

Литература

1. Лапотко, А.М. Использование фуражного зерна. С пользой для государства и себе не в убыток / А.М. Лапотко // Белорусское сельское хозяйство. – 2008. – № 9 (77).
2. Дашков, В.Н. Развитие производства комбикормов и кормовых смесей в Республике Беларусь / В.Н. Дашков, А.Д. Селезнев // Белорусское сельское хозяйство. – 2002. – № 2. – С. 22-25.

УДК 636.4:004.3

И.И. Гируцкий, В.Ф. Марышев

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

А.А. Жур

(УО «БГАТУ»,

г. Минск, Республика Беларусь)

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ОТКОРМА СВИНЕЙ

Введение

Большая часть применяемого в Республике Беларусь оборудования для механизации процессов производства молока, мяса говядины и свинины находится за пределами амортизационного срока. Но не замена оборудования на новое с прежними техническими характеристиками, а оснащение животноводческих комплексов техническими средствами, обеспечивающими существенный рост производства продукции, экономию топлива и материально-энергетических ресурсов, создаст в отрасли оптимальные условия для реализации наиболее перспективных технологий и обеспечит конкурентоспособность производимой продукции.

Очевидно, что прогресс в области индивидуального или точного управления будет определяться снижением стоимости и развитием техники сбора и переработки информации – с одной стороны, и получаемым эффектом от нововведений – с другой.

Индивидуальное обслуживание животных требует создания датчиков (сенсоров), способных обеспечить снятие данных с каждого животного. Существенного прорыва в области систем индивидуального обслуживания животных, требующего создания датчиков температуры, массы, состава крови, двигательной активности и других параметров с возможностью их имплантации в организм животного, можно достичь на основе достижений нано- и микросистемной техники [1, 2].

Говоря о влиянии достижений нанотехнологий на системы управления сельскохозяйственным производством, наряду с традиционным снижением стоимости микропроцессорных устройств управления необходимо не упустить возможности создания принципиально новых датчиков (сенсоров) сбора индивидуальной информации о параметрах биологических объектов в состоянии *in vitro*.

Промышленное свиноводство базируется на таких передовых идеях, как непрерывное производство, межпородное скрещивание, жидкое кормление на основе полнорационных комбикормов и др. Но потенциал этих идей в силу неадекватных систем управления был использован далеко не полностью, начиная

с нижнего уровня непосредственного управления поточными технологическими процессами.

Объекты и методы исследований

Современная микропроцессорная техника создает принципиальные возможности переработки больших объемов информации и построения эффективных систем управления в условиях нестационарности, неполной наблюдаемости и управляемости биотехническими объектами. Но при этом необходимо обеспечить рациональное взаимодействие средств механизации и автоматизации, обосновать архитектуру системы управления, комплекс и последовательность решаемых задач. Построение высокоточных технологий производства свинины требует непосредственного включения животных в структуру системы управления, а это выдвигает перед наукой новые задачи по идентификации характеристик свиней как объектов управления. При информационном управлении возможно не только обеспечение зоотехнических требований, но и оптимизация параметров под конкретные условия производства. В соответствии с концепцией компьютерно-интегрированного производства необходима поэтапная разработка и переход от локальных систем к связанным, адаптивным и интегрированным системам управления производством свинины.

Уже на нижнем уровне управления технологическими процессами откорм свиней необходимо рассматривать как биотехническую систему. То есть нельзя ограничиваться чисто техническими показателями АСУ ТП, такими, например, как погрешности дозирования или поддержания параметров микроклимата, а необходимо формализовать связи технических параметров с привесами животных или даже пытаться выходить и на такие экономические показатели, как прибыль или удельный расход кормов и др. Любая биотехническая система испытывает влияние многообразных факторов внешней среды, как управляемых, так и неуправляемых, и, соответственно, может реагировать на них столь же многообразно и сложно формализуемо. И задача исследования заключается в поиске ограниченного набора управляемых и (или) контролируемых переменных, позволяющих с большей или меньшей точностью прогнозировать поведение биотехнической системы. С точки зрения откорма свиней основными являются параметры кормления, микроклимата и генетического потенциала.

