

Сәкен Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің Ғылым жаршысы: пәнаралық = Вестник науки Казахского агротехнического исследовательского университета имени Сакена Сейфуллина: междисциплинарный. – Астана: С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, 2025. - № 2 (125). - Р. 197-208. - ISSN 2710-3757, ISSN 2079-939X

doi.org/ 10.51452/kazatu.2025.2(125).1959

УДК 636.03

Обзорная статья

## Проблемы введения экономических индексов оценки КРС в Казахстане

Наурызбаев М.К. , Карымсаков Т.Н. , Муратов, А.А. , Бабаев Р.А. 

Казахский научно-исследовательский институт животноводства и кормопроизводства,  
Алматы, Казахстан

**Автор-корреспондент:** Наурызбаев М.К.: itismurat@yandex.ru

**Соавторы:** (2: ТК) kartalgat@mail.ru; (3: А.М) adilmuratov97@gmail.com;  
(4: РА) kandidatru@mail.ru

**Получено:** 21-04-2025 **Принято:** 25-06-2025 **Опубликовано:** 30-06-2025

### Аннотация

Экономические индексы являются производными величинами от первичных селекционных индексов и признаков, а также от достаточно широкого набора характеристик животных и окружающей среды. Если селекционные индексы, определенные на основе оценок BLUP в Казахстане достаточно хорошо известны, то внедрение экономических индексов сразу сталкивается с рядом проблем, главная из которых заключается в недостаточной для формирования экономического индекса полноте характеристик животных, содержащихся в информационной системе ИАС, что подробно рассмотрено в данной работе. Работа также затрагивает другой аспект проблемы, связанный с отсутствием единого понимания терминологии, а также наличием существенного разрыва в понимании смысла индексных оценок специалистами и пользователями. На уровне фермеров индексные оценки часто воспринимаются как прямой прогноз продуктивности или, в случае экономических индексов, как прямая оценка потенциальной прибыли. Это создаёт трудности при восприятии действующих индексов с подтверждённой историей эффективности, которые представляются потребителям совсем неочевидными. Но большая часть индексов происходит от первичных индексов BLUP, смысл которых лежит даже не в биологии, а в фундаментальных свойствах случайных чисел, которые нужно просто принять. По этой причине в работе сделано небольшое погружение в основы теории построения селекционных индексов на базе математического аппарата BLUP. Наконец в работе приведён пример построения экономического индекса для КРС мясного направления, который интересен тем, что он построен на имеющихся в базе ИАС характеристиках животных и хозяйств в условиях дефицита необходимых данных, требуемых для полноценного экономического прогноза.

**Ключевые слова:** BLUP; КРС; порода; ИАС; индексные оценки; экономический индекс.

### Введение

Индексные оценки сельскохозяйственных животных в Казахстане получают все более широкое распространение, о чем, в частности, свидетельствуют публикации отечественных авторов и опыт работы ряда крупных компаний и фермерских хозяйств. Исходя из этой информации можно видеть, что процесс внедрения индексных оценок происходит по нескольким сценариям, первый из которых состоит в том, что компания или хозяйство осуществляет локальный трансферт некоторой технологии, вместе с которой оно получает программное обеспечение для расчёта индексов, что иллюстрирует пример, описанный в [1, 2]. Второй путь состоит в передаче расчетов третьей стороне, здесь на выполнение расчетов иностранными партнёрами указывает просмотр полученных результатов, имеющих признаки выполнения расчёта в дальнем зарубежье. Наконец

существует путь системной индексации отечественных поголовий, включающий в себя все этапы построения индексов оценки.

Возникает вопрос о том, как соотносятся между собой оценки, полученные в перечисленных выше подходах. Локальный трансферт технологии, обычно ориентирован на использование локальных баз данных, то есть базы данных животных, находящихся в ведении компании. С другой стороны, в [1] описывается использование системы фирмы *Vytelle GrowSafe Systems* и в отношении оценок остаточного потребления корма (ОПК) говорится: «В настоящее время база данных *Vytelle GrowSafe Systems* имеет данные по 140 000 головам животных 24 пород и свыше 32 000 фенотипов ОПК», что явно не является ни локальной базой хозяйства, ни национальной базой РК и остается предполагать, что оценки здесь ведутся по внешней базе данных. Следующее предложение, по-видимому, уточняет ситуацию: «Данные казахстанских хозяйств, которые становятся частью системы *GrowSafe* и предоставляют данные по родословным за три поколения на каждое испытанное животное, что позволит системе получить исходные данные для сравнительной оценки при улучшении своего стада». Неудачная формулировка несколько затрудняет понимание, но на наш взгляд здесь имеется в виду расширение исходной базы *GrowSafe* путём включения в неё данных, полученных в наблюдениях за собственными животными хозяйства. В этом случае этот шаг для хозяйства представляется совершенно логичным, вытекающим из сложившихся правил построения индексов с животными, ранее оценёнными в исходной популяции.

Подобную отсылку к исходной популяции, где животные были первоначально оценены, можно встретить на сайте палаты породы «Ангус» [3], где подробно описана процедура передачи номера казахстанского животного в исходную базу данных для получения информации о его оценках. Эта ситуация совершенно не критична для системного подхода, основанного на национальных базах данных в случае, когда хозяйства будут также интегрировать свои данные в систему ИАС.

