

Н.М. ХРАМЧЕНКО, А.В. РОМАНЕНКО

## РАЗРАБОТКА ЭКОНОМИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСНЫХ ИНДЕКСОВ

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству, г. Жодино, Республика Беларусь*

В статье представлены материалы работы, целью которой было разработать оптимальные экономические комплексные индексы для материнских пород свиней. В процессе исследований определены селекционно-генетические параметры белорусской популяции свиней пород ландрас и йоркшир. Рассчитана экономическая значимость селекционируемых признаков. Разработаны экономические селекционные индексы оценки хряков и свиноматок, включающие признаки собственной продуктивности и репродуктивные признаки. Точность индексов составила 0,617-0,783 для индексов состоящих из признаков собственной продуктивности и комбинированных, и 0,349 для индексов репродуктивных признаков свиноматок.

**Ключевые слова:** селекционный индекс, агрегатный генотип, экономическая ценность, свиньи.

N.M. KHRAMCHANKA, A.V. ROMANENKO

## DEVELOPMENT OF ECONOMIC MULTIPLE TRAIT SELECTION INDICES

*Research and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Breeding, Zhodino, Republic of Belarus*

The paper presents the materials of the work with the purpose to develop the optimal economic complex indices for maternal pig breeds. In the course of the research, the selection and genetic parameters of the Belarusian population of Landrace and Yorkshire pigs were determined. The economic significance of the selected traits has been calculated. Economic selection indices for assessing boars and sows have been developed, including parameters of their self-performance and reproductive traits. The accuracy of the indices was 0.617-0.783 for indices consisting of parameters of self-performance and combined, and 0.349 for indices of reproductive traits of sows.

**Keywords:** breeding index, aggregate genotype, economic value, pigs.

**Введение.** Теория селекционного индекса решает проблему объединения информации из разных источников таким образом, чтобы получить максимально точный расчет общей генетической ценности для заранее определенной комбинации селекционируемых признаков. Экономический селекционный индекс позволяет рассчитать общую экономическую ценность животного используя информацию племенной ценности по нескольким селекционируемым признакам [1]. Необходимым

условием данного расчёта является определение относительной экономической значимости каждого признака входящего в индекс – агрегатный генотип. Весовые коэффициенты селекционируемых признаков входящих в комплексный индекс, будут рассчитываться как оптимальное соотношением генетической ценности и агрегатного генотипа.

Smith et al. (1986) установили условия для получения оптимальной экономической значимости селекционируемых признаков [2].

Во-первых, следует исключить прибыль, полученную в результате реализации дополнительной продукции, данное условие не выполняется, если рассчитывать экономическую ценность признаков на основе их влияния на прибыль товарного производителя.

Во-вторых, не учитывать изменения, которые исправили существовавшую ранее неэффективность предприятия. Поэтому нужно использовать показатели, полученные на экономически эффективном производстве.

Теория селекционного индекса позволяет решить проблему объединения информации из различных источников для получения наиболее точного прогноза общей экономической ценности для заранее определенной комбинации селекционируемых признаков.

**Цель работы** – разработать оптимальные экономические комплексные индексы для материнских пород свиней.

**Материал и методика исследований.** Для определения весовых коэффициентов комплексных индексов-кандидатов нами разработана биоэкономическая модель производственного цикла свиноматок на предприятии, определены входные параметры модели, включающие технологические и племенные показатели свиноматок и выращиваемого молодняка. Рассчитаны селекционно-генетические параметры селекционируемых признаков в популяции материнских пород свиней.

Чтобы ранжировать животных для селекции по признакам цели разведения (агрегатного генотипа), необходимо объединить значения для соответствующих признаков в один критерий отбора. Наблюдения по оцененным признакам объединяются в селекционный индекс  $I$  [1]:

$$I = b_1x_1 + b_2x_2 \dots b_mx_m = b'x$$

где  $x_i$  - наблюдение  $i$ -го признака, а  $b_i$  - коэффициент селекционного индекса (или вес) для этого признака. В векторной записи:  $b' = [b_1, b_2, \dots, b_m]$  и  $x' = [x_1, x_2, \dots, x_m]$ .

Цель разведения или, другими словами, агрегатный генотип  $H$ , как единый критерий имеет вид:

$$H = v_1g_1 + v_2g_2 \dots v_ng_n = v'g$$

где  $g_i$  - аддитивная генетическая ценность  $i$ -го признака, а  $v_i$  - экономическая ценность генетического улучшения этого признака. В векторной записи  $v' = [v_1, v_2, \dots, v_n]$  и  $g' = [g_1, g_2, \dots, g_n]$ .

Экономическая ценность признака рассчитывается как отношение изменения прибыли (или эффективности) к изменению генетического уровня признака. Уравнения могут основываться на индивидуальной эффективности, эффективности потомства или эффективности стада [3].

