих производственных функций, следует рассматривать гипотетические функции, характеристики которых аналогичны фактическим данным или совпадают с типовыми проектными требованиями.

Полученное выражение (7) для описания функции продуктивности оказалось недостаточно удобным для его применения при проведении аналитических преобразований, а также при

определении параметров функции продуктивности в общем виде и по имеющимся данным. Это создает некоторые трудности для получения качественных выводов и определения количественных характеристик при проведении математического анализа закономерностей роста, развития и формирования динамики продуктивности животных.

В связи с этим при описании функции продуктивности более предпочтительным является использование ее упрощенного аналога в форме параболы

$$\varphi(t) = at^2 + bt + c, \quad (9)$$

которая отражает основные биологические закономерности проявления потенциальных продуктивных возможностей животного при откорме, выражающиеся в постепенном росте величины продуктивности, достижении максимальных значений и дальнейшим ее убыванием.

Подобное описание $\varphi(t)$ обусловлено возможностью ее получения из (7) путем разложения в ряд Тейлора-Маклорена с точностью до величин третьего порядка, которыми можно пренебречь на начальном и заключительном участках кривой продуктивности.

Для определения параметров параболы $\varphi(t)$ необходимо иметь три условия, позволяющие составить систему трех уравнений с тремя неизвестными. Так как парабола симметрична относительно прямой $t = t'$, проходящей через точку максимального значения функции продуктивности $\varphi(t') = \varphi_{\max}$, то при известной начальной продуктивности $\varphi(0) = \varphi_0$ при $t = 0$ значение функции при $t = 2t'$ составляет $\varphi(2t') = \varphi_0$. Отсюда

$$\begin{cases} a \cdot 0 + b \cdot 0 + c = \varphi_0 & (t=0) \\ a t'^2 + b t' + c = \varphi_{\max} & (t=t') \\ 4 a t'^2 + 2 b t' + c = \varphi_0 & (t=2t') \end{cases} \quad (10)$$

Решение системы уравнений (10):

$$c = \varphi_0, \quad b = -2 a t', \quad a = \frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{t'^2} \quad (11)$$

При использовании параметра среднесуточного прироста живой массы φ_{cp} в течение периода содержания животного продолжительностью T получены следующие выражения для расчета параметров функции продуктивности:

$$a = \frac{\varphi_{\text{cp}} - \varphi_0}{\frac{T^2}{3} - t' T}, \quad (12)$$

$$b = \frac{2t'(\varphi_0 - \varphi_{\text{cp}})}{\frac{T^2}{3} - t' T}, \quad c = \varphi_0.$$

Аналогичным путем получены формулы при использовании других исходных условий.

В соответствии с технологией выращивания и откорма комплексов на 10 тыс. гол. молодняка крупного рогатого скота по экспериментальному проекту [2, 8] максимальная суточная продуктивность молодняка должна достигаться при $t' = 375$ сут откорма, что составляет 12,5 мес. При $T = 392$ сут $\varphi_{\text{cp}} = 1033$ г, $\varphi(0) = \varphi(2t') = 300$ г. Эти условия позволяют определить параметры потенциальной функции продуктивности:

$$\begin{aligned} a &= -0,0076565; \\ b &= 5,7424; \quad c = 300. \end{aligned} \quad (13)$$

Однако на практике реализация имеющихся у животных потенциальных продуктивных возможностей не обеспечивается. Из-за отклонений от первоначальных исходных требований экспериментального проекта по созданию оптимальных условий осуществления производственного процесса максимальный суточный прирост живой массы молодняка наблюдается в возрасте 10,5 — 11,5 мес, что и было отражено в типовой программе откорма [6]. Поэтому при определении параметров типовой функции продуктивности будем исходить из того, что

максимальная суточная продуктивность молодняка достигается в 11 мес при 10-суточном возрасте животных, поступающих на комплекс, что составляет $t' = 320$ сут откорма.

Типовая программа предусматривает получение среднесуточного прироста живой массы $\varphi_{cp} = 970$ г при $T = 392$ сут. При этом в течение первого периода — выращивания $\hat{t} = 115$ сут продуктивность молодняка $\varphi_1 = 722$ г, в течение второго периода — доращивания и откорма $(T - t_1) = 277$ сут $\varphi_2 = 1072$ г. Проведенные расчеты при использовании этих условий позволили получить следующие значения параметров типовой функции продуктивности:

$$\begin{aligned} a &= -0,005925; \\ b &= 3,7934; c = 530. \end{aligned} \quad (14)$$

Для сравнения потенциальная и типовая функции продуктивности представлены на рис. 1. Показаны и соответствующие им функции среднесуточного прироста живой массы животных.

