

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2>**ЭКОНОМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИЗНАКОВ КОРМОВОГО ПОВЕДЕНИЯ В СЕЛЕКЦИИ СВИНЕЙ**

Научная статья

**Отрадных П.И.<sup>1,\*</sup>, Рудиянов Д.М.<sup>2</sup>, Белоус А.А.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-1153-5815;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-1734-9834;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-7533-4281;<sup>1,2,3</sup> Федеральный исследовательский центр животноводства имени Л. К. Эрнста, Подольск, Российская Федерация

\* Корреспондирующий автор (deriteronard[at]gmail.com)

**Аннотация**

Произведена оценка экономической целесообразности ведения селекции свиней породы дюрок в направлении улучшения количественных показателей кормового поведения. Исследование проводилось на выборке из 784 голов генотипированных хрячков, проходивших выращивание на автоматических кормовых станциях в ООО «СГЦ ТопГен». Пробы, полученные от животных, генотипировали при помощи чипов высокой плотности Illumina Porcine GGP 70k. Оценка племенной ценности производилась в рамках методологии GBLUP по следующим признакам: среднесуточный прирост (ADG, г/сут), коэффициент конверсии корма (FCR, кг/кг), совокупное время посещения кормовой станции (TPD, мин/сут), среднесуточное потребление корма (ADFI, г/сут), среднесуточное количество посещений кормовой станции (NVD, ед.), среднее время посещения кормовой станции (TPV, мин/сут), скорость потребления корма (FR, г/мин), среднее количество потребленного корма за посещение (FPV, г/сут). Были получены корреляционные плеяды, превышающие минимальный порог, на основании чего был отобран ряд признаков, включенных в уравнение селекционного индекса (NVD, FR, FPV, ADG). Для вычисления экономических весов признаков были получены коэффициенты линейной регрессии, которые были интерпретированы, как стоимость единицы измерения каждого признака, включенного в индекс и использовались в рамках методологии построения уравнения, как экономическая поправка (23,70 руб/ед. для NVD, – 11,84 руб/[г/мин] для FR, 3,63 руб/[г/ед.] для FPV, 7,88 руб/[г/сут] для ADG). Индексные оценки интерпретировались, как прогнозируемый вклад генетической составляющей отбираемых животных в доходность их потомства. Наибольшее значение индексной оценки характеризовало группы животных, отобранные на основании индексной оценки и ADG (+33,44%), FCR (+33,10%) и метода независимых уровней (+23,30%). Среди признаков кормового поведения самые высокие значения индексной оценки демонстрировали группы, отобранные на основании оценок TPV (+11,27%) и NVD (+7,03%). Таким образом, в условиях достижения селекционного плато (критического сокращения фенотипического и генетического разнообразия) по конвенционально принятым в свиноводстве признакам, характеризующим откормочные качества и эффективность использования корма, применение признаков кормового поведения является экономически целесообразным и перспективным для ведения селекционной работы с нуклеусом популяции.

**Ключевые слова:** селекционный индекс, BLUP, корреляции, кормовое поведение, откормочные показатели, порода дюрок.

**ECONOMIC ASPECTS OF USING TRAITS OF FEEDING BEHAVIOUR IN PIG BREEDING**

Research article

**Otradnov P.I.<sup>1,\*</sup>, Rudiyanov D.M.<sup>2</sup>, Belous A.A.<sup>3</sup>**<sup>1</sup> ORCID : 0000-0002-1153-5815;<sup>2</sup> ORCID : 0000-0003-1734-9834;<sup>3</sup> ORCID : 0000-0001-7533-4281;<sup>1,2,3</sup> Federal Research Center for Animal Husbandry named after Academy Member L.K. Ernst, Podolsk, Russian Federation

\* Corresponding author (deriteronard[at]gmail.com)

**Abstract**

The economic feasibility of breeding pigs of the duroc breed in the direction of improving quantitative indicators of feeding behaviour has been evaluated. The study was carried out on a sample of 784 heads of genotyped boars raised at automatic feeding stations in "SGC TopGen" Ltd. Samples obtained from animals were genotyped using Illumina Porcine GGP 70k high density chips. Breeding value was assessed using GBLUP methodology according to the following traits: average daily gain (ADG, g/day), feed conversion ratio (FCR, kg/kg), total time to feed station (TPD, min/day), average daily feed intake (ADFI, g/day), average daily number of feed station visits (NVD, units), average time to feed station (TPV, min/day), feed intake rate (FR, g/min), average feed intake per visit (FPV, g/day), mean time to visit the feeding station (TPV, min/day), feed consumption rate (FR, g/min), and mean feed consumed per visit (FPV, g/day). Correlation series exceeding the minimum threshold were obtained, based on which a number of traits were selected to be included in the breeding index equation (NVD, FR, FPV, ADG). To calculate the economic weights of the traits, linear regression coefficients were obtained, which were interpreted as the unit cost of each trait included in the index and used within the equation construction methodology as an economic adjustment (23.70 rub/unit for NVD, – 11.84 rub/[g/min] for FR, 3.63 rub/[g/unit] for FPV, 7.88 rub/[g/d] for ADG).

Index scores were interpreted as the predicted contribution of the genetic component of selected animals to the profitability of their progeny. The highest value of index score characterized the groups of animals selected on the basis of index score and ADG (+33.44%), FCR (+33.10%) and independent levels method (+23.30%). Among the traits of foraging behaviour, the highest values of index score were demonstrated by groups selected on the basis of TPV (+11.27%) and NVD (+7.03%) scores. Thus, in conditions of reaching a selection plateau (critical reduction of phenotypic and genetic diversity) for conventionally accepted in pig breeding traits characterizing fattening qualities and feed efficiency, the use of feeding behaviour traits is economically feasible and promising for breeding work with nucleus populations.