Чтобы уменьшить разнообразие системы, в качестве объекта выбираем процесс откорма свиней в условиях типового промышленного свиного комплекса. Одним из основных вопросов необходимости автоматизации производства свинины с применением микропроцессорной техники является эффективность нововведения. Для реализации промышленной технологии цех откорма включает 30 обособленных секторов, разбитых на 5 линий раздачи жидких кормов, причем каждый из секторов содержит по 24 групповых станка с возможностью размещения до 25 голов откормочного поголовья. Откорм свиней является выходной функцией производства свинины. Это высокомеханизированный процесс, что создает предпосылки высокой эффективности его автоматизации. Причем откорм интегрирует физические, биологические и экономические про-

цессы, относится к нестационарным, стохастическим объектам и требует построения адекватных систем управления.

Затраты на корма и поддержание микроклимата составляют более 80% от всех затрат при производстве свинины. Поэтому именно автоматизация процессов кормления и поддержания микроклимата является одной из первоочередных задач снижения себестоимости производства свинины.

Результаты исследований

Построение адекватных математических моделей с применением персональных компьютеров позволяет проводить многовариантные расчеты по выбору оптимальных вариантов реконструкции, строительства или производства продукции на действующих свиноводческих комплексах [3]. Это дает возможность избежать крупных просчетов в организации эффективного производства свинины, таких, например, как рекомендация массового перехода на сухое кормление в свиноводческих комплексах [4]. В результате проектные предложения на реконструкцию и строительство помещений для содержания и кормления животных также принимаются не без ошибок. В частности, стремясь экономить средства, выделяемые на перевооружение строящихся и реконструируемых цехов для откорма свиней, в них стали устанавливать оборудование для раздачи сухих кормов. Но сухие корма хуже перевариваются и усваиваются животными, могут вызвать гастрит, язву желудка и кишечника. Они в значительном количестве распыляются, просыпаются в навозные каналы. Мучная пыль, попадая в бронхи, нередко становится причиной бронхита и пневмонии у животных. Все это в конечном итоге приводит к снижению коэффициента полезного действия корма на 8–10%. Вот характерный пример (по данным профессора З. Гильмана): в колхозе «Октябрь-Гродно» Гродненского района имеются свинарники-откормочники, переоборудованные и под сухое, и под влажное кормление. В тех и других секциях откормочного цеха реконструкция проведена по современным проектам. Приготовление и раздача жидкого корма, так же как и сухого, полностью компьютеризированы, поэтому он не закисает и в меньшей мере загрязняется. Влажность его строго нормируется. В результате среднесуточный прирост живой массы откармливаемого молодняка, в зависимости от его генотипа и состояния здоровья, на влажном кормлении повысился до 700–850 г, а на сухом – на 80–100 г ниже этого уровня. Это позволило при влажном кормлении в сравнении с сухим увеличить годовое производство свинины в живой массе в расчете на одну голову в среднем на 7 кг.

Дадим количественную оценку несоблюдения норм кормления и параметров микроклимата, влияющих на привесы свиней и другие экономические показатели откорма. Для этого в первую очередь необходимо построить математическую модель, где в качестве входа будет выступать выданная доза корма, а в качестве выхода – привес животного.

Важнейшим элементом биотехнической системы является животное, а суточные привесы свиней на откорме – один из основных показателей. В настоящее время нет приемлемых инструментальных средств оперативного определения этого показателя. Поэтому важное значение имеет установление зависимо-

сти привесов свиней от ряда факторов, прежде всего от дозы корма, генетического потенциала и параметров микроклимата. При выборе вида зависимости мы исходили из необходимости выполнения следующих условий:

- отклонение от данных зоотехнических опытов не должно превышать (3–5)%, что вполне удовлетворяет решению поставленных задач;
- для задач откорма диапазон изменения массы животных – от 30 до 130 кг;
- модель привесов должна обладать устойчивостью по отношению к данным различных зоотехнических опытов.