На рис. 2 представлена динамика накопления живой массы в зависимости от продолжительности периода содержания животных в соответствии с рассмотренными функциями формирования динамики продуктивности при поступлении молодняка на откормочный комплекс живой массой $p_0 = 45$ кг.

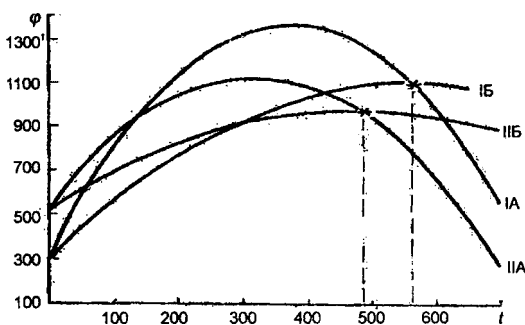


Рис. 1. Динамика суточного (А) и среднесуточного (Б) прироста живой массы молодняка КРС (г), описываемая функциями продуктивности: потенциальной (I) и типовой (II)

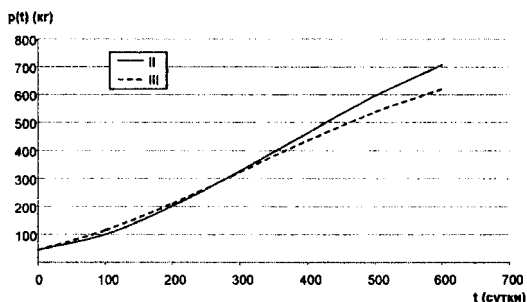


Рис. 2. Динамика живой массы при выращивании и откорме молодняка КРС, соответствующая потенциальной и типовой функциям продуктивности

2. Оптимизация продолжительности периода содержания при выращивании и откорме животных. На основании заданной условием (9) динамики продуктивности $\varphi(t)$ определим оптимальную продолжительность периода содержания животного T^* , при которой достигается наиболее эффективное использование потенциальных продуктивных возможностей животного по образованию продукции.

Эффективность характеризует соотношение затрат или расходуемых ресурсов и полученных результатов. Результатом откорма животного является полученный общий прирост его живой массы

$$\Phi(T) = \int_0^T \varphi(t) dt = \frac{aT^3}{3} + \frac{bT^2}{2} + cT, \quad (15)$$

а в качестве затрат может рассматриваться время T , потраченное на его получение. Поэтому максимизация их отношения, представляющего среднесуточный прирост массы животного, принимается в качестве критерия оптимальности

$$[\max] \varphi_{cp}(T) = \frac{\Phi(T)}{T} = \frac{aT^2}{3} + \frac{bT}{2} + c. \quad (16)$$

Максимальное значение $\varphi_{cp}(T)$ достигается, когда его первая производная равна нулю $\varphi'_{cp}(T) = 0$, т.е.

$$\varphi'_{\text{ср.}}(T) = \left(\frac{aT^2}{3} + \frac{bT}{2} + c \right)' = \frac{2}{3}aT + \frac{1}{2}b = 0,$$

откуда $T^* = -\frac{3b}{4a}$ и, подставляя $b = -2a t'$, окончательно получим

$$T^* = 1,5 t'. \quad (17)$$

Для уточнения взаимного расположения графиков функций $\varphi(t)$ и $\varphi_{\text{ср.}}(t)$ (см. рис. 1) определим, при каком t они пересекаются: $\varphi(t) = \varphi_{\text{ср.}}(t)$ или

$$at^2 + bt + c = \frac{at^2}{3} + \frac{bt}{2} + c,$$

откуда $t = -\frac{3b}{4a} = 1,5 t' = T^*$. Следова-

тельно, они пересекаются в точке достижения максимального среднесуточного прироста живой массы животного.

Таким образом, при динамике продуктивности животного, описываемой параболой, максимальный среднесуточный прирост живой массы достигается при оптимальной продолжительности периода содержания животного T^* , в 1,5 раза превышающей продолжительность периода достижения максимального уровня суточной продуктивности.

Максимальный среднесуточный прирост массы животных при использовании типовой и потенциальной функций продуктивности достигается при $T^* = 480$ сут и $T^* = 562,5$ сут и составляет соответственно 985 и 1107 г (см. рис. 1).

3. Оптимизация стратегии формирования динамики продуктивности при выращивании и откорме молодняка крупного рогатого скота. Выбор основного направления в реализации потенциальных продуктивных возможностей животных представляет собой оптимизацию стратегии формирования динамики продуктивности.

Описание динамики формирования продуктивности на основе использова-

ния параболической функции позволило получить существенные количественные и качественные выводы по оптимизации выращивания и откорма молодняка крупного рогатого скота в условиях откормочных комплексов. Применяя предложенный метод, расширим наши представления и обобщим полученные результаты при рассмотрении других вариантов формирования динамики продуктивности животных.

