

# АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ СПОСОБОВ КОРМЛЕНИЯ НА ПРИВЕСЫ ЖИВОТНЫХ

В.А. ПАВЛОВСКИЙ (БГАТУ)

**О**снование решений технического и технологического обеспечения животноводства приводит к необходимости формализации реакции животного на условия содержания и кормления.

Любая система (биологическая, технологическая и пр.) испытывает влияние бесконечного множества факторов внешней среды и соответственно может реагировать на них столь же многообразно. Существенными переменными для конкретной половозрастной группы животных служат: живая масса, возраст, уровень предполагаемой продуктивности, нормы кормления, потребность в определенных условиях содержания (микроклимат, количество животных в станке, кратность кормления и пр.).

Математическая модель представляет собой набор формальных соотношений, которые отображают поведение исследуемой системы. В моделях взаимодействие системы и среды описывают с использованием конечного числа входных и выходных величин, то есть совокупностью характеристик на входе и выходе. Формализованное выражение входа и выхода системы через переменные позволяет математически описать процесс исследования её поведения, рассматривая выходные величины как функции от входных.

Задача исследования заключается в рассмотрении конкретного аспекта явления, характеризующегося ограниченным набором переменных.

В этом случае система представляет собой совокупность наиболее существенных переменных, освещающих данное явление с исследуемой точки зрения. В нашем случае примем, что среднесуточный прирост живой массы животного ( $P$ , кг) есть некоторая функция потребления сухого вещества корма ( $D$ , кг), определенной питательности и живой массы животного ( $M$ , кг). Следовательно, нам необходимо в аналитическом виде определить взаимосвязь среднесуточного прироста свиней от потребленной дозы сухого вещества корма и живой массы животного, т.е. найти функцию двух переменных:  $P = f(D, M)$ .

Готовых для использования аналитических зависимостей для расчета величины привеса от дозы сухого вещества корма и массы животного в литературе не найдено. Существуют разработанные учеными-животноводами таблицы с рекомендуемыми нормами кормления в зависимости от веса животных и запланированного привеса [2, 3], однако они, как правило, не учитывают действительный генетический потенциал животных, условия содержания и даже возраст. Несколько проще применение норм на промышленном свиномкомплексе, где все сроки содержания групп животных и используемые корма строго определены.

Проанализируем нормы скармливания сухого вещества в рационе выращиваемых на мясо свиней с различной интенсивностью роста, пред-

лагаемые [5, табл. 4] составленной по данным [3].

Определение вида функции, который в наибольшей степени соответствовал бы зависимости между изучаемыми явлениями, – это процесс научного исследования. Подбор в аналитическом виде функции взаимосвязи двух переменных в настоящее время решается путем разработки собственных программ или приобретением готовых программ от различных фирм-производителей.

Для разработки в аналитическом виде зависимости, являющейся функцией от двух переменных, можно разработать компьютерную программу с использованием возможностей программного продукта Mathematica 4 (Wolfram Research Inc.), который позволяет производить аналитическое описание данных с использованием полинома Чебышева. [5, с.17]. Использование такой программы позволяет создавать в аналитическом виде функцию взаимосвязи двух переменных  $D=f(M, P)$  с отклонением значений от заданных точек в пределах 0,5...1,5 процента, а одной переменной  $D=f(M)$  – менее 0,2 процента.

