

УДК 636.2.082.2:636.034

<https://doi.org/10.47612/0134-9732-2022-57-1-4-14>

Р.В. БЕРЕЗОВИК, Н.М. ХРАМЧЕНКО, Е.Р. МАКАРО,  
И.В. ЛОЩИНИН

**ПРЕИМУЩЕСТВА ОЦЕНКИ ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ  
ПРИЗНАКОВ МОЛОЧНОЙ ПРОДУКТИВНОСТИ КРУПНОГО  
РОГАТОГО СКОТА МЕТОДОМ BLUP**

*Белплемживобъединение, г. Минск, Республика Беларусь*

В статье приведены данные сравнительного анализа использующихся в настоящее время и перспективных методов оценки племенной ценности признаков молочной продуктивности. Установлено, что оценка методом BLUP AM на 12-17 % точнее используемого метода дочери-сверстницы, при этом различия снижаются по мере увеличения точности оценки за счёт привлечения большего количества оценённых дочерей, но остаются в пределах 6-10 %. Определены преимущества методологии BLUP AM в сравнении с действующей методологией.

**Ключевые слова:** племенные быки, оценка племенная ценность, генетические тренды.

R.V. BIAROZAVIK, N.M. KHRAMCHANKA, E.R. MAKARA,  
I.V. LOSHCININ

**ADVANTAGES OF ESTIMATING BREEDING VALUE OF MILK  
PRODUCTIVITY TRAITS OF CATTLE BY THE BLUP METHOD**

*Belplemzhivobedinenie, Minsk, Republic of Belarus*

The article presents a comparative analysis of the currently used and promising methods of estimating the breeding value of milk productivity traits. The BLUP AM method was found to be 12-17% more accurate than the daughter-herdmate comparison method used, with differences decreasing as the accuracy of estimation increases due to involvement of a large number of daughters estimated, but remaining within 6-10%. The advantages of the BLUP AM methodology over the current methodology were identified.

**Keywords:** breeding bulls, estimating the breeding value, genetic trends.

**Введение.** Современные селекционные программы стран с развитым животноводством, ставящие своей целью генетическое улучшение экономически значимых признаков, основаны на законах

популяционной и молекулярной генетики количественных признаков. Поэтому чёткое понимание генетических принципов, лежащих в основе таких программ, является основой принятия грамотных селекционных решений [1].

Теоретической основой представленной методики оценки генетической ценности животных является количественная генетика, которая описывает закономерности наследования количественных признаков с использованием методов математической статистики.

Созданная Ч.Р. Хендерсоном теория смешанных линейных моделей для наилучшей линейной несмещённой оценки фиксированных эффектов (BLUE) и наилучшего линейного несмещённого прогноза (BLUP) рандомизированных эффектов позволила наилучшим образом осуществлять разделение продуктивности на генетические и негенетические составляющие. Она получила своё развитие в BLUP Animal Model (BLUP AM), которая одновременно учитывает хозяйственно-полезные признаки самого животного, его родителей и боковых родственников, а также популяционные характеристики стада. В настоящее время методики определения генетической ценности животных на основе смешанных линейных моделей занимают доминирующее положение в практической селекционно-племенной работе. Это связано с тем, что оценка животных на основе смешанных моделей обладает следующими преимуществами:

- максимально точное разделение средовой и генетической составляющих изменчивости продуктивных признаков;
- одновременное сравнение параметров продуктивности, полученных в различных условиях окружающей среды от различных генотипов, а также животных различных поколений;
- учёт всех документированных родственных связей; корректировка значений племенной ценности по отношению друг к другу (учёт генетической конкуренции, уровня спаривания, генетического тренда);
- высокая точность оценки, что позволяет достигать высокой эффективности селекции; возможность извлечения дополнительной информации (генетические тренды, уровень управления, эффективность селекции и т. п.) [2, 3, 4, 5].

Представленная научно-исследовательская работа осуществлена в целях имплементации решения от 24 ноября 2020 года № 149 Евразийской экономической комиссии об утверждении методик оценки племенной ценности сельскохозяйственных животных в государствах – членах Евразийского экономического союза, а также выполнения «дорожной карты» развития селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве на 2021-2025 годы, утверждённой 06 мая 2021 года Министром сельского хозяйства и продовольствия Республики Беларусь.

