

2. Механизация технологических процессов на свиноводческих фермах и комплексах: рекомендации / Ф.Ф. Минько [и др.]. – Минск: Минсельхозпрод РБ, 1998. – 45 с.
3. Тищенко, А.В. Откорм свиней на механизированных фермах / А.В. Тищенко. – М.: Колос, 1970. – 218 с.
4. Механизация свиноводческих ферм: рекомендации / В.А. Короткевич [и др.]. – Минск: ЦНИИМЭСХ, 1977. – 43 с.
5. Славин, Р.М. Автоматизация процессов в животноводстве и птицеводстве / Р.М. Славин. – М.: ВО Агропромиздат, 1991. – 397 с.
6. Common exhaustion with air cleaning // Проспект «VengSystem». – [Б.м.]: Agromek, 2005. – 2 с.

УДК 631.332.24:338.64

**В.О. Китиков, Е.В. Тернов**

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

## **ПРИМЕНЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЛАКТАЦИОННЫХ КРИВЫХ ДЛЯ ЭФФЕКТИВНОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ВАЛОВОГО ПРОИЗВОДСТВА МОЛОКА**

### **Введение**

Со второй половины XX столетия достоянием мировой зоотехнической науки и практики стали ведение зоотехнического учета и производство молока промышленными способами с применением компьютерных технологий, аналитические математические модели лактационных кривых коров, способы моделирования производственной деятельности молочно-товарных ферм на основе аппроксимации первичных производственных данных с учетом фактора времени суток при доении [1], индивидуальных надоев коров и производственных рисков [2]. Вместе с тем идея применения математических моделей лактационных кривых в планировании и экономической оценке производства молока, планировании оборота стада [3] в научных публикациях не прослеживается. В то же время простота программно-технической реализации и применения такого решения на современном уровне развития индустрии компьютерных технологий вполне очевидна и представляется целесообразной.

В практике молочного животноводства РБ [4] и РФ [5], несмотря на возрастающую оснащенность ферм автоматизированными системами управления стадом с индивидуальным компьютерным учетом надоев, расчет планов производства молока повсеместно выполняется вручную, с использованием вспомогательных средств вычислений (калькуляторов, электронных таблиц Excel). Способы планирования валового производства молока, предназначенные для механизированных вычислений (с использованием калькулятора), базируются на производственных зоотехнических данных основных документов по учету молочной продуктивности и оперируют среднесуточными надоями коров за порядковый месяц лактации, рассчитанными по стаду или группе [4-6]. При этом результатом расчета является объем валового производства молока по месяцам планового года, следующего после отчетного. Для расчетов начало месяца лактации коровы увязывается с началом календарного месяца с точностью до 15 дней, а планирование надоев по стаду, зоотехническим группам и отдельным коровам предлагается выполнять по разным методикам [4, 5], при этом се-

зонный фактор, влияние которого на молочную отрасль требуется сводить к минимуму, в том числе и планированием валового производства молока, учитывается приближенно. Наконец, планирование уровня кормления по суточным надоям требует отдельного расчета надоев коровы в строгой привязке лактации к календарным датам. Таким образом, способы планирования производства молока, предназначенные для механизированных вычислений, при очевидной простоте алгоритма обладают следующими недостатками:

- расчетный период ограничивается плановым календарным годом;
- используются усредненные характеристики: суточный надой по месяцам лактации, продолжительность сухостойного периода, номер лактации, начало лактации в привязке к календарному месяцу;
- точность результата снижается за счет методической погрешности;
- не обеспечивается рациональное многократное использование результатов промежуточных вычислений.

Таким образом, задача автоматизации планирования валового производства молока с учетом разнообразных сопутствующих факторов и с возможностью многоцелевого применения результатов промежуточных расчетов является достаточно актуальной. Современные технологии обработки данных с использованием программируемых выборок из базы данных позволяют организовать способ быстрого автоматического вычисления плана производства молока на основе индивидуальных модельных лактационных кривых каждой коровы, рассчитанных по экспериментальным данным индивидуального компьютерного учета надоев. Преимуществами способа являются относительно несложная реализация в виде компьютерной программы, отсутствие ручных вычислений и операций предварительной подготовки данных (достаточно неукоснительного точного ведения компьютерного первичного зоотехнического учета), максимальный учет особенностей лактационной деятельности каждой конкретной коровы в стаде и высокая точность ее моделирования, произвольные временные границы расчетного периода и их независимость от производственных показателей отчетного года.

