

вания на его основе оборота стада. В данной связи новый метод дополнительно к вышеизложенным возможностям позволяет:

– моделировать варианты введения первотелок и выбраковки путем введения в расчет виртуальных коров;

– учитывать в расчетах математические модели климатических, технологических и иных факторов, влияющих на производство молока, с точностью до одной коровы и одной дойки.

Способ может быть применен для различных видов молочного скота с учетом особенностей математического моделирования их лактационной деятельности.

03.08.10.

### Литература

1. Berry, D.P. Accuracy of predicting milk yield from alternative milk recording schemes / D.P. Berry [et al.] // *Animal Science*. – 2005. – Vol. 80. – P. 53-60.

2. DeLorenzo, M.A. Dairy Records and Models for Economic and Financial Planning / M.A. DeLorenzo, C.V. Thomas // *Journal of Dairy Science*. – 1996. – Vol. 79. – No. 2. – P. 337-345.

3. Трофимов, А.А. Моделирование оборота стада крупного рогатого скота и оптимальное планирование производства в агрохозяйстве / А.А. Трофимов, И.В. Чугин // *Проблемы информационной экономики. Вып. VI. Моделирование инновационных процессов и экономической динамики: сб. науч. тр. [Электронный ресурс]*. – М.: ЛЕНАНД, 2006. – Режим доступа: <http://www.econ.asu.ru/lib/sborn/model2006/pdf/14.pdf>. – Дата доступа: 16.09.2009.

4. Шляхтунов, В.И. Скотоводство и технология производства молока и говядины: учеб. пособие для учащихся специальности «Зоотехния» учреждений, обеспечивающих получение сред. спец. образования / В.И. Шляхтунов. – Минск: Беларусь, 2005. – 390 с.

5. Хакана, И.А. Методические указания к лабораторно-практическим занятиям по курсу «Скотоводство» / И.А. Хакана // *Единое окно доступа к образовательным ресурсам [Электронный ресурс]*. – Петрозаводск, 2000. – Режим доступа: [http://window.edu.ru/window\\_catalog/files/r28033/petrsu015.pdf](http://window.edu.ru/window_catalog/files/r28033/petrsu015.pdf). – Дата доступа: 24.04.2008.

6. Терновых, К.С. Планирование производственной программы животноводства / К.С. Терновых // *ООО «ЦентрПрограммСистем» [Электронный ресурс]*. – Белгород, 2004. – Режим доступа: <http://www.1cps.ru/stat4.html>. – Дата доступа: 07.09.2009.

УДК 636.2.034:519.8

**Е.В. Тернов**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси  
по механизации сельского хозяйства»,  
г. Минск, Республика Беларусь)*

**ТОЧНОСТЬ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ЛАКТАЦИОННЫХ КРИВЫХ КОРОВ НА РАЗЛИЧНЫХ СРОКАХ ЛАКТАЦИИ**

### Введение

Аналитическое моделирование лактационной кривой широко применяется в научных исследованиях факторов, влияющих на молочную продуктивность [1]. В силу своей простоты и высокой точности, в большинстве случаев применяется модель Вуда [2]. При этом точность представления участка лактационной кривой от начала лактации до дня максимального надоя может быть существенно повышена (предварительные результаты такого улучшения представлены автором в 2008 году [3]). В практических целях предлагается экстраполи-

ровать надой на ближайшие сутки методом линейной фильтрации результатов предшествующих 3...10 дней (DeLaval, 2006; В.Р. Краусп, 1997), что не позволяет достоверно оценить лактационную деятельность коровы на продолжительный период времени. Представляется технически возможным численными методами получать аналитическую модель лактационной кривой коровы для ежедневного практического применения. На сегодняшний день не выяснена минимальная продолжительность временного периода с начала лактации, достаточного для накопления фактических ежедневных надоев с целью достоверной экстраполяции последующей лактационной деятельности коровы на период 305 дней и более. Для ее количественной оценки автором был проведен вычислительный эксперимент и выполнена статистическая проверка адекватности математических моделей лактационной кривой коровы, полученных для разных сроков в диапазоне 30...210 дней с начала лактации.

