

Л. П. Игнатьева ✉

А. А. Янглева

Федеральный исследовательский центр
животноводства — ВИЖ им. академика
Л. К. Эрнста, пос. Дубровицы, Россия

✉ ignatieva-lp@mail.ru

Поступила в редакцию:
14.02.2024

Одобрена после рецензирования:
15.05.2024

Принята к публикации:
30.05.2024

Research article

DOI: 10.32634/0869-8155-2024-383-6-62-67

Larisa P. Ignatieva ✉

Anna A. Yanglyeva

L. K. Ernst Federal Research Center for Animal
Husbandry, Dubrovitsy village, Russia

✉ ignatieva-lp@mail.ru

Received by the editorial office:
14.02.2024

Accepted in revised:
15.05.2024

Accepted for publication:
30.05.2024

Использование селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы

РЕЗЮМЕ

Аннотация. Исследования были направлены на разработку селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы. Для проведения исследований была сформирована база данных с поголовьем 2500 выбывших коров симментальской породы, разводимых в 14 регионах РФ, в 2008–2022 гг. Для оценки племенной ценности использовался подход BLUP Animal Model (Best Linear Unbiased Predicted — BLUP, наилучший линейный несмещенный прогноз), а для селекционно-генетических параметров — базовые процедуры теории количественных признаков (REML). Расчет оценок племенной ценности (Estimate Breeding Value — EBV) проведен с помощью программ RENUMF90, REMLF90 и BLUPF90. Животные с лучшими значениями селекционного индекса показали наиболее выгодные генетические оценки в комплексе по результатам пожизненной продуктивности: удой — +1907,92 кг, количество жира — +60,54 кг, количество белка — +67,25 кг, количество продуктивных дней — +0,98, а также экономические показатели от +86,3 до 56613,9 руб/гол. Благодаря рассчитанным коэффициентам корреляции видно, что индексные значения достоверны и на высоком уровне взаимосвязаны как с фенотипическими показателями $r = +0,62–0,64$, так и с генетическими оценками (EBV) $r = +0,98–0,99$. Рассчитанные данные селекционного индекса, которые включают в себя генетические оценки животных, а также экономический вклад показателей показывают себя как удобный инструмент в селекционной работе с популяцией симментальского скота.

Ключевые слова: симментальская порода, селекционный индекс, продуктивное долголетие, EBV, корреляция

Для цитирования: Игнатьева Л.П., Янглева А.А. Использование селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы. *Аграрная наука*. 2024; 383(6): 62–67.

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-62-67>

© Игнатьева Л.П., Янглева А.А.

Using the selection index for estimation the lifelong productivity of simmental cows

ABSTRACT

Relevance. The research was aimed at developing a breeding index to assess the productive longevity of Simmental cows. To conduct the research, a database was formed with a population of 2,500 retired Simmental cows bred in 14 regions of the Russian Federation in 2008–2022. The BLUP Animal Model approach (Best Linear Unbiased Predicted — BLUP, best linear unbiased forecast) was used to assess breeding value, and the basic procedures of the theory of quantitative traits (REML) were used for breeding and genetic parameters. The calculation of breeding value estimates (Estimate Breeding Value — EBV) was carried out using the RENUMF90, REMLF90 and BLUPF90 programs. Animals with the best values of the breeding index showed the most favorable genetic estimates in the complex based on the results of lifelong productivity: milk yield — +1907.92 kg, the amount of fat — +60.54 kg, the amount of protein — +67.25 kg, the number of productive days — +0.98, as well as economic indicators from +86.3 to 56613.9 rubles/head. Due to the calculated correlation coefficients, it can be seen that the index values are reliable and at a high level interrelated with both phenotypic indicators $r = +0.62–0.64$ and genetic estimates (EBV) $r = +0.98–0.99$. The calculated data of the breeding index, which includes genetic assessments of animals, as well as the economic contribution of indicators, show themselves to be a convenient tool in breeding work with the population of Simmental cattle.

Key words: simmental breed, selection index, lifelong productivity, EBV, correlation

For citation: Ignatieva L.P., Yanglyeva A.A. Using the selection index for predict the lifelong productivity of simmental cows. *Agrarian science*. 2024; 383(6): 62–67 (in Russian).

<https://doi.org/10.32634/0869-8155-2024-383-6-62-67>

© Ignatieva L.P., Yanglyeva A.A.

