

ISSN 0869 — 6128

ДОКЛАДЫ  
РОССИЙСКОЙ  
АКАДЕМИИ  
СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫХ  
НАУК

4  
1996

ЖУРНАЛУ — 60 ЛЕТ

---

Двухмесячный научно-теоретический журнал

проблемам длительного скармливания кукурузного силюса коровам, разнотипных раций для овец, по качеству протеина, введению в рацион премиксов, витаминов.

В 70-80 годы в журнале публикуется более 20 статей в год по кормлению, физиологии и биохимии питания животных. В них рассмотрены дальнейшая разработка и уточнение норм кормления для всех видов сельскохозяйственных животных, уровни энергии, протеина, незаменимых аминокислот, энерго-протеинового соотношения, макро- и микроэлементов, витаминов. По нормам кормления опубликованы работы академиков и членов-корреспондентов А.П.Дмитриченко, А.П.Калашникова, Н.И.Клейменова, Б.Д.Кальницкого, М.Ф.Томма и многих сотрудников институтов. В статьях ученых ВИК, ВНИИФБиП, ВИЖ значительное место уделяется качеству белка - растворимости и расщепляемости его в рубце жвачных, повышению усвоения, а также его заменителям - мочевине и другим азотсодержащим небелковым соединениям. Кроме того, рассматриваются проблемы заготовки высококачественных кормов и технологии подготовки их к скармливанию, физической формы кормов, структуры рациона и соотношения питательных веществ в нем, введения в рацион различных добавок, фитоэстрогенов кормов. Разработанные рецепты ЗЦМ, комбикорма-стартеры с различными основными и дополнительными компонентами, премиксы представлены в статьях ученых ВИЖ и ВНИИФБиП. В них показано влияние кормовых факторов на поедаемость кормов, переваримость и использование питательных веществ, уровень и качество продукции.

Значительное количество работ по физиологии и биохимии питания сельскохозяйственных животных с использованием современных методов, а также на основе новых методических разработок опубликовали сотрудники ВНИИФБиП, ученики и последователи академика А.Д.Синецкого из ВИЖ, ВИК, НИИ земледелия и животноводства и других институтов.

Показаны процессы и уровень переваримости питательных веществ в различных отделах желудочно-кишечного тракта, их всасывание и поступление в пищеварительный канал, роль стенок канала в этом процессе, секреторная деятельность желез при различных условиях кормления и у животных различных пород и направлений продуктивности. Рассмотрено поступление питательных веществ в кровь, ткани и органы, влияние компонентов пищи на синтез продукции. Результаты исследований обусловили создание новой системы протеинового питания жвачных животных.

В 90-е годы в журнале продолжается публикация статей по важнейшей проблеме животноводства - кормлению и физиологии питания сельскохозяйственных животных.

От имени коллектива ученых желаем редакционному Совету и сотрудникам редакции журнала больших творческих успехов в оперативной публикации научных исследований, имеющих приоритетный характер, и постановке важнейших проблем по вопросам кормления и физиологии питания сельскохозяйственных животных.

Н.И.СТРЕКОЗОВ,  
член-корреспондент Россельхозакадемии  
И.П.ДУХИН,  
доктор биологических наук, профессор,  
Всероссийский научно-исследовательский  
институт животноводства

УДК 636.2:636.082.2

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ANIMAL MODEL В СЕЛЕКЦИИ ЖИВОТНЫХ

**В.М.Кузнецов**

(Представлено членом-корреспондентом Россельхозакадемии П.Н.Прохоренко)

Приведены результаты использования процедуры Animal Model для оценки компонентов фенотипической из-менчивости, племенной ценности животных и генетического тренда. Применение Animal Model обеспечивает надежный прогноз генотипа животных и повышение эффекта селекции.

Линейные статистические модели находят все большее применение в исследованиях по генетике и селекции животных [8]. Статистическая модель – это приближенное отражение биологической реальности. При использовании таких моделей необходимо стремиться к тому, чтобы соответствие их с реальной биологической ситуацией было как можно более полным. В этом отношении смешанные модели с фиксированными и рандомизированными факторами представляют для исследователей большой интерес, особенно при анализе несбалансированных данных. Решение системы линейных уравнений по моделям смешанного типа (ММЕ) дает наилучшие линейные несмешанные оценки (BLUE) для фиксированных факторов и наилучший линейный несмешанный прогноз (BLUP) для рандомизированных факторов [4].