### Объекты и методы исследований

Аналитическая модель лактационной кривой коровы черно-пестрой породы на основе модели Вуда имеет вид:

$$y(t) = \begin{cases} a_1 t^2 + b_1 t + c_1, & 1 \leq t < t_m; \\ a t^b e^{-ct}, & t_m \leq t \leq t_f, \end{cases} \quad (1)$$

где  $t_m$  – день максимального надоя;

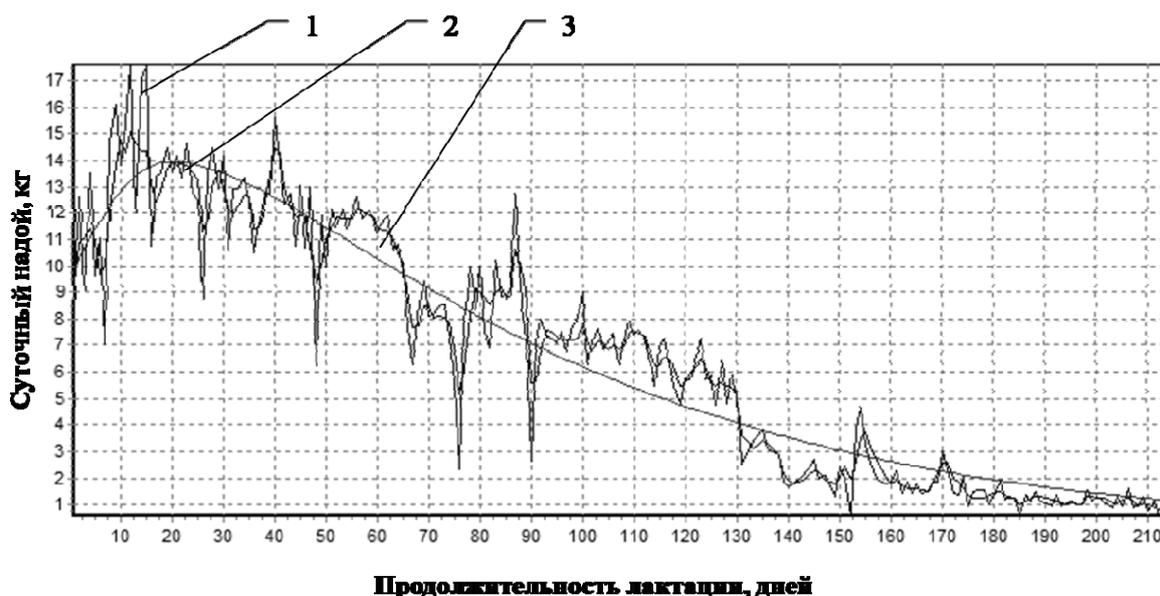
$t_f$  – последний день лактации;

$t = \overline{1, t_f, 1}$  – день лактации;

$y(t)$  – общий надой в день  $t$  с начала лактации, кг;

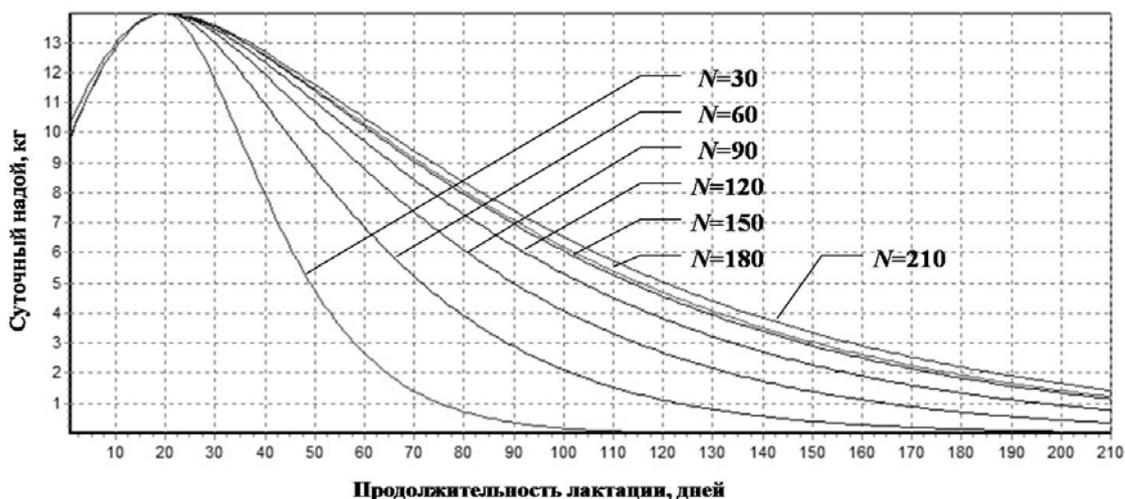
$a, b, c, a_1, b_1, c_1$  – индивидуальные параметры для каждой коровы.