Введение/Introduction

Научно-генетические основы оптимизации селекционных программ в молочном скотоводстве были разработаны G.E. Dickerson (1944 г.) [1] и L.N. Hazel [2] (1943 г.), а затем A. Robertson, J. Rendel (1950 г.) [3] и C.R. Henderson (1984 г.) [4], принципы которых в 70-х годах прошлого столетия попытались внедрить в животноводство Советского Союза Н.З. Басовский¹ и В.М. Кузнецов [5]. Наибольший интерес при этом представляет блок оценки генетических особенностей животных. Разработанные положения зарубежных исследователей нашли широкое применение в мировой практике молочного скотоводства.

Разведение молочного скота с использованием селекционного индекса основано на отборе животных по комплексу признаков с учетом их фенотипических и генотипических особенностей. Селекционный индекс дает возможность проводить анализ племенного материала, отбор и подбор скота в соответствии с задачами селекции, что позволяет повышать достоверность оценки племенной ценности отцов и матерей с учетом взаимодействия генотип × среда (а точнее, ответной реакции генотипов на изменчивость условий), генетической природы различных контролируемых признаков и доли значимости в программе селекции [6, 7].

Селекционный индекс — это инструмент, который помогает отбирать молочный скот по комплексу признаков. Животных оценивают по продуктивности, телосложению, здоровью и фертильности. Каждый признак в индексе умножается на определенный весовой коэффициент. Соответственно, веса разных признаков в индексе не будут одинаковыми: одни признаки считаются более важными, чем другие. Вес признака зависит от его экономической значимости для молочного производства. Она рассчитывается и будет различной для разных периодов времени и популяций животных [8].

На протяжении последних 10 лет в Северной Америке широко использовался индекс ETA, принятый в 1989 году:

$$ETA = PC + AC + P \times C$$

Расшифровывается этот индекс следующим образом: передающая способность *ETA* (доля потенциала, которая может быть передана потомству) складывается из генетического вклада родителей (*PC*), популяции (*AC*) и полученного потомства ($P \times C$) [9].

Индекс TPI (Total Performance Index — TPI, пер. с англ. — совокупный индекс эффективности) на сегодняшний день является общепринятым отраслевым стандартом, используемым не только в Америке, но и в других странах. В мире существуют и другие национальные племенные индексы, все они преследуют одну цель — дать простой (универсальный) способ оценки быков-производителей (и коров) с точки зрения селекционной работы. Формула расчета американского индекса племенной ценности KPC голштинской породы была разработана сотрудниками Ассоциации голштинской породы США. Этот показатель (TPI) предназначен для комплексной оценки KPC голштинской породы, сочетающей в себе высокую молочную продуктивность, правильный экстерьер и хорошие показатели по здоровью и фертильности (способности к воспроизводству)².

В 1996 году удельный вес молочной продуктивности в индексе TPI составлял 66%, экстерьера — 34%. С 2012 года в индексе TPI показатели здоровья и фертильности составляют 28%, экстерьера — 26%, и по-прежнему доминирующее положение отводится продуктивности (46%). Изменение вектора селекции молочного скота в направлении повышения здоровья животных определило появление в индексе племенной ценности показателя «жизнеспособность» (LIV) с весовым коэффициентом 3%. Дальнейшая селекция на снижение массы тела животных, а также повышение эффективности использования кормов повлияли на увеличение индекса конверсии корма (FE) с 5 до 8%. Отмечена направленность селекционного процесса на улучшение здоровья, фертильности коров и повышение экономической эффективности производства молока [9].

Долгое время селекция молочного скота велась только на повышение продуктивности. Но такая однобокая селекция ведет к сокращению продуктивного долголетия животных, снижению их фертильности и увеличению ветеринарных расходов, а это в свою очередь приводит к снижению рентабельности хозяйства в целом. Поэтому постепенно в индексы стали включать показатели здоровья и воспроизводства³. Метод индексной селекции в скотоводстве позволяет селекционеру проводить оценку животных сразу по нескольким хозяйственно полезным признакам. Однако количество признаков, участвующих в формировании селекционного индекса, не может быть большим. Обычно ограничиваются 4–6 признаками. Это связано с тем, что селекционный ответ по каждому признаку в случае индексной оценки обратно пропорционален числу признаков, участвующих в формировании индекса [10, 11].