**Keywords:** selection index, BLUP, correlations, feeding behaviour, fattening performance, duroc breed.

## Введение

Повышение эффективности использования корма является одной из важнейших задач в свиноводстве, поскольку на закупку кормов приходится значительная часть производственных затрат. Генетический отбор по показателям, с учетом экономической составляющей, эффективности использования корма является одной из стратегий, которая может применяться для снижения затрат на потребление корма [1]. Простой отбор на более низкое потребление корма проблематичен из-за сильной генетической связи между ним и продуктивными характеристиками, носящей негативный характер [2]. В связи с этим, после оценки поголовья с применением методологии геномного BLUP, лучшим решением будет вывести единый показатель, учитывающий вклад каждого признака в доход, получаемый от животного, используя методологию построения уравнения селекционного индекса. Селекционный индекс – это показатель, который используется при отборе животных для разведения [3]. Он позволяет оценить генетическую ценность животного по совокупности ряда признаков, зачастую имеющих контрастную направленность в селекции. Методологически, селекционный индекс представляет собой уравнение вида:

$$I_i = b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_n \times X_n \cdot$$

где  $b_1 \dots b_n$  – весовые коэффициенты признаков с 1 по n, включенных в уравнение индекса;

$X_1 \dots X_n$  – оценки племенной ценности i-го животного по соответствующим признакам.

Таким образом, уравнение представляет собой инструмент оптимизации процедуры отбора животных. Оно позволяет найти особей с наиболее оптимальным соотношением показателей племенной ценности [4], [5].

В отрасли свиноводства основными количественными показателями откормочной продуктивности традиционно считаются среднесуточный прирост и конверсия корма. На основании ранее проведенных в ООО «Селекционно-гибридный центр ТопГен» научных исследований был внедрен, в качестве экспериментального, учёт количественных признаков кормового поведения, позволяющих судить об использовании энергии корма и его усвояемости [6], [7]. В проведенных исследованиях оценивались параметры взаимосвязи признаков кормового поведения и показателей продуктивности, в результате чего на генетическом уровне были обнаружены положительные взаимосвязи между показателем конверсии корма (FCR) и среднесуточным длительностью потребления корма (TPD) на уровне  $r = 0,454$ , среднесуточным числом посещений кормовой станции (NVD) –  $r = 0,14$  и временем потребления корма за подход (TPV) –  $r = 0,115$ . Отрицательные взаимосвязи были обнаружены со следующими признаками: скорость потребления корма (FR,  $r = -0,538$ ), количество потребленного за посещение станции корма (FPV,  $r = -0,462$ ). Данные значения также подтверждают ранее проведенные исследования в сравнительном аспекте коммерческих пород по данным признакам [8]. Подобные значения свидетельствуют о том, что при планировании селекционной стратегии необходимо учитывать направление генетического отбора по каждому признаку, который представляет интерес, таких как, например, коэффициент конверсии корма – показатель, отражающий отношение количества потребленного корма к приросту живой массы.

Исходя из необходимости получения наибольшей живой массы при наименьших затратах, лучшими по конверсии корма могут быть признаны особи, характеризующиеся наименьшим её значением. Таким образом, с точки зрения селекционного процесса, наилучшими животными будут считаться особи с отрицательным оценочным значением племенной ценности по коэффициенту конверсии корма. Одной из проблем современной селекции является так называемый эффект «селекционного плато», заключающийся в снижении генетического прогресса признаков продуктивности животных, несмотря на ведение селекционной работы. Это явление связано с тем, что при ведении селекции по какому-либо признаку на протяжении многих поколений, достигается своеобразный предел наследуемости этого признака, с точки зрения статистики выражающийся в сужении количественных параметров генетического разнообразия. Таким образом, дальнейший отбор по данному признаку перестает давать выраженный эффект. Одним из способов преодоления этого эффекта является введение в селекционную работу новых признаков [6], [7], [9].

Селекционная ценность признаков кормового поведения видится в более точном учёте потребляемого корма и индивидуальных особенностей животных, связанных с данными показателями. Так, положительная взаимосвязь конверсии корма и TPD свидетельствует о прямой зависимости между увеличением времени потребления корма и увеличением количества корма, потребляемого животным, на увеличение живой массы. Подобные закономерности могут указывать на связь между интенсивностью потребления корма животным, воспроизводительными и физиологическими процессами, связанными с усвоением и преобразованием питательных веществ, однако этот вопрос требует отдельного изучения.

Наконец, лучшим обоснованием ведения селекции по тем или иным признакам является экономическая целесообразность подобных мероприятий. Резюмируя вышесказанное, целью исследования являлось формирование уравнения селекционного индекса с учётом экономических весов признаков кормового поведения свиней породы дюрок для определения целесообразности ведения их селекции.

Для достижения указанной цели были поставлены следующие задачи:

1. Провести оценку племенной ценности выборки свиней породы дюрок.

2. Определить коэффициенты наследуемости и степень взаимосвязанности признаков между собой на фенотипическом и генетическом уровнях.
3. На основе экономических составляющих признаков мясной продуктивности (условная цена единицы измерения) определить экономические веса признаков кормового поведения.
4. Сформировать уравнение селекционного индекса с учётом признаков кормового поведения.
5. Смоделировать селекционные профили групп животных, отбираемых на основе различных критериев.

Новизна исследования состоит в том, что впервые в России было проведено составление уравнения селекционного индекса, в котором наряду с признаками эффективности использования корма были учтены экономические веса признаков кормового поведения у хрячков породы дюрок, проходивших выращивание на автоматических кормовых станциях.

#### Методы и принципы исследования

Материалом исследования являлись данные об откормочных характеристиках и кормовом поведении 784 хрячков, собранные на автоматических кормовых станциях ООО «Селекционно-гибридный центр ТопГен». Животные были генотипированы при помощи чипов высокой плотности Illumina Porcine GGP 70k.

В анализ включены следующие показатели:

- TPD – время нахождения на кормовой станции в сутки, мин.;
- ADFI – среднесуточное потребление корма, г.;
- NVD – количество посещений кормовой станции в сутки, ед.;
- TPV – среднее время пребывания на станции за посещение, мин/ед.;
- FR – скорость потребления корма, г/мин.;
- FPV – среднее потребление корма за одно посещение кормовой станции, г.;
- FCR – конверсия корма, кг/кг.;
- ADG – среднесуточный прирост, г.

Описательная характеристика перечисленных признаков представлена в таблице 1.