Для оценки точности ряда моделей была построена эталонная модель (1), интерполирующая суточные надои всего модельного отрезка с 1-го по 213-й день лактации. Коэффициенты  $a_1, b_1, c_1$  для участка от начала лактации до дня максимального надоя (20-й день) были получены методом наименьших квадратов для аппроксимации параболой. Коэффициенты  $a, b, c$  для выражения Вуда, описывающие лактационную кривую на отрезке 20...213 дней, были получены методом наименьших квадратов для линейной аппроксимации спада надоев с последующей коррекцией по наилучшему приближению суммы модельных надоев за данный период к сумме фактических надоев за 213 дней. Для лучшей формы модельной кривой аппроксимировались не сами фактические надои, а среднее их верхней и нижней огибающих (рисунок 14).



1 – фактические надои, 2 – среднее верхней и нижней огибающих фактических надоев, 3 – эталонная модель лактационной кривой

**Рисунок 14 – Эталонная модель лактационной кривой**



$N$  – длина интерполируемого отрезка с 1-го дня лактации, дней

**Рисунок 15 – Проверяемые модели лактационной кривой**

Аналогичным образом был построен ряд моделей, интерполирующих суточные надои за первые 30...210 дней и далее экстраполирующих надои до 213-го дня включительно. Длина интерполируемого отрезка изменялась с шагом 30 дней (рисунок 15).

Дисперсия для каждой модели, включая эталонную,

$$S_i^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (Y_i^{\text{факт}} - Y_i^{\text{м}})^2, \quad i = \overline{1, N, 1}, \quad (2)$$

где  $N=213$  – длина модельного отрезка, дней;

$Y_i^{\text{факт}}$  – среднее верхней и нижней огибающих фактических надоев в  $i$ -день;

$Y_i^{\text{м}}$  – надой проверяемой модели в  $i$ -день.

Адекватность моделей оценивалась по критерию Фишера ( $p=0,05$ ; верхняя доверительная граница 1,25 для  $v_1=v_2=213$ ):

$$F = \frac{S_э^2}{S_м^2} \text{ при } S_э^2 > S_м^2, \quad (3)$$

где  $S_э^2$  – дисперсия эталонной модели;

$S_м^2$  – дисперсия проверяемой модели.

Абсолютная погрешность вычисления удоя

$$\Delta Y = Y_{факт} - Y_м, \quad (4)$$

где  $Y_{факт} = 1413,59$  кг – фактический удой за 213 дней;

$Y_м$  – модельный удой за 213 дней, кг.

Относительная погрешность вычисления удоя

$$\varepsilon = \Delta Y / Y_{факт} \cdot 100. \quad (5)$$

### Результаты исследований

Результаты расчета (2)–(5) представлены в таблице 13. На отрезке 90...150 дней были рассчитаны дополнительные модели с изменением длины интерполируемого отрезка через 10 дней.

Таблица 13 – Показатели точности моделирования

Интерполяция, дни	Дисперсия	Критерий Фишера $F$	$F < 1,25$ ( $p=0,05$ )	$\Delta Y$ , кг	$\varepsilon$ , %
30	24,517	9,787	Нет	798,52	56,45
60	10,910	4,355	Нет	511,08	36,13
90	5,025	2,006	Нет	279,18	19,74
100	4,013	1,602	Нет	213,56	15,10
110	2,768	1,105	Да	81,95	5,79
120	3,042	1,214	Да	122,41	8,65
130	2,889	1,153	Да	101,59	7,18
140	2,547	1,017	Да	26,22	1,85
150	2,533	1,011	Да	19,76	1,40
180	2,526	1,008	Да	-47,07	-3,32
210	2,505	1,000	Да	0,97	0,07
213	2,505	1,000	Да	0,97	0,07