На то, какие показатели включают в национальные индексы и какие весовые коэффициенты используют, влияет целый ряд факторов. Продуктивность животных зависит от взаимодействия между генетическими особенностями скота, которые в каждой стране свои, и факторами окружающей среды. Это: условия содержания; состав и питательность кормов (кормосмеси); общие условия климата в стране или регионе, такие как солнечная активность и уровень атмосферных осадков; основные заболевания у животных и уровень инфекционной нагрузки. Все эти факторы могут различаться для разных хозяйств (даже для отдельных животных на одном и том же хозяйстве) и меняться с течением времени. Но для определенной территории, такой как страна или регион, всё же можно определить общие паттерны, что делает возможным оценить животных с помощью индексов. [12–14].

Несмотря на отсутствие единого международного стандарта, универсальность индексов и возможность пересчета одних в другие способствуют выявлению и использованию лучших генотипов не только в пределах одной страны, но и во всем мире, что определяет выгоду и приоритетность крупномасштабной селекции.

В настоящее время российские ученые разрабатывают различные способы и подходы для оценки генетических особенностей молочных коров по признакам молочной продуктивности, воспроизводству и долголетию [12–16]. Продуктивное долголетие — один из наиболее сложных признаков для оценки и прогнозирования,

¹ Басовский Н.З., Кузнецов В.М. Методические рекомендации по разработке и оптимизации прогноза селекции в молочном скотоводстве. Москва, Ленинград. 1977; 88.

² <https://dairynews.today/news/indeks-plemennoy-tsennosti-tpi-i-reytingi-bykov-pr.html>

³ Cameron N.D. Selection indices and prediction of Genetic Merit in animal breeding. 2006; 203.

так как имеет низкий коэффициент наследуемости и оценить его можно только после выбытия животных. Разработка эффективных селекционных индексов позволяет значительно сократить время для анализа генетического потенциала продуктивности животных, тем самым активно влияя на ход их эволюционного развития. Поэтому расчет селекционного индекса, как способ раннего прогнозирования и оценки продуктивного долголетия молочных коров, является актуальной задачей для селекции крупного рогатого скота и представляет как научный, так и практический интерес.

Цель данной работы — разработка селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы.

Материалы и методы исследования / Materials and methods

В ИАС «СЕЛЭКС. Молочный скот» (ООО «РЦ «Пли-нор», Россия) на данный момент имеется информация по 57 905 выбывшим головам племенных коров симментальской породы из 42 племенных хозяйств 14 регионов России. Средний возраст выбытия этих животных составил 2,68 лактации. В связи с этим для отработки методологии расчета селекционного индекса была сформирована база данных коров, выбывших после третьей лактации, то есть имеющая полную информацию о молочной продуктивности за первую, вторую и третью лактации. В выборку вошли 2500 коров, внесенные в базу ИАС «СЕЛЭКС» с 2008 по 2022 г.

Построение модели и расчет селекционных индексов племенной ценности коров, выбывших после третьей лактации, были проведены по следующим показателям: пожизненные показатели удоя коров, кг; пожизненное количество молочного жира и белка, кг; количество пожизненных продуктивных дней.

Для построения уравнения селекционного индекса была произведена оценка племенной ценности коров (Estimate Breeding Value — EBV) симментальской породы в изучаемой популяции по следующему уравнению смешанной модели BLUP Animal Model (Best Linear Unbiased Predicted — BLUP, наилучший линейный несмещенный прогноз):

$$y = \mu + HYS + b_1 Age + Animal + e,$$

где: y — оцениваемый показатель животного; μ — общая средняя по популяции; Age — возраст первого отела (коварианса); HYS — эффект стада (года, сезона отела) (фиксированный); $Animal$ — эффект самого животного (рандомизированный); b_1 — коэффициент линейной регрессии, e — эффект неучтенных в модели факторов (остаточная изменчивость, рандомизированный).

При оценке племенной ценности были использованы данные пожизненной продуктивности у коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации. Все эффекты, включенные в уравнение модели для оценки, значимо ($p > 0,95$) влияли на изменчивость селекционных признаков. Общее число оцененных коров (коэффициент достоверности оценки $r > 0,65$) составило 2500 голов.

Для оценки племенной ценности использовался подход BLUP Animal Model. Расчет оценок EBV проведен с помощью семейства программ RENUMF90, REMLF90 и BLUPF90 (Animal and Dairy Science University of Georgia, USA)⁴. Семейство программ BLUPF90 представляет собой пакет статистического программного обеспечения, который используется в количественной генетике для селекции животных. Расчет в программе ведется с использованием уравнений смешанной модели на основе метода ограниченного максимального правдоподобия (REML), а также выборки Гиббса для оценки компонентов дисперсии и прогнозирования племенной ценности с помощью наилучшего линейного несмещенного прогнозирования (BLUP). BLUPF90 закодирован на языке программирования Фортран (Fortran), может выполнять геномную оценку сотен и тысяч генотипированных животных, также существует дополнение на языке программирования R. Скомпилированные версии BLUPF90 свободно доступны для исследования и могут использоваться в Linux, Microsoft Windows и Mac OS X.