Таблица 1 - Описательные статистические параметры исследованных признаков

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2.1>

Признак	Параметр		
	Среднее±ошибка среднего	Минимум... Максимум	Коэффициент вариации, %
TPD, мин	71,07±0,34	39,81...139,91	18,09
ADFI, г	2408,36±9,23	1140,92...3951,19	14,43
NVD, ед.,	9,1±0,08	3,5...27,35	31,19
TPV, мин	9,34±0,11	2,25...25,98	44,28
FR, г/мин	35,58±0,2	16,56...74,49	21,45
FPV, г	310,92±3,58	82,28...798,94	43,30
FCR, кг/кг	2,45±0,01	1,24...4,54	16,27
ADG, г	993,41±3,37	579,17...1507,69	12,79

Наименьший коэффициент вариации характеризовал признак ADG – 12,79%. Это свидетельствует о том, что в исследуемой выборке этот признак характеризуется наибольшей однородностью. В то же время наибольший коэффициент вариации характеризовал признаки TPV и FPV – более 43%.

Оценка племенной ценности проводилась на основе методологии наилучшего линейного несмещённого прогноза с использованием данных генотипирования (GBLUP), ранее продемонстрировавшего наибольшую точность получаемых результатов [10], [11].

Для оценки племенной ценности животных была сформирована смешанная модель BLUP, учитывающая влияние следующих факторов на изменчивость признаков:

$$y = \mu + YM + DFSM + a + e \text{ ,}$$

где  $y$  – наблюдаемое значение исследуемого признака,  $\mu$  – популяционная константа (интерпретируемая, как усредненное значение признака в популяции),  $YM$  – фиксированный эффект «Год-месяц рождения животного» (фактор),  $DFSM$  – фиксированный эффект «Дата постановки-возраст в неделях-кормовая станция» (фактор),  $a$  – рандомизированный эффект животного (оценка племенной ценности),  $e$  – эффект неучтенных в модели факторов.

В общем виде модель BLUP имела следующее представление:

$$y = Xb + Zu + e \text{ ,}$$

где  $y$  – вектор наблюдаемых значений признака,  $X$  – матрица распределения выборки по уровням фиксированных эффектов,  $Z$  – матрица распределения выборки по уровням рандомизированного эффекта,  $b$  – вектор оценок фиксированных эффектов,  $u$  – вектор оценок рандомизированных эффектов,  $e$  – вектор остатков.

В матричном виде решение уравнений смешанной модели имело вид:

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

где  $G^{-1}$  – обратная матрица геномного сходства исследуемых животных,  $\lambda = \frac{\sigma_e^2}{\sigma_a^2} = \frac{1-h^2}{h^2}$  – коэффициент, определяющий отношение влияния негенетических факторов к влиянию генетических факторов,  $h^2 = \frac{\sigma_a^2}{(\sigma_a^2 + \sigma_e^2)}$  – коэффициент наследуемости.

Уравнения селекционного индекса составлялись по адаптированной методике L.N. Hazel (1943). В общем виде уравнения могут быть представлены, как:

$$I_i = b_1 \times X_1 + b_2 \times X_2 + \dots + b_n \times X_n = EBV_i B,$$

где  $I_i$  – селекционный индекс  $i$ -го животного,  $b_1 \dots b_n$  – весовые коэффициенты признаков  $X_1 \dots X_n$ , включенных в уравнение селекционного индекса;  $EBV_i$  – вектор-строка оценок племенной ценности размером  $1 \times n$  для  $i$ -го животного,  $B$  – вектор-столбец весовых коэффициентов признаков размером  $n \times 1$ .

Весовые коэффициенты  $j$ -го признака, где  $j = 1 \dots n$  определялись, как сумма членов вектора-столбца  $B_j$ :

$$B_j = P^{-1} \times G_j \times w_j,$$

где  $P^{-1}$  – обратная матрица фенотипических ковариансов,  $G_j$  – вектор-столбец генетических (геномных) ковариансов  $j$ -го признака,  $w_j$  – экономический вес признака. Таким образом, итоговыми членами вектора-столбца  $B$  являлись суммированные значения векторов-столбцов  $B_1 \dots B_n$ . Таким образом, итог части уравнения, касающейся отношения фенотипического и генетического разнообразия ( $P^{-1} \times G_j$ ), домножается на экономическую поправку  $w_j$ , выражающую, как правило, значение стоимости единицы измерения признака при реализации продукции. Расчёт производился в разработанном в ФГБНУ ФИЦ ВИЖ имени Л.К. Эрнста специализированном программном обеспечении [13].

Для признаков, единица измерения которых не может быть оценена в монетарном эквиваленте непосредственно, экономический вес  $w_j$  оценивался путём составления уравнения множественной регрессии:

$$y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_n X_n,$$

где  $\beta_0$  – свободный член уравнения (интерпретируемый, как начало отсчёта в рамках регрессионной модели),  $\beta_1 \dots \beta_n$  – коэффициенты регрессии величины  $y$  на признаки  $1 \dots n$ ,  $X_1 \dots X_n$  – значения соответствующих признаков.

Для определения экономических поправок в качестве зависимой переменной  $y$  принималась прибыль, получаемая от реализации животного (вычисляемая, как разность стоимости живой массы особи и стоимости корма, потребленного за период выращивания), а в качестве независимых переменных  $X_1 \dots X_n$  брались признаки, включенные в итоговое уравнение селекционного индекса. Коэффициенты регрессии  $\beta_1 \dots \beta_n$  могут быть интерпретированы, как величина, на которую изменится зависимая переменная  $y$  при изменении величины независимой переменной  $X$  на 1. Полученные таким образом коэффициенты регрессии в рамках исследования были использованы, как экономические веса при составлении уравнения селекционного индекса.

### Основные результаты

В ходе исследования были рассчитаны корреляционные показатели, основанные на имеющихся генетических и фенотипических данных исследуемой группы животных ( $n=784$ ).

