

Вестник Бурятской государственной сельскохозяйственной академии имени В.Р. Филиппова. 2021. № 4(65). С. 185–192.

Vestnik of Buryat State Academy of Agriculture named after V. Philippov. 2021;4(65):185–192.

Краткое сообщение

УДК 636. 082.

doi: 10.34655/bgsha.2021.65.4.025

## АДАПТАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКИХ МЕТОДОВ НА ОСНОВЕ МОДЕЛИ BLUP SIRE MODEL ПРИ ОЦЕНКЕ ПЛЕМЕННОЙ ЦЕННОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЕЙ В МЯСНОМ СКОТОВОДСТВЕ

Валерий Юрьевич Хайнацкий<sup>1</sup>, Сергей Сергеевич Акимов<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук, Оренбург, Россия

<sup>1</sup>valery.hainatsky@yandex.ru

**Аннотация.** Уровень селекционной работы в мясном скотоводстве, в том числе и оценка племенной ценности животных в Российской Федерации, существенно ниже по сравнению с зарубежными странами, где отдается предпочтение применению программ селекции, основанных на прогнозе племенной генетической ценности животных. Получение достоверных значений племенной ценности по селекционируемым признакам играет ключевую роль в создании эффективной системы оценки. В основе зарубежных программ лежит процедура наилучшего линейного несмещенного прогноза, разработанного в США профессором Хендерсоном, признанным лидером и авторитетом по генетической оценке животных и разработке анализа несбалансированных данных линейными моделями смешанного типа. В статье показана значимость метода BLUP Sire Model при определении племенной ценности производителей в мясном скотоводстве. Представлены основные принципы построения работоспособной системы оценки племенной ценности в современном формате на базе простейшей модели, порядок построения линейных биометрических моделей, преобразование уравнений наименьших квадратов в уравнения смешанной модели и расчет точности проводимой оценки. Дана краткая описательная характеристика прототипа разрабатываемой программы, основанной на использовании Excel, базовые команды которой предоставляют широкие возможности для расчета самых разнообразных показателей, в том числе и по методике BLUP Sire Model.

**Ключевые слова:** прогнозируемая племенная ценность, биометрическая модель, уравнение наименьших квадратов, смешанные модели; метод BLUP SM, селекционные признаки.

**Финансирование:** Исследования выполнены в соответствии с планом НИР ФГБНУ ФНЦ БСТ РАН (№ 0526-2021-0001).

Brief report

## ADAPTATION OF STATISTICAL METHODS BASED ON BLUP SIRE MODEL ASSESSING THE BREEDING VALUE OF SIRES IN BEEF CATTLE BREEDING

Valery Yu. Khainatsky<sup>1</sup>, Sergey S. Akimov<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Federal Research Centre for Biological Systems and Agricultural Technologies of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, Russia

<sup>1</sup>valery.hainatsky@yandex.ru

**Abstract.** *The level of breeding work in beef cattle breeding including the assessment of breeding value of animals in the Russian Federation is significantly lower than in foreign countries, where preference is given to the use of breeding programs based on the forecast of breeding genetic value of animals. Obtaining reliable breeding values for breeding traits plays a key role in creating an effective assessment system. The foreign programs are based on the Best Linear Unbiased Prediction, developed in the USA by Professor Henderson, a recognized leader and authority in the genetic evaluation of animals and the development of analysis of unbalanced data by linear mixed-type models. The article shows the significance of BLUP Sire Model method in determining the breeding value of sires in beef cattle breeding. The basic principles of building a workable breeding value assessment system in a modern format based on the simplest model, the procedure for constructing linear biometric models; transforming least square equations into mixed model equations and calculating the accuracy of the assessment are presented. A brief descriptive characteristic of the prototype of the developed program based on the use of Excel is given, the basic commands of which provide ample opportunities for calculating a wide variety of indicators, including the BLUP Sire Model method.*

**Keywords:** predicted breeding value, biometric model, least square mixed models, BLUP SM method, breeding characteristics.