Цель исследований – провести сравнительный анализ использующегося в настоящее время метода оценки племенной ценности дочерисверстницы (МСС) и лучшего линейного несмещенного прогноза BLUP AM.

**Материал и методика исследований.** Расчёт селекционно-генетических параметров популяции проведён на активной части популяции, сформированной согласно перечню хозяйств, определённых протоколом заседания экспертной группы по выработке стратегии внедрения современных технологий в племенном молочном скотоводстве от 28 мая 2021 года.

Используемая методика BLUP AM согласуется с Решением Евразийской экономической комиссии Коллегии от 24 ноября 2020 г. № 149:

- расчёт племенной ценности (EBV) коров и быков молочного направления продуктивности проводили на основе метода BLUP AM;
- для разработки статистических моделей развития признаков молочной продуктивности в популяции использовали модели смешанного типа;
- для оценки точности (надёжности) полученного расчёта продуктивности использовали квадрат коэффициента корреляции между истинными и прогнозируемыми оценками племенной ценности (reliability, REL).

Исследования проведены по следующим селекционируемым признакам: удой (Mkg), содержание молочного жира (Fkg) и процент жира в молоке (F%).

С целью гармонизации оценок использованы максимально приближенные принципы формирования массивов данных и используемых статистических моделей, включающих один фиксированный (систематический) эффект среды хозяйство/год/сезон отёла (HYS<sub>c</sub>).

$$Y_{im} = HYS_{ci} + a_m + e_{im},$$

где  $Y_{im}$  – фенотипические измерения признаков молочной продуктивности;  $HYS_{ci}$  – фиксированный эффект хозяйства×года×сезона отёла;  $a_m$  – рандомизированный аддитивный генетический эффект животного;  $e_{ikm}$  – рандомизированный случайный эффект.

Входной массив данных измерений признаков молочной продуктивности, использованный для оценки племенной ценности, удовлетворял следующим требованиям:

- в оценке используется информация о продуктивности первотёлок за последние 11 лет;
- из хозяйств с уровнем продуктивности животных не меньше 3000 кг;
- в оценке используется информация за 305 дней или за укороченную

(но не менее 240 дней) первую лактацию;

- возраст первого отёла не менее 20 и не более 40 месяцев;

- из оценки исключаются животные: отелившиеся в последнем году оценки и без запуска; с удоем за 305 дней первой лактации меньше 1000 кг молока; со стороны матери встречаются мясные породы; животные, у которых отсутствует регистрационный номер.

Данные критерии определены на основе сложившейся практики оценки молочного скота методом дочери-сверстницы.

Исследования проводились с использованием разработанного специалистами Белплемживобъединения программного обеспечения по формированию массивов данных и получения отчётной информации из семейства программ BLUP F90 [6], используемого для расчёта смешанных линейных уравнений.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** *Сравнительный анализ методов расчёта племенной ценности.* На первоначальном этапе исследований нами было принято решение установить соответствие между используемой (МСС) и разрабатываемой BLUP (EBV) оценкой племенной ценности по секционированным признакам молочной продуктивности.

Исследования проведены в два этапа: на данных оценки по состоянию на 01.01.2021 и 01.07.2021 года. В таблице 1 приведены исходные данные выгруженных массивов данных племенных животных активной части популяции.

Таблица 1 – Исходные данные для сравнения МСС и EBV оценки племенных быков

	Всего выгружено коров	Всего коров после фильтрации	Племенные быки		
			оценено всего		объединённый массив МСС и EBV
			МСС	EBV	
01.01.2021	1 417 495	773 382	4953	13252	1122
01.07.2021	4 952 013	2 334 748	4248	12568	4027

Установлено, что по мере совершенствования методов формирования массивов данных, используемых для оценки животных, произошло сближение количественного состава быков-производителей, получивших оценку. Так, по состоянию на 01.01.2021 г. из оценённых 4953 голов племенных быков методом МСС оценку EBV получило лишь 1122 быка или 22,6 %, в то время как при оценке по состоянию на 01.07.2021 г. оценку EBV имели 95,8 % быков (4027 голов) из оценённых методом МСС 4248 голов. Это было достигнуто за счёт выгрузки из базы ИС «Племдело» практически 5 млн. коров, из которых более 2,3 млн. имели записи о продуктивности.