Взаимосвязи между признаками являются ключевым моментом при составлении уравнения селекционного индекса. Полученные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 - Генетические и фенотипические корреляции признаков кормового поведения хряков породы дюрок<sup>1</sup>

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2.2>

Признак <sub>2</sub>	TPD	ADFI	NVD	TPV	FR	FPV	FCR	ADG
TPD	0,21	-0,12	0,33***	-0,01	-0,86***	-0,39***	0,67***	-0,73
ADFI	0,16***	0,11	-0,31***	-0,01	0,50***	0,27***	-0,28***	0,61
NVD	-0,10**	-0,29***	0,41	-0,85***	-0,45***	-0,99***	0,62***	-0,59***
TPV	0,53***	0,28***	-0,85***	0,31	0,14***	0,86***	-0,39***	0,22***
FR	-0,65***	0,59***	-0,20***	-0,16***	0,20	0,48***	-0,81***	0,91***
FPV	0,09**	0,61***	-0,89***	0,80***	0,43***	0,48	-0,64***	0,58***
FCR	0,03	-0,14***	-0,13***	0,14***	-0,08*	0,03	0,24	-0,88***
ADG	-0,03	0,31***	0,03	-0,07*	0,21***	0,09*	-0,81***	0,38

Примечание: коэффициенты корреляции достоверны при: \* $p \leq 0,05$ , \*\* $p \leq 0,01$ , \*\*\* $p \leq 0,001$

<sup>1</sup> под диагональю – фенотипические корреляции, над диагональю – генетические корреляции, на диагонали – коэффициент наследственности

<sup>2</sup> расшифровка аббревиатур представлена в разделе «Условия, материалы и методы»

Отмечены очень высокие положительные и отрицательные значения фенотипических корреляций ( $r_p \sim [0,70...1,00]$ ) между признаками: NVD-TPV (-0,85), NVD-FPV (-0,89), TPV-FPV (0,80), FCR-ADG (-0,81); средние значения фенотипической корреляции ( $r_p \sim [0,50...0,70]$ ) были обнаружены между признаками: TPD-TPV (0,53), TPD-FR (-0,65), ADFI-FR (0,59), ADFI-FPV (0,61).

Среди генетических взаимосвязей высокие положительные и отрицательные значения коэффициента корреляции ( $r_g$ ) продемонстрировали пары признаков: TPD-FR (-0,86), TPD-ADG (-0,73), NVD-TPV (-0,85), NVD-FPV (-0,99), TPV-FPV (0,86), FR-FCR (-0,81), FR-ADG (0,91), FCR-ADG (-0,88); средние уровни генетической взаимосвязи характеризовали пары признаков: TPD-FCR (0,67), ADFI-FR (0,50), ADFI-ADG (0,61), NVD-FCR (0,62), NVD-ADG (-0,59), FPV-FCR (-0,64), FPV-ADG (0,58).

Для сравнения полученных в настоящем исследовании результатов были проанализированы данные исследования [7], проведенного ранее на аналогичной выборке животных. Существенным в рамках сравнения было принято отклонение, превышающее  $\pm 0,20$ . Таким образом, среди коэффициентов наследуемости существенная разница была обнаружена для признака FPV ( $\Delta h^2 = 0,20$ ). Для фенотипических корреляций выявлены различия в парах признаков: TPD-ADFI ( $\Delta r_p -0,23$ ), TPD-NVD (-0,25); ADFI-NVD (-0,52), ADFI-TPV (0,28), ADFI-FR (0,22), ADFI-FPV (0,28); NVD-TPV (-0,25), NVD-FR (-0,23); TPV-FR (0,39), TPV-FPV (0,27). Для генетических корреляций различия были обнаружены в парах признаков: TPD-ADFI ( $\Delta r_g = -0,51$ ), TPD-NVD (-0,21), TPD-TPV (-0,30), TPD-ADG (-1,14); ADFI-NVD (-0,95), ADFI-TPV (0,30), ADFI-FR (0,20), ADFI-FPV (0,32); NVD-TPV (-0,26), NVD-FR (-0,36), NVD-FPV (-0,27), NVD-ADG (-0,64); TPV-FR (0,64); FR-FPV (0,36), FR-ADG (1,06); FPV-ADG (0,57).

Из этого следует, что за прошедшее между исследованиями время произошли существенные изменения во взаимосвязанности признаков кормового поведения и среднесуточного прироста. Наиболее значимые изменения характеризовали генетическую составляющую ( $\Delta r_g = -1,14...+1,06$ ), взаимосвязи же на фенотипическом уровне изменились менее значительно ( $\Delta r_p = -0,52...+0,39$ ). Отдельно стоит отметить, что значимых изменений во взаимосвязях с признаками кормового поведения на фенотипическом уровне не было выявлено для признака ADG.

Построение селекционного индекса, как и любая другая методика отбора, базируется на постановке цели селекции. Так, достаточно очевидно, что в общем виде селекция на снижение значений коэффициента конверсии корма (FCR) и увеличение – среднесуточного прироста (ADG) целесообразны с производственной точки зрения. Так, ввиду того, что коэффициент конверсии корма рассчитывается как отношение потребленного корма к приросту живой массы за аналогичный период и измеряется таким образом. Таким образом, чем меньше количество потребленного корма (в числителе) относительно прироста живой массы (знаменателя) и ниже коэффициент – тем эффективнее животное. Однако рационализация той или иной цели селекции в отношении признаков кормового поведения видится неоднозначным вопросом и не может быть определена однозначно в рамках вида сельскохозяйственных животных. Единственным таким признаком, цель селекции по которому может быть определена, исходя из величины, которую он отражает – это ADFI (среднесуточное потребление корма). Закупка кормов для животных – это статья расходов, из чего следует, что селекция на отрицательное значение данного показателя целесообразна. Очевидно, что снижение потребления корма в рамках физиологической закономерности ведет к снижению среднесуточного прироста (ADG), однако, как следует из продемонстрированной картины взаимосвязанности признаков, эта тенденция в большей степени проявляется с перспективы рассмотрения взаимосвязей оценок агрегатного генотипа животных ( $r_p = 0,31$ ,  $r_g = 0,61$ ), не сводя, впрочем, данные признаки до уровня прямой зависимости. Определение же направления селекции для остальных признаков кормового поведения видится возможным исключительно исходя из генетических корреляций каждого конкретного признака с FCR и ADG. Так, отбор по индексным оценкам, ADG, FPV, FR, TPV предполагает, что наибольшее положительное значение оценки племенной ценности предпочтительно для селекционных целей. В то же время, прогнозируемое снижение значений FCR, NVD, ADFI, TPD на популяционном уровне также видится желательным, то есть наибольшее отрицательное значение оценок племенной ценности для этих признаков являются предпочтительными.