Проблема состоит в том, что обилие индексов оценки и способов их построения затрудняют их восприятие не только технологами на производстве, но и порождают разное понимание в научной среде. Это обстоятельство побуждает начать разговор об общей понятийной платформе, связанной с индексными оценками, а также о связи оценок, полученных в разных системах. С этой целью представляется полезным сделать обзор всех теоретических стадий построения индексных оценок, при этом уточняя определения на каждом шаге.

Теоретические основы индексных оценок

Пусть имеется некоторая популяция животных. Можно утверждать, что понятие генетической ценности и ее величина для животных популяции изначально не определены и, следовательно просто не существуют. Смысл сказанного будет понятен из следующего примера. Есть точка в пространстве и ее можно характеризовать координатой и временем наблюдения. Координата и время – это фундаментальные свойства пространства-времени, заданные изначально, тогда как понятие скорости точки изначально не существует. Только когда точка приходит в движение, она приобретает вектор скорости, причём изначально понятие скорости основано на восприятии быстрого или медленного движения, а величина скорости исторически появилась намного позже и точно выражается через отношение пройденного пути к затраченному времени. Итак, скорость точки не является изначальным свойством пространства, а является производной величиной от координаты и времени.

Чтобы в характеристиках популяции появилось понятие генетической ценности нужно, чтобы появился вектор селекционного тренда, направленный на развитие полезного признака, например живой массы на 365 дней. Тогда появится производное понятие генетической ценности в смысле констатации наблюдения: больший или меньший привес имеют потомки определенных родителей, но количественная величина генетической ценности все ещё не будет определена. В модели сдвигающейся точкой величина скорости находится прямым вычислением по известным координатам и отрезкам времени, при этом точность расчёта можно неограниченно повышать путём проведения более точных измерений координат и времени. В эволюционирующих биологических системах такой путь невозможен, ввиду отсутствия явной функции связывающей базовый носитель наследственности – ДНК с наблюдаемым фенотипом. Как известно, здесь

вместо прямого вычисления величин определяются их оценки, для чего вводится *смешанная модель*:

$$y = \beta + \omega + \varepsilon, \quad (1)$$

где:  $y$  – наблюдаемый признак,  $\beta$  – эффект влияния условий, в которых выращивается животное,  $\omega$  – эффект влияния наследственности,  $\varepsilon$  – все случайные возмущения, не учитываемые предыдущими факторами. На условия выращивания можно влиять или, как минимум их точно описать, по этой причине параметр  $\beta$  относится к фиксированным эффектам.

Существенное отличие смешанной модели (1) от модели двигающейся точки заключается в том, что в уравнение (1) входят значения факторов, соответствующие уровням эффектов, например, для фиксированного эффекта все животные, выращенные в одних и тех же условиях будут иметь одно и тоже значение  $\beta$ , а потомки одного родителя будут иметь одно и тоже значение  $\omega$ . Наличие уровней у фиксированного и случайных эффектов позволяют записать смешанную модель (1) в форме *спецификации смешанной модели* [4]:

$$y = X\beta + Z\omega + \varepsilon, \quad (2)$$

где  $X$  и  $Z$  матрицы плана, описывающие заселенность уровней.

Величина переданной наследственной информации  $\omega$ , влияющей на признак является результатом случайных комбинаций генов на молекулярном уровне, что по идее должно было создать непреодолимые трудности при использовании смешанной модели. Для обхода этих трудностей теоретики метода использовали центральную предельную теорему (ЦПТ), которая утверждает, что аддитивный эффект множества случайных процессов сходится к нормальному распределению Гаусса и это является фундаментальным законом природы. Используя только этот факт, из спецификации (2) можно вывести классическое уравнение Хендерсона, определяющее индексы BLUP [5, 6]. Условие максимума плотности многомерного распределения Гаусса приводит к уравнению Хендерсона:

$$\begin{vmatrix} X'X & X'Z \\ Z'X & Z'Z + \lambda G^{-1} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} \beta \\ \omega \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} X'Y \\ Z'Y \end{vmatrix} \quad (3)$$

Приведённое рассмотрение показывает, что генетическая ценность животного в смешанной модели существует не в биологии, а только в пространстве решений уравнения Хендерсона и является *математической оценкой* способности передачи наследственных качеств по выбранному признаку, которая *никак не равна прогнозу привеса* потомка животного. Смысл численного значения оценённого параметра генетической ценности  $\omega$  в том, что это число показывает место его передаточной способности в группе животных, для которой была выполнена оценка. Проще говоря, генетическая ценность в BLUP или EBV – это ранг животного по способности передавать свои качества потомкам в пределах своей популяции.

Основным элементом уравнения Хендерсона является матрица родства  $G$ , которая в уравнении используется в виде  $G^{-1}$ . Смысл элементов матрицы  $G$  заключается в следующем. Пусть пара родителей дала потомка, получившего от отца генетическую ценность  $\omega$ . Но это значение есть результат случайной комбинации генов при кроссинговере. Другими словами, переданное значение  $\omega$  является случайной выборкой из множества всех возможных реализаций генетической ценности. Множество всех возможных реализаций генетической ценности, передаваемой потомку, в статистике называется статистическим ансамблем. С каждым животным связан один статистический ансамбль. Недиagonalный элемент матрицы  $G_{ij}$ , стоящий на пересечении  $i$ -го столбца и  $j$ -й строки выражает статистическую степень совпадения (ковариацию) ансамблей, соответствующих  $i$ -му и  $j$ -му животным. Диагональные элементы  $G_{ii}$  определяют дисперсию генетической ценности  $i$ -го животного, которая характеризует разброс возможных значений генетической ценности, передаваемой потомкам. Ясно, что чем больше данная дисперсия, тем хуже для селекции.