Процедура BLUP или "Sire Model" ("модель отца") широко использовалась и используется в исследованиях и в практической селекции животных,

особенно для оценки племенной ценности производителей [1, 2, 7]. Развитие методологии BLUP привело к разработке процедуры, называемой "Animal Model" ("модель животного", в дальнейшем АМ). Основные положения теории АМ были даны почти 50 лет назад [3]. Однако использование метода стало возможным лишь в последние годы благодаря небывалому развитию компьютерной техники и совершенствованию вычислительных процедур.

АМ разработаны для различных биологических ситуаций и структур данных, в работах [5,6] приведены их статистические основы, определены генетические свойства. Основной особенностью всех АМ является непосредственное или косвенное включение в эту процедуру расчета матрицы генетического родства между животными. В АМ может использоваться информация о самом животном, его предках и потомках со всеми известными родственными связями. Все идентифицированные родствен-

ники влияют на оценку животного; каждое животное влияет на оценку всех своих родственников. В процедуре АМ учитывается также генотипическая ценность партнеров по спариванию, генетическая конкуренция сверстников и влияние направленного отбора.

Вычисления по АМ базируются на итерации данных. Последствием итерационной процедуры являются одновременное решение для всех включенных в модель фиксированных факторов и одновременный прогноз генотипической ценности как самцов, так и самок. Посредством повторной оценки каждого эффекта достигается конечное решение, когда оценка определенного эффекта скорректирована на все другие эффекты модели и дополнительный (новый) раунд итерации существенно не изменяет эту оценку. Итерационная процедура способствует объединению вклада каждого животного с вкладом всех его родственников. Перечисленное определяет процедуру АМ, как наиболее пригодную для применения в исследованиях по селекции животных. В настоящей статье приведены некоторые результаты по использованию АМ для оценки генетических параметров, прогноза генотипической ценности животных и оценки генетического тренда, а также прогноз последствий перехода на генетическую оценку животных по Animal Model.

**Методика.** Данные включали информацию о 2630 первых 3 лактациях 1274 коров черно-пестрой породы АО "Детскосельское". Продуктивность за различные лактации ( $Y$ ) рассматривалась как один неоднократно измеренный признак. Линейная статистическая модель смешанного типа имела вид:

$$Y = M + L + bD + A + P + C + E,$$

где  $M$  - влияние условий содержания коровы (совместное влияние фермы, года и сезона отела);  $L$  - влияние лактации (номера лактации);  $bD$  - линейная регрессия на продолжительность лактации;  $A$  - влияние аддитивной генотипической ценности коровы;  $P$  - влияние перманентных средовых факторов;  $C$  - влияние взаимодействия "стадо-бык";  $E$  - влияние неучтенных в модели факторов.

Эффекты  $A$ ,  $P$ ,  $C$  и  $E$  являлись рандомизированными, остальные - фиксированными. Подготовку данных, вычисление компонентов дисперсии и оценку племенной ценности животных осуществляли на персональном компьютере по программам RENUM, MTDFS и JAA 2.0 [9,10,11].

Коэффициент конвергенции (сходимости,  $C_p$ ) оценок племенной ценности рассчитывался по формуле из работы [12]:

$$C_p = \frac{\sum [\hat{BV}(r) - \hat{BV}(r-1)]^2}{\sum [\hat{BV}(r)]^2},$$

где  $\hat{BV}(r)$  и  $\hat{BV}(r-1)$  - оценки племенной ценности животного в текущем ( $r$ ) и предыдущем ( $r-1$ ) раундах итерации.

Дисперсия ошибки ( $VE$ ) оценок племенной ценности животных ( $BV$ ) от "истинных" значений ( $BV$ ) рассчитывалась по уравнению

$$VE = \frac{Var[\hat{BV} - BV]}{Var[BV]} \cdot 100.$$

**Результаты и обсуждение.** Оценки компонентов дисперсии, коэффициентов наследуемости, повторяемости, фенотипических и генетических корреляций признаков приведены в табл.1. Коэффициент наследуемости удоя хорошо согласуется с данными литературы. Наследуемость по количеству молочного жира и белка обычно ниже на 10 %, чем по удою.