Для выбора признаков, включаемых в селекционный индекс, был определен пороговый критерий отбора признаков по количеству коэффициентов корреляции, значение которых превышает нижний порог низкого уровня взаимосвязи ( $r \geq \pm 0,30$ ). Согласно этому критерию, для включения в уравнение селекционного индекса подходили признаки ADFI, NVD, FR, FPV, FCR, ADG. Для составления селекционного индекса были выбраны признаки NVD, FR и FPV – из категории признаков кормового поведения и ADG – из категории признаков эффективности использования корма.

Определение экономических поправок к каждому включенному в уравнение признаку производилось на основе гипотетического дохода  $i$ -го животного, получаемого с продажи особи на мясокомбинат:

$$w_i = BWG_i \times 160 - \left( \frac{ADFI_i}{1000} \times per_i \right) \times 20,48 \cdot$$

где BWG – прирост живой массы за весь период выращивания, кг., per – период выращивания, дн., 160 – стоимость реализации 1 кг живой массы, р/кг., 20,48 – стоимость 1 кг комбикорма, кг (по данным RegTorg.ru).

Исходя из полученных значений, были рассчитаны коэффициенты уравнения множественной регрессии дохода на момент исследования по Воронежской области от реализации животного в зависимости от признаков, включенных в уравнение селекционного индекса. Данные коэффициенты традиционно интерпретируются, как значение изменения зависимой переменной, зависимость от которой оценивается на 1. Таким образом, полученные значения можно

трактовать, как условную стоимость единиц измерения включенных в уравнение признаков. Результаты представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Стоимостные показатели единиц измерения признаков, включенных в уравнение селекционного индекса

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2.3>

Признак	Единица измерения	Стоимость единицы измерения, руб.
NVD	ед.	23,70
FR	г/мин	-11,84
FPV	г/ед.	3,63
ADG	г/сут	7,88

Таким образом, все включенные в индекс признаки, кроме FR (скорости потребления корма), были определены, как позитивно влияющие на итоговый гипотетический доход. Негативное влияние FR на доход может объясняться положительной взаимосвязью со среднесуточным потреблением корма ( $r_p = 0,65$ ) на фоне низкого уровня фенотипической взаимосвязи признака с определяющими доходность животного признаками, а именно – конверсией корма ( $r_p = -0,14$ ) и среднесуточным приростом ( $r_p = 0,31$ ).

Уравнение селекционного индекса, после расчета коэффициентов, имело следующий вид:

$$I = (-0,93 \times NVD) + (-1,78 \times FR) + (1,52 \times FPV) + (37,82 \times ADG)$$

Непосредственный анализ оценок племенной ценности животных позволил выявить особей, являющиеся улучшателями по каждому из исследуемых признаков (Таблица 4).

Таблица 4 - Фенотипические данные и оценки племенной ценности животных-улучшателей по каждому признаку

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2.4>

№ п/п	TPD, мин.	ADFI, г.	NVD, ед.	TPV, мин/ед.	FR, г/мин	FPV, г.	FCR, кг/кг	ADG, г/сут.	Гипотетический доход, руб.
Фенотипическое значение признака									
1	62,30	1670,5 5	4,51	14,70	29,28	387,36	1,84	907,00	14512
2	61,07	2128,9 9	5,35	12,43	35,26	422,96	2,75	773,81	10400
3	68,10	2468,4 4	7,15	9,99	36,67	354,52	1,77	1396,1 5	11616
4	45,72	2744,9 3	4,30	11,08	65,93	658,16	2,50	1095,8 9	12800
Оценки племенной ценности признаков									Селекционный индекс, руб.
1	-3,63	-125,33	-0,91	-0,18	-0,75	+13,15	-0,28	+103,7 6	+3946
2	-4,09	-110,65	-0,16	-0,97	-0,37	+41,95	-0,09	+31,13	+1242
3	-2,39	-40,02	-0,09	-0,80	-0,50	+40,42	-0,18	+74,04	+2862
4	-2,40	-168,11	-0,07	-0,10	-0,35	+41,22	-0,20	+80,91	+3123
Среднее	-3,13	-111,03	-0,27	-0,51	-0,49	+34,18	-0,19	72,46	+2793

Примененный для формирования групп особей, являющихся безусловными улучшателями, именуется методом независимых уровней, и сравнение оценок полученной группы животных с группами, отбираемыми на основе индекса видится уместным. Суть метода независимых уровней заключается в отборе животных, значение оценки племенной ценности которых по каждому из исследуемых признаков соответствует определяемому направлению селекции. В данном конкретном случае таких животных во всей выборке было обнаружено четыре, что является проявлением ограничений метода в условиях проведения отбора по восьми признакам одновременно – наличие хотя бы одного

признака, не соответствующего заявленному направлению селекции, ведет к исключению особи из кандидатов на отбор.

Для оценки эффективности отбора по ряду критериев, была произведена сравнительная характеристика групп животных, отобранных по селекционному индексу, по методу независимых уровней, а также сформированных на основании оценок племенной ценности по каждому отдельно взятому признаку, с учётом обозначенной цели селекции. Таким образом, были сформированы группы, насчитывавшие 10 особей, за исключением метода независимых уровней. Результаты представлены в таблице 5 и визуализированы на рис. 2.

Таблица 5 - Характеристика групп, отобранных на основе различных критериев.