Для описания в аналитическом виде функции одной переменной можно использовать возможности Microsoft Excel – 95–2000, а также MS Curve Expert Version 1.34. Первая из перечисленных программ в полуавтоматическом режиме может аппроксимировать данные, используя следующие функции: линейную, логариф-

## 1. Ежесуточная потребность в сухом веществе корма в зависимости от живой массы и среднесуточного прироста за период откорма, кг

Показатели		Живая масса, кг						
		40	50	60	70	80	90	120
Среднесуточный прирост за период откорма, г/сут	550	1,49	1,80	2,16	2,38	2,64	2,79	3,03
	650	1,80	2,13	2,38	2,56	2,81	2,99	3,20
	800	2,50	2,90	3,20	3,60	3,80	4,10	4,40

рифмическую, полиномиальную, степенную, экспоненциальную. Вторая программа в автоматическом режиме подбирает более 30 функций и дает более точные результаты, а в ручном режиме еще 17 специальных функций нелинейной регрессии. Использование этих программ позволяет аппроксимировать данные с отклонением 0,5...7,0 процента от заданных точек, при удачном подборе зависимости  $D=f(M)$ .

Вместе с тем, эти эффективные средства имитационного моделирования, решая вопросы максимального использования всей имеющейся в распоряжении исследователя информации о системе с целью ответа на текущие вопросы о её поведении, для преодоления аналитических трудностей, при определении вида аппроксимирующей зависимости, игнорируют природу описываемого явления, что не удовлетворяет нашим требованиям.

Наряду с перечисленными, существует эмпирический способ определения функции. Он заключается в том, что по расположению на графике точек можно приблизительно определить вид линии, а, следовательно, и вид аналитической зависимости, соответствующей изучаемым явлениям. Однако эмпирический способ должен дополняться и теоретическим, суть которого состоит в том, что при определении вида функции принимается во внимание природа изучаемого явления. Несмотря на громоздкость и сложность такого пути установления вида функции между изучаемыми параметрами, получаемая таким способом зависимость может иметь физическую интерпретацию.

Например, на рис. 1 показана кривая роста, построенная на основе эксперимента, в ходе которого варьировался расход корма при откорме скота.

Экспериментальные данные, представленные на кривой, можно описать зависимостью вида:

$$G = G_1 \frac{F}{K + F} - G_2, \quad (1)$$

где  $F$  — расход корма в единицу вре-

мени;  $G$  — прирост живой массы животного;  $G_1, G_2, K$  — параметры. [6]

Как  $F$ , так и  $G$  — переменные, которые принимают различные числовые значения.  $F$  рассматривается как независимая переменная, поскольку экспериментатор выбирает ее значение в определенных пределах, то есть в том диапазоне расхода корма, в каком они варьируются при эксперименте;  $G$  рассматривается как зависимая переменная, так как она не задается экспериментатором, а определяется выбранными значениями  $F$ . Численные значения параметров определяются характером кривой, показанной на рис. 1. Все три параметра  $G_1, G_2$  и  $K$  легко поддаются интерпретации: если расход корма  $F$  равен 0, то прирост живой массы  $G = -G_2$ , и животные теряют массу; если же расход корма велик, то отношение  $F/(K+F)$  стремится к единице, а прирост  $G$  массы животного к  $G_1 - G_2$ ; параметр  $K$  определяет крутизну наклона кривой и равен по величине  $F$ , когда значение  $G$  располагается посередине между минимумом ( $F=0$ ) и максимумом ( $F$  очень велико). Таким образом, параметры  $G_1, G_2$  и  $K$  определяют соответственно асимптоту, отрезок, отсекаемый на оси  $G$ , и усредненное значение экстремальных реакций животных на корм. Кривая (рис. 1) имеет две перпендикулярные друг другу асимптоты и относится к равносторонним гипербо-

лам:

$$F \rightarrow \infty, G \rightarrow (G_1 - G_2); \quad (2)$$

$$F \rightarrow -K, G \rightarrow -\infty \quad (3)$$

Прямые  $G = G_1 - G_2$  и  $F = -K$  перпендикулярны друг другу. Функции отклика типа «сокращающегося дохода» (например, такая, как на рис. 1) часто используют как в биологии, так и в других областях науки. С их помощью описывают изменения режима питания сельскохозяйственных культур в зависимости от доз минеральных удобрений, ответную реакцию процесса фотосинтеза в растениях и их листьях на изменение освещенности и скорость ферментативного процесса в зависимости от концентрации субстрата. Следует отметить, что кривая на рис. 1 не проходит точно через точки, соответствующие данным эксперимента, так же как и математическая модель, представленная зависимостью (1), дает только приближенное представление о поведении системы. Эта зависимость лишь формализует связь между экспериментальными данными, не добавляя ничего нового к знаниям об объекте исследования. Для проведения плавной линии на рис. 1 зависимость (1) нужно было определенным образом «подогнать» к экспериментальным данным, то есть подобрать такие значения параметров  $G_1, G_2$  и  $K$ , чтобы кривая и экспериментальные точки совпадали как можно лучше. Если, к примеру, экс-

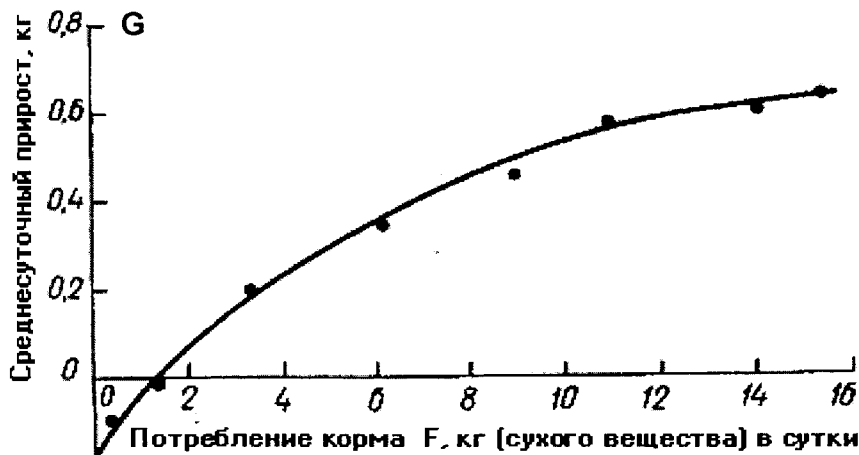


Рис. 1. Эксперимент, демонстрирующий влияние изменения подачи корма  $F$  в единицу времени на темп роста животного  $G$ . Экспериментальные данные обозначены точками, а аппроксимирующая функция — сплошной линией. [6]

перимент проводится с животными разного возраста и различных пород и если допустить, что правомерность использования выражения (1) при описании получаемых данных во всех случаях сохраняется, то параметры выражения каждый раз могут иметь новые значения. Эти различия могут оказаться весьма интересными и эмпирическая модель (такая, как на рис. 1) становится при этом эффективным средством изучения явлений.

Для определения вида функции и расчета её параметров необходимо:

- построить график и подобрать соответствующие кривые;
- выразить данную зависимость в виде функции определенного класса и уточнить коэффициенты.

Графически информацию, приведенную в табл. 1, можно представить в виде графика в трехмерном пространстве (рис. 2).

