

Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 60-72.
Animal Husbandry and Fodder Production. 2025. Vol. 108. No. 1. P. 60-72.

Научная статья
УДК 636.4
doi:10.33284/2658-3135-108-1-60

Апробация методологии BLUP для отбора крупной белой породы свиней

Петр Ильич Отраднов¹, Олеся Сергеевна Осипова², Анна Александровна Белоус³

^{1,2,3}Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, Дубровицы, Россия

¹serionard@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1153-5815>

²olesa.117@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2454-7379>

³belousa663@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7533-4281>

Аннотация. В статье рассмотрена сходимость результатов BLUP-оценки хозяйственно-полезных признаков свиней породы крупная белая при использовании различающихся биометрических моделей. Результаты свидетельствуют о том, что существенные различия в качестве моделей, выраженные, в частности, в коэффициентах детерминации, приводят к существенному расхождению результатов оценки. Так, наибольшую сходимость результатов продемонстрировали оценки признака FCR (коэффициент конверсии корма): на популяционном уровне коэффициент повторяемости составил 0,981 при средних различиях рангов 20 наиболее достоверно оцененных особей в $\Delta = -19,05$. При этом различия в коэффициентах детерминации использованных моделей составила 6,2 %. Наименьшую сходимость продемонстрировал признак BWG (прирост живой массы) – при коэффициенте повторяемости 0,720 разность рангов составила $\Delta=119,55$. Коэффициенты детерминации использованных для оценки этого признака моделей различались на 27 %, или в 1,81 раза. Подобные различия в смоделированных условиях ограниченной доступности той или иной информации первичного зоотехнического учета свидетельствуют как о необходимости учета всего доступного перечня переменных, изменчивостью которых обусловлена изменчивость оцениваемого признака, так и о важности использования одинаковой их совокупности для обеспечения сравнимости результатов.

Ключевые слова: свиньи, крупная белая, BLUP, племенная ценность, мясная продуктивность, откормочные характеристики

Благодарности: работа выполнена в соответствии с планом НИР на 2023-2025 гг. ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста (№ FGGN-2023-0002).

Для цитирования: Отраднов П.И., Осипова О.С., Белоус А.А. Апробация методологии BLUP для отбора крупной белой породы свиней // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108. № 1. С. 60-72. [Otradnov PI, Osipova OS, Belous AA. Testing BLUP methodology for large white pigs selection. Animal Husbandry and Fodder Production. 2025;108(1):60-72. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-60>

Original article

Testing BLUP methodology for large white pigs selection

Petr I Otradnov¹, Olesya S Osipova², Anna A Belous³

^{1,2,3}Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy, Russia

¹serionard@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1153-5815>

²olesa.117@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2454-7379>

³belousa663@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7533-4281>

Abstract. The article examines the convergence of BLUP-based (Best Linear Unbiased Prediction) estimates of economically important traits in Large White pigs using different biometric models. The results indicate that significant differences in model quality, reflected particularly in coefficients of determi-

nation, lead to considerable discrepancies in evaluation outcomes. For instance, the highest convergence was observed for the FCR (feed conversion ratio) trait: at the population level, the repeatability coefficient was 0.981, with average rank differences for the 20 most reliably evaluated individuals amounting to $\Delta = -19.05$. Meanwhile, the difference in the coefficients of determination of the models used was 6.2%. The lowest convergence was observed for the BWG (body weight gain) trait, where the repeatability coefficient was 0.720, and the rank difference reached $\Delta = 119.55$. The coefficients of determination for the models used to assess this trait differed by 27%, or 1.81 times. Such discrepancies under simulated conditions of limited availability of primary zootechnical accounting data underscore both the necessity of considering the full range of available variables affecting the variability of the evaluated trait and the importance of using the same set of variables to ensure comparability of results.

Keywords: pigs, Large White breed, BLUP, breeding value, meat productivity, fattening traits

Acknowledgments: the work was performed in accordance to the plan of research works for 2023-2025 L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry (No. FGGN-2023-0002).

For citation: Otradnov PI, Osipova OS, Belous AA. Testing BLUP methodology for large white pigs selection. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(1):60-72. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-108-1-60>

Введение.

Одним из центральных моментов селекционной работы при чистопородном разведении является обоснованный выбор животных, предназначенных для улучшения популяции – будь то на локальном уровне (стадо или хозяйство в целом), или на большем масштабе, если селекционная программа предполагает генетическое улучшение на региональном, национальном или породном уровне (Чистяков В.Т., 2018; Jibrila I et al., 2020). Большинство хозяйственно-полезных признаков являются количественными – их значение может быть измерено и, как правило, единицы измерения данных признаков имеют свой монетарный эквивалент. В качестве примера можно рассматривать среднесуточный прирост живой массы у животных мясного направления продуктивности – имея единицу измерения в граммах в сутки, он определяет как темп достижения особью товарной массы, так и то, насколько быстро можно получить потенциальную выручку от реализации особи. Характерной чертой количественных признаков является то, что с генетической точки зрения, в отличие от качественных характеристик, таких, как предрасположенность к каким-либо заболеваниям (Романенкова О.С. и Костюнина О.В., 2023), невозможно найти какую-то однозначную обусловленность наблюдаемых значений в геноме животного. Принято считать, что значения количественных признаков обусловлены, в той или иной степени, всеми генами организма, а также в значительной степени подвержены влиянию эффектов окружающей среды, также называемых паратипом (Столповский Ю.А. и др., 2020).