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2.5>

Признак	TPD, мин.	ADFI, г.	NVD, ед.	TPV, мин/ед.	FR, г/мин	FPV, г.	FCR, кг/кг	ADG, г/сут	Индекс, руб.
Критерий отбора									
Абсолютные значения показателей EBV в группах									
Метод независимых уровней	-3,13	-111,03	-0,27	-0,51	-0,49	34,18	-0,19	72,46	2793,47
Индекс	-4,29	-108,45	-0,58	0,13	-0,12	4,02	-0,26	105,83	4009,23
ADG	-4,29	-108,45	-0,58	0,13	-0,12	4,02	-0,26	105,83	4009,23
FCR	-3,62	-87,27	-0,53	-0,19	-0,18	12,81	-0,26	104,41	3969,05
FPV	-1,89	-112,67	0,30	-0,89	-0,85	57,92	0,05	-19,36	199,68
FR	-3,07	-29,99	0,53	1,04	2,56	-11,76	-0,03	6,94	385,89
TPV	-2,07	-15,84	-0,33	1,42	1,54	-36,84	0,00	5,32	1350,77
NVD	-7,07	-170,63	-1,56	0,44	0,28	-10,97	-0,11	47,29	842,63
ADFI	-7,31	-209,74	-1,25	-0,12	0,43	16,28	-0,12	46,15	-1407,86
TPD	-7,68	-203,71	-1,13	-0,04	0,36	20,17	-0,12	43,25	-1056,15
Значения показателей EBV в группах относительно фенотипического популяционного среднего									
Метод независимых уровней	-4,18	-4,45	-3,42	-4,59	-1,39	9,30	-7,18	7,47	23,30
Индекс	-5,74	-4,35	-7,20	1,13	-0,35	1,09	-10,03	10,91	33,44
ADG	-5,74	-4,35	-7,20	1,13	-0,35	1,09	-10,03	10,91	33,44
FCR	-4,85	-3,50	-6,60	-1,73	-0,52	3,48	-10,05	10,77	33,10
FPV	-2,53	-4,52	3,74	-7,96	-2,41	15,75	1,99	-2,00	1,67
FR	-4,11	-1,20	6,57	9,28	7,23	-3,20	-0,97	0,72	3,22
TPV	-2,77	-0,63	-4,19	12,68	4,36	-10,02	-0,04	0,55	11,27
NVD	-9,46	-6,84	-19,52	3,93	0,78	-2,98	-4,37	4,88	7,03
ADFI	-9,77	-8,41	-15,61	-1,11	1,21	4,43	-4,79	4,76	-11,74
TPD	-10,27	-8,16	-14,10	-0,36	1,01	5,48	-4,60	4,46	-8,81

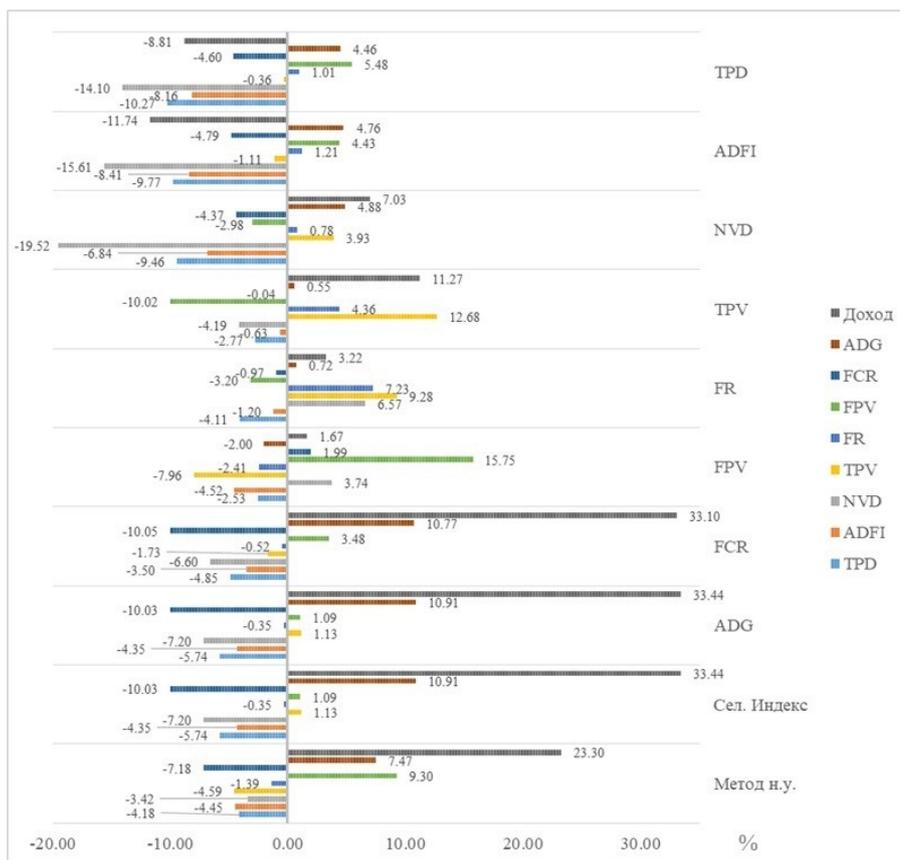


Рисунок 1 - Доля прогнозируемого генетического прогресса признаков относительно фенотипа по различным критериям отбора

DOI: <https://doi.org/10.60797/JAE.2024.46.2.6>

На диаграмме наглядно представлены направления и интенсивность влияния определенных селекционных признаков в ответ на различные способы отбора, включая селекционный индекс. Подтверждается сильная отрицательная корреляция признаков ADG и FCR в выборке, за счет которой значения оценок данных признаков неизменно имеют противоположные знаки при любых вариантах отбора, что позволяет исключить один из признаков из списка критериев.