На рис. 3 представлены три основных варианта формирования динамики продуктивности при выращивании и откорме молодняка крупного рогатого скота в условиях откормочных комплексов, отражающих биологические закономерности роста и развития животных, заключающихся при прочих равных условиях в последовательном возрастании продуктивных возможностей, достижении максимальных значений и дальнейшим их убыванием.

В первом варианте продуктивность вначале быстро возрастает, а затем после достижения максимальных значений, медленно убывает. При этом животные в начальном периоде быстро наращивают живую массу.

Для определения оптимальной продолжительности периода содержания животного, обеспечивающей максимизацию среднесуточного прироста живой массы, в данном случае будем рассматривать функцию продуктивности, состоящую на участке $[0; 0,5 t']$ из части параболы $\varphi(t) = at^2 + bt + c$ со значениями параметров: $\varphi(0) = \varphi_0$, $\varphi(0,5t') = \varphi_{\text{max}}$, $\varphi(t') = \varphi_0$, а также на участке $[0,5 t'; 2 t']$ из отрезка прямой $f(t) = kt + l$ со значениями параметров: $f(0,5t') = \varphi_{\text{max}}$, $f(2t') = \varphi_0$.

При составлении и решении соответствующих систем уравнений с тремя и двумя неизвестными получены следующие значения параметров параболы и прямой:

$$a = \frac{4(\varphi_0 - \varphi_{\text{max}})}{t'^2}, \quad b = \frac{4(\varphi_{\text{max}} - \varphi_0)}{t'}, \quad (18)$$

$$c = \varphi_0;$$

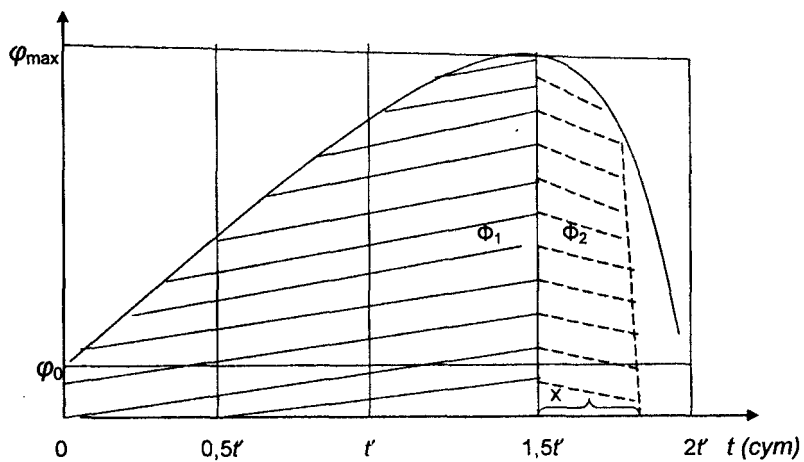
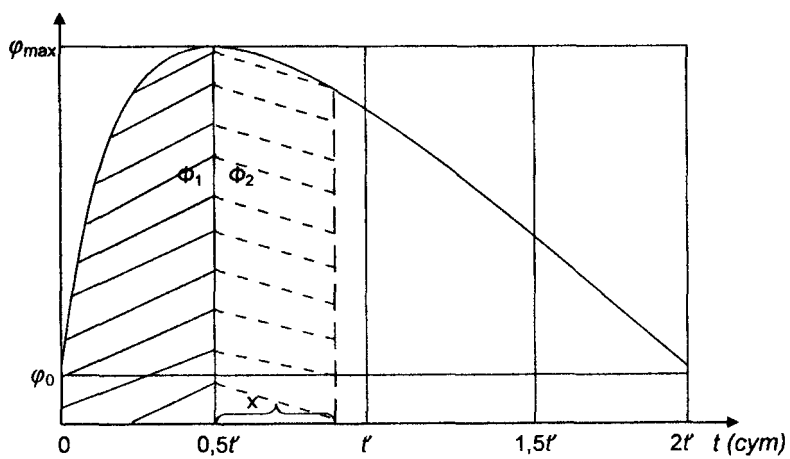
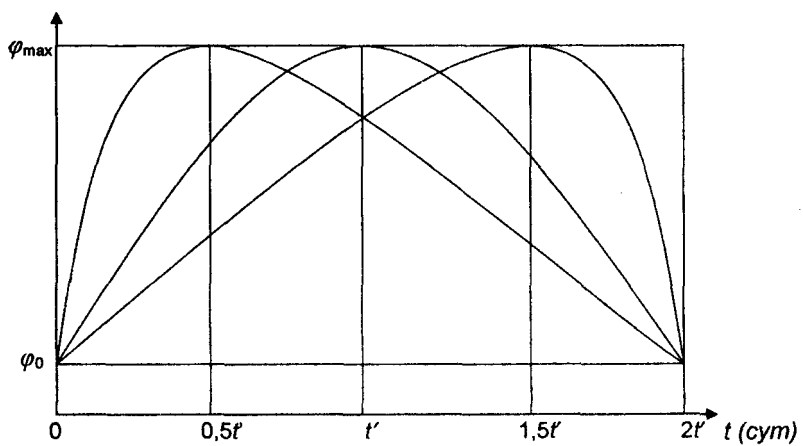