В таблицах 2 и 3 приведены данные взаимосвязи оценок племенной ценности, полученных методами МСС и BLUP AM. Анализ результатов оценки по состоянию на 01.01.2021 г. позволил выявить взаимосвязь между количеством дочерей быков, участвующих в оценке, и силой взаимосвязи между полученными результатами оценки племенной ценности.

Таблица 2 – Взаимосвязь оценок, рассчитанных по состоянию на 01.01.2021 г.

Взаимосвязь признаков	Все племенные быки (n-1004)	Племенные быки с 10 и более дочерьми (n-914)	Племенные быки с 25 и более дочерьми (n-813)
Повторяемость МСС – точность EBV	0,87	0,90	0,91
Mkg МСС – Mkg EBV	0,66	0,86	0,90
Fkg МСС – Fkg EBV	0,74	0,89	0,93
F% МСС – F% EBV	0,78	0,90	0,94

Первоначально корреляция по количеству дочерей, использованных для расчёта EBV и МСС, составляла 0,85 на 1122 быках. Исключение из анализа быков, имеющих значительные различия по количеству дочерей, позволило увеличить данный показатель до 0,99, а взаимосвязь рассчитанных значений племенной ценности секционированных признаков EBV и МСС составила 0,66-0,78. У быков, имеющих 10 и более дочерей, взаимосвязь племенной ценности составила 0,86-0,90, а у имеющих 25 и более дочерей – 0,90-0,94, что свидетельствует о том, что основные различия в градации оценок племенной ценности быков, полученных исследуемыми методами, обусловлены различиями в группах сравнения дочерей и сверстниц.

После усовершенствования механизмов формирования массивов данных при оценке по состоянию на 01.07.2021 г. корреляция между оцениваемыми разными методами племенными быками по количеству дочерей, имеющих данные о продуктивности, составила 0,99, а взаимосвязь полученных результатов оценки племенной ценности составила 0,83-0,88 по всему исследуемому поголовью племенных быков – 4027 голов (таблица 3).

Таблица 3 – Взаимосвязь оценок, рассчитанных по состоянию на 01.07.2021 г.

Взаимосвязь признаков	Все племенные быки (n-4027)
Повторяемость МСС – Точность EBV	0,89
Mkg МСС – Mkg EBV	0,83
Fkg МСС – Fkg EBV	0,85
F% МСС – F% EBV	0,88

Если допустить, что лучшим методом является тот, который имеет лучшие теоретические свойства, а метод BLUP, с точки зрения теории статистики и селекции, является таковым, так как EBV, полученные методом BLUP, имеют минимальные ошибки и с наибольшей точностью отражают истинную генетическую ценность, то отклонение фактического значения корреляции от единицы можно рассматривать как погрешность иного чем BLUP метода. Если между сравниваемыми методами нет различий, то корреляция должна быть равной 1 [7]. Отталкиваясь от данного утверждения, можно заключить, что оценка методом BLUP на 12-17 % точнее используемого метода МСС, при этом данные различия снижаются по мере увеличения точности оценки за счёт привлечения большего количества оцененных дочерей, но остаются в пределах 6-10 %.

*Анализ результатов оценки племенной ценности животных.* Для того чтобы определить, насколько животные генетически лучше друг друга, оптимальным является определение генетического потенциала животных и сравнение его между поколениями. Фактический генетический потенциал невозможно измерить. Но если племенная ценность животных оценена с высокой точностью, то полученные значения можно использовать как оценку истинного генетического потенциала [4]. Помимо высокой точности необходимо, чтобы племенная ценность была оценена без систематических факторов среды. Например, животные, которых кормили и содержали в лучших условиях, могут давать систематическое улучшение по сравнению с другими, но не из-за их генетики поэтому их племенную ценность необходимо скорректировать на этот эффект. В нашем случае обе оценки (МСС и EBV) были скорректированы на эффект хозяйства/года/сезона отёла (HYS<sub>c</sub>), поэтому мы можем говорить о сопоставимости оценок, также оценку проводили на всём оцениваемом поголовье одновременно.