Последнее условие можно обеспечить при поиске зависимости, имеющей биологическую интерпретацию. Поэтому при идентификации за основу модели привесов была взята известная функция роста, в которую были введены параметры, легко поддающиеся биологической интерпретации [5, 6, 7].

В результате обобщения экспериментальных данных различных зоотехнических опытов [8, 9, 10] нам удалось представить текущий суточный привес животного массой m :

$$P(m) = P_{100} \left(\frac{m}{100} \right)^{0.25} \left(\frac{D - D_{\text{нод}}}{D + D_{\text{нод}}} \right), \quad (1)$$

где P_{100} – потенциально возможный привес животного массой 100 кг для данной породы и данных условий содержания и кормления, кг;

D и $D_{\text{нод}}$ – выданная и поддерживающая дозы корма, к.е.

Причем поддерживающую дозу корма, обеспечивающую нулевой привес, можно определить следующим образом:

$$D_{\text{нод}} = km^{0.75}, \quad (2)$$

где $k = 0,033 \frac{\text{к.е}}{\text{кг}^{0.75}}$ – коэффициент, зависящий от энергосодержания 1 кормовой единицы корма.

Решение задачи формализации зависимости ежесуточных привесов животных от параметров кормления и их массы позволяет:

- оптимизировать дозы кормления (затраты на корм составляют 75% от общих затрат на производство свинины);
- оценить влияние погрешности дозирования жидкого корма на привесы животных;
- построить модели прогнозирования управления промышленным производством свинины (корректировать дозы кормления в зависимости от изменения привесов в течение всего периода откорма).

Для выбора дозы корма необходимо обосновать критерии оптимальности. В качестве первого критерия можно использовать максимум отношения суточного привеса на единицу корма:

$$\Pi_1 = \frac{P(m)}{D}. \quad (3)$$

Используя данный критерий, после подстановки (1) в (3) и несложных математических упражнений по поиску экстремума можно получить:

$$D_{\text{иод}} \approx 2.4 \cdot D_{\text{иод}}. \quad (4)$$

То есть, в соответствии с формулой (4), при кормлении свиней мы получим минимальный расход кормов на единицу привеса.

В качестве экономического критерия можно использовать максимум расчетной прибыли или максимум рентабельности за сутки откорма, без учета предварительных затрат.

Для оценки суточной прибыли получено следующее выражение:

$$П2 = P(m)C_{\text{мяс}} - 1.4DC_{\text{корм}}, \quad (5)$$

где $1.4DC_{\text{корм}}$ – оценка затрат на корма, отопление, зарплату и т.п. с учетом факта, что в структуре себестоимости свинины корма составляют 75%;

$C_{\text{мяс}}$ и $C_{\text{корм}}$ – стоимость 1 кг мяса и 1 к.е. корма, руб.

Если взять в качестве критерия оптимальности максимум выражения (5), то оптимальная доза по максимуму прибыли

$$D2_{i\ddot{a}} = D_{i\ddot{a}} \left\{ \left[\frac{P_{100}}{D_{i\ddot{a}}} \left(\frac{m}{100} \right)^{0.25} \cdot \frac{\tilde{N}_{i\ddot{y}\ddot{n}}}{\tilde{N}_{\ddot{e}i\ddot{d}i}} \right]^{0.5} - 1 \right\}. \quad (6)$$

А если использовать в качестве критерия максимум рентабельности

$$\ddot{I} 3 = \frac{P_{100} \cdot C_{i\ddot{y}\ddot{n}} - 1.4 \cdot D \cdot C_{\ddot{e}i\ddot{d}i}}{1.4 \cdot D \cdot C_{\ddot{e}i\ddot{d}i}}, \quad (7)$$

то получим оптимальную дозу

$$D3_{i\ddot{a}} \approx 3 \cdot D_{i\ddot{a}}. \quad (8)$$

Таким образом, математическая модель суточных привесов животных на откорме (1) и (2) позволяет для различных критериев оптимальности (3), (5) и (7) получать оптимальные суточные дозы корма. Оптимальное кормление животных в соответствии с выражениями (4), (6) и (8) требует ежедневного изменения норм кормления с учетом текущей массы животных, цен на корма и свинину.