Подходы к ведению селекции, основанные на наилучшем линейном несмещенном прогнозе (BLUP), получили широкое распространение в селекционной работе как в растениеводстве, так и в животноводстве. Селекция животных по экономически значимым признакам, основанная на применении этой методологии, предполагает оценку так называемого «агрегатного генетического эффекта» для каждой особи в выборке (Калашников А.Е. и др., 2022).

Сущность метода заключается в использовании статистических поправок на влияние подающихся учету факторов (Хайнацкий В.Ю., 2021; Нарышкина Е.Н. и др., 2024). Для оценки племенной ценности используются селекционно-генетические параметры изучаемых признаков, в первую очередь – параметры разнообразия и взаимосвязи различных величин (Селионова М.И. и др., 2023; Игнатъева Л.П., 2024). При этом следует различать статистический метод BLUP и модель, которая используется для описания данных (Белоус А.А. и др., 2024). Модель описывает, какие причинные факторы (хозяйство, сезон, генотип предков, взаимосвязанные показатели) оказывают влияние на оцениваемый признак. Метод представляет собой способ расчета влияния на изменчивость признака учтенных в модели эффектов, включающих генетическую составляющую (Яковлев А.Ф., 2018; Белоус А.А. и др., 2024).

Фундаментальная составляющая племенной работы – математический аппарат. В прошлом, до введения этой системы, племенная работа базировалась на селекции по фенотипу (оценке собственной продуктивности животного) и анализе продуктивности родителей особи (Суслина Е.Н. и др., 2019; Игнатъева Л.П., 2020; Новиков А.А. и др., 2021). Из-за этого при оценке не учитывались, наряду с собственной продуктивностью, продуктивность предыдущих поколений, степень родства, не проводилась корректировка на влияние условий содержания сезонную изменчивость, а также изменчивость, спровоцированную вариабельностью взаимосвязанных признаков.

В рамках BLUP-оценки обработка информации осуществляется с использованием специализированного программного обеспечения, предназначенного для анализа огромных объемов данных. Использование сложных алгоритмов позволяет избежать субъективизма в оценке племенной ценности каждого конкретного животного с учетом всего спектра популяционных характеристик.

Цель исследования.

Оценка эффективности методологии BLUP при отборе свиней крупной белой породы в условиях конкретного хозяйства.

Исходя из сформулированной цели, были обозначены следующие задачи:

1. Сформировать исследовательский массив данных о мясной продуктивности свиней породы крупная белая;
2. Сформировать различные модели BLUP-оценки племенной ценности изучаемых животных на основании анализа характера зависимости и достоверности влияния факторов на изменчивость селекционно значимых признаков;
3. Провести оценку племенной ценности исследуемых особей на основании сформированных моделей;
4. Определить основные параметры оценок признаков (минимальное и максимальное значение, достоверность);
5. Определить сходимость результатов оценки одного и того же признака на основании моделей, учитывающих различную совокупность факторов;
6. Провести отбор 20 наиболее достоверно оцененных по различным моделям и признакам животных, определить сходимость результатов отбора.

Материалы и методы исследований.

Объект исследования. В ходе работы были проанализированы данные первичного учета откормочных характеристик 1037 хряков и свинок породы крупная белая 2020-2021 годов рождения, являвшихся потомками 102 хряков и 441 свиноматок и проходивших откорм на автоматизированных кормовых станциях.

Обслуживание животных и экспериментальные исследования были выполнены в соответствии с инструкциями и рекомендациями нормативных актов: Модельный закон Межпарламентской Ассамблеи государств-участников Содружества Независимых Государств "Об обращении с животными", ст. 20 (постановление МА государств-участников СНГ № 29-17 от 31.10.2007 г.), При проведении исследований были предприняты меры для обеспечения минимума страданий животных и уменьшения количества исследуемых опытных образцов.

Схема эксперимента. 1. Составление пары математических моделей, описывающих изменчивость исследуемых признаков, обусловленную учитываемыми факторами (для каждого признака – пара моделей, учитывающих различную совокупность факторов).

2. Проведение оценки племенной ценности животных в исследуемой выборке на основании составленных уравнений.

3. Определение достоверности полученных оценок племенной ценности.

4. Отбор 20 животных с наибольшим уровнем достоверности оценки.

5. Определение повторяемости результатов оценки, выраженных в ранге (рейтинге) особи в выборке, рассчитываемом на основании сортировки значений оценки по убыванию от лучших – к худшим.

6. Определение сходимости результатов оценки каждого признака во всей выборке в целом путем определения коэффициентов повторяемости оценок одного и того же признака, оценки по которому были получены на основании двух различных моделей.

В рамках исследования рассматривались следующие признаки: конверсия корма (FCR, кг/кг), общий прирост (BWG, кг) и среднесуточный прирост (ADG, г/сут) за период выращивания на кормовых станциях, варьирувавший в пределах от 54 до 74 сут. Характеристики выборки представлены в таблице 1.