На рисунке 1 показано распределение оценённых племенных быков по годам рождения. Как видно из графика, начиная с 1987 года рождения, количество быков, получивших оценку, достаточное для значимого расчёта средней племенной ценности – 30 и более голов.

На рисунке 2 приведена точность оценки (REL) племенной ценности оценённых быков. Оценку с точностью более 50 получили абсолютное большинство быков-производителей, что связано с наличием большого количество оценённых родственников.



Рисунок 1 – Распределение быков по годам рождения

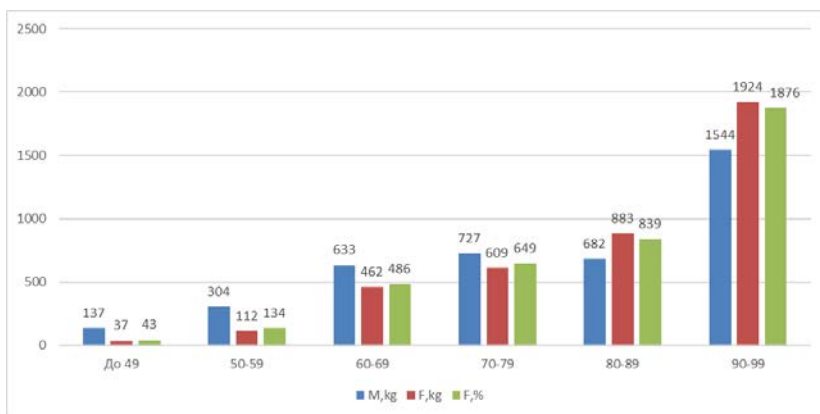


Рисунок 2 – Точность оценки племенной ценности быков

Чтобы получить представление о реализованном генетическом потенциале в перспективе мы оценили генетические тренды. Генетический тренд – это совокупность средней племенной ценности по годам рождения оценённых животных [8]. Такой подход мы использовали из-за того, что в молочном скотоводстве поколения не дискретны, а перекрываются, одни коровы старше других, поэтому выражение трендов по годам рождения является оптимальным. Более того, по годам легче отследить возможные изменения в оценке племенной ценности, связанные с изменением подходов в селекционной работе.

По результатам проведённой оценки генетической ценности 4027 быков-производителей рассчитаны генетические тренды (рисунки 3-5).

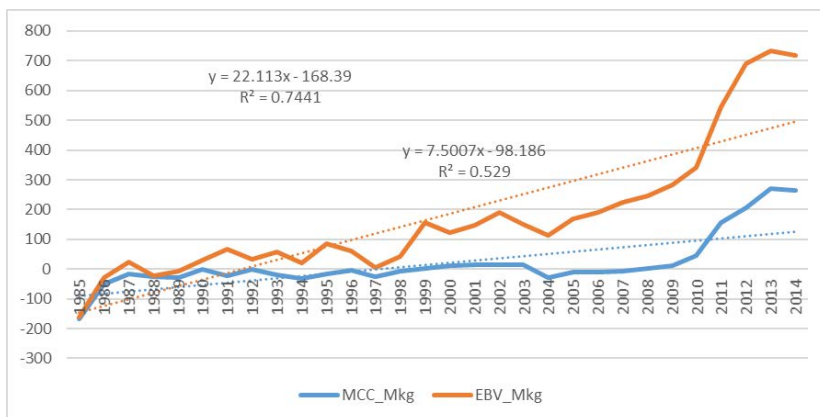


Рисунок 3 – Генетические тренды оценки племенной ценности быков по удою

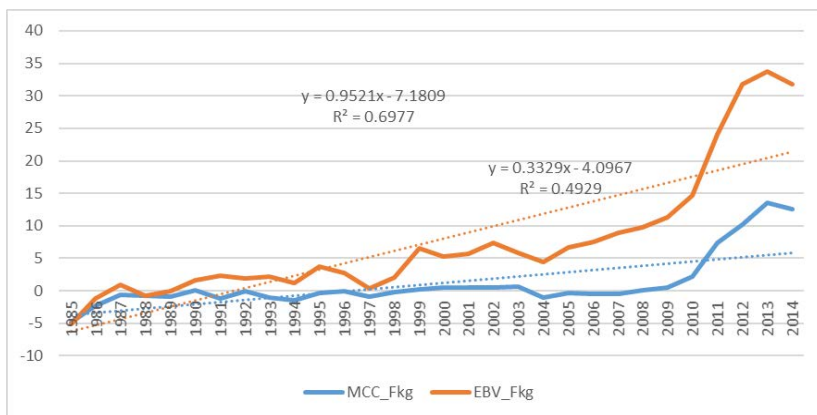


Рисунок 4 – Генетические тренды оценки племенной ценности быков по килограммам жира