Как видно из таблицы, адекватная аналитическая модель лактационной кривой (1) на весь период лактации может быть получена по фактическим суточным надоям после 100 дней лактации, что соответствует завершению раздоя коровы. При этом, начиная с длины отрезка интерполяции в 140 дней, существенно снижается погрешность аппроксимации на полном отрезке в 213 дней. Разброс значений погрешности на отрезке 140...210 дней связан с колебаниями фактических надоев (рисунок 14).

Для экстраполяции лактационной кривой коровы по результатам интерполяции надоев в первые 30...100 дней лактации следует как вариант принимать во внимание форму лактационной кривой конкретной коровы (либо обобщенную), выраженную через отношение удоя за  $i$ -месяц лактации к удою за 1-й месяц [4] либо через показатель постоянства лактации [5].

Компьютерный расчет параметров модели (1) и модельных надоев за 305 дней занимает менее 1 с для одной коровы. При достоверно заданных вручную датах начала лактации для каждой коровы в стаде модели (1) могут быть кор-

ректно рассчитаны по выбору оператором соответствующего органа управления в программном интерфейсе (меню, кнопки).

### Заключение

1. Предложенный подход к моделированию может быть применен в практике компьютерного управления стадом.

2. Представляется целесообразным провести вычислительный эксперимент для апробации предложенной методики экстраполяции лактационной кривой во время периода раздоя (до 90–100 дней с начала лактации).

3. Представляется целесообразным оценить точность моделирования лактационной кривой на выборке из 5–10 коров стада.

27.05.10.

### Литература

1. Ehrlich, Jim. Quantification of Lactation Curves for Diagnosis / Jim Ehrlich [Электронный ресурс]. – 2006. – Режим доступа: <http://milkbot.com/RS2006/researchsummary.html>. – Дата доступа: 7.09.2009.

2. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Х. М. Торнли. – М.: Агропромиздат, 1987. – 400 с.

3. Тернов, Е.В. Математическое моделирование индивидуальных лактаций коров по фактическим значениям суточных надоев и их применение в компьютерной системе управления стадом / Е.В. Тернов // Автоматизация и информационное обеспечение производственных процессов в сельском хозяйстве: сб. докл. X Междунар. науч.-практ. конф., Углич, 16–17 сентября 2008 г. / ГНУ ВИМ Россельхозакадемии; редкол. Ю.Ф. Лачуга [и др.]. – Москва, 2008. – Ч. 1. – С. 409–414.

4. Трофимов, А. Продуктивность первотелок можно прогнозировать / А. Трофимов, В. Тимошенко, А. Музыка // Животноводство России. – 2004. – № 8. – С. 9–10.

5. Егизарян, А. Взаимосвязь хозяйственно полезных признаков у коров с различным уровнем молочной продуктивности / А. Егизарян, С. Брагинец // Молочное и мясное скотоводство. – 2010. – № 2. – С. 8–10.

УДК 637.115

**В.О. Китиков**

*(РУП «НПЦ НАН Беларуси по механизации сельского хозяйства»),*

*г. Минск, Республика Беларусь)*

## МЕТОД ОБОСНОВАНИЯ ЭФФЕКТИВНЫХ СТЕРЕОТИ- ПОВ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ДОЕНИЯ КОРОВ

### Введение

Проблема физиологичности рабочих органов доильного аппарата, взаимодействующих с выменем животного, была остро обозначена учеными во второй половине XX века в связи с многообразием технических подходов в доении, а также в связи с развитием интенсивных технологий промышленного производства молока, эффективность внедрения которых зависит в том числе и от сохранения здоровья и стабильной продуктивности животных на протяжении не менее пяти периодов лактации.

Многочисленными исследованиями, в том числе известного физиолога Н.Е. Введенского, профессора Л.П. Карташова [1, с. 23], установлено, что «максимальная молокоотдача возможна только при условии возбуждения полноценного рефлекса, являющегося результатом условных и безусловных рефлекторных реакций организма на определенные виды раздражения».