Планирование производства молока на промышленной основе с использованием такого способа рассматривается на примере молочно-товарного комплекса на 600 голов для плановых периодов от 14 дней до 4 лет.

### **Объекты и методы исследований**

Для исследования из базы данных автоматизированной системы управления стадом были отобраны индивидуальные надои коров за 120...305 дней с момента отела. Фактические лактационные кривые (рисунок 11) экстраполировались моделью Вуда (Wood, 1957), усовершенствованной авторами:

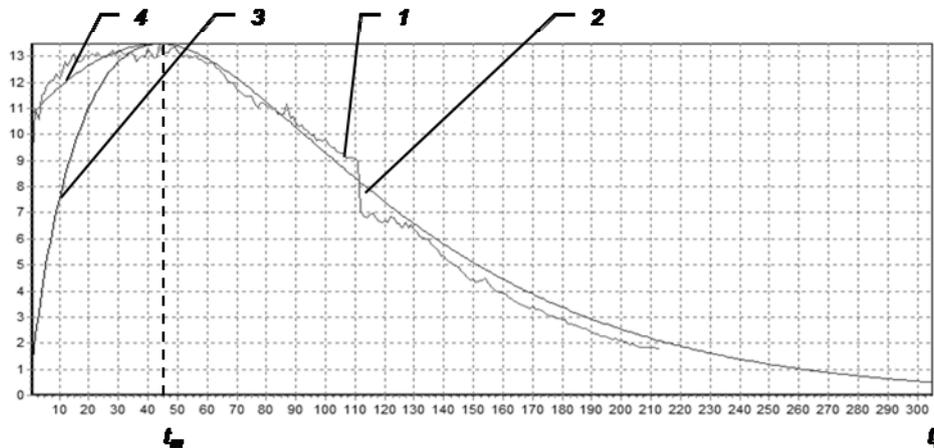
$$y(t) = \begin{cases} a_1 t^2 + b_1 t + c_1, & 1 \leq t < t_m; \\ a t^b e^{-ct}, & t_m \leq t \leq t_f, \end{cases} \quad (1)$$

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.



1 – тренд лактационной кривой; 2 – модель Вуда после пикового надоя;  
3 – модель Вуда до пикового надоя; 4 – замещение модели Вуда до пикового надоя параболой