Приведённое отступление в теорию BLUP понадобилось для того, чтобы ввести однозначность в определениях: *mixed model* (MM), *animal model* (AM), *sir model* (SM). Теперь

можно сказать, что смешанная модель (ММ) – это уравнение (1) или его спецификация (2), в которой учитываются фиксированные и случайные эффекты влияния на признак. Если в модели ММ потребовать минимума квадрата ошибки  $\epsilon$ , то результатом будут уравнения метода наименьших квадратов в форме Айткена. Если потребовать максимума плотности многомерного нормального распределения Гаусса, то в итоге это приведёт к уравнениям BLUP Хендерсона. В первом случае оценки могут называться оценками BLP, во втором чаще используется название EBV. В случае уравнения Айткена или BLUP с матрицей  $G$  представленной в виде единичной диагональной матрицы (когда интерес представляет нахождение параметра  $\lambda$  в уравнении (3) мы будем называть решение соответствующего уравнения как решение для *смешанной модели*. Если используется уравнение (3) с расчётом элементов матрицы  $G$ , то в этом случае используется название *модель животного* или *animal model* (AM). Уравнение (3) приведено для одного случайного фактора, которым по умолчанию считается отец (*sir*). В принципе, в спецификации (2) можно включать также и фактор матери (*dam*). Но вне зависимости от того, какие случайные факторы входят в состав уравнения (3), если в нем учитываются элементы матрицы родства  $G$  – это будет классифицироваться как *animal model*. Эту точку зрения разделяют в [7, 8, 9, 10].

Наконец к *animal model* следует отнести случаи приближенного решения BLUP, использующих следующее обстоятельство. Для реальных поголовий недиагональные элементы встречаются достаточно редко (матрица сильно разрежена), во-вторых, значения недиагональных элементов реальных поголовий, как правило, имеют второй порядок малости по сравнению с диагональными. Приближение заключается в том, что учитываются только диагональные элементы. Основанием для этого служит то, что погрешность приближения в этих случаях часто оказывается меньше погрешности от разброса исходных данных.

Из приведённых соображений вытекает, что *sir model* (SM) – это *animal model*, содержащая только фактор отца. Модели SM наиболее употребительны в промышленном разведении КРС, поскольку использование искусственного осеменения привело к тому, что в казахстанских базах данных есть быки, имеющие до 40 000 (!) потомков, что однозначно поднимает статистический вес SM над другими вариантами, использующих также вклад матери (DM).

С методологической точки зрения учёт матерей в модели животного приводит к вычислительной катастрофе. Например, при расчёте поголовья КРС мясного направления белоголовой породы, состоящего из ~700 000 животных, в *sir model* оказалось ~18 000 хозяйств (фиксированных эффектов) и ~20 000 быков. Это приводит к уравнению размерностью  $38000 \times 38000 \times 8 = 11,5$  Гб. Умножение на 8 учитывает то, что числа в матрице хранятся в формате числа с плавающей запятой двойной точности. С учётом обязательного инвертирования матрицы объём оперативной памяти, необходимой для получения решения в этом случае оценивается в примерно 25 Гб. Если в модель включить матерей, которых в данной популяции ~300 000, то требуемый объём оперативной памяти составит около 820 Гб, что является неподъёмной величиной для подавляющего большинства серийных компьютеров. Тем не менее, при расчёте описанного поголовья КРС на молочность, учёт матерей необходим и тогда указанный объём данных удалось обработать на компьютере с ОЗУ в 128 Гб только за счёт специальных математических приёмов.

#### *Первичные и производные индексы оценки животных*

В настоящее время в животноводстве используется достаточно большое множество различных индексов. С их неполным перечнем можно ознакомиться в [11, 12, 13]. Приведённое выше описание построения индексов BLUP позволит разделить индексы на первичные и производные. Первичными можно считать индексы, получающиеся в результате логической последовательности (рисунок 1), где вначале определяется интересующий признак, затем выбирается статистическая модель, строится спецификация модели и находится соответствующий индекс.

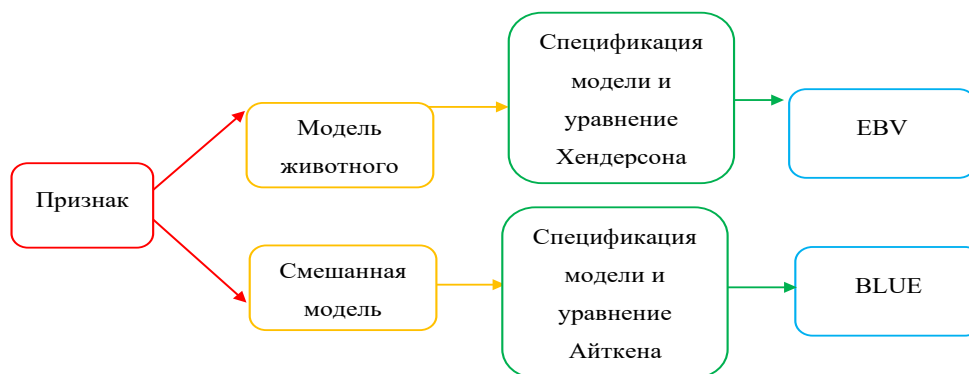


Рисунок 1 – Методологическая схема построения индекса оценки племенной ценности

Легко понять, что каждому интересующему признаку можно сопоставить соответствующий индекс и таким образом получить набор индексов, например: EBV (привес), EBV (фертильность) и т.д. Подобный расчёт первичных индексов производится крупными компаниями и передаётся вторичным пользователям в виде индексов EPD также соотнесёнными с признаками. На первичном уровне компании большинство EPD и EBV эквивалентны, но в дальнейшем первичный EPD может образовывать производные EPD. Поэтому вторичный пользователь получает EPD и инструкцию по пересчёту индексов в своём поголовье так, что он избавляется от необходимости прибегать к расчёту BLUP и построению комплексных (производных) индексов. Например, прилагается формула прогноза продуктивности потомка [13]:

$$EPD = \frac{1}{2}EPD_{sir} + \frac{1}{2}EPD_{dam}.$$

Можно видеть, что чем дальше пользователь отстоит от первичной компании, тем больше ошибка прогноза и при наличии возможности желательно пересчитывать BLUP оценки по собственному поголовью. Большинство пользователей удалены от первичной компании на один шаг и в этом случае, результат применения эмпирических формул достаточно удовлетворителен, что использовано в [1, 2, 3]. Рассмотрим несколько часто встречающихся индексов в контексте нашей классификации первичных и производных индексов [11].

Прямой показатель лёгкости отела (CED) EPD – средняя разница в лёгкости, с которой телята будут рождаться у быка, когда он спаривается с первотёлками. Этот показатель не связан с BLUP и скорее может быть отнесён к первичным признакам.

EPD веса туши – выраженный в фунтах, этот EPD предсказывает разницу в среднем весе горячей туши у потомства. Этот EPD рассчитывается с использованием EPD веса при рождении, веса при отъёме и веса в годовалом возрасте, а также любых доступных данных о туше. Это показателем является примером, когда EPD является уже производным показателем, в данном случае от BLUP.

Первичные EPD используются для сравнения прогнозируемой производительности потомства между двумя быками (или самками) в пределах породы, независимо от возраста или местоположения стада. EPD выражаются в фактических единицах измерения для данного признака. Жир/Спинной жир EPD – выражается в дюймах и является предиктором различий в толщине шпика на 12-м ребре (измеренной между 12-м и 13-м ребрами) потомства быка по сравнению с потомством других быков. Чем выше EPD, тем больше шпика ожидается у телят быка. Здесь, как можно видеть, EPD эквивалентен оценке BLUP.

В качестве примера вторичных EPD можно привести:

- EPD стельности телок (HPG) – процентная вероятность способности дочерей быка зачать и отелиться в двухлетнем возрасте. Так же, как и EPD выживаемости, EPD стельности телок выражаются в процентной разнице. Например, EPD стельности двух телок, 5 и 10, различаются на 5%. Дочери быка с EPD 10 на 5% более склонны к зачатию, чем дочери другого быка.

- Промежуточные EPD – обозначенные как RE+, рассчитываются с использованием национальных EPD отца и матери теленка, а также собственных данных о производительности теленка.

- EPD мраморности – прогноз производительности будущего потомства для оценки мраморности туши. Этот EPD включает в себя как данные УЗИ, так и данные туши. Чем выше EPD, тем больше внутримышечного жира ожидается в ребрышке телят отца.

#### *Экономические индексы*

Можно классифицировать индексы, выражающие экономическую значимость животного (ERT) по способу их формирования. Прямая экономическая оценка в общем случае представляет собой баланс прибыли и затрат. В приложении к животноводству важно оценить затраты, а не прибыль, поскольку возможная прибыль сильно зависит от конъюнктуры рынка, сезонных условий, если речь идет о пастбищных животных – факторы, которые будут сказываться на протяжении длительного времени уже после того, как будет рассчитан экономический прогноз. По этой причине затратная часть является достаточно предсказуемой частью оценки экономики выращивания животного, а доходную часть правильнее будет выражать через оценку продуктивного выхода без его монетизации.

Одним из известных индексов прямой экономической оценки является индекс LPI (*Lifetime Profit Index*) или индекс пожизненной прибыли [14, 15]. Данный индекс включает признаки: продуктивность (*Production*), продолжительность хозяйственного использования (*Durability*) и здоровье (*Health*) животных. Величина каждого признака определяется его значимостью (*Emphasis*) и породными особенностями. Формальная конструкция индекса выглядит следующим образом:

$LPI = \text{Продуктивность} + \text{Экстерьер, влияющий на долголетие.}$

В Канаде этот индекс используется в виде [12, 14]:

$$LPI = 8 \cdot (6 \cdot CEBV + 4 \cdot TYPE),$$

где: – *CEBV*-комплексный *EBV*, построенный на первичных *BLUP EBV* по выходу молока и жира, *TYPE* – комплексный индекс, построенный на экстерьерных признаках, влияющих на продолжительность жизни.

В [16] утверждается, что «экономические индексы на основе генетического прироста для *LPI*, достигнутого в последние годы в каждой породе, корреляции признаков с *LPI* были переведены в оценки генетического отклика в течение следующих пяти лет, которые можно ожидать на основе признака за признаком, когда производители применяют среднюю интенсивность отбора для *LPI* для достижения своих целей разведения. Более высокая интенсивность отбора по *LPI* приведет к большему генетическому отклику».