Таблица 1. **Описательная характеристика выборки**
Table 1. **Descriptive statistics of sample**

Параметр / <i>Parameter</i>	Признак / <i>Trait</i>		
	FCR, кг/кг / <i>FCR, kg/kg</i>	BWG, кг / <i>BWG, kg</i>	ADG, г/сут / <i>ADG, g/day</i>
M±m	2,34±0,01	67,57±0,29	1007,49±3,62
SD	0,18	9,21	116,57
Min...Max	1,87...3,46	38,3...99,7	646,05...1440
Cv, %	7,69	13,63	11,57

Вариабельность изучаемых признаков варьировала в пределах 7,69...13,63 %, что типично для многих хозяйственно-полезных признаков.

Статистическая обработка. Модель BLUP в матричном выражении имеет вид:

$$y = X\hat{b} + Z\hat{u} + e,$$

где y – вектор величин показателей фенотипа,

\hat{b} и \hat{u} – векторы неизвестных параметров для фиксированных и рандомизированных (случайных) эффектов,

X и Z – соответствующие матрицы дизайна (плана) эффектов,

e – вектор остаточной неучтенной ошибки.

Уравнение смешанной модели BLUP Animal Model решается, опираясь на метод ограниченного максимального правдоподобия (REML):

$$\begin{bmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + A^{-1}\lambda \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{b} \\ \hat{u} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X'y \\ Z'y \end{bmatrix},$$

где X, Z – матрицы распределения наблюдений (записей о фенотипах в группах эффектов);

X', Z' – транспонированные матрицы X и Z ;

A^{-1} – обратная матрица родства;

$\lambda = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1-h^2}{h^2}$ – степень влияния на признак негенетических эффектов,

$h^2 = \frac{\sigma_a^2}{\sigma_a^2 + \sigma_e^2}$ – коэффициент наследуемости.

Формирование моделей оценки производилось путем определения степени и достоверности влияния совокупности факторов при помощи средств библиотеки lme4 языка программирования R в среде разработки RStudio (Калашников А.Е. и Гостева Е.Р., 2019). Расчет оценок племенной ценности производился в программах семейства BLUPF90 (Lourenco D et al., 2023).

С целью определения возможности оценки хозяйственно-полезных признаков безотносительно совокупности факторов, учитываемых статистической моделью, для каждого признака было сформировано два уравнения оценки племенной ценности. Уравнения имели следующий вид:

$$\begin{aligned} FCR_1 &= \mu + DR + b_1FPV + b_2FR + a + e, \\ FCR_2 &= \mu + DR + b_1FR + b_2NVD + a + e, \\ BWG_1 &= \mu + DR + b_1FCR + b_2NVD + a + e, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} BWG_2 &= \mu + DR + b_1 FPV + b_2 FR + b_3 NVD + a + e, \\ ADG_1 &= \mu + DR + b_1 FR + b_2 NVD + a + e, \\ ADG_2 &= \mu + DR + b_1 FPV + b_2 NVD + b_3 FR + a + e, \end{aligned}$$

где: μ – популяционная константа,

DR – категориальная переменная «дата рождения»,

BWG (кг) – прирост живой массы за весь период выращивания,

ADG, г – среднесуточный прирост,

FCR, кг/кг – конверсия корма,

NVD, ед. – количество посещений фид-лота в сутки,

FPV, г – среднее количество потребленного корма за одно посещение фид-лота,

FR, г/час – скорость потребления корма,

b_1 - b_3 – коэффициенты регрессии соответствующих ковариант,

a – эффект «животное» (собственно, оценка племенной ценности),

e – остаток модели, связанный с необъясненной изменчивостью признака.

Расчет показателя достоверности осуществлялся по формуле:

$$Rel. = 100 * \left(1 - \frac{s.e.^2}{\sigma_a^2} \right),$$

где s.e. – стандартная ошибка оценки племенной ценности,

σ_a^2 – аддитивная генетическая вариация признака.

Расчет сходимости оценок племенной ценности животных по одному и тому же признаку, полученных на основании использования различных моделей оценки, производился по формуле коэффициента повторяемости Пирсона (Melnikova E et al., 2021; Отраднов П.И. и др., 2023):

$$r_{x,y} = \frac{\sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})]}{\sqrt{\sigma_x^2 \cdot \sigma_y^2}},$$

где: σ_x^2 , σ_y^2 – дисперсии x и y – массивов оценок одного и того же признака.

Результаты исследования.

Оценке племенной ценности предшествовала оценка качества статистических моделей. Основными параметрами являлась достоверность влияния каждого фактора, а также доля описываемой моделью изменчивости признака (коэффициент детерминации). Так, для оценки использовались факторы, влияние которых на признак было статистически достоверно при $p \leq 0,001$. Параметры моделей представлены в таблице 2.

Важно учитывать, что различия в моделях оценки одного и того же признака позволяют нам глубже понять взаимосвязи с факторами, влияющими на его изменчивость.