Как видим из представленных графиков, селекция по удою была успешной, так как с каждым годом рождения по данному признаку (в среднем) на протяжении ряда лет имелся восходящий тренд. Однако генетическая часть продуктивности, определённая сравниваемыми методами, отличалась. Так, в среднем на каждый год селекции генетический потенциал животных по удою и молочному жиру, быков, оценённых методом дочери-сверстницы, увеличивался на 7,5 и 0,33 кг, в то время как оценённых методом BLUP на 22,1 и 0,95 кг соответственно. Причём, большая часть данного тренда получена на животных 2011-2014 годов рождения, что требует тщательного анализа, выходящего за рамки данного исследования.



При разработке методики оценки племенной ценности молочной продуктивности планируется использование генетической базы для корректировки генетических трендов.

В первую очередь разница в количественном выражении доли генетики (племенная ценность) была обусловлена преимуществом используемого в методе BLUP принципа несмещённости оценки, а именно одновременной оценкой животных популяции, а не ограниченным сравнением в рамках узкой группы дочерей нескольких производителей, не случайным образом представленных в хозяйстве.

Справедливости ради стоит заметить, что методика оценки, использующаяся в методе дочери-сверстницы, не очень подходит для популяций, в которых присутствует генетический тренд из-за отсутствия корректировки на генетические улучшения от поколения к поколению. Однако этот отрицательный момент нивелировался низкими темпами селекции.

Так как методом BLUP оценку получают все животные оцениваемой популяции, в том числе коровы (методом МСС не оцениваются), мы провели анализ генетических трендов развития селекционируемых признаков молочной продуктивности коров (рисунок 5).

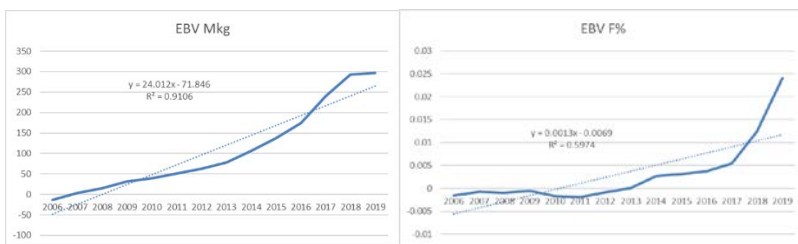


Рисунок 5 – Генетические тренды оценки племенной ценности молочной продуктивности коров

Как видно из представленных графиков, в числовом выражении генетический тренд коров по удою и проценту жира был весьма близок к показателям быков-производителей – 24,0 кг и 0,0013 % соответственно, а по проценту белка составил 0,0003 %. При этом по показателям качества молока форма графиков повторяла форму графиков оценки быков с резким ростом генетической ценности коров 2017-2019 года рождения, в то время как по показателю количества молока рост по годам был равномерным в течение всего исследуемого периода, что согласуется с проводимой многолетней селекцией на увеличение удоев.

**Заключение.** Таким образом, переход на оценку племенной ценности признаков молочной продуктивности методом BLUP гарантирует следующие преимущества в сравнении с методом дочери-сверстницы

МСС:

- использование матрицы родства позволяет значительно повысить точность оценки племенной ценности за счёт привлечения всех родственников с известной продуктивностью;

- животные, имеющие оценку признаков племенной ценности, оцениваются одновременно и являются сверстниками друг другу, в то время как при МСС группа сверстников часто происходит от небольшого числа производителей, чей генетический уровень племенной ценности не является случайным, в результате полученная разница в продуктивности не может отражать истинную генетическую ценность животного в популяции, а зависит от группы сравнения, особенно если сверстниками являются дочери быков, полученных в другой популяции;