Для оценки значений селекционно-генетических параметров в оцениваемой популяции (коэффициенты наследуемости признаков, генетические и фенотипические варианты и ковариансы, генетические и фенотипические корреляции признаков) использовали базовые процедуры теории количественных признаков (Restricted Estimates of Maximum Likelihood — REML, Misztal I., 2002)⁵.

Расчет весовых коэффициентов признаков, включенных в уравнение общего селекционного индекса племенной ценности животных, выполнялся по двухшаговому алгоритму, предложенному L. Hazel (1943 г.) [2], доработанному С.Р. Henderson (1963 г.) [17] и оптимизированному С.Н. Харитоновым⁶ и Е.Е. Мельниковой [18].

Стоимость 1 кг молока была сформирована в соответствии с ценовой политикой молокоперерабатывающих предприятий по ценам 2022 года, которая включает в себя сортность молока и превышение (снижение) молочных показателей. Цена 1 кг молока при базисных жирности и белковомолочности в 3,4% и 3,0%, соответственно, составляла 23 руб. За превышение базисных показателей была предусмотрена надбавка в 10 коп. за 0,1%.

Биометрическая обработка материалов исследований была осуществлена с помощью пакета анализа Microsoft Office Excel (США).

Результаты и обсуждение / Results and discussion

Анализируя фенотипические показатели и генетические оценки молочной продуктивности изучаемой популяции выбывших коров симментальской породы (табл. 1) можно увидеть, что средняя пожизненная продуктивность коров составила 14 681 кг молока (в пределах 7685–31 428) при количестве молочного жира 577,4 кг (в пределах 285,6–1273,5) и белка 468,9 кг (в пределах 225,4–1042,7). Следовательно, на одну лактацию в среднем приходится 4893,6 кг молока с содержанием жира 3,94% и белка 3,20%. Количество продуктивных дней у коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации, в среднем составило 983,6 с колебаниями от 769 до 1336.

⁴ <http://nce.ads.uga.edu/software/>

⁵ Masuda Y. Introduction to BLUPF90 suite programs Standard Edition. University of Georgia. 2019; 199.

⁶ Харитонов С.Н. и др. Теоретические основы генетического совершенствования популяций животных: руководство. Дубровицы: ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста. 2020; 151. ISBN 978-5-902483-48-9

Отмечается достаточный уровень изменчивости таких признаков, как пожизненный удой ($C_v = 19,1\%$), выход молочного жира ($C_v = 19,6\%$) и выход молочного белка ($C_v = 19,4\%$). Наряду с этим отмечаются низкие значения изменчивости содержания жира ($C_v = 7,3\%$) и белка в молоке ($C_v = 7,4$), а также по количеству продуктивных дней ($C_v = 9,3\%$).

Оценки племенной ценности (EBV), полученные благодаря методологии BLUP, находились в пределах: по пожизненному удою — от -4158,2 до +4787,6 кг, по количеству жира — от -155,7 до +191,5 кг, по количеству белка — от -132,3 до +169,1 кг, по количеству продуктивных дней — от -3,49 до +5,11.

Благодаря полученным генетическим оценкам была разработана модель селекционного индекса племенной ценности коров по комплексу изучаемых признаков продуктивного долголетия. Весовые коэффициенты параметров, включенных в модель селекционного индекса, были получены исходя из генетических оценок (EBV) и экономического влияния на получаемую прибыль.

Модель селекционного индекса была сформирована по пожизненным показателям молочной продуктивности коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации:

$$I_3 = 0,33X_1 + 37,99X_2 + 91,59X_3 + 148,14X_4,$$

где: I_3 — селекционный индекс племенной ценности животных по 4 признакам; X_1 — количество пожизненных продуктивных дней; X_2 — пожизненный удой (3 лактации), кг; X_3 — количество пожизненного молочного жира, кг; X_4 — количество пожизненного молочного белка, кг.

В уравнении в качестве экономических компонент общих весовых коэффициентов селекционных признаков были выбраны следующие значения: X_1 — количество пожизненных продуктивных дней, X_2 — пожизненный удой, X_3 — количество молочного жира, X_4 — количество молочного белка. Последние весовые коэффициенты существенно увеличили вклад признаков X_4 (пожизненное количество молочного белка) и X_3 (пожизненное количество молочного жира) в общем уравнении, исходя из следующих соображений: изменчивость этих показателей в популяциях была минимальной в сравнении с показателями разнообразия особей по другим признакам.