Рис. 3. Варианты формирования динамики продуктивности при выращивании и откорме молодняка КРС

$$k = \frac{2(\varphi_0 - \varphi_{\max})}{3t'}, l = \frac{4\varphi_{\max} - \varphi_0}{3} \quad (19)$$

Прирост живой массы животного на участке $[0; 0,5 t']$ составляет площадь Φ_1 под участком параболы:

$$\begin{aligned} \Phi_1 &= \int_0^{0,5t'} \varphi(t) dt = \left(\frac{at^3}{3} + \frac{bt^2}{2} + ct \right) \Big|_0^{0,5t'} = \\ &= \frac{\varphi_0 + 2\varphi_{\max}}{6} t'. \end{aligned} \quad (20)$$

Аналогично прирост живой массы животного на участке $[0,5t'; 0,5t'+x]$ составляет площадь Φ_2 под соответствующим отрезком прямой, где $0,5t'+x$ оптимальная продолжительность периода содержания животного, x — продолжительность периода содержания после достижения максимальных уровней продуктивности. Вычислив

$$\begin{aligned} f(0,5t' + x) &= k(0,5t' + x) + l = \\ &= \frac{2(\varphi_0 - \varphi_{\max})}{3t'} x + \varphi_{\max}, \end{aligned} \quad (21)$$

получим Φ_2 — площадь прямоугольной трапеции, как произведение по лусуммы оснований на высоту:

$$\begin{aligned} \Phi_2 &= \frac{1}{2} (\varphi_{\max} + f(0,5t' + x)) x = \\ &= \frac{(\varphi_0 - \varphi_{\max})}{3t'} x^2 + \varphi_{\max} x. \end{aligned} \quad (22)$$

Отсюда окончательно получаем выражение для расчета среднесуточного прироста живой массы животного

$$\varphi_{\text{ср.}} = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{0,5t' + x} = \frac{\alpha x^2 + \beta x + \gamma}{0,5t' + x}, \quad (23)$$

где $\alpha = \frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{3t'}$, $\beta = \varphi_{\max}$,

$$\gamma = \frac{\varphi_0 + 2\varphi_{\max}}{6} t'.$$

Максимальное значение $\varphi_{\text{ср.}}$ достигается, когда его первая производная равна нулю $\varphi'_{\text{ср.}} = 0$, откуда после проведения соответствующих преобразований получим

$$\begin{aligned} \varphi'_{\text{ср.}} &= \frac{\alpha x^2 + \alpha t'x + (0,5\beta t' - \gamma)}{(0,5t' + x)^2} = \\ &= \frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{6t'} \frac{[2x^2 + 2t'x - t'^2]}{(0,5t' + x)^2} = 0. \end{aligned} \quad (24)$$

Решением полученного квадратного уравнения $2x^2 + 2t'x - t'^2 = 0$ является положительный корень

$$x = 0,5t'(\sqrt{3} - 1). \quad (25)$$

Отсюда оптимальная продолжительность периода содержания животного при динамике формирования продуктивности по первому варианту составляет

$$\begin{aligned} T^* &= 0,5t' + x = \\ &= 0,5t' + 0,5t'(\sqrt{3} - 1) = \frac{\sqrt{3}}{2} t'. \end{aligned} \quad (26)$$

Подставляя в (23) и вычисляя другие значения параметров при $t' = 320$ сут, $\varphi_0 = 530$ г, $\varphi_{\max} = 1137$ г, получим

$$\begin{aligned} \varphi_{\text{ср.}} &= 989 \text{ г}, x = 0,73 \times 0,5t' = \\ &= 117 \text{ сут}, T^* = \frac{\sqrt{3}}{2} t' = 277 \text{ сут}. \end{aligned} \quad (26)$$

В результате полученная оптимальная продолжительность периода содержания животных с точностью до одного дня совпадает с продолжительностью второго периода содержания животных на откормочном комплексе (277 сут) в соответствии с типовым вариантом технологии. При этом варианте формирования динамики продуктивности фактически выпадает первый период — выращивания на комплексе, что в общем-то и следовало ожидать, так как реализацию подобной функции продуктивности можно обеспечить при проведении предваритель-

ного выращивания молодняка крупного рогатого скота.