В исследовании реализована стратегия разработки биоэкономической модели на базе исследований DeVries, (1989), Houska L. и др. (2004, 2010) [4,5,6].

Так как расчет экономической ценности признаков продуктивности направлен на получение экономических весов для группы племенных хозяйств, в качестве средних уровней селекционируемых признаков и экономически значимых показателей были использованы оптимальные биологические показатели роста и развития, нормы кормления [7] и литературные данные. Цены на свинину и комбикорма взяты по состоянию на 01.01.2020.

Эффективность всей производственной системы определялась чистой прибылью, которая рассчитывалась как общая выручка от сданных на мясокомбинат животных (свинок, свиноматок и откормочного молодняка) за вычетом затрат, понесенных в течение всей жизни купленных свинок и их потомства.

Для каждого признака рассчитывалось влияние незначительного изменения генетической ценности (в обоих направлениях увеличение и уменьшение уровня на одну единицу признака на чистую прибыль из-за нелинейности функции прибыли относительно исследуемых признаков, описанной в данной модели).

Предельная экономическая ценность признака  $i$  ( $a_i$ ) [5]:

$$a_i = \frac{P*(\mu_i+d_i)-P*(\mu_i-d_i)}{2d_i} = \frac{\Delta P}{\Delta i}$$

где  $\mu_i$  – среднее значение признака  $i$ ;  $d_i$  – изменение признака,  $P$  – чистая прибыль для заданного значения признака  $i$ ;  $\Delta P$  – разница в чистой прибыли;  $\Delta i$  – разница в признаке  $i$

Чистая прибыль рассчитывалась: на купленную свинку, на откормочную свинью, на кг убойной массы откормленных свиней.

Стандартизированное экономическое значение (SE):

$$SE_i = a_i * \sigma_i$$

где  $\sigma_i$  – стандартное отклонение  $i$ -ого селекционируемого признака

Соотношение признаков в агрегатном генотипе (RE):

$$RE_i = \frac{SE_i}{\sum SE_i} * 100$$

Согласно теории селекционного индекса весовые коэффициенты

индекса  $b_i$  вычисляются так, чтобы отбор животных по селекционному индексу максимизировал ответ по агрегатному генотипу.

Весовые коэффициенты, удовлетворяющие этому критерию, являются решением системы уравнений (в матричной форме):

$$\mathbf{b} = \mathbf{P}^{-1}\mathbf{G}\mathbf{v}$$

где  $\mathbf{b}$  – вектор  $m$  коэффициентов селекционного индекса

$\mathbf{P}$  – матрица фенотипических корреляций (ковариаций)  $m \times m$  по всем признакам входящим в селекционный индекс

$\mathbf{G}$  – матрица  $m \times n$  генетических корреляций (ковариаций) по  $m$  значениям индексов и  $n$  признаков агрегатного генотипа

$\mathbf{v}$  – вектор целей разведения (экономических весов  $e$ )  $n$  признаков в агрегатном генотипе.

Для разработки индекса использовались фенотипы свиней по отдельным признакам, имеющиеся в государственной информационной системе в области племенного свиноводства.

Точность индекса ( $r_{HI}$ ) определяется по формуле (11):

$$r_{HI} = \sqrt{\frac{\mathbf{b}'\mathbf{G}\mathbf{v}}{\mathbf{v}'\mathbf{G}\mathbf{v}}}$$

Ожидаемое генетическое превосходство ( $S_H$ ) при селекции индексу на одно стандартное отклонение:

$$S_H = \frac{\mathbf{b}'\mathbf{G}\mathbf{v}}{\sqrt{\mathbf{b}'\mathbf{P}\mathbf{b}}}$$

Ожидаемое генетическое превосходство для признаков входящих в индекс ( $S_g$ ) при селекции на одно стандартное отклонение индекса:

$$S_g = \frac{\mathbf{b}'\mathbf{G}}{\sqrt{\mathbf{b}'\mathbf{P}\mathbf{b}}}$$

На основе теории селекционного индекса рассчитаны весовые коэффициенты индексов-кандидатов для различных половозрастных групп свиней, включающие следующие признаки: многоплодие (М), многоплодие скорректированное (МК), масса гнезда при рождении (МГ), вес поросёнка при отъеме (МПО), среднесуточный прирост от рождения до живой массы 100 кг (ССП), толщина шпика в точке 2 (ТШ2), содержание постного мяса в теле (СПМ).

Система уравнений, описывающая биоэкономическую модель, разработана в среде MS EXCEL. Расчеты и анализ проводился с помощью статистической среды R, семейства программ REMLF90, BLUPF90.