Рассмотрев рис. 2, видим, что за-

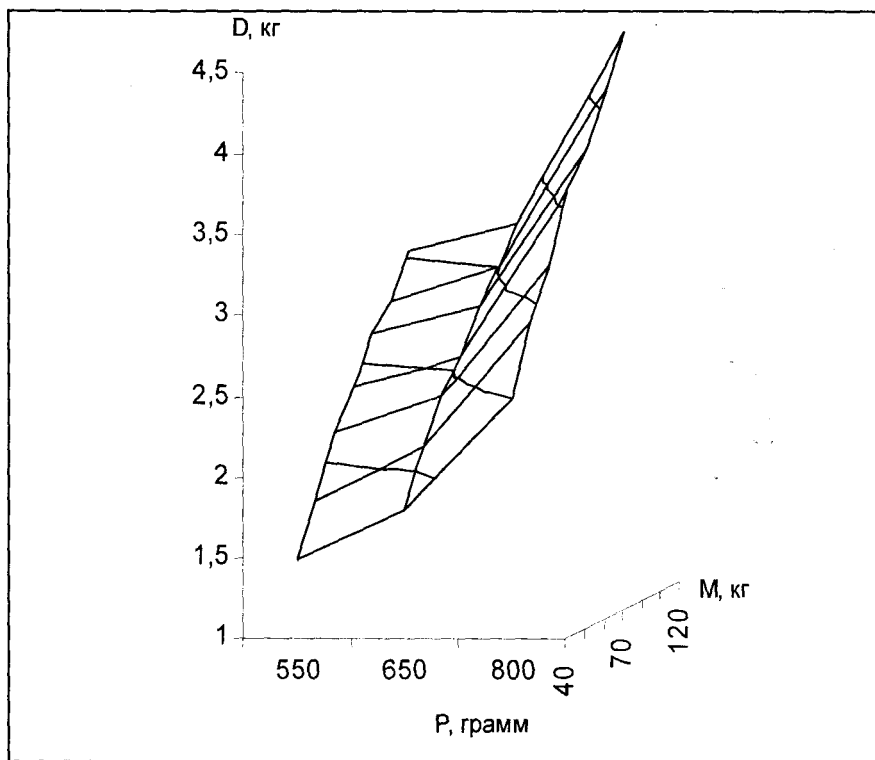


Рис. 2. Визуализация информации, приведенной в табл. 1.

## 2. Результаты расчетов по определению коэффициентов формулы (4)

Масса, кг	$P_{пот}$ , кг	$D_{под}$ , кг	Статистическая оценка результатов
40	1,321	0,613	Final loss: ,000000671 R=,99999 Variance explained: 99,998%
50	1,384	0,773	Final loss: ,000017078 R=,99973 Variance explained: 99,946%
60	1,532	0,995	Final loss: ,000728268 R=,98843 Variance explained: 97,700%
70	1,449	1,027	Final loss: ,001624395 R=,97401 Variance explained: 94,870%
80	1,569	1,221	Final loss: ,001737073 R=,97219 Variance explained: 94,515%
90	1,518	1,257	Final loss: ,001592255 R=,97453 Variance explained: 94,972%
120	1,528	1,364	Final loss: ,002131350 R=,96576 Variance explained: 93,269%

висимость среднесуточного прироста ( $P$ , г) от дозы сухого вещества корма можно аппроксимировать гиперболической зависимостью.

Преобразовав зависимость (1) для нашего случая, аналогично [4], получим:

$$P = P_{пот} \left( \frac{2D}{D + D_{под}} - 1 \right), \quad (4)$$

Примем за неизвестные коэффициенты  $P_{пот}$  – потенциальный привес и  $D_{под}$  – поддерживающую дозу (доза, потребляемая при привесе равном нулю) в формуле (4) и аппроксимируем приведенной зависимостью значения привесов ( $P$ , кг) при изменении дозы корма ( $D$ , кг), для различных масс животных, в соответствии с численными данными табл. 1. Используя для уточнения коэффициентов пакет прикладных программ Statistica 5.0, получим результаты, приведенные в таблице 2.

График изменения коэффициентов приведем на рисунке 3.