Полученный результат хорошо согласуется с практикой выращивания и откорма молодняка крупного рогатого скота на комплексах, поскольку достаточно адекватно отражает закономерности формирования динамики продуктивности для второго периода описываемого процесса: животные испытывают сильный стресс после их перевода с первого периода — выращивания на второй — для прохождения заключительного откорма. Вначале наблюдается низкая продуктивность, а затем, после соответствующей адаптации, уровни суточной продуктивности начинают быстро увеличиваться.

Учитывая продолжительность периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности $t = 0,5 t'$, найдем отношение

$$\frac{T^*}{0,5t'} = \sqrt{3} \approx 1,73. \quad (28)$$

Обобщая полученные результаты для более широкого спектра описания функции продуктивности, можно сделать следующий вывод: при динамике формирования продуктивности по первому варианту оптимальная продолжительность периода содержания животного при максимизации среднесуточного прироста живой массы составляет приблизительно 1,6 — 1,8 продолжительности периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности.

Возвращаясь к исходным предпосылкам и учитывая то, что по типовой технологии на откормочный комплекс должны поступать бычки в возрасте 7-15 сут живой массой 45 кг, следует отметить следующее: рассмотренный вариант формирования динамики продуктивности соответствует нерегулируемому вольному потреблению концентрированных кормов при свободном доступе молодняка к кор-

мушкам, а также комплектованию откормочных групп животными большего возраста и живой массы, чем это предусмотрено типовой технологией откормочных комплексов.

В результате желудочно-кишечный тракт у применяемых молочных и молочно-мясных пород животных, которыми в основном комплектуется откормочное поголовье комплексов, развивается нерационально. Формируется преимущественно концентратный тип кормления, животные быстро достигают зрелости организма, начинают образовываться жировые отложения. Животные теряют способности большого потребления дешевых объемистых кормов собственного кормопроизводства. Формирование костяка отстает от увеличенной массы тела, что является причиной повышенного травматизма и преждевременного выбытия животных. При этом большая часть кормов расходуется не на образование продукции, а на поддержание быстро накопленной живой массы на прежнем уровне. Это наименее приемлемый из рассматриваемых нами вариантов формирования динамики продуктивности животных.

Второй вариант, когда продуктивность животных равномерно возрастает и убывает (см. рис. 1), проанализирован в предыдущих разделах.

Третий вариант соответствует медленному постепенному возрастанию уровней продуктивности до достижения максимальных значений, после чего наблюдается быстрый спад продуктивности по сравнению с ее ростом.

Для определения оптимальной продолжительности периода содержания животного, обеспечивающей максимизацию среднесуточного прироста живой массы в этом случае будем рассматривать функцию продуктивности, состоящую на участке $[0; 1,5t']$ из части параболы $\varphi(t) = at^2 + bt + c$ со значениями параметров: $\varphi(1,5t') = \varphi_{\max}$, $\varphi(0) = \varphi_0$, $\varphi(3t') = \varphi_0$, а также на участ-

ке $[1,5t'; 2t']$ из отрезка прямой $f(t) = kt + l$ со значениями параметров: $f(1,5t') = \varphi_{\max}$, $f(2,5t') = \varphi_0$.

При составлении и решении соответствующих систем уравнений с тремя и двумя неизвестными получены следующие значения параметров параболы и прямой:

$$a = \frac{4(\varphi_0 - \varphi_{\max})}{9t'^2},$$

$$b = \frac{4(\varphi_{\max} - \varphi_0)}{3t'}, \quad c = \varphi_0; \quad (29)$$

$$k = \frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{t'}, \quad l = \frac{5\varphi_{\max} - 3\varphi_0}{2}. \quad (30)$$

Прирост живой массы животного на участке $[0; 1,5t']$ составляет площадь Φ_1 под участком параболы:

$$\Phi_1 = \int_0^{1,5t'} \varphi(t) dt = \left(\frac{at^3}{3} + \frac{bt^2}{2} + ct \right) \Big|_0^{1,5t'} =$$

$$= \frac{\varphi_0 + 2\varphi_{\max}}{2} t'. \quad (31)$$

Аналогично прирост живой массы животного на участке $[1,5t'; 1,5t'+x]$ составляет площадь Φ_2 под соответствующим отрезком прямой, где $1,5t'+x$ — оптимальная продолжительность периода содержания животного, x — продолжительность периода содержания после достижения максимальных уровней продуктивности. Вычисляя

$$f(1,5t' + x) = k(1,5t' + x) + l =$$

$$= \frac{\varphi_0 + \varphi_{\max}}{t'} x + \varphi_{\max}, \quad (32)$$

получим Φ_2 — площадь прямоугольной трапеции, как произведение полусуммы оснований на высоту:

$$\Phi_2 = \frac{1}{2} (\varphi_{\max} + f(1,5t' + x)) x =$$

$$\frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{2t'} x^2 + \varphi_{\max} x. \quad (33)$$