Таблица 1. Средние фенотипические значения признаков пожизненной молочной продуктивности коров симментальской породы, выбывших после третьей лактации
Table 1. Average phenotypic values of lifelong milk productivity traits of Simmental cows, retired after 3 lactations

Показатели	$M \pm m$	Min	Max	$C_v, \%$
<i>Фенотипические показатели молочной продуктивности</i>				
Пожизненный удой, кг	14681,0±57,6	7685,0	31428,1	19,1
Количество жира, кг	577,4±2,2	285,6	1273,5	19,4
Количество белка, кг	468,9±1,8	225,4	1042,7	19,6
Содержание жира в молоке, %	3,94±0,01	2,39	6,27	7,31
Содержание белка в молоке, %	3,20±0,01	2,10	5,09	7,26
Количество продуктивных дней	983,6±1,7	769,5	1336,7	9,3
<i>Средние значения племенной ценности (EBV)</i>				
Удой, кг	-35,9±21,1	-4158,2	+4787,6	-
Количество продуктивных дней	+0,13±0,02	-3,49	+5,11	-
Количество жира, кг	-1,31±0,77	-155,72	+191,54	-
Количество белка, кг	-0,79±0,68	-132,33	+169,11	-

Рассчитанные индексные оценки коров предоставили возможность проранжировать всю изучаемую выборку выбывших коров симментальской породы по комплексу оценок племенной ценности изучаемых признаков (табл. 2) и получить медианные значения средних величин (EBV) и селекционного индекса. Ранжирование животных было произведено по значениям селекционного индекса, количеству продуктивных дней, пожизненному удою, количеству молочного жира и молока, в конце отбирались 10% животных с самыми высокими значениями генетических оценок (EBV).

На первый взгляд, по результатам ранжирования данных, нельзя утверждать, что селекционный индекс действительно максимально качественно помогает отбирать коров с лучшими генетическими оценками (EBV) (например, в сравнении с отбором по пожизненному удою). Выбывшие животные с лучшими значениями селекционного индекса показали наиболее выгодные генетические оценки в комплексе по результатам пожизненной продуктивности: удой — +1907,92 кг; количество жира — +60,54 кг; количество белка — +67,25 кг; количество продуктивных дней — +0,98. Однако животные с лучшими показателями селекционного индекса по всем изучаемым показателям имеют генетические оценки, равные медианным значениям или превышающие их, что в свою очередь не наблюдается у животных, отобранных по лучшим оценкам пожизненного удоя. Коровы, выбранные с высокими показателям селекционного индекса, имеют лучшие генетические оценки по

Таблица 2. Ранжирование генетических оценок (EBV) и значение селекционного индекса по пожизненной продуктивности при интенсивности отбора 10% лучших животных по результатам оценки

Table 2. Ranking of genetic estimates (EBV) and the value of the selection index for lifelong productivity at the intensity of selection of the 10% best animals according to the assessment results

Показатель	Оценки племенной ценности (EBV)			Количество продуктивных дней	Значение селекционного индекса, руб.
	пожизненные показатели				
	удой, кг	количество молочного жира, кг	количество молочного белка, кг		
<i>По селекционному индексу (10% животных)</i>					
Средние значения	+1907,9	+67,3	+60,5	+0,98	87990,5
<i>По пожизненному удою (EBV)</i>					
Средние значения	+1910,4	+66,3	+60,1	+0,99	87904,2
<i>По пожизненному количеству белка (EBV)</i>					
Средние значения	+1831,8	+69,3	+60,1	+0,90	85364,2
<i>По пожизненному количеству жира (EBV)</i>					
Средние значения	+1833,6	+66,6	+62,8	+0,96	85274,6
<i>По количеству продуктивных дней (EBV)</i>					
Средние значения	+679,7	+23,3	+23,0	+2,53	31376,6
<i>Медианные значения средних величин (EBV) (за 3 лактации)</i>					
	+1831,8	+69,3	+60,1	+0,90	85267,5

комплексу признаков в сравнении с животными, отобранными с высокими оценками пожизненной продуктивности (удой, количество молочного белка и жира).