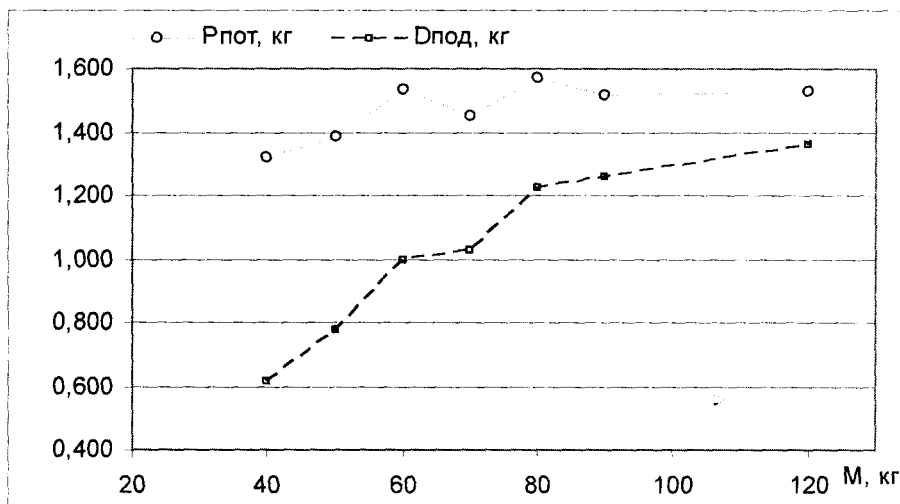


Рис. 3. График изменения коэффициентов формулы 4.

Очевидно, коэффициенты  $P_{\text{пот}}$  и  $D_{\text{под}}$  являются динамическими и изменяются при изменении массы животного по гиперболической зависимости. Аппроксимируем значения коэффициентов следующими функциями:

$$P_{\text{пот}} = k_1 - k_2 \cdot M^{-\frac{1}{0.75}}, \quad (5)$$

$$D_{\text{под}} = k_3 - k_4 \cdot M^{-\frac{1}{0.75}}, \quad (6)$$

Используя для уточнения коэффициентов пакет прикладных программ Statistica 5.0, получим результаты, приведенные в таблице 3.

Полученные коэффициенты можно попытаться интерпретировать как  $k_1 \approx k_3$  — максимально возможный среднесуточный привес животного,  $k_2$  — масса постановки животного на откорм,  $k_4$  — максимальная масса при откорме, умноженная на коэффициент 1,16 или масса, при которой возможно получить максимальный привес, но подтверждение этих гипотез требует отдельного исследования ученых. Ограничимся полученными коэффициентами и, подставив в формулу 4 выражения 5, 6, получим в аналитическом виде функцию двух переменных:  $P = f(D, M)$  — зависимость среднесуточного прироста свиней от потребленной дозы сухого вещества корма и живой массы животного:

$$P = \left( k_1 - k_2 \cdot M^{-\frac{1}{0.75}} \right) \left( \frac{2D}{D + \left( k_3 - k_4 \cdot M^{-\frac{1}{0.75}} \right)} - 1 \right), \quad (7)$$

Подставив численные значения коэффициентов из таблицы 2, получим выражение в готовом для расчетов виде:

$$P = \left( 1,632 - 40,89 \cdot M^{-\frac{1}{0.75}} \right) \left( \frac{2D}{D + \left( 1,582 - 138,8 \cdot M^{-\frac{1}{0.75}} \right)} - 1 \right), \quad (8)$$

Рассчитав параметры функции, описывающей зависимость объясняемой величины от значения объясняющей, нужно каким-либо образом оценить взаимосвязь между этими переменными. Как и в стандартной схеме регрессионного анализа, модель может считаться работоспособной (пригодной к практическому использованию для целей предсказания), если у этой модели коэффициент детерминации  $R^2 \geq 0,75$ , что обеспечивает уменьшение ошибки предсказания, по крайней мере, в два раза, когда для предсказания используется регрессионная модель вместо примитивного предсказания по

### 3. Результаты расчетов по определению коэффициентов формулы (4)

Коэффициент	Значение	Статистическая оценка результатов
$k_1$	1,632	
$k_2$	40,89	
$k_3$	1,582	Final loss: ,012430088 R=,86543 Variance explained: 74,896%
$k_4$	138,7	

среднему значению отклика, без учета влияния факторов на отклик. Фактически с его помощью оценивается, насколько вариация значений показателя-результата непосредственно определяется показателем-фактором.

По результатам оценки погрешности среднее отклонение от заданных значений по модулю составляет

4,4 процента, максимальное 9,3 процента,  $R^2 > 0,75$ .