### Обсуждение

Группа животных, сформированная на основании индексных оценок, фактически совпадает по уровням EBV с группой, отобранной по ADG, что является ожидаемым результатом, учитывая высокий относительный вес признака в уравнении индекса. Результат отбора по FCR сопоставим с результатом отбора по ADG и индексу, демонстрируя, однако, отличия по оценкам ряда признаков. Отбор по признакам FPV, FR, TPV и NVD демонстрирует положительные значения индекса, что означает, что прогноз вклада генетической составляющей данных животных в доходность потомства носит позитивный характер, однако он не выглядит столь же существенным (+1,67...+7,03%), как в группах, отобранных по ADG, FCR и селекционному индексу (+33,10...+33,44%). Отбор по ADFI и TPD, согласно рассчитанным значениям, демонстрирует отрицательные значения селекционного индекса (-11,74% и -8,81% для ADFI и TPD, соответственно) на фоне положительных значений EBV по ADG и отрицательных – по FCR, что делает их нецелесообразными для использования в качестве критериев отбора. Отдельного внимания заслуживает метод независимых уровней. Как было сказано ранее, он позволяет проводить отбор животных, являющихся безусловными улучшателями по каждому признаку, однако это ведет к снижению количества животных, подходящих под этот критерий, находящемуся в прямой зависимости от количества признаков, по которым ведется отбор. Так, из 784 голов, этим критериям соответствовали только 4 особи. Проводя анализ значений оценок количественных признаков, а также индексных оценок у изучаемых животных, можно сделать вывод о том, что прогноз вклада генетической составляющей индивидуумов в доход (+23,30%), получаемый от их потомства, уступает только животным, отбираемым по ключевым для этого показателя признакам (ADG и FCR) и, соответственно, селекционному индексу. Говоря же об эффективности ведения отбора столь малой доли хряков из общей выборки на фоне затруднительности использования инструментария искусственного осеменения на свиньях в полном объеме, очевидно, что рекомендовать подобный подход можно только для использования в совокупности с каким-либо другим для формирования своего рода эталонной группы.

### Заключение

В рамках нашего исследования было составлено уравнение селекционного индекса, отбор по которому фактически совпал по отбору по среднесуточному приросту, что было, в первую очередь, связано со значительной взаимосвязью изучаемого признака с лучшими в основу формирования экономических весов откормочных показателей исследуемого

поголовья. Индексные оценки, показывающие прибыльности использования того или иного животного в качестве производителя, позволили продемонстрировать, насколько тот или иной критерий отбора экономически целесообразен. Так, такие признаки, как TPD и ADFI, продемонстрировали, фактически, прогнозируемую убыточность потомства (-11,74% и -8,81% для ADFI и TPD, соответственно), получаемого от особи, отбираемых по ним, как основному критерию. Наиболее же позитивным прогнозом среди признаков кормового поведения характеризовались TPV (+11,27%) и NVD (+7,03%). Также потенциал к достижению выраженной в денежном эквиваленте выгоды продемонстрировал метод независимых уровней (+23,30%), однако его основным недостатком являются слишком жёсткие требования к отбору, делающие его фактически нецелесообразным для применения в условиях интенсивного и массового производства, что позволяет рекомендовать его для отбора неспециализированных производителей при ведении стабилизирующего отбора.

Таким образом, применение селекционного индекса для оптимизации отбора животных, оцененных на основании методологии GBLUP, видится перспективным методом для построения системы геномной селекции в свиноводческой отрасли в России. Полученные результаты также позволяют говорить об индексной оценке, как о прогнозном показателе вклада генетической составляющей животного в доходность потомства. Очевидно, что в основе точности подобных прогнозов лежит надёжность получаемых в рамках методологии GBLUP оценок племенной ценности, которая подтверждается, в том числе зарубежным опытом.

### Финансирование

Государственное задание № FGGN-2022-0007.

### Конфликт интересов

Не указан.

### Рецензия

Все статьи проходят рецензирование. Но рецензент или автор статьи предпочли не публиковать рецензию к этой статье в открытом доступе. Рецензия может быть предоставлена компетентным органам по запросу.

### Funding

Government assignment № FGGN-2022-0007.

### Conflict of Interest

None declared.

### Review

All articles are peer-reviewed. But the reviewer or the author of the article chose not to publish a review of this article in the public domain. The review can be provided to the competent authorities upon request.

### Список литературы / References

1. Pfeiffer C. Developing an optimized breeding goal for Austrian maternal pig breeds using a participatory approach / C. Pfeiffer, K. Schodl, B. Fuerst-Waltl [et al.] // Journal of Central European Agriculture. — 2018. — № 19. — P. 858-864. — DOI: 10.5513/JCEA01/19.4.2342.
2. Homma C. Estimation of genetic parameter for feed efficiency and resilience traits in three pig breeds / C. Homma [et al.] // Animal. — 2021. — Vol. 15. — Iss. 11. — P. 100384. — DOI: 10.1016/j.animal.2021.100384.
3. Herrera-Cáceres W. Selection for feed efficiency using the social effects animal model in growing Duroc pigs: evaluation by simulation / W. Herrera-Cáceres, J.P. Sánchez // Genet Sel Evol. — 2020. — № 52. — DOI: 10.1186/s12711-020-00572-4
4. Kodak O. Historical overview of the selection indices applied in pig breeding / O. Kodak, N. István // Acta Agraria Kaposváriensis. — 2019. — № 23. — DOI: 10.31914/aak.2294.
5. Melnikova E.E. Selection Indices Used in Different Breeding Systems with Pigs of Maternal Breeds / E.E. Melnikova, S.A. Nikitin, A.V. Kabanov [et al.] // Russ. Agricult. Sci. — 2020. — № 46. — P. 503–508. — DOI: 10.3103/S1068367420050134.
6. Сермягин А.А. Показатели кормового поведения как новые селекционные признаки в разведении свиней / А.А. Сермягин, А.А. Белоус, Е.А. Требунских [и др.] // Сельхозбиология. — 2020. — № 6. — DOI: 10.15389/agrobiologia.2020.6.1126rus.
7. Белоус А.А. Сравнительное исследование особенностей кормового поведения свиней пород ландрас и дюрок / А.А. Белоус, Е.А. Требунских // Достижения науки и техники АПК. — 2021. — Т. 35. — №10. — С. 61–65. — DOI: 10.53859/02352\_451\_2021\_35\_10\_61.
8. Белоус А.А. Инновационные подходы к оценке эффективности использования корма свиньями породы ландрас / А.А. Белоус, А.Ф. Контэ, П.И. Отрадных // Пермский аграрный вестник. — 2022. — № 3(39). — С. 55-62. — DOI: 10.47737/2307-2873\_2022\_39\_55.
9. Cheng J. Selection for feed efficiency in Duroc pigs with the addition of daily feed intake data in a 2-stage selection procedure / J. Cheng, D.W. Newcom, M.M. Schutz [et al.] // Applied Animal Science. — 2019. — Vol. 35. — Iss. 1. — P. 20-29. — DOI: 10.15232/aas.2018-01771.
10. Отрадных П.И. Валидация оценок племенной ценности свиней породы дюрок по признакам кормового поведения / П.И. Отрадных, Д.М. Рудиянов, А.А. Белоус // Свиноводство. — 2023. — № 5. — С. 22-26. — DOI: 10.37925/0039-713X-2023-5-22-26.
11. Zhang C. Genomic evaluation of feed efficiency component traits in Duroc pigs using 80K, 650K and whole-genome sequence variants / C. Zhang, R.A. Kemp, P. Stothard [et al.] // Genet Sel Evol. — 2018. — № 50. — P. 14. — DOI: 10.1186/s12711-018-0387-9
12. Robinson G.K. That BLUP is a Good Thing: The Estimation of Random Effects / G.K. Robinson // Statist. Sci. — 1991. — № 6(1). — P. 15-32. — DOI: 10.1214/ss/1177011926
13. Отрадных П.И. Программа расчета селекционного индекса племенной ценности сельскохозяйственных животных / П.И. Отрадных, Г.К. Петрякова // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ РФ. — 2023. — № 2023661651.