Табл. 1. Компоненты дисперсии, наследуемость, повторяемость и корреляции между признаками молочной продуктивности

	Удой, кг	Жир, кг	Белок, кг
Дисперсия, $kg^2$			
генетическая	0,149E+06*	150,8	72,9
перманентной среды	0,103E+06	143,7	121,9
остаточная	0,270E+06	488,6	340,4
Наследуемость, %	28,5	19,3	13,6
Повторяемость, %	48,5	37,6	36,4
Корреляция**			
удой, кг	—	0,94	0,92
жир, кг	0,92	—	0,86
белок, кг	0,85	0,83	—

\* 0,149E+06 = 149000;

\*\* Над диагональю — генетическая, под диагональю — фенотипическая.

В нашем случае различия в оценках составили более 30 %. Вероятно, это связано с использованием производителей голштинской породы или является следствием недостаточно полного учета в статистической модели факторов, влияющих на эти признаки. Так, по удою остаточная дисперсия составляла в общей дисперсии 51,7 %, по количеству жира и белка соответственно 62,4 и 63,6 %. Возможно также, что более низкие оценки генетической изменчивости являются следствием недостаточно точного определения содержания жира и белка в молоке коров. Повторяемость удоя, количества жира и белка была на уровне значений, опубликованных в литературе. Как и следовало ожидать, взаимосвязь между признаками была высока. Причем, оценки генетических корреляций на 2-8 % выше, чем фенотипических.

Оценки компонентов дисперсий были использованы для прогноза генотипической ценности животных. Так как закономерности и тенденции генетической оценки по удою были сходными с таковыми по количеству жира и белка, то в дальнейшем рассматриваются только результаты по удою. В табл.2 приведена зависимость оценок племенной ценности животных от числа раундов итерации. При 100 раундах коэффициент конвергенции оценок составил 2,075E-07. После 30 раундов итерации оценки племенной ценности изменились незначительно. Об этом свидетельствуют высокие корреляции, небольшие усредненные абсолютные отклонения от оценок племенной ценности животных на 100-м раунде итерации, небольшая дисперсия ошибки и незначительные изменения в оценках генетического сдвига.

В табл.3 показаны последствия исключения того или иного фактора (ов) из полной модели ( $M_1$ ). Наибольшее влияние на значения оценок племенной ценности и ранги животных оказали факторы "номер лактации" ( $L$ ) и "стадо-год-сезон отела" ( $M$ ). Очень сходными с оценками по модели 1 были оценки по модели 5, исключающей эффект взаимодействия "стадо-бык" ( $C$ ), и по модели 6, исключающей эффект "продолжительность лактации" ( $bD$ ). Однако одновременное исключение этих факторов (модель 7) привело к переоценке генетического сдвига на 18,6 % (при допущении, что оценки племенной ценности животных по модели 1 являются "истинными").

Данные табл.4 иллюстрируют чувствительность оценок племенной ценности животных и генетического сдвига к отклонению от "истинного" значения коэффициента наследуемости, который используется в расчетах. Допускалось, что "истинный" коэффициент наследуемости равен 30 % (действительное значение наследуемости, рассчитанное по АМ, было 28,5 %).

Табл. 2. Сравнение оценок племенной ценности животных, рассчитанных при разном числе раундов итерации

Число раундов итерации	Коэффициент конвергенции, Ср	Корреляция с оценками R100		Отклонение от оценок R100, кг		Дисперсия ошибки, %		Генетический тренд за поколение, кг**
		коровы	быки	коровы	быки	коровы	быки	
5	2,361E-03*	0,918	0,864	81,6	146,1	7,01	19,47	-29
10	1,850E-03	0,984	0,966	60,1	90,0	3,91	8,50	29
15	4,390E-04	0,991	0,980	39,3	54,2	1,41	3,32	110
20	1,478E-04	0,993	0,989	25,5	55,7	0,64	1,89	105
25	5,564E-05	0,997	0,996	15,6	54,7	0,22	0,87	88
30	2,016E-05	0,998	0,998	12,2	54,1	0,16	0,42	84
35	6,584E-06	0,999	0,999	9,2	49,4	0,08	0,16	84
40	2,080E-06	0,999	0,999	9,2	42,7	0,07	0,19	88
45	1,276E-06	0,999	0,999	8,9	38,7	0,06	0,16	87
50	4,866E-07	0,999	1,000	7,4	35,5	0,04	0,10	86
75	2,369E-07	1,000	1,000	3,5	17,1	0,01	0,03	83
R100	2,075E-07	—	—	—	—	—	—	81

\* 2,361E-03 = 0,002361;

\*\* Разность между усредненными оценками племенной ценности коров 1990 и 1985 годов рождения.