**Funding:** The studies were carried out in accordance with the research plan of the Federal State Budgetary Scientific Institution FSC BST RAS (No. 0526-2021-0001).

**Введение.** На современном этапе темпы селекции в мясном скотоводстве Российской Федерации существенно ниже, чем в других отраслях животноводства. Во многом это обусловлено отсутствием экономического давления, стимулирующего интенсификацию производства. В большинстве регионов страны нет спроса на живой скот (молодняк), предназначенный для откорма. Потребительский рынок не предъявляет жестких требований к качеству и упитанности животных и туш, как это происходит, например, в других, более наукоемких животноводческих отраслях. Усугубляет положение низкий уровень учета, охвата искусственным осеменением, достоверности происхождения, частично обусловленные повышенным темпераментом животных мясных пород, которые в процессе производства значительно в меньшей степени контактируют с человеком. По уровню селекционной работы в мясном скотоводстве, в том числе и по оценке племенной ценности животных, мы существенно отстаем от своих зарубежных коллег.

В последние годы отдается предпочтение применению программ селекции, основанных на прогнозе племенной генетической ценности животных [1].

Получение достоверных значений племенной ценности по селекционируемым

признакам играет ключевую роль в создании эффективной системы оценки [2].

В основе зарубежных систем оценки лежит процедура наилучшего линейного несмещенного прогноза (BLUP - Best Linear Unbiased Prediction). Метод разработан в США профессором Хендерсоном, признанным во всем мире лидером и авторитетом по генетической оценке животных и разработке анализа несбалансированных данных линейными моделями смешанного типа с фиксированными и рандомизированными эффектами [3, 6]. Это метод статистического анализа и оценки общей племенной ценности животных, учитывающий в оцениваемых значениях влияние причинных факторов и позволяющий прогнозировать племенной потенциал животных и определять передающую способность наследственных качеств потомству. Метод нельзя путать с моделью, которая используется для описания причинных факторов, оказывающих влияние на продуктивность [6].

Для расчетов передающей способности и племенной ценности животных на основе метода BLUP применяют несколько моделей: BLUP SM; BLUP SM с матрицей родства; BLUP AM [4, 7]. Оценка племенной ценности животных рассчитывали на основе уравнения Модели BLUP согласно методологии, разработанной

C. Henderson и адаптированной B. Danell [8, 9, 10].

Так называемую отцовскую модель BLUP Sire Model стали использовать одной из первых в селекционной работе для оценки производителей по качеству потомства. Для применения более сложных моделей, как BLUP SM с матрицей родства и более современная BLUP AM – модель животного, необходима более обширная база данных по племенному поголовью.

Для сложившегося в отрасли на современном этапе уровня учета, на наш взгляд, более приемлема именно отцовская модель BLUP Sire Model как наиболее простая, требующая меньшего объема данных и доступная для предприятий и поэтому способная реализоваться в современных условиях.

BLUP учитывает как средовые, так и генетические факторы, влияющие на изменчивость селекционных признаков. За счет их одновременной оценки в модели достигается максимально достоверный, несмещенный прогноз генотипа быков и, соответственно, повышается вероятность отбора производителей с лучшими наследственными качествами.

Расчету подвергается каждый селекционный признак, предусмотренный для оценки. По окончании процедуры получают полную информацию о ценности племенных производителей и их передающей способности потомству по каждому оцененному показателю. Полученную информацию можно использовать для планирования племенной работы, основываясь уже на оценочных данных племенной ценности животных [6, 11, 12, 13].

**Цель работы** – определить возможность применения метода BLUP Sire Model при сложившемся уровне учета и организации производства в отрасли, определить основные принципиальные подходы к использованию метода при оценке племенной ценности производителей и разработать программное обеспечение, позволяющее применить метод BLUP Sire Model в практической работе.