Рисунок 11 – Модель лактационной кривой

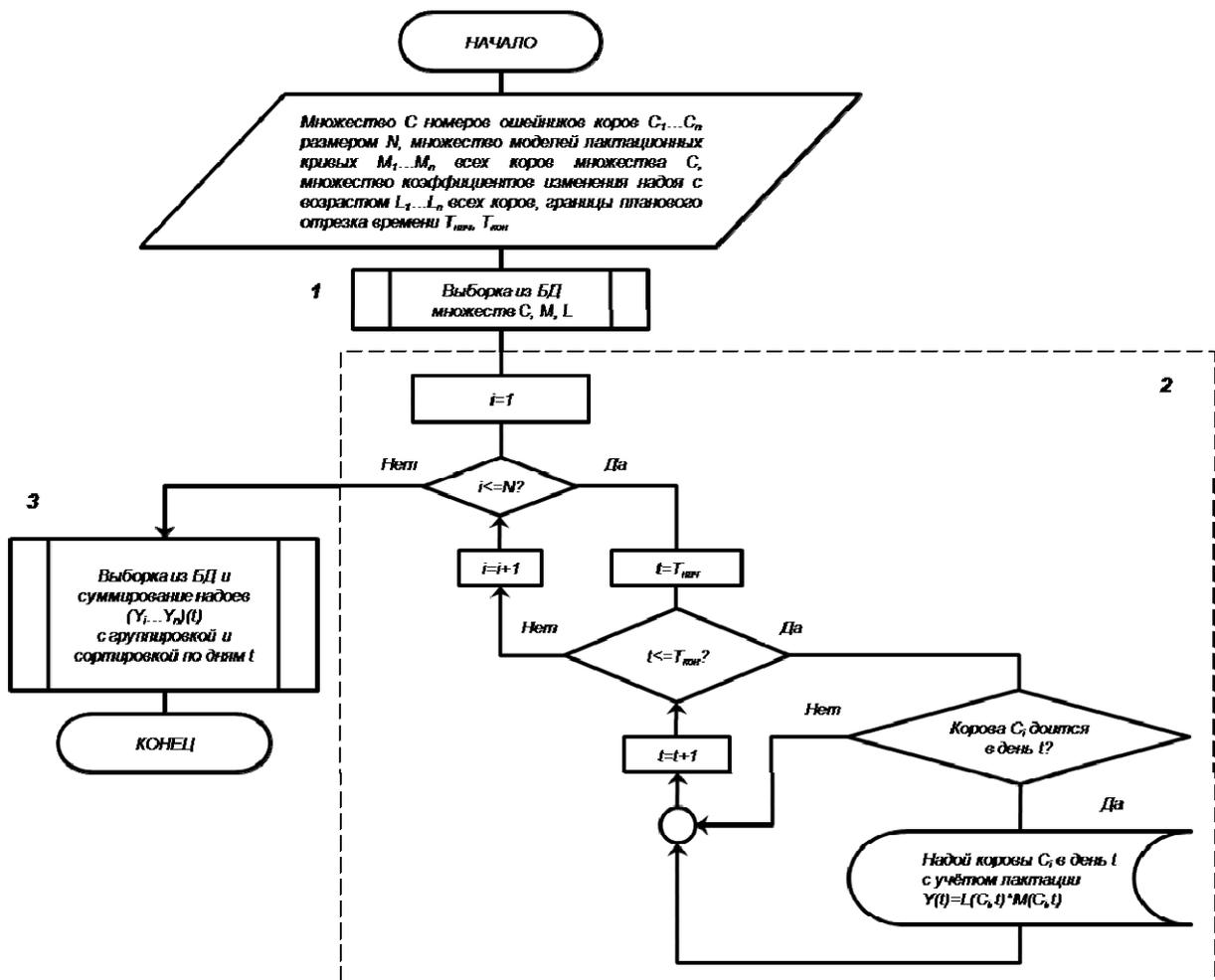


Рисунок 12 – Алгоритм машинного расчета плана производства молока

Параметры модели (1) для каждой коровы и результаты расчета плановых надоев и валового производства молока по ферме сохранялись в БД MS Access. Для расчетов была составлена программа в среде Borland C++Builder 6.0 на основе блок-схемы алгоритма, представленной на рисунке 12.

Шаг 1 с точки зрения технологии программирования представляет собой выполнение единственного SQL-запроса к БД на выборку «select ... where ...», содержащего условие отбора коров. Запрос возвращает множество  $S$  номеров коров (далее – коров)  $C_1 \dots C_n$  и связанных с ними параметров моделей лактационных кривых (1), номера лактаций, а также даты отелов и запусков в границах планового отрезка времени  $[T_{\text{нач}} T_{\text{кон}}]$ . Размер  $N$  множества  $S$  соответствует количеству строк, возвращенных запросом.

Шаг 2 представляет собой цикл вычислений  $\forall C_i \in S$  суточного надоя  $y(t) \forall t \in [T_{\text{нач}} T_{\text{кон}}]$ ; полученные значения  $y(t)$  сохраняются в БД. Вычислению надоев коровы  $C_i$  предшествует определение границ сухостойного периода  $[T_{\text{нач}}^{\text{сух}} T_{\text{кон}}^{\text{сух}}]$  в плановом отрезке  $[T_{\text{нач}} T_{\text{кон}}]$  и определение номера лактации и порядкового номера дня лактации  $\forall t \notin [T_{\text{нач}}^{\text{сух}} T_{\text{кон}}^{\text{сух}}]$  (рисунок 13).