**Результаты эксперимента и их обсуждение.** В связи с тем, что в республике неудовлетворительное положение по измерению собственной продуктивности свинок материнских пород (среднесуточный прирост, выход мяса и толщина шпика), большинство измерений толщины шпика, высоты мышцы и содержания постного мяса в теле получены от хряков-производителей республиканских станций по искусственному

осеменению свиней. Также отсутствует генетическая оценка методом (BLUP), которая позволила бы получить значения племенной ценности по признакам, ограниченным полом (репродуктивные признаки для хряков-производителей), для включения их в комплексной индекс. Следовательно, не имея значений племенной ценности селекционируемых признаков у животных, нет возможности рассчитать селекционно-генетические параметры, необходимые для получения весовых коэффициентов селекционного индекса. На основании этого нами было принято решение разделить комплексные индексы по половому признаку: для хряков и свиноматок. Для анализа предложены три индекса-кандидата для хряков-производителей (1х-3х) и 6 для свиноматок (1с-6с). В таблице 1 представлены параметры и соотношения экономических весов селекционируемых признаков в индексах-кандидатах.

Таблица 1 – Стандартизированные экономические значения признаков и их соотношение в индексах-кандидатах

Признак	Эконом. вес (a)	$\sigma$	SE	RE								
				1х	2х	3х	1с	2с	3с	4с	5с	6с
ССП	2,12	67,72	143,6	-	-	-	12	18	26	-	-	21
М	179,90	2,315	416,5	-	-	-	17	52	74	54	79	62
МГ	66,97	3,657	244,9	-	-	-	45	30	-	31	-	-
МПО	72,48	1,606	116,4	-	-	-	27	-	-	15	21	17
ССП	2,12	91,05	193,0	14	32	20	-	-	-	-	-	-
ТШ2	194,48	2,068	402,2	30	68	-	-	-	-	-	-	-
СПМ	388,97	1,949	758,1	56	-	80	-	-	-	-	-	-

Стандартизированный экономический вес показывает на сколько увеличится прибыль при селекционном сдвиге равном одной сигме. В нашем случае, в представленной популяции наиболее экономически выгодными признаками для селекции являются многоплодие, толщина шпика и выход мяса – 416,5, 402,2 и 758,1 руб./ $\sigma$  соответственно. Эти признаки характеризуются достаточно высокой изменчивостью и экономическим весом, что делает селекцию по ним максимально выгодной для быстрого увеличения прибыльности производства.

Параметры для расчета весовых коэффициентов представлены в таблицах 2 и 3 для хряков-производителей и свиноматок.

Таблица 2 – Селекционно-генетические параметры для расчета весовых коэффициентов индексов-кандидатов хряков-производителей

Признак	Эконом. вес (a)	$\sigma$	Корреляция над диагональю генотипическая, под диагональю фенотипическая		
			ССП	ТШ2	СПМ
ССП	2,12	91,05	-	-0,063	0,066
ТШ2	194,48	2,068	0,246	-	-0,849
СПМ	388,97	1,949	-0,184	-0,882	-

Таблица 3 – Селекционно-генетические параметры для расчета весовых коэффициентов индексов-кандидатов свиноматок

Признак	Эконом. вес (a)	$\sigma$	Корреляция над диагональю генотипическая, под диагональю фенотипическая			
			ССП	М	МГ	МПО
ССП	2,12	67,72	-	-0,17	-0,002	0,051
М	179,9	2,315	0,061	-	0,823	-0,123
МГ	66,97	3,657	0,301	0,702	-	-0,034
МПО	72,48	1,606	0,372	0,066	0,325	-

На основе этих данных проведен расчет весовых коэффициентов индексов племенной ценности (таблицы 4-5).

Таблица 4 – Весовые коэффициенты индексов-кандидатов и основные параметры комплексной оценки племенной ценности хряков-производителей

Весовой коэффициент	Индексы-кандидаты (I)		
	I <sub>1x</sub>	I <sub>2x</sub>	I <sub>3x</sub>
Весовой коэффициент ССП (b <sub>1</sub> )	2,727	2,040	2,440
Весовой коэффициент ТП2 (b <sub>2</sub> )	35,39	-75,22	-
Весовой коэффициент СПМ (b <sub>3</sub> )	258,2	-	168,3
Среднее значение индекса	17979	620	11931
Стандартное отклонение индекса	467	211	361
Понижающий коэффициент стандартизации индекса к 100 баллам	189,8	6,202	119,3
Весовой коэффициент ССП (b <sub>1</sub> )	0,015	0,329	0,020
Весовой коэффициент ТП2 (b <sub>2</sub> )	0,197	-12,128	-
Весовой коэффициент СПМ (b <sub>3</sub> )	1,436	-	1,411
Среднее значение станд. индекса (100 баллов)	100	100	100
Стандартное отклонение станд. индекса (100 баллов)	2,6	34,0	3,0