**Материал и методы.** Подбор параметров, оказывающих влияние на итоговую продуктивность исследуемых животных, осуществляется согласно действующей методике по модели BLUP Sire Model.

Факторы заданы компонентами метода и отвечают за внешние и внутренние параметры, математическая оценка которых дает представление об их влиянии на общую продуктивность. Компоненты вариантов оценивались согласно обобщенному линейному алгоритму GLM смешанного типа, где фиксированным показателем определено конкретное хозяйство, содержащее стадо животных, а случайным компонентом – быки-производители.

Расчетная часть осуществлена в прототипе рабочей программы, выполненной средствами пакета MS Excel. Модули программы определили точные несмещенные оценки параметров путем определения матриц смешанной модели и их преобразования. Полученные коэффициенты и являются элементами решения, отображающими отклонения средних значений продуктивности под воздействием каждого фактора.

**Результаты.** В качестве способа оценки племенной ценности и передающей способности быков-производителей использован метод наилучшего линейного несмещенного прогноза – BLUP Sire Model. Ведется работа по адаптации метода под запросы отрасли мясного скотоводства.

Оценки фиксированных эффектов и прогноз половины аддитивной генетической ценности быков вычисляем с помощью системы линейных уравнений смешанной модели, учитывающих как фиксированные факторы (стадо), так и рандомизированные (влияние быка, неучтенные факторы).

К фиксированным относятся факторы, имеющие постоянное систематическое отличие, а к рандомизированным – наугад, случайно выбранные из популяции.

Элиминация паратипических факто-

ров исключается через использование расчетов, основанных на линейных статистических моделях смешанного типа.

Линейная биометрическая модель представляет собой уравнение, показывающее, какие факторы (независимые переменные – эффект стада, эффект отца и остаточный эффект) влияют на зависимую переменную – оцениваемый фенотипический признак, под которым понимаются количественные и качественные показатели (характеристики) животных и по которым ведется целенаправленная селекция.

При проведении оценки быков в нескольких стадах (хозяйствах) биометрическая модель будет иметь вид:

$$y_{inp} = \mu + h_i + s_n + e_{inp},$$

где:  $y$  – оцениваемый фенотипический признак;  $\mu$  – общая средняя по популяции (стаду), относительно которой производится оценка;  $h$  – эффект стада (хозяйства) – перманентный (постоянный) эффект среды (фиксированный эффект), включающий эффекты, влияющие на продуктивность животного, но не передающиеся потомкам,  $s$  – эффект отца;  $e$  – эффект неучтенных факторов – часть оцениваемого фенотипического признака животного, которая не объясняется включенными в модель факторами, то есть ошибка,  $p$  – шифр быка;  $r$  – шифр потомка (порядковый номер потомка, при записи уравнения в матричной форме);  $i$  – шифр стада.

В этом случае метод позволяет спрогнозировать племенную ценность производителей с учетом паратипических различий в стадах, где выращено их потомство или учесть группы содержания – группировку животных по фермам, гуртам, отдельным группам.

Моделью предусматривается, что эффекты  $h$ ,  $s$ ,  $e$  не взаимодействуют между собой, т. е. действуют независимо друг от друга.

Формирование уравнений смешанной модели является основой метода BLUP. Данные о продуктивности потомства быков должны быть скорректированы на все

значимые паратипические факторы.

Уравнение для прогноза племенной ценности быков-производителей при наличии потомков трех производителей в двух стадах в матричной форме будет иметь вид:

$$Y = X\beta + Zu + e, \text{ где } \beta = \begin{pmatrix} \mu \\ h_1 \\ h_2 \end{pmatrix} \quad u = \begin{pmatrix} s_1 \\ s_2 \\ s_3 \end{pmatrix};$$

$Y$  – вектор наблюдений (один из оцениваемых фенотипических признаков);  $X$  и  $Z$  – соответствующие матрицы плана, определяющие структуру набора данных, который используется для оценки быков, показывающие вклад, вносимый фиксированными и рандомизированными эффектами в изучаемый признак.