- одновременная оценка позволяет учитывать генетический тренд оцениваемых животных относительно генетической базы выбранной для сравнения, в то время как при оценке (переоценке) методом МСС различия в продуктивности дочерей и сверстниц, оценённых в разные годы, полностью относятся к племенной ценности быка и не корректируется на генетическое улучшение популяции в целом;

- получить оценку маточного поголовья и ремонтного молодняка с высокой точностью;

- не ограниченные возможности совершенствования разделения генетической и средовой составляющей за счёт использования оптимальных статистических моделей смешанного типа, описывающих развитие оцениваемого признака в популяции;

- высокая взаимосвязь оценок, полученных разными методами, позволит нивелировать отрицательные последствия, связанные с перераспределением быков-производителей при переходе на оценку племенной ценности методом BLUP;

- разработка и внедрение геномной селекции невозможна без внедрения генетической оценки методом BLUP, так как её использование подразумевает наличие племенной ценности, рассчитанной методом BLUP для прямого прогноза по SNP геномной племенной ценности DGBLUP (референсная популяция) или прогноза за одну процедуру ssGBLUP.

Таким образом, перед отечественной селекцией стоит первоочередная задача перехода на генетическую оценку методом BLUP с последующим переходом на геномную селекцию.

В настоящее время Белплемживобъединением разрабатываются методики комплексной оценки племенной ценности селекционируемых признаков на основе методологии BLUP AM, разработаны уравнения прогноза, рассчитаны селекционно-генетические параметры

популяций, проводится опытное тестирование взаимодействия программного обеспечения.

#### Литература

1. Design and optimization of animal breeding programmers / J. C. M. Dekkers [et al.] // Iowa State university lecture notes. – 2004. – URL: <http://www.an-slab.iastate.edu/class/ans652x/chapter1.pdf> (accessed date: 10.04.2019).
2. Кузнецов, В. М. Методы племенной оценки животных с введением в теорию BLUP / В. М. Кузнецов. – Киров : Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2003. – 358 с.
3. Henderson, C. R. Best linear unbiased estimation and prediction under a selection model / C. R. Henderson // Biometrics. – 1975. – Vol. 31. – P. 423–447.
4. Textbook animal breeding: Animal breeding and genetics for BSc students. Center for genetic resources and animal breeding and genetics group / Wageningen university and research center. – 2014. – 311 p.
5. Mrode, R. A. Linear models for the prediction of animal breeding values / R. A. Mrode.; CAB International. – 2nd ed. – Wallingford, 2005. – 368 p.
6. Manual for BLUPF90 family of programs / I. Misztal [et. al.] ; University of Georgia, Athens, USA, 2015.
7. Кузнецов, В. М. Оценка племенной ценности молочного скота методом BLUP / В. М. Кузнецов // Зоотехния. – 1995. – № 11. – С. 8-15.
8. April 2020: Genetic Base Change / H.D. Norman, P. VanRaden, G. Wiggans<sup>1</sup>, Council on Dairy Cattle Breeding. [www.uscdcb.com](http://www.uscdcb.com)

*Поступила 12.03.2022 г.*

УДК 636.39.082.31:615.849.11

<https://doi.org/10.47612/0134-9732-2022-57-1-14-22>

Д.М. БОГДАНОВИЧ, С.Н. ПАЙТЕРОВ, Ю.К. КИРИКОВИЧ,  
С.А. САПСАЛЁВ, О.В. ПАЙТЕРОВА, Е.В. ПЕТРУШКО

### **ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОГО БИОФИЗИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ВОСПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ КОЗЛОВ-ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ**

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по животноводству, г. Жодино, Республика Беларусь*

Большой научный интерес вызывают различные методы стимуляции половой функции самцов-производителей с целью улучшения качественных и количественных показателей спермопродукции и её оплодотворяющей способности. В статье представлены данные исследований, целью которых было изучение влияния комплексного биофизического воздействия на воспроизводительные показатели козлов-производителей. Установлено, что однократное применение комплексного биофизического воздействия позволяет получить более высокие результаты спустя 24 часа хранения разбавленных эякулятов по показателю двигательной активности половых гамет козлов, способствует активизации