Разнообразие моделей в первую очередь позволяет ориентироваться на компоненты изменчивости признаков, объясняемые различными переменными. Так, сформированные для оценки одного и того же признака модели по-разному описывают его изменчивость, обусловленную совокупностью различных факторов. Коэффициенты детерминации (R^2), отражающие долю изменчивости наблюдаемого значения признака, демонстрируют значительные различия для признаков BWG ($R^2=0,331...0,601$) и ADG ($R^2 = 0,262...0,523$), и незначительные – для признака FCR ($R^2=0,214...0,276$). Последнее связано с тем, что факторный анализ не позволил выявить сколько-либо значимых взаимосвязей для признака конверсии корма. Однако, это позволит сравнивать признаки с большим разбросом детерминированности их изменчивости составленными моделями с признаком, изменчивость которого не характеризовалась подобным образом.

Таблица 2. Основные параметры смешанных моделей
Table 2. Main parameters of mixed models

Фактор / Factor	Модель оценки признака / Model for trait estimation					
	FCR ₁	FCR ₂	BWG ₁	BWG ₂	ADG ₁	ADG ₂
Дисперсия, объясняемая фиксированными категориальными факторами / Fixed categorical effect variance						
Дата рождения / Birth date	0,010	0,010	25,800	27,260	1617,610	1001,890
Коэффициент линейной регрессии ковариант / Regression ratio for covariables						
КК / FCR	-	-	-6,916	-	-	-
Корм за посещение / Feed intake per visit	0,000	-	-	0,196	-	2,870
Скорость потребления / Feed consumption rate	0,005	0,005	-	0,076	5,636	1,992
Кол-во посещений / Total visits per day	-	0,000	0,205	1,543	3,315	23,491
Остаток (VarE) / Residual variance	0,020	0,030	57,220	35,210	10320,290	6536,780
R ²	0,276	0,214	0,331	0,601	0,262	0,523

В ходе исследования были рассчитаны оценки племенной ценности, исследованной выборки животных на основе подхода BLUP Animal Model, определен уровень достоверности результатов, рассчитаны коэффициенты наследуемости. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3. Описательная характеристика оценок племенной ценности исследованных животных

Table 3. Descriptive characteristics of studied animals' breeding values

Признак / Trait	FCR ₁	FCR ₂	BWG ₁	BWG ₂	ADG ₁	ADG ₂
Разброс значений оценки / EBV values spread	-0,27 ...	-0,28 ...	-15,15 ...	-12,23 ...	-171,76 ...	-109,74 ...
Средняя достоверность / Reliability mean	+0,59	+0,60	+15,74	+13,36	+160,87	+99,48
Коэффициент наследуемости / Heritability ratio	43,132	43,706	42,354	41,414	36,513	28,512
	0,578	0,587	0,563	0,548	0,463	0,333

Наибольшими различиями в разбросе минимального и максимального значений оценки характеризовался признак ADG, при этом также значительно различался коэффициент наследуемости и средняя достоверность. Средним разбросом минимального и максимального значений оценки характеризовался признак BWG при незначительной разнице средней достоверности и коэффициента наследуемости. Наименьший разброс минимального и максимального значений оценки, средней достоверности и коэффициента наследуемости был присущ признаку FCR.

Таким образом, анализ показал, что признаки ADG и BWG демонстрируют значительные различия в разбросе оценок и коэффициентах наследуемости, что также было отмечено при харак-

теристике моделей оценки. Высокая изменчивость оценок ADG в рамках полученных массивов демонстрирует возможность ведения селекционной работы (отбора и подбора), однако различия прогнозируемого генетического прогресса вызывают закономерные сомнения в том, насколько релевантны те или иные результаты относительно составленных моделей оценки.

В то время как признак BWG также представляет интерес, меньший разброс и схожесть его оценок и коэффициентов наследуемости с ADG при существенных различиях в детерминированности моделей могут свидетельствовать о его стабильности в определенных условиях. Эта стабильность может быть важным фактором для селекционеров, стремящихся к получению предсказуемых результатов.

Признак FCR, в свою очередь, показывает наименьшую изменчивость, что может быть объяснено схожим качеством подобранных моделей оценки, а также близостью компонентов изменчивости, объясняемых факторами в обоих уравнениях.

Подобные сходства и различия получаемых оценок могут быть интерпретированы через ранги особей, которые могут быть отобраны на их основании. Параметр достоверности определяет, в целом, то, насколько та или иная оценка точна, как прогнозное значение в данной выборке. Таким образом, для определения сходимости результатов, было применено два подхода: отбор наиболее достоверно оцененных особей и расчёт коэффициента повторяемости для всей выборки.

Из 1596 животных были отобраны 20 с наибольшими значениями достоверности EBV и представлены в таблице 4, которая наглядно демонстрирует сходимость рангов наиболее достоверно оцененных особей по племенной ценности. Представленные данные свидетельствуют о значительном различии в ранговых позициях для оценок исследуемых признаков, полученных на основе различающихся моделей.