Помимо прямой экономической оценки используются косвенные показатели, которые можно описать следующим образом. Пусть животное обладает двумя и более признаками, которые биологически не вытекают один из другого, но каждый в отдельности имеет экономическую ценность. Например, живой вес и легкость отела или живой вес и мраморность мяса. Если оба показателя одновременно входят в число лучших по поголовью, то данное животное следует отнести к кандидатам не включение в разряд племенных. В случае, когда показатели не равнозначны можно использовать индекс, который определит баланс между признаками, выражающий экономический потенциал животного.

Например, формальная конструкция индекса NM\$ (Net Merit), рассчитываемого Советом по селекции молочных пород КРС США (CDCB) выглядит так [13]:

$$NM\$ = 49\% \cdot \text{Признак} + 48\% \cdot \text{Признаки здоровья} + 3\% \cdot \text{Признаки экстерьера.}$$

Родственный ему индекс TPI имеет сходную конструкцию:

$$TPI = 38\% \cdot \text{Продуктивный признак} + 36\% \cdot \text{Признаки здоровья} + 25\% \cdot \text{Экстерьер.}$$

Процентные доли признаков в индексе пересчитываются согласно [13], один раз в пять лет. Можно видеть, что расчет экономических индексов требует наличие достаточно полного набора

характеристик животного. При наличии достаточного набора данных, экономический индекс рассчитывается как комплексный, обычно согласно методике, разработанной ещё Лашем и Хейзелом, с которой можно ознакомиться по работе Хендерсона [17], а также в оригинальной статье (L.N. Hazel, 1943) [18]. Суть метода, который используется до сих пор можно изложить, следуя Хендерсону [17].

Пусть вектор признаков  $y$  имеет совместное распределение с некоторым ненаблюдаемым случайным вектором  $w$ . Из данного распределения берется выборка  $[y', w']$  и ставится задача предсказания значения  $i$ -го элемента  $w$  из  $y$ . Оценка индекса выбора:

$$w_i = \alpha_i + b_i' (y - \theta), \quad (4)$$

где:  $\alpha_i$  - среднее  $w_i$ ,  $\theta$  - вектор средних  $y$  и  $b_i'$  - вектор весов, полученный из решения:

$$Vb_i = c_i \quad (5)$$

где:  $V$  – вариационно-ковариационная матрица  $y$ ,  $c_i$  –  $i$ -й столбец матрицы ковариаций между  $y$  и  $w$ . Этим способом можно построить, например, комплексный индекс КРС, учитывающий удой, содержание жира и белка. Следует заметить, что формулу (5) можно получить из уравнения (4) через требование максимума плотности совместного распределения  $y$  и  $w$ . Однако, для мясного КРС, использующего отечественные данные из системы ИАС, этот метод не подходит ввиду недостаточного числа дополнительных признаков. В этом случае можно поступать так как описано ниже.

#### *Экономический индекс мясного КРС*

Рассмотрим задачу, в которой требуется определить статус быка – использовать его как продуктивное или как племенное животное. Построим соответствующий индекс, который, очевидно относится к категории экономических индексов. Формальная конструкция этого индекса выглядит так:

$$C = \text{фактический живой вес} + \text{племенная ценность, переданная отцом}.$$

Данная конструкция индекса однозначно определяет быков с наибольшим значением этого индекса как племенных, поскольку у них высокая переданная племенная ценность подтверждена фактическим живым весом. У нас есть данные ИАС по 117 618 животным ауеликольской породы, прошедшим проверку на корректность исходных данных (даты, номера животных, отсутствие родственных петель в генеалогии и т.п.). Пусть племенная ценность, полученная от отца  $i$ -м животным будет  $\omega_i$ , а живой вес  $y_i$ . Племенная ценность получена предшествующим расчётом в BLUP. Нормализуем используемые величины, для чего определим максимальные и минимальные значения параметров:

$$\omega_{\max} = \max(\omega); \quad \omega_{\min} = \min(\omega); \quad y_{\max} = \max(y);$$

Положим:

$$d\omega = \omega_{\max} - \omega_{\min}; \quad dy = y_{\max} - y_{\min}.$$

Тогда нормализованными величинами будут:

$$\tilde{\omega}_i = \frac{\omega_i - \omega_{\min}}{d\omega}; \quad \tilde{y}_i = \frac{y_i - y_{\min}}{dy}.$$

Соответственно конструкцию индекса можно будет записать:

$$C_i = 100 \cdot \{\tilde{\omega}_i + \tilde{y}_i\} = 100 \cdot \left( \frac{\omega_i - \omega_{\min}}{d\omega} + \frac{y_i - y_{\min}}{dy} \right) \quad (6)$$

Коэффициент 100 в (4) выбран для лучшего масштабирования результата. Подставляя в (4) данные расчёта BLUP, получим расчётные значения индекса (таблица 1).