В экономическом выражении можно отметить, что при отборе по селекционному индексу получаем прибыль в сравнении с отбором по пожизненным показателям: удою — +86,3 руб/гол, количеству белка — +2626,3 руб/гол, количеству жира — +2715,6 руб/гол, количеству продуктивных дней — +56 613,9 руб/гол, медианным значениям средних величин — +2723,0 руб/гол. Это говорит о том, что при отборе по селекционному индексу будут получены не только наиболее выгодные генетические оценки в комплексе признаков по результатам пожизненной продуктивности (удой, количество жира и белка), но и достигнуты лучшие экономические показатели.

Анализируя взаимосвязь между признаками пожизненной молочной продуктивности и селекционным индексом, можно говорить (табл. 3) о том, что индексные оценки имеют слабую корреляционную связь с фенотипическими показателями по количеству продуктивных дней ($r = 0,30$) и среднюю взаимосвязь с пожизненной продуктивностью ($r = +0,62-0,64$). При этом наблюдаем значительно более высокий уровень взаимосвязи между показателями селекционного индекса и генетическими оценками пожизненной молочной продуктивности (EBV) ($r = 0,983-0,988$) и слабую взаимосвязь с количеством продуктивных дней ($r = 0,35$).

Таблица 3. Коэффициенты корреляции оценок селекционного индекса коров симментальской породы с показателями пожизненной молочной продуктивности по фенотипу и генетическими оценками (EBV)

Table 3. Correlation coefficients of estimates the selection index of Simmental cows with indicators of lifelong milk productivity by phenotype and genetic estimates (EBV)

Показатели	Фенотипические показатели × индексные оценки селекционного индекса (I_2)	Генетические оценки (EBV) × индексные оценки селекционного индекса (I_2)
Пожизненный удой, кг	+0,63	+0,98
Количество молочного жира, кг	+0,64	+0,98
Количество молочного белка, кг	+0,62	+0,99
Количество продуктивных дней	+0,30	+0,35

Все авторы несут ответственность за работу и представленные данные. Все авторы внесли равный вклад в работу. Авторы в равной степени принимали участие в написании рукописи и несут равную ответственность за плагиат. Авторы объявили об отсутствии конфликта интересов.

В заключение можно сказать, что использование в качестве критерия оценки коров симментальской породы селекционного индекса дает возможность отбирать животных как с оптимальным соотношением признаков пожизненной молочной продуктивности и долголетия, так и предпочтительных с экономической точки зрения, что позволит прогнозировать значимый прирост по комплексу признаков, а также исключить заведомо убыточные селекционные критерии.

Выводы/Conclusion

Таким образом, животные с лучшими значениями селекционного индекса показали наиболее выгодные генетические оценки в комплексе по результатам пожизненной продуктивности: удой — +1907,92 кг; количество жира — +60,54 кг; количество белка — +67,25 кг; количество продуктивных дней — +0,98, а также экономические показатели — от +86,3 до 56 613,9 руб/гол. Благодаря рассчитанным коэффициентам корреляции видно, что индексные значения достоверны и на высоком уровне взаимосвязаны как с фенотипическими показателями $r = 0,62-0,64$, так и с генетическими оценками (EBV) $r = +0,98-0,99$.

Предложенная модель расчета селекционного индекса показала свою релевантность в применении на изучаемой выборке поголовья симментальского скота. Несмотря на то что отбор по пожизненному удою в большей степени показывает положительную тенденцию, такой отбор не позволяет отобрать лучших животных по совокупности необходимых признаков. Рассчитанные данные селекционного индекса, которые включают в себя генетические оценки животных, а также экономический вклад критериев, показывает себя как удобный инструмент в селекционной работе с популяцией симментальского скота.

Проведенные исследования по разработке селекционного индекса для оценки продуктивного долголетия коров симментальской породы проводятся в России впервые и имеют поисковый характер. В дальнейшем база данных будет пополняться животными с возрастном выбытия более 3 лактаций, а селекционный индекс будет корректироваться.

All authors bear responsibility for the work and presented data. All authors made an equal contribution to the work. The authors were equally involved in writing the manuscript and bear the equal responsibility for plagiarism. The authors declare no conflict of interest.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Научные исследования выполнены в рамках темы госзадания Минобрнауки РФ, регистрационный учет № 124020200029-4 (FGGN-2024-0013), а также в рамках работы селекционного центра (ассоциации) по крупному рогатому скоту симментальской породы.