Таблица 4. Сходимость рангов наиболее достоверно оцененных особей по оценкам племенной ценности

Table 4. Convergence of ranks of the most reliably estimated individuals according to breeding value estimates

ID	Достоверность, среднее значение / <i>EBV reliability, mean</i>	Ранг по оценке племенной ценности / <i>EBV ranking</i>					
		FCR ₁	FCR ₂	BWG ₁	BWG ₂	ADG ₁	ADG ₂
44641	74,78	1537	1552	1178	515	1527	1249
122583	73,72	561	480	950	706	841	891
122441	71,81	7	4	1150	1365	1434	1566
122347	69,05	70	80	1134	1358	1097	1482
45229	66,44	1404	1375	29	137	42	71
43945	65,39	761	709	12	234	16	75
122335	64,65	97	120	246	961	989	1313
G0517	64,37	630	702	1220	1066	1197	1067
G1253	64,13	560	509	208	493	282	662
122365	63,75	1032	945	219	492	183	526
D205	63,51	31	46	999	1340	1242	1386
G0373	63,32	90	133	1279	1534	1468	1578
G0539	62,41	1103	1140	1126	627	1032	750
g0539	62,41	625	517	618	1093	341	573
G1909	62,13	1095	1096	1332	1454	1391	1240
G1655	61,53	1375	1287	767	737	513	403
G0561	61,46	170	160	1131	1508	1497	1585
43843	61,43	370	307	941	1098	961	1170
41575	61,41	1232	1235	506	284	589	234
44447	60,02	598	570	161	595	663	895
Средняя разность рангов / <i>Mean ranking difference</i>		-19,05		119,55		70,55	

Наименьшее значение разности рангов наблюдается для признака FCR ($\Delta_{\text{ранг}} = -19,05$), что является очередным подтверждением малых различий в моделях, сформированных для его оценки. В то же время, признак BWG ($\Delta_{\text{ранг}} = 119,55$) характеризуется наибольшими усредненными различиями в ранжировании, а также большее значение было получено для ADG ($\Delta_{\text{ранг}} = 70,55$). В отношении наиболее достоверно оцененных животных это свидетельствует о том, что качественные различия используемых поправок в статистических уравнениях приводят к существенной переранжировке оцениваемых особей.

Исходя из наблюдаемых рангов, а также их различий, в рамках выборки была оценена сходимость результатов оценок, полученных на основании составленных моделей, выраженная в коэффициенте повторяемости. Формально, на основе проведенного анализа можно сделать вывод о высокой степени сходимости результатов оценок ($r_w \geq 0,70$), что является свидетельством надежности разработанных моделей.

Результаты анализа повторяемости представлены в таблице 5.

Таблица 5. Коэффициент повторяемости оценок, полученных с использованием представленных моделей

Table 5. Repeatability coefficient of estimates obtained using the presented models

Признак / Trait	FCR	BWG	ADG
Повторяемость оценок на популяционном уровне / <i>EBV repeatability in population level</i>	0,981***	0,720***	0,803***

Примечание: *** – коэффициент повторяемости достоверен при $p \leq 0,001$

Note: *** – repeatability ratio considered reliable at $p \leq 0.001$

Коэффициент корреляции соответствует высокому уровню референсных пределов своих значений, однако даже признак, демонстрирующий наибольшую сходимость результатов (FCR, $r_w = 0,981$), тем не менее, характеризуется некоторой переранжировкой оцененных особей. Для признака с наименьшей сходимостью результатов (BWG, $r_w = 0,720$), разница между рангами наиболее достоверно оцененных животных была в значительной степени более существенной. Достоверность полученных значений позволяет утверждать, что наблюдаемые различия в рангах не являются случайными, а указывают на наличие системных факторов, влияющих на результаты.

Обсуждение полученных результатов.

Возможные причины обнаруженных различий могут включать генетические факторы, а также факторы, не учтенные в исследовании, однако в контексте примененной методологии основным источником расхождений результатов видятся различия в составленных уравнениях. Так, в моделях, составленных для признака FCR, наблюдались минимальные различия в объясняемой изменчивости, что привело к наиболее высокой сходимости результатов. Для остальных уравнений сходимость варьировала при существенных различиях в объясняемой изменчивости.

Данный аспект важен при формировании моделей оценки племенной ценности для животных, содержащихся в локальностях с радикально различающимися условиями содержания и выращивания животных, так как подобные различия могут приводить к изменениям в структурах моделей оценки племенной ценности. Такие изменения являются причиной ограниченной применимости результатов, либо могут приводить к необходимости проведения дополнительных процедур оценки.

В сущности, методология BLUP основывается на применении статистических моделей, учитывающих ряд поправок, выражающихся в виде переменных различных типов. Однако, вопрос необходимости использования таких поправок остается открытым, ввиду зачастую ограниченного

доступа к данным. В нашем исследовании была смоделирована ситуация выборочного доступа к массивам тех или иных взаимосвязанных с изучаемым признаком величин и группирующих характеристик. Для трех признаков было разработано и апробировано по две различающихся по совокупности факторов модели оценки. Данные модели характеризовались разными долями объясненной вариабельности исследуемого признака. Для одного из признаков, в частности, коэффициента конверсии корма (FCR), были разработаны максимально близкие друг к другу по коэффициенту детерминации модели. Значения оценки животных по этому признаку, полученные на основе разных моделей проявили наибольшую сходимость. Остальные признаки, а именно – прирост живой массы (BWG) и среднесуточный прирост (ADG), проявили значительно меньшую степень консолидации.

Более глубокое изучение вышеназванных факторов может помочь выявить скрытые закономерности и улучшить понимание процессов, связанных с оценками. Полученные результаты подчеркивают важность использования одинаковых моделей для оценки племенной ценности животных. Сосредоточение на оптимизации этих моделей и интеграции новых данных сможет повысить точность и применимость выводов в прикладных исследованиях.