Таблица 1 – Индексы лучших, средних и худших животных

| Ранг по убыванию: 1-27 |         | Ранг по убыванию: 50001-50027 |             | Ранг по убыванию: 117591-117618 |         |
|------------------------|---------|-------------------------------|-------------|---------------------------------|---------|
| animal ID              | C index | animal ID                     | C index     | animal ID                       | C index |
| 14452090               | 191,20  | 5099936                       | 72,34       | 819828                          | 10,03   |
| 14452113               | 188,97  | 11163912                      | 72,33873248 | 12745840                        | 9,92    |
| 14446442               | 181,54  | 11163836                      | 72,33873248 | 12745716                        | 9,92    |
| 14446424               | 180,10  | 34215                         | 72,33813914 | 12741555                        | 9,92    |
| 14446020               | 179,38  | 5518279                       | 72,3375272  | 12745832                        | 9,74    |
| 14446415               | 177,83  | 7616623                       | 72,3373875  | 12745602                        | 9,74    |
| 14452702               | 177,01  | 7616622                       | 72,3373875  | 12745555                        | 9,74    |
| 14445967               | 176,80  | 7577212                       | 72,3373875  | 12745537                        | 9,74    |
| 14451974               | 176,61  | 7577197                       | 72,3373875  | 12741509                        | 9,74    |
| 807309                 | 176,47  | 2170409                       | 72,33650358 | 816405                          | 9,68    |
| 807287                 | 176,16  | 2994036                       | 72,33632732 | 813466                          | 9,32    |
| 14452043               | 174,49  | 2381948                       | 72,33632732 | 821254                          | 8,96    |
| 14452293               | 174,04  | 2381461                       | 72,33632732 | 819806                          | 8,96    |
| 14452329               | 173,73  | 2377139                       | 72,33632732 | 795893                          | 8,96    |
| 14446301               | 173,25  | 30857                         | 72,33617681 | 755734                          | 8,61    |
| 14453469               | 172,24  | 266947                        | 72,33533724 | 752227                          | 8,61    |
| 14445912               | 172,08  | 5590786                       | 72,33470958 | 822767                          | 7,89    |
| 14446311               | 169,83  | 15271293                      | 72,33447426 | 6098152                         | 4,96    |
| 14446296               | 169,67  | 15271281                      | 72,33447426 | 6098137                         | 4,96    |
| 14452646               | 169,16  | 15271278                      | 72,33447426 | 5747571                         | 4,96    |
| 14445915               | 168,64  | 15271230                      | 72,33447426 | 5746437                         | 4,96    |
| 14445876               | 168,38  | 15271229                      | 72,33447426 | 5746413                         | 4,96    |
| 14445969               | 166,99  | 15271228                      | 72,33447426 | 5746373                         | 4,96    |
| 14452601               | 166,51  | 15271214                      | 72,33447426 | 5746052                         | 4,96    |
| 14446434               | 166,17  | 15271213                      | 72,33447426 | 5745943                         | 4,96    |
| 14446116               | 165,61  | 15271195                      | 72,33447426 | 564352                          | 4,69    |
| 14452544               | 165,52  | 15271191                      | 72,33447426 | 4219977                         | 4,64    |

В первой и второй колонках представлены животные, наиболее подходящие для племенной работы, в 5-й и 6-й – животные с худшими значениями живого веса и племенной ценности. В средней части таблицы представлены животные, чьи показатели балансируют между низким уровнем одного признака и высоким уровнем второго.

Типовое построение экономического индекса как комплексного, исходит из формального соотношения:

$$\text{Признак} = \text{вес1} \cdot \text{индекс1} + \text{вес2} \cdot \text{индекс2} + \text{ошибка}.$$

Число используемых первичных индексов в этом соотношении принципиально не ограничено. Далее к этому соотношению применяется процедура, описанная выше уравнениями (4, 5) из которой находятся веса. Ясно, что для этого необходимо располагать данными, позволяющими рассчитать первичные индексы BLUP. Подход, отраженный в формуле (6) это больше вынужденный шаг, обусловленный нехваткой данных и, конечно построение системы экономических оценок животных тесно связано с наполнением базы данных ИАС как можно большим числом характеристик.

## Заключение

Основная причина слабого распространения экономических индексов в Казахстане является ограниченный набор фенотипических признаков имеющих продуктивное значение в базах данных животных. Экономический индекс позволяет взвешивать два или более признака, каждый из которых обладает определенной ценностью, но прямая биологическая зависимость между признаками отсутствует. Например, удой коровы и легкость отела. Количество молока, полученное от коровы, не зависит от выживаемости потомства, но оба эти качества ведут к увеличению общего продукта, даваемого поголовьем. В этом случае экономический индекс, рассчитанный на основе BLUP, существенно облегчит оценку животного в сравнении с другими животными поголовья, что важно для селекции.

Вместе с тем, выше показано как можно использовать уже имеющиеся в базе ИАС данные для того, чтобы предложить модель экономического индекса, описанного и опробованного в предыдущем разделе. Эта модель не встречается в литературе и, возможно, окажется полезной для анализа отечественных поголовий по данным информационно-аналитической системы ИАС.

## Вклад авторов

Все авторы участвовали в проведении исследований. МН, ТК, АМ и РБ: формулировали результаты, осуществили литературный обзор, провели анализ данных, подготовили статью, а также осуществили корректировку и провели вычитку. Все авторы прочитали, просмотрели и одобрили окончательную версию рукописи.

## Информация о финансировании

Данное исследование финансируется Министерством сельского хозяйства Республики Казахстан ПЦФ BR22885686 «Разработка системы генетического совершенствования мясных пород с применением инновационных методов молекулярной генетики, селекции и цифровых технологий».

## Список литературы

1 Матакбаев, ДА, Тилепова, АК, Шауенов, СК, Бостанова, СК. (2021). Применение канадской технологии vytelle (growsafe) для определения остаточного потребления корма при выращивании бычков казахской белоголовой породы. *Вестник науки Казахского агротехнического университета им. С. Сейфуллина (междисциплинарный)*, 2(109), 15-27.