Табл. 3. Сравнение оценок племенной ценности животных, рассчитанных по разным статистическим моделям (50 раундов итерации)

Модель	Исключенный фактор(ы)	Корреляция с оценками по M1		Отклонение от оценок M1, кг		Дисперсия ошибки, %		Генетический тренд за поколение, кг
		коровы	быки	коровы	быки	коровы	быки	
M1	—	—	—	—	—	—	—	86
2	M	0,865	0,763	1201	1027	37,0	81,1	-314
3	L	0,742	0,499	1088	836	76,1	229,2	-583
4	P	0,994	0,996	32	23	1,5	0,4	64
5	C	0,991	0,993	28	34	0,8	2,1	86
6	bD	0,997	0,996	17	21	0,3	0,4	89
7	C, bD	0,991	0,992	30	37	0,9	2,4	102
8	P, C, bD	0,990	0,988	54	63	3,2	5,0	74

Табл. 4. Сравнение оценок племенной ценности животных, рассчитанных с разными значениями коэффициента наследуемости (50 раундов итерации)

Наследуемость, %	Корреляция с оценками H30		Отклонение от оценок H30		Дисперсия ошибки, %		Генетический тренд за поколение, кг
	коровы	быки	коровы	быки	коровы	быки	
15	0,969	0,992	101	65	5,0	2,3	58
20	0,989	0,997	65	38	2,0	0,8	66
25	0,998	0,999	33	18	0,5	0,2	84
H30	—	—	—	—	—	—	84
35	0,999	1,000	25	12	0,3	0,1	94
40	0,995	0,998	56	28	1,4	0,4	108
45	0,989	0,996	86	43	3,4	1,0	126

Отклонение от "истинного" значения наследуемости незначительно влияло на ранги животных (высокие коэффициенты корреляции), но на абсолютную оценку племенной ценности это влияние оказалось более существенным, особенно для коров (дисперсия ошибки была более чем в 2 раза выше). При наследуемости 25-30 % оценки генетического сдвига были сходными. Отклонение оценки наследуемости от "истинной" в сторону занижения приводило к недооценке генетического сдвига на 22-31 %, а в сторону завышения - к переоценке на 29-50 %.

Из табл.5 видно, что после достижения в 1987 году максимального значения племенная ценность коров резко снизилась и в дальнейшем колебалась незначительно. Данные племенной ценности отцов коров и процента коров, чьи отцы относились к лучшим 5 быкам, объясняют причины снижения племенной ценности коров после 1987 года. Коровы 1990 года рождения уступали по племенной цен-

ности коровам 1987 года рождения на 86 кг молока, но на столько же превосходили племенную ценность коров 1985 года рождения.

Средние значения племенной ценности коров по годам рождения можно использовать для оценки эффективности племенной работы, то есть для расчета генетического тренда. Ниже дан расчет генетического тренда по удою (кг) за год и кумулятивного тренда за весь период:

Год	за год	кумулятивный
1985/86	57	57
1986/87	116	173
1987/88	-89	84
1988/89	-30	54
1989/90	32	86

Отрицательные значения генетического тренда за 1987-1989 годы указывают на то, что племенная

**Табл. 5. Тренд удоя и племенная ценность (BV) коров по годам рождения (50 раундов итерации)**

Показатель	Год рождения коров					
	1985	1986	1987	1988	1989	1990
Число коров, гол.	107	185	239	346	299	92
Средний удой, кг	6023	6130	6174	5747	5235	4940
Средняя BV, кг						
коров	-71	-14	101	13	-17	15
отцов коров	-175	-61	110	0	-54	-37
% коров от 5 лучших быков (средняя BV = 472 кг)	1,2	15,2	45,6	22,8	11,6	3,6
BV коров относительно генетической ценности коров 1985 г. рождения (генетической базы), кг	—	57	173	84	54	86

работа со стадом в этот период была не эффективной. За весь период генетический тренд был положительным и составил 86 кг молока. Следует отметить идентичность оценок кумулятивного тренда с данными последней строки табл.5, что говорит о целесообразности определения генетической базы как для оценки племенной ценности животных, так и для оценки генетического тренда.

Что может дать применение процедуры АМ в практической селекции? Ранговая корреляция между племенной ценностью коров и удоем составила 0,75, между племенной ценностью быков и средней продуктивностью их дочерей - 0,54, то есть вероятность ошибки при отборе генотипически лучших коров по их среднему удою может быть в 25 случаях из 100, при характеристике быков по средней продуктивности дочерей - в 46 из 100. Из этого следует, что процедура АМ способствует уточнению прогноза генотипа животных в среднем на 35 %.