Схожие результаты были получены в исследовании, объектом которого являлся крупный рогатый скот (Сермягин А.А. и др., 2017). Полученные в нашем исследовании результаты соотносятся с полученными в нем, однако отличается подход, подразумевающий использование различающихся биометрических моделей.

Заключение.

Разработка моделей оценки племенной ценности является определяющим фактором применения методологии BLUP в селекционной работе. Так, наблюдается большая сходимость результатов оценки, получаемых с использованием минимально различающихся по параметрам качества биометрических моделей (FCR), по сравнению с моделями, различия параметров в которых были более существенны (BWG, ADG).

Мы рекомендуем на этапе составления моделей оценки учитывать, как можно большее количество статистически значимо влияющих на изменчивость признака поправок.

Актуальной становится задача разработки автоматизированной системы оценки и прогнозирования характеристик и свойств пород свиней на основе использования методологии BLUP, которая обеспечит возможность научно обоснованного результативного управления племенной ценностью животных на свиноводческих предприятиях.

Список источников

1. Валидация геномного прогноза племенной ценности быков-производителей по признакам молочной продуктивности дочерей на примере популяции черно-пестрого и голштинского скота / А.А. Сермягин, А.А. Белоус, А.Ф. Контэ, А.А. Филипченко, А.Н. Ермилов, И.Н. Янчуков, К.В. Племяшов, Г. Брем, Н.А. Зиновьева // *Сельскохозяйственная биология*. 2017. Т. 52, № 6. С. 1148-1156. [Sermyagin AA, Belous AA, Conte AF, Filipchenko AA, Ermilov AN, Yanchukov IN, Plemyashov KV, Brem G, Zinovieva NA. Genomic evaluation of bulls for daughters' milk traits in russian black-and-white and holstein cattle population through the validation procedure. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2017;52(6):1148-1156. (*In Russ.*)]. doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148rus doi: 10.15389/agrobiology.2017.6.1148eng
2. Игнатьева Л.П. Сравнительная характеристика животных симментальской породы разного происхождения на основе оценки племенной ценности коров методом BLUP ANIMAL MODEL в связи с уровнем продуктивности стад // *Вестник КрасГАУ*. 2020. № 11(164). С. 152-161. [Ignatyeva LP. Comparative characteristics of the animals of simmental breed of different origin on the basis of the estimates breeding value of the cows by the BLUP ANIMAL MODEL method in

connection with the level of herd productivity. Bulletin of KSAU. 2020;11(164):152-161. (*In Russ.*). doi: 10.36718/1819-4036-2020-11-152-161

3. Изменчивость оценок оплодотворяющей способности семени быков-производителей при осеменении коров разного возраста / Е.Н. Нарышкина, А.А. Сермягин, П.И. Отрадных, А.Н. Ермилов // Молочное и мясное скотоводство. 2024. № 2. С. 10-13. [Naryshkina EN, Sermyagin AA, Otradnov PI, Ermilov AN. Variability of estimates of the fertility of the semen of bulls during insemination of cows of different ages. Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding. 2024;2:10-13. (*In Russ.*). doi: 10.33943/MMS.2024.67.22.003

4. Использование геномной оценки в свиноводстве: монография / А.А. Белоус, П.И. Отрадных, А.А. Сермягин, Н.А. Зиновьева. Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста, 2024. 209 с. [Belous AA, Otradnov PI, Sermyagin AA, Zinovieva NA. The use of genomic evaluation in pig breeding: monograph. Dubrovitsy: FGBNU FITs VIZh im. L.K. Ernsta; 2024:209 p. (*In Russ.*).

5. Калашников А.Е., Гостева Е.Р. Язык программирования R как инструмент для расчета племенной ценности животных // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 3. С. 106-113. [Kalashnikov AE, Gosteva ER. Programming language R as a tool for calculating the breeding value of animals. Problems of Productive Animal Biology. 2019;3:106-113. (*In Russ.*). doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.3.106-113

6. Отбор свиноматок по генетическим маркерам и индексу best linear unbiased prediction (BLUP) / А.А. Новиков, Е.Н. Суслина, Г.С. Походня, Д.Г. Шичкин, Я.А. Хабибрахманова, Н.В. Башмакова // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 4. С. 94-107. [Novikov AA, Suslina EN, Pokhodnya GS, Shichkin DG, Khabibrakhmanova YA, Bashmakova NV. Selection of sows by genetic markers and BLUP index. Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy. 2021;4:94-107. (*In Russ.*). doi: 10.26897/0021-342X-2021-4-94-107

7. Отрадных П.И., Рудиянов Д.М., Белоус А.А. Валидация оценок племенной ценности свиней породы дюрок по признакам кормового поведения // Свиноводство. 2023. № 5. С. 22-26. [Otradnov PI, Rudiyarov DM, Belous AA. Validation of breeding value estimates for Duroc pigs by feeding behavior traits. Svinovodstvo. 2023;5:22-26. (*In Russ.*). doi: 10.37925/0039-713X-2023-5-22-26