FUNDING

Scientific research was carried out within the framework of the state task of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation, registration No. 124020200029-4 (FGN-2024-0013), as well as within the framework of the work of the breeding center (association) for cattle of the Simmental breed.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- Dickerson G.E., Hazel L.N. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. *Journal of Agricultural Research*. 1944; 69(12): 459–476.
- Hazel L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 1943; 28(6): 476–490. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>
- Rendel J.M., Robertson A. Estimation of genetic gain in milk yield by selection in a closed herd of dairy cattle. *Journal of Genetics*. 1950; 50(1): 1–8. <https://doi.org/10.1007/BF02986789>
- Henderson C.R. Application of linear model in animal breeding. Guelph, Ont: University of Guelph. 1984; xxiii: 462. ISBN 0889550301
- Кузнецов В.М. Племенная оценка животных: прошлое, настоящее, будущее (обзор). *Проблемы биологии продуктивных животных*. 2012; (4): 18–57. <https://www.elibrary.ru/pvtlwb>
- Волохов И.М., Рыжова Н.Г., Щегольков Н.Ф., Пашченко О.В. Использование селекционных индексов при совершенствовании продуктивных качеств скота красно-пестрой породы. *Зоотехния*. 2020; (2): 12–14. <https://www.elibrary.ru/lqjwh>

REFERENCES

- Dickerson G.E., Hazel L.N. Effectiveness of selection on progeny performance as a supplement to earlier culling in livestock. *Journal of Agricultural Research*. 1944; 69(12): 459–476.
- Hazel L.N. The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*. 1943; 28(6): 476–490. <https://doi.org/10.1093/genetics/28.6.476>
- Rendel J.M., Robertson A. Estimation of genetic gain in milk yield by selection in a closed herd of dairy cattle. *Journal of Genetics*. 1950; 50(1): 1–8. <https://doi.org/10.1007/BF02986789>
- Henderson C.R. Application of linear model in animal breeding. Guelph, Ont: University of Guelph. 1984; xxiii: 462. ISBN 0889550301
- Kuznetsov V.M. Breeding estimation of animals: past, present, future (a review). *Problems of productive animal biology*. 2012; (4): 18–57 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/pvtlwb>
- Volokhov I.M., Ryzhova N.G., Shchegolkov N.F., Pashchenko O.V. The use of selection indices for improvement the productive qualities of red-and-white breed of the cattle. *Zootekhnika*. 2020; (2): 12–14 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/lqjwh>