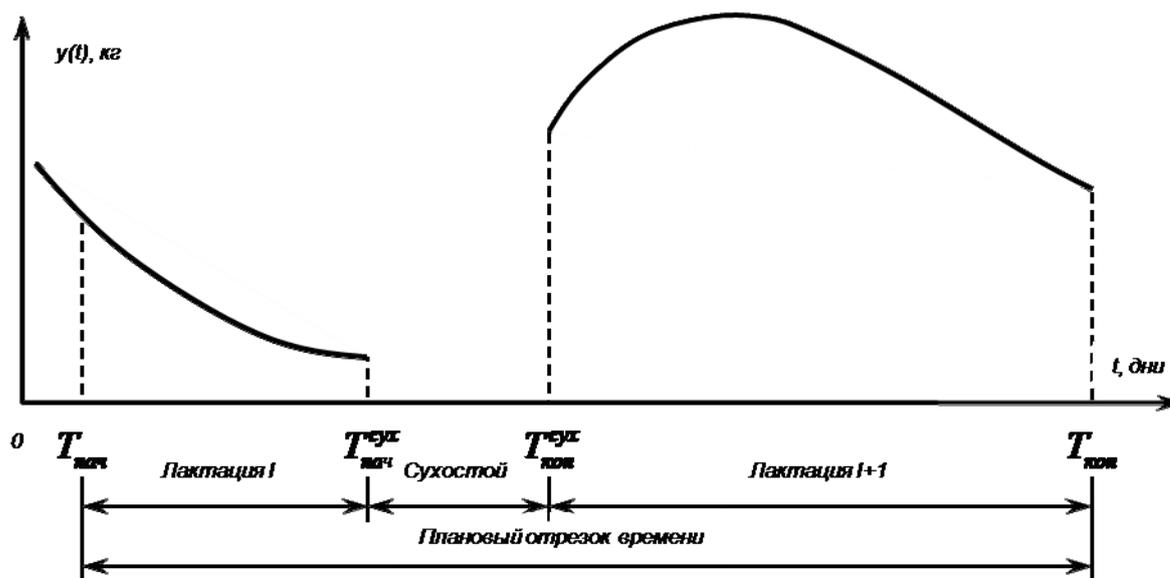


Рисунок 13 – Фрагменты соседних лактаций коровы в плановом отрезке времени

Очевидно, что в зависимости от значений  $T_{\text{нач}}$  и  $T_{\text{кон}}$  по отношению к дням начала и завершения лактаций плановый отрезок может включать как несколько сухостойных периодов, так и ни одного. Суточный надой  $y(t)$  в день  $t$ , приходящийся на лактацию  $I$ , определяется по отношению к модельной лактации  $L$  в (1) как

$$y(t) = M(t)L_I^M, \quad (2)$$

где  $M(t)$  – модельный надой в день  $t$  по формуле (1) или иной модели лактационной кривой;  $L_I^M$  – коэффициент изменения удоя за лактацию  $I$  по отношению к лактации  $M$ . Последний вычисляется как

$$L_I^M = \begin{cases} \prod_{k=M+1}^I L_k^{k-1}, & M < I; \\ 1, & M = I; \\ \prod_{k=I+1}^M \frac{1}{L_k^{k-1}}, & M > I. \end{cases}$$

Приближенное значение коэффициента изменения удоя за лактацию по отношению к предыдущей лактации  $L_k^{k-1}$  может быть взято из таблицы 11, полученной путем преобразования процентов из методических указаний [5, таблица 4], либо по фактическим надоям рассчитано для каждой коровы, зоотехнической группы или стада.