8. Оценка племенной ценности свиней с использованием метода BLUP / Е.Н. Суслина, А.А. Новиков, С.В. Павлова, Н.В. Башмакова и др. // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2019. № 6. С. 150-161. [Suslina EN, Novikov AA, Pavlova SV, Bashmakova NV, et al. Evaluation of breeding qualities of hog producers using the BLUP method. Izvestiya Of Timiryazev Agricultural Academy. 2019;6:150-161. (*In Russ.*). doi: 10.34677/0021-342x-2019-6-150-161

9. Проблемы и вопросы при прогнозировании генетической племенной ценности сельскохозяйственных животных / А.Е. Калашников, А.И. Голубков, Н.Ф. Щегольков, Е.Р. Гостева // Вестник НГАУ. 2022. № 4. С. 77-96. [Kalashnikov AE, Golubkov AI, Shchegolkov NF, Gosteva ER. Problems and issues in forecasting the genetic breeding value of agricultural animals. Vestnik NGAU. 2022;4:77-96. (*In Russ.*). doi: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96

10. Романенкова О.С., Костюнина О.В. Диагностика мутации в гене PNKG1, детерминирующей PSE-синдром у свиней // Животноводство и кормопроизводство. 2023. Т. 106. № 4. С. 68-79. [Romanenkova OS, Kostyunina OV. Diagnosis of a mutation in the PNKG1 gene that determines PSE syndrome in pigs. Animal Husbandry and Fodder Production. 2023;106(4):68-79. (*In Russ.*). <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-68>

11. Столповский Ю.А., Пискунов А.К., Свищева Г.Р. Геномная селекция. I. Последние тенденции и возможные пути развития // Генетика. 2020. Т. 56. № 9. С. 1006-1017. [Stolpovskiy YuA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I. Latest trends and future trajectories. Russian Journal of Genetics. 2020;56(9):1006-1017. (*In Russ.*). doi: 10.31857/S0016675820090143

12. Хайнацкий В.Ю. Метод племенной оценки быков-производителей мясных пород на основе BLUP // Животноводство и кормопроизводство. 2021. Т. 104. № 1. С. 20-31. [Haynatsky VYu.

BLUP Method of breeding assessment of beef sires. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):20-31. (*In Russ.*). doi: 10.33284/2658-3135-104-1-20

13. Характеристика компонентов молока и корреляционных связей между ними у овец породы лакон и альпийских коз / М.И. Селионова, М.Ю. Гладких, А.А. Сермягин, И.А. Лашнева // Труды Кубанского государственного аграрного университета. 2023. № 108. С. 204-211. [Selionova MI, Gladkikh MYu, Sermyagin AA, Lashneva IA. Comparative analysis of the goat and sheep milk component composition. *Trudy Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*. 2023;108:204-211. (*In Russ.*). doi: 10.21515/1999-1703-108-204-211

14. Чистяков В.Т. Современное развитие селекции и генетики в отечественном свиноводстве // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2018. № 4(59). С. 71-78. [Chistyakov VT. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;4(59):71-78. (*In Russ.*). doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.71

15. Яковлев А.Ф. Геномная селекция и прогнозирование качества потомства животных // Вестник Российской академии наук. 2018. Т. 88, № 10. С. 946-950. [Yakovlev AF. Genomic selection and prediction of offspring quality in animals. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*. 2018;88(10):946-950. (*In Russ.*). doi: 10.31857/S086958730002151-4

16. Jibrila I, ten Napel J, Vandenplas J, Veerkamp RF, Calus MPL. Investigating the impact of preselection on subsequent single-step genomic BLUP evaluation of preselected animals. *Genetics Selection Evolution*. 2020;52(1):42. doi: 10.1186/s12711-020-00562-6

17. Lourenco D, Tsuruta S, Aguilar I, Masuda Y, Bermann M, Legarra A, Misztal I. Recent updates in the BLUPF90 software suite. In: Veerkamp RF, de Haas Y, editors. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP)*;2023:1530-1533. doi: 10.3920/978-90-8686-940-4_366

18. Melnikova E, Kabanov A, Nikitin S, et al. Application of genomic data for reliability improvement of pig breeding value estimates. *Animals*. 2021;11(6):1557. doi: 10.3390/ani11061557

References

1. Sermyagin AA, Belous AA, Conte AF, Filipchenko AA, Ermilov AN, Yanchukov IN, Plemashov KV, Brem G, Zinovieva NA. Genomic evaluation of bulls for daughters' milk traits in Russian Black-and-White and Holstein cattle population through the validation procedure. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya [Agricultural Biology]*. 2017;52(6):1148-1156. doi: 10.15389/agrobology.2017.6.1148eng

2. Ignatyeva LP. Comparative characteristics of the animals of Simmental breed of different origin on the basis of the estimates breeding value of the cows by the BLUP ANIMAL MODEL method in connection with the level of herd productivity. *Bulletin of KSAU*. 2020;11(164):152-161. doi: 10.36718/1819-4036-2020-11-152-161

3. Naryshkina EN, Sermyagin AA, Otradnov PI, Ermilov AN. Variability of estimates of the fertility of the semen of bulls during insemination of cows of different ages. *Journal of Dairy and Beef Cattle Breeding*. 2024;2:10-13. doi: 10.33943/MMS.2024.67.22.003

4. Belous AA, Otradnov PI, Sermyagin AA, Zinovieva NA. The use of genomic evaluation in pig breeding: monograph. Dubrovitsy: L.K. Ernst Federal Research Center for animal Husbandry; 2024: 209 p.