Отсюда окончательно получаем выражение для расчета среднесуточного прироста живой массы животного

$$\varphi_{\text{ср}} = \frac{\Phi_1 + \Phi_2}{1,5t' + x} = \frac{\alpha x^2 + \beta x + \gamma}{1,5t' + x}, \quad (34)$$

$$\text{где } \alpha = \frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{2t'}, \quad \beta = \varphi_{\max},$$

$$\gamma = \frac{\varphi_0 + 2\varphi_{\max}}{2} t'.$$

Максимальное значение $\varphi_{\text{ср}}$ достигается, когда его первая производная равна нулю $\varphi'_{\text{ср}} = 0$, откуда после проведения соответствующих преобразований получим

$$\varphi'_{\text{ср}} = \frac{\alpha x^2 + 3\alpha t'x + (1,5\beta t' - \gamma)}{(1,5t' + x)^2} =$$

$$= \frac{\varphi_0 - \varphi_{\max}}{2t'} \frac{[x^2 + 3t'x - t'^2]}{(1,5t' + x)^2} = 0. \quad (35)$$

Решением полученного квадратного уравнения $x^2 + 3t'x - t'^2 = 0$ является положительный корень

$$x = 0,5t'(\sqrt{13} - 3). \quad (36)$$

Отсюда оптимальная продолжительность периода содержания животного при динамике формирования продуктивности по третьему варианту составляет

$$T^* = 1,5t' + x =$$

$$1,5t' + 0,5t'(\sqrt{13} - 3) = \frac{\sqrt{13}}{2} t'. \quad (37)$$

Подставляя в (34) и вычисля другие значения параметров при $t' = 320$ сут, $\varphi_0 = 530$ г, $\varphi_{\max} = 1137$ г, получим

$$\varphi_{\text{ср}} = 953 \text{ г}, \quad x = 0,61 \times 0,5t' = 97 \text{ сут}, \quad (38)$$

$$T^* = \frac{\sqrt{13}}{2} t' = 577 \text{ сут}.$$

Прирост живой массы за 577 сут составит 550 кг. При этом оптималь-

ная живая масса реализации скота на мясокомбинате — 595 кг.

Полученный результат по оптимизации продолжительности периода выращивания, доращивания и откорма ($T^* = 577$ сут) согласуется с аналогичным результатом по второму варианту ($T^* = 562,5$ сут), соответствующим экспериментальному варианту по формированию динамики продуктивности, представленному в предыдущем разделе в виде параболической зависимости, и является более предпочтительным.

Учитывая продолжительность периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности $t = 1,5t'$, найдем отношение

$$\frac{T^*}{1,5t'} = \frac{\sqrt{13}}{3} \approx 1,2. \quad (39)$$

Обобщая полученные результаты для более широкого спектра описания функции продуктивности, можно сделать следующий вывод: при динамике формирования продуктивности по третьему варианту оптимальная продолжительность периода содержания животного при максимизации среднесуточного прироста живой массы составляет приблизительно 1,2-1,4 продолжительности периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности, что соответствует 18-20-месячному возрасту откормочного молодняка молочных и молочно-мясных пород.

При этом осуществляется наиболее рациональное развитие желудочно-кишечного тракта животных молочных и молочно-мясных пород для все большего потребления объемистых кормов при минимальном введении концентратов в период выращивания и обеспечения сбалансированности рационов. В результате на заключительном этапе откорма организм животных способен обеспечивать проявление потенциальных продуктивных возможностей и достигать наивысших уровней продуктивности. При этом обеспечивает

максимальное потребление объемистых кормов и полностью используются возможности повышения уровней продуктивности за счет применения концентрированных кормов.

Этот вариант является наилучшим и представляет собой оптимальную стратегию формирования динамики продуктивности при выращивании и откорме молодняка крупного рогатого скота в условиях откормочных комплексов. Однако реализация такой стратегии выращивания и откорма животных требует создания определенных условий и может осуществляться на основе применения специальных методов путем программирования мясной продуктивности животных [1, 3, 4, 5].

4. Варианты формирования динамики продуктивности для их реализации в конкретных производственных условиях откормочных комплексов. В качестве первого этапа в направлении реализации оптимальной стратегии формирования динамики продуктивности при разработке оптимальных программ кормления молодняка крупного рогатого скота при выращивании и откорме на комплексах [5] предлагается использовать функции продуктивности, соответствующие промежуточному между вторым и третьим вариантами при достижении максимальных уровней продуктивности через 400 сут

$$\left(\frac{t' + 1,5t'}{2} = \frac{320 + 1,5 \times 320}{2} = 400 \right). \quad (40)$$

Для описания спектра возможных вариантов формирования динамики продуктивности и их привязки к конкретным производственным условиям при выращивании и откорме молодняка крупного рогатого скота на комплексах на основе ее представления в виде параболической функции с помощью формул (11, 12) рассчитаны характеристики парабол при следующих условиях:

1) максимальная суточная продуктивность достигается при $t'=400$ сут и

составляет 900, 1000, 1100, 1200, 1300, 1400 и 1500 г;

2) начальная продуктивность молодняка при $t = 0$ составляет 300, 400, 500, 600 и 700 г.