Для прогноза последствий перехода на генетическую оценку животных по АМ смоделирован также отбор отцов и матерей быков, отцов и матерей

коров по абсолютному удою, BLUP-оценкам и АМ-оценкам (табл.6). Допускали, что интенсивность отбора оцененных по потомству быков 1 из 5, отцов быков - 1 из 14, матерей быков - 10 % и матерей коров - 80 %; доля коров, осеменяемая спермой проверяемых быков, равна 30 %; средний генерационный интервал 6 лет. Оценки племенной ценности по АМ были приняты за "истинный генотип" животных.

Средняя племенная ценность (генетическое превосходство) быков при отборе по АМ-оценкам была на 48 %, а коров на 18,7 % выше, чем при отборе по среднему удою. В общем, эффект селекции при использовании метода АМ повышался на 33 %. По сравнению с отбором по BLUP-оценкам отбор по АМ-оценкам был эффективнее соответственно на 8,5, 9,5 и 8,8 %.

Следовательно, использование АМ способствует более точной оценке компонентов дисперсии, племенной ценности и генетического тренда. При оценке племенной ценности точное значение коэффициента наследуемости не является критическим. Однако, если оценки племенной ценности используются для расчета реализованного генетического тренда или для прогноза эффекта селекции, то тогда коэффициент наследуемости должен быть оценен с максимальной точностью. Полученные результаты свидетельствуют о значительном повышении эффективности селекции при использовании АМ.

Автор приносит глубокую благодарность руководству Голштино-фризской Ассоциации Америки за предоставленную возможность обучения по программе "Holstein Genetic Evaluation Systems", а также J.Field., K.Lee, K.Weigel, T.Lawlor (Holstein Association); A.Freeman, J.Berger (Iowa State University); H.Norman, G.Wiggans, P.VanRaden (USDA-ARS) за участие в этой программе и Ignacy Misztal (University of Illinois) за неоценимую помощь в освоении методологии Animal Model.

**Табл. 6. Эффективность селекции молочного скота по удою при генетической оценке быков и коров по АМ**

Критерий отбора	Средняя племенная ценность по АМ, кг				Эффект селекции, кг/год	Эффективность, %
	быков	коров	отцов быков	отобранных быков		
AVD	AVL	312	178	427	70	38,9
BLUP	AVL	461	207	427	70	46,0
BLUP	BLUP	461	207	450	89	47,7
AM	AM	473	252	492	98	51,6

Примечание. AVD и AVL — средний удой соответственно дочерей и коров

**Литература.** 1.Кузнецов В.М./ / Зоотехния - 1995. - N 11. 2.Кузнецов В.М. и др. Методические рекомендации по использованию метода BLUP для оценки племенной ценности быков-производителей. - Л., ВНИИРГЖ, 1987. 3.Henderson C.R./ / J.Dairy Sci. - 1949. - V.32. 4.Henderson C.R.Applications of Linear Models in Animal Breeding - University of Guelph. - 1984. 5.Henderson C.R. J.Dairy Sci. - 1988. - V.71. - Sup.2. 6.Kennedy B.W. et al. // J.Dairy Sci. - 1988. -V.71. - Sup.2. 7.Philipsson J., Danell B. - EAAP

Symposium, Prague, 1984. 8.Proceedings of the 5th World Congress of Genetics Applied to Livestock Production. - Canada, 1994. 9.Misztal I. RENUMA - data preparation program for sire and animal model, 1993. 10.Misztal I.MTDFS - multitrait REML estimation of variance components program, 1993. 11.Misztal I. JAA 2.0 - animal model iteration program for solutions and reliabilities, 1993. 12.Misztal I. et al. // J.Dairy Sci. - 1988. - V.71. - Sup.2.

**Доклады Россельхозакадемии, 1996, N 4**  
Поступила в редакцию 25.03.96

**Всероссийский научно-исследовательский институт генетики и разведения сельскохозяйственных животных, 189620, Санкт-Петербург - Пушкин**

**Kuznetsov V.M. The use of Animal Model in animal selection**

**The results of use Animal Model procedure is presented for evaluation of components of phenotypic variation, breeding value of animals and genetic trend. The application of Animal Model provides the safe predict of animal genotype and increase of selection effect.**