**Список литературы на английском языке / References in English**

1. Pfeiffer C. Developing an optimized breeding goal for Austrian maternal pig breeds using a participatory approach / C. Pfeiffer, K. Schodl, B. Fuerst-Waltl [et al.] // *Journal of Central European Agriculture*. — 2018. — № 19. — P. 858-864. — DOI: 10.5513/JCEA01/19.4.2342.
2. Homma C. Estimation of genetic parameter for feed efficiency and resilience traits in three pig breeds / C. Homma [et al.] // *Animal*. — 2021. — Vol. 15. — Iss. 11. — P. 100384. — DOI: 10.1016/j.animal.2021.100384.
3. Herrera-Cáceres W. Selection for feed efficiency using the social effects animal model in growing Duroc pigs: evaluation by simulation / W. Herrera-Cáceres, J.P. Sánchez // *Genet Sel Evol*. — 2020. — № 52. — DOI: 10.1186/s12711-020-00572-4
4. Kodak O. Historical overview of the selection indices applied in pig breeding / O. Kodak, N. István // *Acta Agraria Kaposváriensis*. — 2019. — № 23. — DOI: 10.31914/aak.2294.
5. Melnikova E.E. Selection Indices Used in Different Breeding Systems with Pigs of Maternal Breeds / E.E. Melnikova, S.A. Nikitin, A.V. Kabanov [et al.] // *Russ. Agricult. Sci.* — 2020. — № 46. — P. 503–508. — DOI: 10.3103/S1068367420050134.
6. Sermjagin A.A. Pokazateli kormovogo povedenija kak novye selekcionnye priznaki v razvedenii svinej [Indicators of feeding behaviour as new selection traits in pig breeding] / A.A. Sermjagin, A.A. Belous, E.A. Trebunskih [et al.] // *Sel'hozbiologija [Selkhozbiology]*. — 2020. — № 6. — DOI: 10.15389/agrobiolgy.2020.6.1126rus. [in Russian]
7. Belous A.A. Sravnitel'noe issledovanie osobennostej kormovogo povedenija svinej porody landras i djurok [A comparative study of feeding behaviour of landrace and duroc pigs] / A.A. Belous, E.A. Trebunskih // *Dostizhenija nauki i tehniki APK [Achievements of science and technology of agroindustrial complex]*. — 2021. — Vol. 35. — №10. — P. 61–65. — DOI: 10.53859/02352\_451\_2021\_35\_10\_61. [in Russian]
8. Belous A.A. Innovacionnye podhody k ocenke jeffektivnosti ispol'zovanija korma svin'jami porody landras [Innovative approaches to assessing the efficiency of feed utilization by landrace pigs] / A.A. Belous, A.F. Kontje, P.I. Otradnov // *Permskij agrarnyj vestnik [Perm Agrarian Bulletin]*. — 2022. — № 3(39). — S. 55-62. — DOI: 10.47737/2307-2873\_2022\_39\_55. [in Russian]
9. Cheng J. Selection for feed efficiency in Duroc pigs with the addition of daily feed intake data in a 2-stage selection procedure / J. Cheng, D.W. Newcom, M.M. Schutz [et al.] // *Applied Animal Science*. — 2019. — Vol. 35. — Iss. 1. — P. 20-29. — DOI: 10.15232/aas.2018-01771.
10. Otradnov P.I. Validacija ocenok plemennoj cennosti svinej porody djurok po priznakam kormovogo povedenija [Validation of estimates of breeding value of pigs of Duroc breed on the signs of feeding behaviour] / P.I. Otradnov, D.M. Rudijanov, A.A. Belous // *Svinovodstvo [Pig breeding]*. — 2023. — № 5. — S. 22-26. — DOI: 10.37925/0039-713X-2023-5-22-26. [in Russian]
11. Zhang C. Genomic evaluation of feed efficiency component traits in Duroc pigs using 80K, 650K and whole-genome sequence variants / C. Zhang, R.A. Kemp, P. Stothard [et al.] // *Genet Sel Evol*. — 2018. — № 50. — P. 14. — DOI: 10.1186/s12711-018-0387-9
12. Robinson G.K. That BLUP is a Good Thing: The Estimation of Random Effects / G.K. Robinson // *Statist. Sci.* — 1991. — № 6(1). — P. 15-32. — DOI: 10.1214/ss/1177011926
13. Otradnov P.I. Programma rascheta selekcionnogo indeksa plemennoj cennosti sel'skohozjajstvennyh zivotnyh [Programme for calculating the selection index of breeding value of farm animals] / P.I. Otradnov, G.K. Petrjakova // *Svidetel'stvo o gosudarstvennoj registracii programmy dlja JeVM RF [Certificate of state registration of the Russian Federation computer program]*. — 2023. — № 2023661651. [in Russian]