2 Тилепова, АК, Шауенов, СК, Матакбаев, ДА, Бостанова, СК. (2022). Использование канадской технологии vytelle (growsafe) для оценки роста и развития казахской белоголовой породы. *3i: intellect, idea, innovation - интеллект, идея, инновация*, 4(2022). DOI: 10.52269/22266070\_2022\_4\_193.

3 Angus. Республиканская палата Ангус Казахстан. angus.kz.

4 Магнус, ЯР, Катышев, ПК, Пересецкий, АА. (2004). *Эконометрика. Начальный курс*. Москва: Издательство «ДЕЛО», 576.

5 Henderson, CR. (1973). Sire evaluation and genetic trends. *Journal of Animal Science*, 10-41.

6 Henderson, CR. (1988). Theoretical Basis and Computational Methods for a Number of Different Animal Models. *Journal of Dairy Science*, 71:2, 1-16.

7 *Textbook Animal breeding and Genetics - HBO (EN). Best Linear Unbiased Prediction and the Animal Model*. (2024). <https://wiki.groenkennisnet.nl/space/TAB/300155156/8.10:+Best+Linear+Unbiased>

8 Guilherme, JM. (2018). *Rosa. University of Wisconsin-Madison Mixed Models in Quantitative Genetics SISG*.

9 *Animal model*. ScienceDirect. *Biochemistry, Genetics and Molecular Biology*. (2019). <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/animal-model>

10 *Animal model*. (2025). Which animal model are best? Harvard Medical school. <https://hms.harvard.edu/research/animal-research/animal-models>.

- 11 *Genetic Evaluation Definitions*. Canadian Angus Association.
- 12 Van Doormaal, B., Kistemaker, G., Miglior, F. (2001). Establishment of a Single National Selection Index for Canada. *Interbull Bulletin*, 27, 102-106.
- 13 Кассади, Д. (2010). *Руководство по унифицированным программам усовершенствования крс*. Издание Федерации Усовершенствования КРС. [www.beefimprovement.org](http://www.beefimprovement.org).
- 14 Разработка методик оценки племенной ценности крупного рогатого скота молочного и мясного направления продуктивности, свиней. (2018). Отчёт о научно-исследовательской работе, Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Всероссийский научно-исследовательский институт племенного дела.
- 15 Van Doormaal, B. (2024). *Lifetime Performance Index (LPI) Formula* <https://lactanet.ca/en/lifetime-performance-index-lpi-formula/>.
- 16 Sweett, H., Van Doormaal, B. (2025). *Lifetime Performance Index (LPI)*. <https://lactanet.ca/en/lifetime-performance-index-lpi-formula/>.
- 17 Henderson, CR. (1991). General Flexibility of Linear Model Techniques for Sire Evaluation. *Department of Animal Science*, 74, 4067-4081.
- 18 Hazel, LN. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28, 476.

## References

- 1 Matakbaev, DA, Tilepova, AK, Shaýenov, SK, Bostanova, SK. (2021). Primenenie kanadskoi tehnologii vytelle (growsafe) dlia opredeleniia ostatochnogo potrebleniia korma pri vyraivani bychkov kazahskoi belogolovoi porody. *Vestnik naýki Kazahskogo agrotehnicheskogo ýniversiteta im. S. Seifýllina (mejdistsiplinarnyi)*, 2(109), 15-27.
- 2 Tilepova, AK, Shaýenov, SK, Matakbaev, DA, Bostanova, SK. (2022). Ispolzovanie kanadskoi tehnologii vytelle (growsafe) dlia otsenki rosta i razvitiia kazahskoi belogolovoi porody. *3i: intellect, idea, innovation - intellekt, ideia, innovatsiia*, 4. DOI: 10.52269/22266070\_2022\_4\_193.
- 3 *Angus. Respýblikanskaia palata Angýs Kazahstan*. [angus.kz](http://angus.kz).
- 4 Magnýs, IaR, Katyshev, PK, Peresetskii, AA. (2004). *Ekonometrika. Nachalniý kýrs*. Moskva: Izdatelstvo «DELO», 576. <http://old.math.isu.ru/ru/chairs/me/files/books/magnus.pdf>.
- 5 Henderson, CR. (1973). Sire evaluation and genetic trends. *Journal of Animal Science*, 10-41.
- 6 Henderson, CR. (1988). Theoretical Basis and Computational Methods for a Number of Different Animal Models. *Journal of Dairy Science*, 71:2, P1-16.
- 7 Textbook Animal breeding and Genetics - HBO (EN). *Best Linear Unbiased Prediction and the Animal Model*. (2024). <https://wiki.groenkennisnet.nl/space/TAB/300155156/8.10>.
- 8 Guilherme, JMR. (2018). *Mixed Models in Quantitative Genetics*. University of Wisconsin-Madison SISG, Seattle.
- 9 *Animal model*. (2019). ScienceDirect. Biochemistry, Genetics and Molecular Biology. <https://www.sciencedirect.com/topics/biochemistry-genetics-and-molecular-biology/animal-model>
- 10 *Animal model*. (2025). Which animal model are best? Harvard Medical school. <https://hms.harvard.edu/research/animal-research/animal-models>.
- 11 *Genetic Evaluation Definitions*. Canadian Angus Association. [www.cdnangus.c](http://www.cdnangus.c).
- 12 Van Doormaal, B., Kistemaker, G., Miglior, F. (2001). Establishment of a Single National Selection Index for Canada. *Interbull Bulletin*, 27, 102-106.
- 13 Kassadi, D. (2010). *Rýkovodstvo po ýnifitsirovannym programmam ýsovershenstvovaniia krs*. *Izдание Federatsii Ýsovershenstvovaniia KRS*. [www.beefimprovement.org](http://www.beefimprovement.org).
- 14 Razrabotka metodik otsenki plemennoi tsennosti kýpnogo rogatogo skota molochnogo i miasnogo napravleniia prodýktivnosti, svinei. (2018). Otchet o naýchno-issledovatel'skoi rabote, Federalnoe gosýdarstvennoe býdjetnoe naýchnoe ýchrejenie «Vserossiiskii naýchno-issledovatel'skii institýt plemennogo dela.
- 15 Van Doormaal, B. (2024). *Lifetime Performance Index (LPI) Formula*. <https://lactanet.ca/en/lifetime-performance-index-lpi-formula/>.
- 16 Sweett, H., Van Doormaal, B. (2025). *Lifetime Performance Index (LPI)*. <https://lactanet.ca/en/lifetime-performance-index-lpi-formula/>.