Матрица  $X$  – матрица фиксированных эффектов – показывающая, к какой группе относится соответствующее наблюдение, то есть распределяет потомство быков по стадам.

Матрица  $Z$  – матрица рандомизированных эффектов – отражает распределение потомства по отцам и показывает к каким производителям относится соответствующее наблюдение.

$\beta$  – вектор неизвестных фиксированных эффектов;  $u$  – вектор случайных неизвестных аддитивных генетических эффектов отцов;  $e$  – вектор случайных эффектов неучтенных факторов.

Под матрицей понимается математический объект, записываемый в виде таблицы элементов чисел, которая представляет собой совокупность строк и столбцов, на пересечении которых находятся ее элементы. Количество строк и столбцов задает размер матрицы.

Обратная матрица – это матрица, при умножении на которую исходная матрица преобразуется в единичную матрицу.

Для построения системы уравнений смешанной модели необходимы матричные структуры типа  $X^1X$ ,  $Z^1X$ ;  $X^1Z$ ,  $Z^1Z$ , для чего формируют транспонированные матрицы  $X^1$  и  $Z^1$ .

Искомые структуры получают путем перемножения матриц.

Систему линейных уравнений смешанной модели можно представить в следующем виде:

$$\begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'X \dots X'Z \\ Z'X \dots Z'Z + I\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X\tilde{y} \\ Z\tilde{y} \end{bmatrix}, \text{ где:}$$

$X'X$  – распределение животных по хозяйствам;

$Z'X$ ;  $X'Z$  – распределение животных в пределах хозяйств;

$Z'Z$  – число записей на животное;

$X'\tilde{y}$  – сумма показателей оцениваемого фенотипического признака по всем животным из хозяйств;

$Z'\tilde{y}$  – сумма показателей оцениваемого фенотипического признака потомков оцениваемых быков;

$I$  – единичная матрица;

$\lambda$  – отношение остаточной дисперсии к отцовской.

Для формирования матрицы коэффициентов уравнений смешанной модели строится матрица  $Z'Z + I\lambda$ .

Структуры  $X'u$  и  $Z'u$  получаются путем умножения транспонированных матриц  $X'$  и  $Z'$  на вектор  $u$ .

После объединения матриц и векторов выводится результирующая система уравнений смешанной модели.

Для матрицы коэффициентов, ввиду характера формирования ее системы уравнений, не существует обратной матрицы и поэтому невозможно решение данной системы уравнений. Чтобы избежать этого, вводятся определенные ограничения, которые не влияют на ранг производителей, но частично сказываются на значениях самих оценок. Для этого обнуляется один из показателей независимых переменных, из матрицы коэффициентов удаляется столбец, соответствующий этой переменной, а аналогичную строку поэлементно прибавляют к соответствующим элементам оставшихся строк и затем вычеркивают. Элемент вектора прибавляют к остальным и также вычеркивают.

После преобразований и решения системы уравнений определяются значения

оцениваемых эффектов.

Нахождение неизвестных переменных (эффекта стада, отца и остаточный эффект) осуществляется путем обращения исходной матрицы и умножения ее на результирующие коэффициенты, являющиеся средними величинами по каждому из хозяйств и быков-производителей. Обращение матрицы выполняется методом Гаусса, с поэтапным смещением наилучшей строки и последовательного исключения коэффициентов.

После получения обратной матрицы и умножения ее на вектор правой стороны системы уравнений смешанной модели определяются искомые оценки показателей по стадам и показатели передающей способности по производителям, где  $h_1$  и  $h_2$  – это оценка среднего показателя потомков оцениваемых производителей в первом и втором хозяйствах;  $s_1$ ,  $s_2$ ,  $s_3$  – значение передающей способности производителей.

Сама оценка племенной ценности проверяемых производителей вычисляется путем умножения показателя передающей способности быка на коэффициент 2, поскольку он передает потомству только половину своей наследственности.