7. Катков К.А. Анализ влияния хозяйственно полезных признаков на величину селекционного индекса. *Вестник аграрной науки*. 2020; (2): 51–60. <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.51>
8. Попов И.И., Шошина Ю.В., Шабанов С.А. Построение селекционных индексов и использование их в племенной работе. *Известия Санкт-Петербургского государственного аграрного университета*. 2021; 62: 159–167. <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-159-167>
9. Суслов Д.Ю., Воеводин А.В., Холев С.А., Тяпугин С.Е. Современная оценка племенной ценности крупного рогатого скота молочного направления продуктивности. *Молочное и мясное скотоводство*. 2018; (1): 9–11. <https://www.elibrary.ru/wabwbv>
10. Зубенко Э.В., Некрасов Д.К. Эффективность использования индекса экономической ценности быка-производителя (ИЭЦБ) при прогнозировании пожизненной молочной продуктивности их дочерей. *Аграрный вестник Верхневолжья*. 2015; (2): 9–13. <https://www.elibrary.ru/udcqqh>
11. Улимбашев М.Б., Тамаев Т.И., Тамаев И.Ш., Гостева Е.Р., Коник Н.В. Новый комплексный селекционный индекс в селекции сельскохозяйственных животных. *Актуальные вопросы ветеринарной биологии*. 2021; (4): 49–54. <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2021-4-49-54>
12. Кузнецов А.В., Кузнецова Н.В. Принципы и практика использования селекционного индекса. *Ветеринария, зоотехния и биотехнология*. 2021; (5): 44–56. <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202105007>
13. Некрасов Д.К., Зубенко Э.В., Бабнєев С.А., Косинцева М.А. Индексная селекция быков при смене поколений на увеличение продуктивного долголетия и пожизненного удоя дочерей. *Молочное и мясное скотоводство*. 2015; (4): 13–15. <https://www.elibrary.ru/tzkdqv>
14. Отрадных П.И., Кривошеев Д.М. Принципы отбора племенного молочного скота на основе регионального селекционного индекса. *Достижения науки и техники АПК*. 2021; 35(9): 54–59. https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_9_54
15. Игнатъева Л.П. Продуктивное долголетие коров симментальской породы российской и зарубежной селекции в зависимости от региона разведения. *Пермский аграрный вестник*. 2023; (1): 79–87. <https://www.elibrary.ru/aafksm>
16. Романова Е.А., Тулинова О.В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей. *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2021; (1): 150–155. <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-150-155>
17. Henderson C.R. Selection Index and Expected Genetic Advance. Hanson W.D., Robinson H.F. (eds.). *Statistical Genetics and Plan Breeding. Symposium and Workshop*. Washington, DC: National Academy of Sciences; National Research Council Publication. 1963; 141–163.
18. Мельникова Е.Е. и др. Селекционный индекс как экономическая составляющая основы племенной работы в молочном скотоводстве. *Экономика сельскохозяйственных и перерабатывающих предприятий*. 2018; (8): 29–33. <https://www.elibrary.ru/xvlypp>
7. Katkov K.A. Analysis of the impact of economically useful traits in selection index. *Bulletin of Agrarian Science*. 2020; (2): 51–60 (in Russian). <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2020.2.51>
8. Popov I.I., Shoshina Yu.V., Shabanov S.A. Construction of selection indices and their use in breeding work. *Izvestiya Saint-Petersburg State Agrarian University*. 2021; 62: 159–167 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2078-1318-2021-1-159-167>
9. Suslov D.Yu., Voevodin A.V., Kholev S.A., Tyapugin S.E. Modern assessment of breeding value dairy direction. *Dairy and beef cattle farming*. 2018; (1): 9–11 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/wabwbv>
10. Zubenko E.V., Nekrasov D.K. Index use efficiency of the economic value of the bull (IEVB) in the prediction of lifetime milk production of their daughters. *Agrarian journal of Upper Volga region*. 2015; (2): 9–13 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/udcqqh>
11. Ulimbashev M.B., Tamaev T.I., Tamaev I.Sh., Gosteva E.R., Konik N.V. New comprehensive breeding index in the breeding of farm animals. *Actual questions of veterinary biology*. 2021; (4): 49–54 (in Russian). <https://doi.org/10.24412/2074-5036-2021-4-49-54>
12. Kuznetsov A.V., Kuznetsova N.V. Principles and practice of using the selection index. *Veterinary, Zootechnics and Biotechnology*. 2021; (5): 44–56 (in Russian). <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202105007>
13. Nekrasov D.K., Zubenko E.V., Babnєev S.A., Kosintseva M.A. Index breeding bulls in the change of generations on the expansion of productive longevity and lifetime milk yield of daughters. *Dairy and beef cattle farming*. 2015; (4): 13–15 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/tzkdqv>
14. Otradnov P.I., Krivosheev D.M. Principles of pedigree dairy cattle selection based on the regional selection index. *Achievements of science and technology in agribusiness*. 2021; 35(9): 54–59 (in Russian). https://doi.org/10.53859/02352451_2021_35_9_54
15. Ignatieva L.P. Productive longevity of Simmental breed cows of Russian and foreign selection depending on the region of breeding. *Perm Agrarian Journal*. 2023; (1): 79–87 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/aafksm>
16. Romanova E.A., Tulinova O.V. Breeding index modeling for Airshire dairy cattle with application of exterior parameters. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; (1): 150–155 (in Russian). <https://doi.org/10.18286/1816-4501-2021-1-150-155>
17. Henderson C.R. Selection Index and Expected Genetic Advance. Hanson W.D., Robinson H.F. (eds.). *Statistical Genetics and Plan Breeding. Symposium and Workshop*. Washington, DC: National Academy of Sciences; National Research Council Publication. 1963; 141–163.
18. Melnikova E.E. et al. Breeding index as an economic component of the basis of breeding work in dairy cattle breeding. *Economy of agricultural and processing enterprises*. 2018; (8): 29–33 (in Russian). <https://www.elibrary.ru/xvlypp>

ОБ АВТОРАХ

Лариса Павловна Игнатъева

кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных
ignatieva-lp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

Анна Александровна Янглева

ведущий зоотехник отдела популяционной генетики и генетических основ разведения животных
4941232@mail.ru

Федеральный исследовательский центр животноводства — ВИЖ им. академика Л.К. Эрнста, пос. Дубровицы, 60, г. о. Подольск, Московская обл., 142132, Россия

ABOUT THE AUTHORS

Larisa Pavlovna Ignatieva

Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher at the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding
ignatieva-lp@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2625-6912>

Anna Alexandrovna Yanglyaeva

Leading Zootechnician of the Department of Population Genetics and Genetic Foundations of Animal Breeding
4941232@mail.ru

L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry, 60 Dubrovitsy village, Podolsk, Moscow region, 142132, Russia