Чтобы получить показатели за весь период откорма свиней, длящийся 100–110 дней, с учетом нелинейности модели (1)–(8), требуется построение имитационной модели, отражающей последовательно, по суткам, динамику изменения массы животных и расхода кормов (таблица 9).

Таблица 9 – Пример имитационной модели откорма свиней

Сутки откорма	Масса 1 гол., кг	Доза поддерж. $D_{\text{под}}, \text{к.е.}$	Доза корма, $D_{\text{корм.}}, \text{к.е.}$	Привес, кг
1	36,000	0,485	1,169	0,486
2	36,486	0,490	1,181	0,488
3	36,974	0,495	1,192	0,489
4	37,463	0,500	1,204	0,491
5	37,955	0,505	1,216	0,493
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
120	103,258	1,069	2,576	0,633
121	103,891	1,074	2,588	0,634
122	104,525	1,079	2,600	0,635
123	105,159	1,084	2,612	0,636
		Сумма $D_{\text{под}} = 96,468$	Сумма $D_{\text{корм.}} = 232,489$	Сумма привеса расч. = 69,795

Разработанная имитационная динамическая модель процесса откорма свиней с использованием электронных таблиц Excel была использована для получения усредненных показателей откорма по критериям (3, 5, 7) (таблица 10). Настройка модели осуществлялась в соответствии с зоотехническими данными. Цены на свинину и комбикорм взяты по состоянию на 01.02.2010 г. (таблица 10).

Таблица 10 – Усредненные результаты имитационного моделирования по определению параметров откорма свиней при постановочной массе 40 кг

Отношение расхода корма к величине поддерживающей дозы	Рентабельность процесса откорма, %	Прибыль процесса откорма на 1 голову, у.е.	Удельный расход корма на единицу привеса, к.е./кг	Среднесуточный привес, г	Масса 1 головы на 114-й день откорма, кг
1,0	-100	-18,0		0	40,0
1,2	-43,3	-8,85	7,31	101	51,6
1,4	-5,6	-1,3	4,90	189	61,8
1,5	14,2	1,98	4,47	229	66,4
2,0	45,1	14,2	3,87	397	85,7
2,5	54,7	21,3	3,96	523	100,2
3,0	53,5	24,5	4,23	621	109,2
3,5	48,0	26,1	4,56	699	120,3
4,0	41,0	25,5	4,93	762	127,6
4,5	33,7	23,6	5,30	814	133,6

Оптимальные значения $D/D_{\text{под}}$ по критерию максимума рентабельности лежат в диапазоне 2,5–3,0, а по критерию минимума удельного расхода корма – в диапазоне 2,0–2,5 (рисунок 6).