Таким образом, были рассчитаны 35 вариантов функций формирования динамики продуктивности молодняка крупного рогатого скота, параметры которых представлены в таблице. При этом дополнительно рассчитаны величины общего прироста живой массы живот-

ного при продолжительности периода содержания $T = 400$ и $T = 600$ сут и соответствующие им величины среднесуточного прироста живой массы.

На рис. 4 показаны графики указанных функций продуктивности, которые в условиях отсутствия необходимой информации по динамике формирования продуктивности молодняка при выращивании и откорме на комплексах могут использоваться для описания фактически реализуемых вари-

Параметры функций продуктивности, описываемых параболой $\varphi(t) = at^2 + bt + c$, при откорме молодняка крупного рогатого скота

Значение функции продуктивности $\varphi(t)$ при			Параметры параболы $\varphi(t) = at^2 + bt + c$			Среднесуточный прирост живой массы животных (r) при		Общий прирост живой массы животных ($кг$) при	
$t = 0$	$t = 400$	$t = 800$	a	b	c	$T = 400$	$T = 600$	$T = 400$	$T = 600$
300	900	300	-0,00375	3,0	300	700	750	280	450
400	900	400	-0,003125	2,5	400	733,3	775	293,3	465
500	900	500	-0,002500	2,0	500	766,7	800	306,7	480
600	900	600	-0,001875	1,5	600	800	825	320	495
700	900	700	-0,00125	1,0	700	833,3	850	333,3	510
300	1000	300	-0,004375	3,5	300	866,7	825	306,7	495
400	1000	400	-0,00375	3,0	400	800	850	320	510
500	1000	500	-0,003125	2,5	500	833,3	875	333,3	525
600	1000	600	-0,0025	2,0	600	866,7	900	346,7	540
700	1000	700	-0,001875	1,5	700	900	925	360	555
300	1100	300	-0,005	4,0	300	833,3	900	333,3	540
400	1100	400	-0,004375	3,5	400	866,3	925	346,7	555
500	1100	500	-0,00375	3,0	500	900	950	360	570
600	1100	600	-0,003125	2,5	600	933,3	975	373,3	585
700	1100	700	-0,0025	2,0	700	966,7	1000	386,7	600
300	1200	300	-0,005625	4,5	300	900	975	360	585
400	1200	400	-0,005	4,0	400	933,3	1000	373,3	600
500	1200	500	-0,004375	3,5	500	966,7	1025	386,7	615
600	1200	600	-0,00375	3,0	600	1000	1050	400	630
700	1200	700	-0,003125	2,5	700	1033,3	1075	413,3	645
300	1300	300	-0,00625	5,0	300	966,7	1050	386,7	630
400	1300	400	-0,005625	4,5	400	1000	1075	400	645
500	1300	500	-0,005	4,0	500	1033,3	1100	413,3	660
600	1300	600	-0,004375	3,5	600	1066,7	1125	426,7	675
700	1300	700	-0,00375	3,0	700	1100	1150	440	690
300	1400	300	-0,006875	5,5	300	1033,3	1125	413,3	675
400	1400	400	-0,00625	5,0	400	1066,7	1150	426,7	690
500	1400	500	-0,005625	4,5	500	1100	1175	440	705
600	1400	600	-0,005	4,0	600	1133,3	1200	453,3	720
700	1400	700	-0,004375	3,5	700	1166,7	1225	466,7	735
300	1500	300	-0,0075	6,0	300	1100	1200	440	720
400	1500	400	-0,006875	5,5	400	1133,3	1225	453,3	735
500	1500	500	-0,00625	5,0	500	1166,7	1250	466,7	750
600	1500	600	-0,005625	4,5	600	1200	1275	480	765
700	1500	700	-0,005	4,0	700	1233,3	1300	493,3	780