Отметим, что насколько точно приведенные в таблице данные описывают зависимость  $P = f(D, M)$ , нам неизвестно. Дальнейшее уточнение модели может осуществляться в процессе её адаптации для конкретного объекта.

Полученная модель достаточно точно описывает объект для проведения анализа влияния погрешности дозирования сухого вещества рациона на результаты откорма молодняка свиней различной массы.

С использованием полученной модели 8 был проведен ряд числен-

ных экспериментов. Смоделирован откорм свиней с изменением дозы сухого вещества по нормам кормления в таблице 1. В соответствии с нормами для каждого значения привесов доза изменялась на большую при достижении животным соответствующего веса. Суточный привес определялся по зависимости 8. Графики изменения дозы и веса животного в зависимости от времени приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно.

По результатам расчетов получили, что откорм от 40 кг до 120 кг при кормлении по норме для привеса 0,55 кг/сут. будет осуществлен за 150 суток, при этом будет скормлено 353,9 кг сухого вещества корма. При кормлении по норме для привеса 0,65 кг/сут. за 134 дня будет скормлено 350,3 кг сухого вещества корма, при кормлении по норме для привеса 0,80 кг/сут. за 103 дня будет скормлено 368,2 кг сухого вещества корма. Таким образом, при кормлении по норме 0,65 кг/сут. по сравнению с кормлением по норме 0,55 кг/сут. срок откорма сократился на 16 дней, при этом количество затраченного сухого вещества корма за период откорма уменьшилось на 3,6 кг. Это мож-

но объяснить снижением расхода корма на поддерживающую дозу за счет сокращения срока откорма. При кормлении по норме 0,80 кг/сут. по сравнению с кормлением по норме 0,65 кг/сут. срок откорма сокращается на 31 день, но количество затраченного сухого вещества корма за период откорма увеличивается на 17,9 кг. Это можно объяснить снижением эффективности использования корма с увеличением дозы до значений, близких к максимуму. Таким образом, модель дает вполне адекватные с зоотехнической точки зрения результаты.

С использованием полученной модели 8 был проведен эксперимент, аналогичный описанному выше, но дополнительно дозу сухого вещества изменяли ежедневно, последовательно в большую и меньшую сторону на 20% от норм. В результате при тех же значениях сроков откорма и затраченного количества корма, что в предыдущем эксперименте, не была достигнута конечная масса в 120 кг, для привеса 0,55 кг/сут., 0,65 кг/сут., 0,80 кг/сут. на 1,4 кг, 1,1 кг, 0,7 кг соответственно. Таким образом, мы приблизительно смоделировали режим кормления животных вручную. Легко подсчитать, что откормочник на 18000 мест при ручном режиме кормления по норме для привеса 0,65 кг/сут. недополучит около 49,5 тысячи тонн свинины. Что составит около 74,25 тысячи долларов. Очевидно, мы получили сумму годового эффекта от соблюдения норм кормления, которую можно получать, автоматизировав процесс кормления.

Рассмотрев графики (рис. 5), можно заметить, что привес колеблется около среднего значения. При неизменной дозе привес постепенно спа-

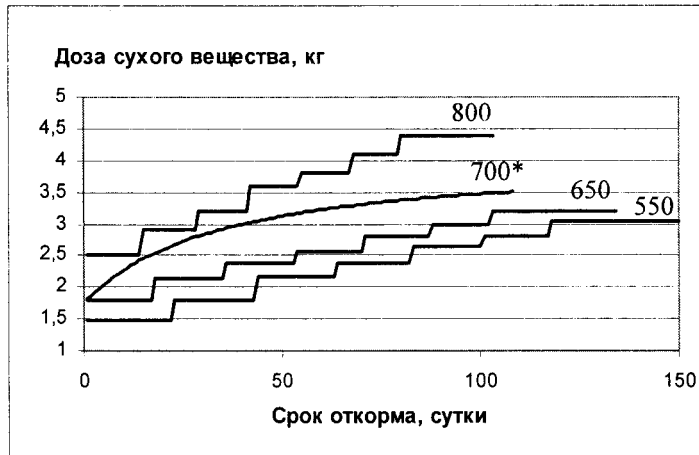


Рис. 4. Графики изменения дозы сухого вещества корма во времени при различных значениях привесов, \* – рассчитанная норма.