Оценка племенной ценности проверяемых быков показывает на какую величину вероятный генотип данных производителей превосходит или уступает по данному признаку средней генетической ценности остальных быков, задействованных в оценке.

Итоговые оценки рассчитаны как величины отклонений от базовых параметров по каждой из неизвестных переменных. Значимость оценки проверяем рассчитанными коэффициентами корреляции  $r$ , точность определяем коэффициентами детерминации  $R^2$ .

Расчеты по влиянию включенных в модель факторов проводятся методом наименьших квадратов. Поэтому оценки получают несмещенными и соответствуют критериям точности и надежности.

Для упрощения большинства расчетов разработан прототип программы, обес-

печивающей аналитическое сопровождение процесса оценки племенной ценности быков-производителей, позволяющей оценивать до 100 потомков от каждого из 10 быков, распределенных по пяти различным хозяйствам. Рабочий прототип обеспечивает ввод данных, автоматическое построение аналитических таблиц, задание необходимых параметров, построение обратных матриц размерностью  $n$  ( $n < 18$ ), расчет оценок племенной ценности с учетом точности и достоверности, вывод данных в удобной для пользователя форме.

Для разработки прототипа программы

использован Excel. Его базовые команды предоставляют широкие возможности для расчета самых разнообразных показателей, в том числе и по методике BLUP Sire Model.

Программа содержит всего два окна: «Окно ввода данных» и «Окно вывода результатов». В «Окне ввода данных» (рис. 1) помимо показателей по оцениваемому фенотипическому признаку вводится информация по величине коэффициента наследуемости признака и уровень требуемой достоверности, с которой впоследствии будут оценены результаты.

Быки	Хозяйство 1										Хозяйство 2									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Потомки																				
1	428	365	417	400	445	420	400	414	420	425	415	395	399	400	446	420	400	418	420	400
2	412	420	435	410	435	430	400	430	420	435	426	380	425	410	445	430	480	466	430	400
3	454	400	401	406	452	445	410	430	430	450	384	385	423	420	426	463	461	465	445	410
4	425	380	429	393	477	435	420	417	445	445	413	400	387	390	430	442	452	470	435	420
5	441		432	402	475	425	390	413	435	440	402	405	406	380	429	480	457	426	425	390
6	438		468	395		440	380	430	425	430	427	405	393	395		445	482	397	440	380
7	436		413				395	427	440	450	415	385	402	405		452		410		395
8	422		427					402			436	385	388					404		
9											410		393					403		
10													384					400		
11																				
12																				

Рисунок 1. Пример окна ввода данных (фрагмент)

В «Окне вывода результатов» (рис. 2, 3) формируются все аналитические

таблицы, необходимые для последующей интерпретации результатов.

Число наблюдений (распределение потомков быков)											
Хозяйства	1 (S1)	2 (S2)	3 (S3)	4 (S4)	5 (S5)	6 (S6)	7 (S7)	8 (S8)	9 (S9)	10 (S10)	Итого
1 (h1)	8	4	8	6	5	6	7	8	7	7	66
2 (h2)	9	8	10	7	5	7	6	10	6	7	75
3 (h3)	10	7	7	5	8	10	7	7	10	7	78
4 (h4)	10	8	7	5	7	10	5	10	7	4	73
5 (h5)	6	7	7	10	7	5	8	7	10	5	72
Итого	43	34	39	33	32	38	33	42	40	30	364

  

Суммарная живая масса потомков											
Хозяйства	1 (S1)	2 (S2)	3 (S3)	4 (S4)	5 (S5)	6 (S6)	7 (S7)	8 (S8)	9 (S9)	10 (S10)	Итого
1 (h1)	3456	1565	3422	2406	2284	2595	2795	3363	3015	3075	27976
2 (h2)	3728	3140	4000	2800	2176	3132	2732	4259	2595	2795	31357
3 (h3)	3972	3015	3075	2060	3140	4011	2800	3292	4507	3299	33171
4 (h4)	3905	3772	3268	1980	3283	3997	2060	4002	3272	1549	31088
5 (h5)	2595	2795	3279	3992	3075	2253	3140	3075	3982	2060	30246
Итого	17656	14287	17044	13238	13958	15988	13527	17991	17371	12778	153838