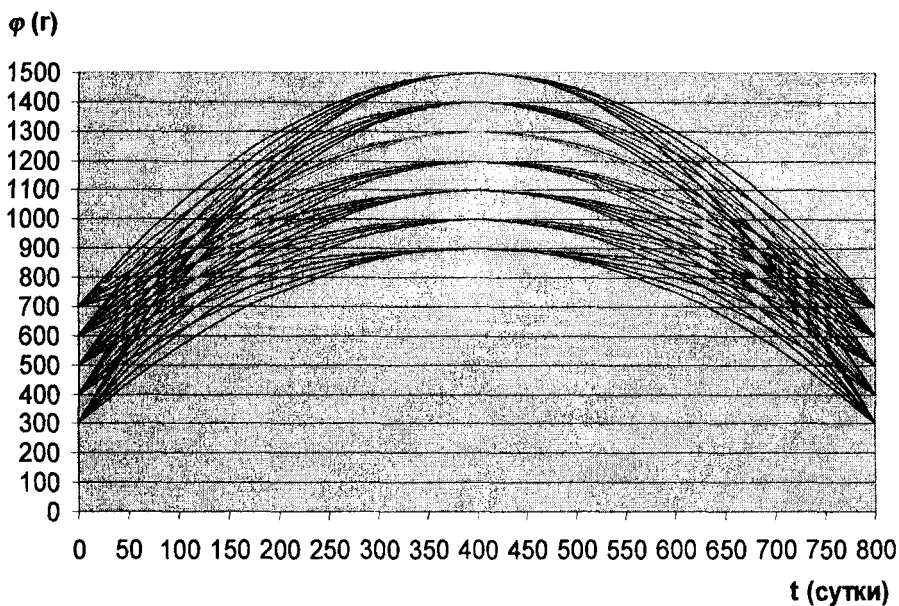


Рис. 4. Графики возможных вариантов формирования динамики продуктивности на основе параболической функции

антов даже при наличии минимальных сведений о характере производственного процесса.

При дальнейшей корректировке рассмотренных на рис. 4 графиков функций продуктивности в третьем варианте оптимальная продолжительность выращивания и откорма составит 480 сут ($400 \times 1,2 = 480$), что совпадает с оптимальным сроком содержания животных при реализации типовой функции продуктивности.

Выводы

1. Максимальный среднесуточный прирост живой массы молодняка крупного рогатого скота при реализации параболической функции продуктивности может быть достигнут при оптимальной продолжительности периода выращивания и откорма животных, которая в 1,5 раза превышает продолжительность периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности.

2. При асимметричных вариантах формирования динамики продуктивности, когда вначале наблюдается более

быстрый рост продуктивности до достижения максимальных значений по сравнению с периодом ее убывания, максимальный среднесуточный прирост живой массы молодняка может достигаться при оптимальной продолжительности периода содержания животных, в 1,6 — 1,8 превышающей продолжительность периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности.

3. Оптимальной стратегией формирования динамики продуктивности является медленное постепенное увеличение уровней продуктивности до достижения максимальных значений и дальнейшее более быстрое их убывание. При этом оптимальная продолжительность периода содержания животных в 1,2 — 1,4 превышает продолжительность периода достижения максимальных уровней суточной продуктивности.

4. Для реализации оптимальной стратегии формирования динамики продуктивности в качестве первого этапа при разработке оптимальных программ кормления по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота и при-

вязке их к конкретным производственным условиям откормочного комплекса предлагается использовать представленные функции продуктивности с рассчитанными значениями параметров.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гатпаулин А.М., Куценко А.И.* Программирование продуктивности сельскохозяйственных животных // Докл. ТСХА. Вып. 279. Ч. 2. М.: МСХА., 2007. С. 32~36. — 2. *Девяткин А.И., Ткаченко Е.И.* Промышленное производство говядины. М.: Россельхозиздат, 1985. — 3. *Куценко А.И.* Программирование продуктивности на животноводческих предприятиях // Тр. межд. науч.-практ. конф. 26-28 марта 2007 г. Ч. 2. Краснодар: Северо-Кавказский НИИ животноводства. 2007. С. 191-193. — 4. *Куценко А.И.* Программирование продуктивности на ком-

плексах по выращиванию и откорму молодняка крупного рогатого скота // Изв. ТСХА. № 4. 2007. С. 149-151. — 5. *Куценко А.И.* Разработка программ кормления для межхозяйственных откормочных комплексов // Тр. Ставропольского НИИ сельского хозяйства. Вып. 46, 1978. С. 158-163. — 6. Промышленное производство говядины / Под общ. ред. Д.Л. Левантина, В. Ноймана. М.: Колос, 1979. — 7. *Салтанов Г.И.* Технологические и технические решения индивидуального нормированного кормления коров при привязном содержании. Автореф. докт. дисс. П. Дубровицы Московской обл.: ВИЖ, 1992. — 8. *Храповский А.И., Дзюба Н.Ф.* Организация технологии выращивания и откорма молодняка на комплексе «Вороново» // Вопросы технологии производства говядины. Бюлл. науч. работ, ВИЖ. Дубровицы. Вып. 36, 1973. С. 11-17.

Рецензент — д. с.-х. н. А.В. Овчинников

SUMMARY

On the basis of mathematical analysis of biological laws of growth and development of cattle young stock reared and fattened on farm complexes, optimal productivity dynamics formation variants are determined, providing realization of potential productive abilities of animals.