- 17 Henderson, CR. (1991). General Flexibility of Linear Model Techniques for Sire Evaluation. *Department of Animal Science*, 74, 4076-4081.
- 18 Hazel, LN. (1943). The genetic basis for constructing selection indexes. *Genetics*, 28, 476.

### Қазақстанда ІҚМ бағалаудың экономикалық индекстерін енгізу мәселелері

Наурызбаев М.К., Карымсаков Т.Н., Муратов, А.А., Бабаев Р.А.

#### Түйін

Экономикалық индекстер бастапқы селекциялық индекстер мен белгілерден, сондай-ақ жануарлар мен қоршаған орта сипаттамаларының жеткілікті кең жиынтығынан алынған шамалар болып табылады. Егер Қазақстанда BLUP бағалары негізінде айқындалған селекциялық индекстер жеткілікті түрде белгілі болса, онда экономикалық индекстерді енгізу бірден бірқатар проблемаларға тап болады, олардың ең бастысы экономикалық индексті қалыптастыру үшін АТЖ ақпараттық жүйесінде қамтылған жануарлар сипаттамаларының толықтығы жеткіліксіз, бұл осы жұмыста толығырақ қарастырылған. Жұмыс сонымен қатар терминологияны біртұтас түсінбеуге, сондай-ақ мамандар мен пайдаланушылардың индекстік бағалауларының мағынасын түсінуде айтарлықтай алшақтықтың болуына байланысты мәселенің басқа аспектісін қозғайды. Фермерлер деңгейінде индекстік бағалаулар көбінесе өнімділіктің тікелей болжамы немесе экономикалық индекстер жағдайында ықтимал пайданы тікелей бағалау ретінде қабылданады. Бұл тұтынушыларға мүлдем түсініксіз болып көрінетін тиімділіктің расталған тарихы бар қолданыстағы индекстерді қабылдауда қиындықтар туғызады. Бірақ индекстердің көпшілігі бастапқы BLUP индекстерінен келеді, олардың мағынасы тіпті биологияда емес, жай ғана қабылдануы керек кездейсоқ сандардың негізгі қасиеттерінде. Осы себепті жұмыста blup математикалық аппараты негізінде селекциялық индекстерді құру теориясының негіздеріне аздап сүңгу жасалды. Соңында жұмыста ет бағытындағы ірі қара мал үшін экономикалық индексті құрудың мысалы келтірілген, ол толыққанды экономикалық болжам үшін қажетті мәліметтер тапшылығы жағдайында АТЖ базасында бар жануарлар мен шаруашылықтардың сипаттамаларына негізделгендігімен қызықты.

**Кілт сөздер:** BLUP; ірі қара; тұқым; IAS; индекстік бағалау; экономикалық индекс.

### Problems of introducing economic indices for evaluating cattle in Kazakhstan

Murat K. Nauryzbayev, Talgat N. Karymsakov, Adil A. Muratov, Rahat R. Babaev

#### Abstract

Economic indices are derived from primary selection indices and traits, as well as from a wide range of animal and environmental characteristics. While selection indices based on BLUP assessments are relatively well established in Kazakhstan, the implementation of economic indices faces several challenges. The primary issue is the insufficient completeness of animal characteristics in the IAS information system, which limits the ability to construct reliable economic indices- a problem discussed in more detail in this study. The paper also addresses another important challenge: the lack of a standardized terminology and the significant gap in understanding the meaning of index-based assessments among specialists and end-users. At the farmer level, index values are often misinterpreted as a direct forecast of productivity or, in the case of economic indices, as direct estimates of potential profit. This misunderstanding hinders the acceptance of current indices, even those with a well-documented track record of effectiveness, as they often appear non-intuitive to users. Most indices are derived from primary BLUP indices, whose foundation lies not in biology but in the statistical properties of random variables –concepts that must simply be accepted. For this reason, the paper includes a brief explanation of the theoretical foundations behind the construction of selection indices using the BLUP framework.

Finally, the paper presents an example of constructing an economic index for beef cattle. This example is notable because it is based on the limited animal and farm data available in the IAS database, under conditions where comprehensive data required for full economic forecasting are lacking.

**Keywords:** BLUP; cattle; breed; IAS; index assessments; economic index.