Рисунок 2. Пример окна вывода результатов

Все параметры рассчитываются благодаря базовым настройкам MS Excel. Таблицы отрисовываются в зависимости от количества учитываемых параметров. Параллельно с результатами учитывает-

ся точность и достоверность оценок. Все результаты доступны для копирования и последующего переноса в документы.

**Заключение.** Считаю, что адаптация метода BLUP Sire Model к россий-

Бык	ОПЦ	n	w <sub>ij</sub>	г <sub>AA</sub>	г <sub>AA</sub> <sup>2</sup>
1	-20,86	43	0,033	0,878	0,771
2	-3,54	34	0,036	0,864	0,747
3	25,18	39	0,034	0,873	0,762
4	-34,30	33	0,037	0,862	0,743
5	22,02	32	0,037	0,860	0,740
6	-3,81	38	0,035	0,871	0,758
7	-20,58	33	0,037	0,862	0,743
8	10,18	42	0,033	0,877	0,769
9	19,84	40	0,034	0,874	0,764
10	5,85	30	0,038	0,855	0,732

г<sub>AA</sub> - точность оценки - это корреляция между истинным генотипом животного и его прогнозом (оценкой племенной ценности).

г<sub>AA</sub><sup>2</sup> - квадрат точности - есть надежность оценки, ее достоверность, указывающий на уровень детерминации (обусловленности) оценки племенной ценности генотипом.

Рисунок 3. Оценка племенной ценности

ким условиям и его внедрение в селекцию мясного скота обеспечит современный подход к анализу и планированию племенной работы и положительно скажется на повышении эффективности освоения современных математических методов.

#### Список источников

1. Составление простых линейных моделей для прогноза племенной ценности животных / А.Е. Калашников, J. Pribyl, А.А. Кочетков, Т.М. Ахметов, Р.Р. Шайдуллин, Е.Г. Бойко, Л.А. Калашникова, А.А. Новиков // Молочное и мясное скотоводство. 2020. № 4. С. 13-17.

2. Эффективность использования линейных моделей для оценки по потомству быков-производителей голштинской породы / А.С. Крамаренко, И.Н. Янчуков, А.Н. Ермилов, А.А. Сермягин, Е.А. Гладырь, Н.А. Зинovieva // Молочное и мясное скотоводство. 2014. № 6. С. 15-18.

3. Кузнецов, В.М. Методические рекомендации по использованию метода BLUP для оценки племенной ценности быков-производителей / В.М. Кузнецов, А.А. Шести-перов, В.Н. Егорова. Л., 1987. 69 с.

4. Кузнецов В.М. Генетическая оценка молочного скота методом BLUP // Зоотехния. 1995. № 11. С. 8-15.

5. Кузнецов В.М. Эффективность различных моделей BLUP для оценки быков по качеству потомства // Сельскохозяйственная биология. 1995. № 2. С. 110-116.

6. Кузнецов В.М. Методы племенной оценки животных с введением в теорию BLUP. Киров : Зональный НИИСХ Северо-Востока, 2003. 358 с.

7. Москаленко Л.П. и Бушкарева А.С. Современные методы анализа и планирования селекции в молочные скотоводства / Вестник АПК Верхневолжья. 2008. №1. С. 35-38.

11. Разработка селекционных индексов и совершенствование методов оценки племенной ценности в мясном скотоводстве / А.К. Сагинбаев, А.Т. Бисембаев, Ж.М. Касенов, Н.Ж. Ералин // Вестник мясного скотоводства. 2016. №1 (93). С. 7-11.