5. Kalashnikov AE, Gosteva ER. Programming language R as a tool for calculating the breeding value of animals. *Problems of Productive Animal Biology*. 2019;3:106-113. doi: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2019.3.106-113

6. Novikov AA, Suslina EN, Pokhodnya GS, Shichkin DG, Khabibrakhmanova YA, Bashmakova NV. Selection of sows by genetic markers and BLUP index. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;4:94-107. doi: 10.26897/0021-342X-2021-4-94-107

7. Otradnov PI, Rudiyanov DM, Belous AA. Validation of breeding value estimates for Duroc pigs by feeding behavior traits. *Pigbreeding*. 2023;5:22-26. doi: 10.37925/0039-713X-2023-5-22-26
8. Suslina EN, Novikov AA, Pavlova SV, Bashmakova NV, et al. Evaluation of breeding qualities of hog producers using the BLUP method. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2019;6:150-161. doi: 10.34677/0021-342x-2019-6-150-161
9. Kalashnikov AE, Golubkov AI, Shchegolkov NF, Gosteva ER. Problems and issues in forecasting the genetic breeding value of agricultural animals. *Vestnik NSAU*. 2022;4:77-96. doi: 10.31677/2072-6724-2022-65-4-77-96
10. Romanenkova OS, Kostyunina OV. Diagnosis of a mutation in the PHKG1 gene that determines PSE syndrome in pigs. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2023;106(4):68-79. <https://doi.org/10.33284/2658-3135-106-4-68>
11. Stolpovskiy YuA, Piskunov AK, Svishcheva GR. Genomic selection. I. Latest trends and future trajectories. *Russian Journal of Genetics*. 2020;56(9):1006-1017. doi: 10.31857/S0016675820090143
12. Haynatsky VYu. BLUP Method of breeding assessment of beef sires. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2021;104(1):20-31. doi: 10.33284/2658-3135-104-1-20
13. Selionova MI, Gladkikh MYu, Sermyagin AA, Lashneva IA. Comparative analysis of the goat and sheep milk component composition. *Proceedings of Kuban State Agrarian University*. 2023;108:204-211. doi: 10.21515/1999-1703-108-204-211
14. Chistyakov VT. Modern development of breeding and genetics in the Russian pig breeding. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2018;4(59):71-78. doi: 10.17238/issn2071-2243.2018.4.71
15. Yakovlev AF. Genomic selection and prediction of offspring quality in animals. *Vestnik of Russian Academy of Science*. 2018;88(10):946-950. doi: 10.31857/S086958730002151-4
16. Jibrila I, ten Napel J, Vandenplas J, Veerkamp RF, Calus MPL. Investigating the impact of preselection on subsequent single-step genomic BLUP evaluation of preselected animals. *Genetics Selection Evolution*. 2020;52(1):42. doi: 10.1186/s12711-020-00562-6
17. Lourenco D, Tsuruta S, Aguilar I, Masuda Y, Bermann M, Legarra A, Misztal I. Recent updates in the BLUPF90 software suite. In: Veerkamp RF, de Haas Y, editors. *Proceedings of 12th World Congress on Genetics Applied to Livestock Production (WCGALP);2023:1530-1533*. doi: 10.3920/978-90-8686-940-4_366
18. Melnikova E, Kabanov A, Nikitin S, et al. Application of genomic data for reliability improvement of pig breeding value estimates. *Animals*. 2021;11(6):1557. doi: 10.3390/ani11061557

Информация об авторах:

Петр Ильич Отраднов, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквахозяйстве, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60, тел.: +7 (929) 613-14-75.

Олеся Сергеевна Осипова, младший научный сотрудник лаборатории генетических технологий в агро- и аквахозяйстве, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60, тел.: +7 (926) 153-61-27.

Анна Александровна Белоус, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, заведующая лабораторией генетических технологий в агро- и аквахозяйстве, Федеральный исследовательский центр животноводства – ВИЖ имени академика Л.К. Эрнста, 142132, Россия, Московская область, г.о. Подольск, пос. Дубровицы, 60, тел.: +7 (985) 040-40-28

Information about the authors:

Petr I Otradnov, Junior Researcher, Laboratory of Genetic Technologies in Aquatic and Agricultural Farms, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia, tel.: +7 (929) 613-14-75.

Olesya S Osipova, Junior Researcher, Laboratory of Genetic Technologies in Aquatic and Agricultural Farms, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia, tel.: +7 (926) 153-61-27.

Anna A Belous, Cand. Sci. (Biology), Senior Research, Head of Laboratory Genetic Technologies in Aquatic and Agricultural Farms, Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Dubrovitsy 60, Podolsk Municipal District, Moscow Region, 142132, Russia, tel.: +7 (985) 040-40-28.

Статья поступила в редакцию 10.01.2025; одобрена после рецензирования 21.02.2025; принята к публикации 17.03.2025.

The article was submitted 10.01.2025; approved after reviewing 21.02.2025; accepted for publication 17.03.2025.