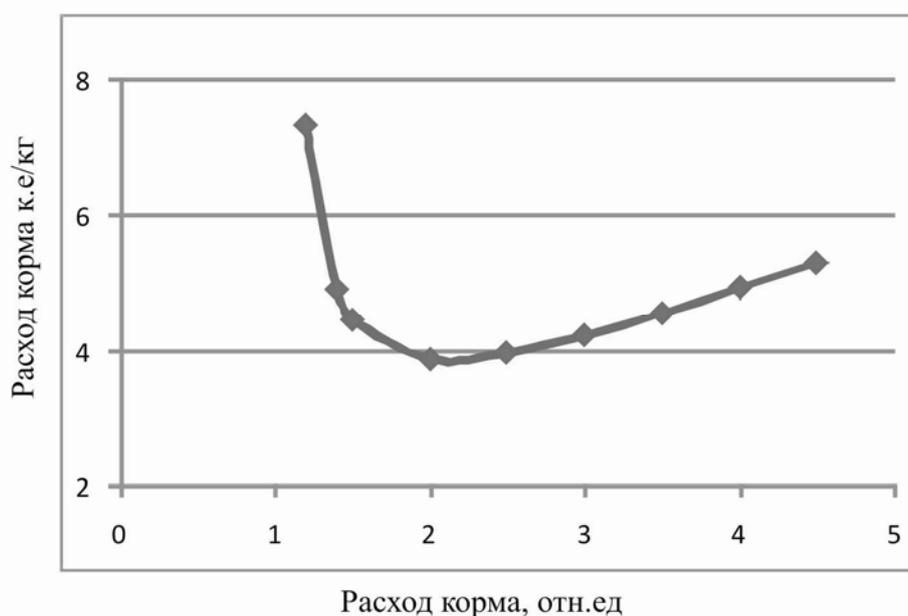


Рисунок 6 – Зависимость удельного расхода корма на единицу привеса в зависимости от интенсивности кормления

Заключение

Синтезированная модель привесов свиней на откорме, удовлетворяющая принципу биологической интерпретации, и разнообразные имитационные модели позволяют оценить качество микропроцессорного управления откормом свиней в различных условиях функционирования по различным критериям эффективности.

Снижение погрешности дозирования и оптимизация выбора номинальных доз корма в соответствии с текущей массой животных и энергосодержанием кормов приводит к значительному технологическому эффекту, позволяющему полностью окупить микропроцессорную систему управления кормлением свиней. Развитие разработанных имитационных моделей позволяет с небольшими затратами оценить эффективность не только локального, но связанного и адаптивного управления откормом свиней [11, 12].

02.06.10.

Литература

1. Алферов, Ж.И. Наноматериалы и нанотехнологии / Ж.И. Алферов [и др.]. // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам: сб. ст. под ред. П.П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – С. 19-23.
2. Карякин, А.А. Биосенсоры и биомолекулярная электроника / А.А. Карякин // Нано- и микросистемная техника. От исследований к разработкам: сб. ст. под ред. П.П. Мальцева. – М.: Техносфера, 2005. – С. 471-477.
3. Морозов, Н.М. Оптимизация комплектов технических средств и моделирование технологических процессов при производстве свинины / Н.М. Морозов, В.И. Ломов, Д.К. Ларкин. – М.: ФГНУ «Росинформагротех», 2005. – 216 с.
4. Черноиванов, В.И. Реконструкция и техническое перевооружение свиноводческих ферм и комплексов / В.И. Черноиванов, И.В. Ильин // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 2005. – № 7. – С. 3-7.
5. Гируцкий, И.И. Основы компьютеризации кормления свиней на свинокомплексах Беларуси / И.И. Гируцкий // Доклады Российской академии сельскохозяйственных наук. – 2003. – №2. – С. 52-56.
6. Гируцкий, И.И. Оценка эффективности модернизации систем управления кормлением свиней на комплексах / И.И. Гируцкий // Механизация и электрификация сельского хозяйства. – 2005. – № 10. – С. 17-19.
7. Франс, Дж. Математические модели в сельском хозяйстве / Дж. Франс, Дж. Горнли. – М: Агропромиздат, 1987. – 400 с.
8. Кабанов, В.Д. Изучение затрат корма на привесы у свиней в связи со скоростью их роста / В.Д. Кабанов // Научные основы развития животноводства в БССР. – Минск: Ураджай, 1970. – С. 80-87.
9. Понд, У. Дж. Биология свиньи / У. Дж. Понд, К.А. Хаупт. – М.: Колос, 1983. – 334 с.
10. Баротфи, И. Энергосберегающие технологии и агрегаты на животноводческих фермах / И. Баротфи, П. Рафаи. – М.: Агропромиздат, 1988. – 228 с.
11. Гируцкий, И.И. Адаптивное управление откормом свиней / И.И. Гируцкий // Тракторы и сельхозмашины. – 2005. – №12. – С. 39-42.
12. Гируцкий, И.И. Поточно-механизированные линии с микропроцессорным управлением для откорма свиней: автореф. дис. ... д-ра технич. наук: 05.20.01. / И.И. Гируцкий. – М.: ФГОУ ВПО МГАУ, 2008. – 31 с.