12. Хайнацкий В.Ю., Совершенствование методов селекции для улучшения темпов генетического прогресса при создании заводских типов казахской белоголовой породы / В.Ю. Хайнацкий, Ф.Г. Каюмов, Н.П. Герасимов, Р.Ф. Третьякова. Оренбург : ООО «Типография «Агентство пресса», 2019. 279 с.

13. Хайнацкий В.Ю. Новый подход к оценке племенной ценности производителей в мясном скотоводстве // Молочное и мясное скотоводство. 2012. № 8. С.7-9.

#### References

1. Kalashnikov A.E. Pribyl J., Kochetkov A.A., Akhmetov T.M., Shaydullin R.R., Boyko E.G., Kalashnikova L.A., Novikov A.A. Models for predicting the breeding value of animals in genomic evaluation. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2020;4:13-17 (In Russ.).

2. Kramarenko A.S., Yanchukov I.N., Ermilov A.N., Sermyagin A.A., Gladyr E.A., Zinovieva N.A. Efficiency of linear models application for genetic evaluation of progeny tested holstein bulls. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2014;6:15-18 (In Russ.).

3. Kuznetsov V.M., Shestiperov A.A., Egorova V.N. *Metodicheskiye rekomendatsii po*

*ispol'zovaniyu metoda BLUP dlya otsenki plemennoy tsennosti bykov-proizvoditeley* [Methodical recommendations on the use of BLUP method for assessing the breeding value of sires]. Leningrad.1987. 69 p. (In Russ.).

4. Kuznetsov V.M. Genetic assessment of dairy cattle by BLUP method. *Animal husbandry*. 1995;11:8-15 (In Russ.).

5. Kuznetsov V.M. The efficiency of various BLUP models for assessing bulls by the quality of progeny. *Selskokhozyaystvennaya biologiya*. 1995;2:110-116 (In Russ.).

6. Kuznetsov V.M. Methods of breeding assessment of animals with an introduction to the theory of BUP. Kirov. Zonal Research Institute of Agriculture of the North-East. 2003.358 p. (In Russ.).

7. Moskalenko L.P., Bushkareva A.S. Modern methods of analysis and planning of breeding in dairy cattle breeding. *Vestnik APK Verkhnevolzhya*. 2008;1:35-38 (In Russ.).

8 Bourdon R.M. Understanding animal breeding. *Prentice Hall Release Date*. USA.

2011. 483 pp.

9 Danell B. Programming strategy to construct and solve mixed model equations. Uppsala.1989. 133 p.

10 Henderson, C.R. Application of linear models in Animal Breeding. University of Guelph. 1984. 544 p.

11. Saginbaev A.K., Bisembaev A.T, Kasenov Zh.M., Eralin N.Zh. Development of selection indices and improvement of methods for assessing breeding value in beef cattle breeding. *Vestnik myasnogo skotovodstva*. 2016;1 (93):7-11 (In Russ.).

12. Khainatsky V.Yu., Kayumov F.G., Gerasimov N.P., Tretyakova R.F. Improvement of breeding methods to improve the rate of genetic progress when creating factory types of the Kazakh white-headed breed. Orenburg. 2019. 279 p. (In Russ.).

13. Khainatskiy V.Yu. A new approach to assessing the breeding value of sires in beef cattle breeding. *Journal of dairy and beef cattle breeding*. 2012;8:7-9 (In Russ.).

#### Информация об авторах

**Валерий Юрьевич Хайнацкий** – доктор сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории «Управление проектами»;

**Сергей Сергеевич Акимов** – научный сотрудник.

#### Information about the authors

**Valery Yu. Khainatskiy** – Doctor of Science (Agriculture), Leading Researcher, Project Management Laboratory;

**Sergey S. Akimov** – Researcher.

Статья поступила в редакцию 08.06. 2021; одобрена после рецензирования 29.10.2021; принята к публикации 09.11.2021.

The article was submitted 08.06.2021; approved after reviewing 29.10.2021; accepted for publication 09.11.2021.