Таблица 11 – Коэффициент изменения удоя за лактацию

2:1	3:2	4:3	5:4	6:5	7:6	8:7	9:8	10:9
1,133	1,082	1,032	1,021	1,020	1,000	1,000	0,960	0,940

Шаг 3 в алгоритме расчета с точки зрения технологии программирования представляет собой выполнение SQL-запроса на выборку из БД суточных надоев  $Y$  (2), суммированных с группировкой по датам  $T$ , вида

$$\text{select } T, \text{sum}(Y) \text{ as SY from } \langle \text{имя таблицы} \rangle \text{ group by } T \text{ order by } T, \quad (3)$$

где SY – суммарный надой всех коров в день  $T$ .

В соответствии с синтаксисом языка SQL в поле **where** запроса (3) может быть введено условие на ограничение по дате доения или по номерам коров. Запрос вида «select sum(Y) as SY from <имя таблицы>» возвратит величину суммарного надоя стада за плановый период.

Для оценки валового производства молока с точностью до одной смены при использовании модели (1) перед выполнением шага 3 каждый суточный надой (2) следует умножить на индивидуальный сменный коэффициент коровы  $C_1$ ,  $C_2$  или  $C_3$  1-й, 2-й или 3-й смены соответственно:

$$\begin{cases} C_1 = \text{avg} \left( \frac{y(t)}{y_1(t)} \right); \\ C_2 = 1 - C_1 - C_3; \\ C_3 = \begin{cases} \text{avg} \left( \frac{y(t)}{y_3(t)} \right), & t \leq t_r; \\ 1 - C_1, & t > t_r, \end{cases} \end{cases}$$

где  $y_1(t)$ ,  $y_3(t)$  – надои дня  $t$  в 1-ю и 3-ю смены соответственно,  $t_r$  – номер с начала лактации последнего дня периода раздоя.

Можно также воспользоваться усредненными значениями из таблицы 12, что будет полезно, в частности, при оценке вклада сменных надоев в суммарные суточные надои стада, полученные в результате выполнения запроса (3) или производных от него запросов.

Таблица 12 – Относительный вклад надоев за смену в суточный надой

Сменный коэффициент	По суточным надоям коровы		По суточным надоям стада
	в период раздоя	после раздоя	
$C_1$	0,47	0,54	0,50
$C_2$	0,28	0,00	0,18
$C_3$	0,25	0,46	0,32

### Результаты исследований

Множество надоев (2), сохраненное в БД, является базовым для выполнения над ним разнообразных операций средствами языка SQL. Данный подход обеспечивает гибкость и технологичность программирования задач, требующих использования индивидуальных надоев коров в плановом отрезке времени, в частности определения уровней кормления и информационного обеспечения процесса автоматизированной индивидуальной нормированной выдачи кормов. Для расчета плановых надоев всех коров в стаде из 600 голов на каждый день модельного отрезка длиной 14 дней требуется 8...15 с, на 2 года – около 5 мин., на 4 года – около 10 мин. Расчет технически реализуется в виде подпрограммы на алгоритмическом языке высокого уровня. Исходный код или динамическая библиотека на его основе могут без переделки многократно использоваться в проектах по созданию программного обеспечения.

### Заключение

Предложенный способ позволяет:

- спланировать валовое производство молока с точностью до одной дойки от любой календарной даты на произвольный отрезок времени, от одного дня до нескольких лет;
- в полной мере учитывать особенности лактационной деятельности каждой коровы на ферме;
- выполнить расчет для любого целевого подмножества стада;
- исключить переносы дат отелов и запусков на начало месяца;
- свести методическую погрешность расчета только к точности моделирования индивидуальных лактационных кривых коров;
- предельно точно смоделировать фактор сезонности производства;
- обеспечить автоматическое сохранение промежуточных результатов расчета (суточные и сменные надои каждой коровы во все дни планового отрезка) и в дальнейшем использовать их в других расчетах, в частности в определении уровней кормления, визуальном представлении зоотехнику-селекционеру, составлении графика отелов, запусков и зооветеринарных мероприятий;
- применять разнообразные модели лактационных кривых для коров разных пород без изменения алгоритма расчета плана производства молока при условии единства структуры входных и выходных параметров для каждого вида моделей.

Способ может применяться в оптимизации планирования производства молока для расчета нескольких вариантов с целью выбора лучшего и планиро-

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-