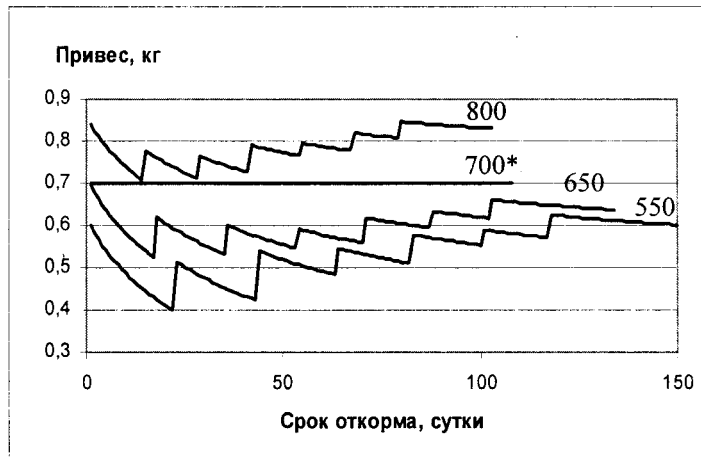


Рис. 5. Графики изменения привесов во времени при кормлении по нормам, приведенным в таблице 1, \* – изменение привесов по рассчитанной норме.

дает, затем после достижения животными определенной нормы кормления масса доза повышается, соответственно повышается привес. Вряд ли такой режим роста животного повышает продуктивность. Если из зависимости 8 выразить дозу  $D$  и подставить привес  $P = 0,7$  кг, то, изменяя массу от 40 до 120 кг, с шагом, равным привесу, мы получим рассчитанную норму для каждого дня откорма (рис. 4). По расчетам кормление по полученной норме приводит к стабильному ежедневному привесу (рис. 5). Приведенный режим кормления по результатам моделирования повышает среднесуточный привес на 2...7 процентов. Такой режим кормления можно обеспечить, используя автоматизированную систему кормления.

– 352 с.

4. Разработка научных основ построения компьютерных систем управления технологическими и производственными процессами в животноводстве: Отчет о НИР / БГАТУ; Рук. темы И.И. Гируцкий. – Мн., 2002.

5. Технология производства свинины в Республике Беларусь: Учебно-методическое пособие для слушателей факультета повышения квалификации, консультантов и студентов БГАТУ / Под. общ. ред. С.И. Плященко. Мн.: БГАТУ, 2001. – 100 с.

6. Франс Дж., Торнли Дж. Х. М. Математические модели в сельском хозяйстве / Пер. с англ. А.С. Каменского; под ред. Ф.И. Ерешко. – М.: Агропромиздат, 1987. 400 с.

Полученная модель позволяет оценивать влияние количества сухого вещества рациона на привес молодняка свиней различной массы и может применяться для прогнозирования эффективности мероприятий по совершенствованию системы кормоприготовления и кормораздачи, а также выбора обоснованных доз кормления.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Гируцкий И.И. Теоретические основы автоматизации производства в условиях модернизации промышленного свиноводства // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі / Серыя аграрных навук – 2003. №3. – С. 94–98.

2. Кормовые нормы и состав кормов: Справ. пособие / А.П. Шпаков, В.К. Назаров, И.Л. Певзнер, Б.С. Маковский. – Мн.: Ураджай, 1991. – 384 с.

3. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: Справочное пособие / А.П. Калашников, Н.И. Клейменов, В.Н. Баканов и др. – М.: Агропромиздат, 1985.