Таблица 5 – Весовые коэффициенты индексов-кандидатов и основные параметры комплексной оценки племенной ценности свиноматок

Весовой коэффициент	Индексы-кандидаты (I)					
	I <sub>1c</sub>	I <sub>2c</sub>	I <sub>3c</sub>	I <sub>4c</sub>	I <sub>5c</sub>	I <sub>6c</sub>
1	2	3	4	5	6	7
Весовой коэффициент ССП (b <sub>1</sub> )	1,631	1,452	1,440	-	-	1,663
Весовой коэффициент М (b <sub>4</sub> )	24,64	29,65	16,92	14,86	19,05	16,91
Весовой коэффициент МГ (b <sub>5</sub> )	2,214	-2,475	-	13,21	-	-
Весовой коэффициент МПО (b <sub>6</sub> )	-25,04	-	-	-7,861	2,09	-22,6
Среднее значение индекса	939,3	1066	956	258	222	868
Стандартное отклонение индекса	123,6	117,8	107,0	74,6	44,5	113,3
Понижающий коэффициент стандартизации индекса к 100 баллам	9,383	10,66	9,564	2,578	2,222	8,679

Продолжение таблицы 5

1	2	3	4	5	6	7
Весовой коэффициент СП (100 баллов) ( $b_1$ )	0,174	0,136	0,151	-	-	0,192
Весовой коэффициент М (100 баллов) ( $b_4$ )	2,663	2,781	1,769	5,763	8,574	1,948
Весовой коэффициент МГ (100 баллов) ( $b_5$ )	0,236	-0,232	-	5,123	-	-
Весовой коэффициент МПО (100 баллов) ( $b_6$ )	-2,666	-	-	-3,049	0,941	-2,604
Среднее значение станд. индекса (100 баллов)	100	100	100	100	100	100
Стандартное отклонение станд. индекса (100 баллов)	13,15	11,05	11,22	28,91	20,01	13,05

Для удобства сравнения изменчивости индексной оценки, а так же исторической привычкой использовать индексную оценку, при которой среднее популяционное значение индекса равно 100, определены коэффициенты стандартизации и проведен пересчет весовых коэффициентов индексов.

После стандартизации весовых коэффициентов комплексные индексы-кандидаты имели следующий вид:

*хряки производители:*

$$I_{1x} = 0,015 * \text{ССП} - 0,197 * \text{ТШ2} + 1,436 * \text{СПМ}$$

$$I_{2x} = 0,329 * \text{ССП} - 12,128 * \text{ТШ2}$$

$$I_{3x} = 0,020 * \text{ССП} + 1,411 * \text{СПМ}$$

*свиноматки:*

$$I_{1c} = 0,174 * \text{ССП} + 2,663 * \text{М} + 0,236 * \text{МГ} - 2,666 * \text{МПО}$$

$$I_{2c} = 0,136 * \text{ССП} + 2,781 * \text{М} - 0,232 * \text{МГ}$$

$$I_{3c} = 0,151 * \text{ССП} + 1,769 * \text{М}$$

$$I_{4c} = 5,763 * \text{М} + 5,123 * \text{МГ} - 3,049 * \text{МПО}$$

$$I_{5c} = 8,574 * \text{М} + 0,941 * \text{МПО}$$

$$I_{6c} = 0,192 * \text{ССП} + 1,948 * \text{М} - 2,604 * \text{МПО}$$

Для дальнейших исследований на точность и взаимосвязь индексной оценки с фактической продуктивностью, нами был проведен расчет комплексной племенной ценности животных. После стандартизации по всем индексам-кандидатам средняя оценка составила 100 баллов. Однако изменчивость комплексной индексной оценки имела значительные различия. Так, наименьшей изменчивостью характеризовалась оценка, полученная по индексам 1х и 3х – 2,6-3,0 балла, в то время как исключение из индексов содержания постного мяса позволяет увеличить изменчивость индекса до 34 баллов, что свидетельствует о чрезмерной изменчивости признака толщины шпика в популяции. Показатели

комплексной оценки свиноматок были более выравнены: стандартное отклонение составило 11,05-13,15 балла при оценке по индексам со среднесуточным приростом, и 20,01-28,91 балла с индексами без среднесуточного прироста.

Проведенный анализ точности индексов-кандидатов показал (таблицы 6 и 7), что наиболее тесную корреляцию с агрегатным генотипом, состоящим из признаков собственной продуктивности, имел индекс  $I_{2x}$  – 0,783, генетическое превосходство родителей, отобранных по данному индексу отобранных  $+1\sigma$ , составит по среднесуточному приросту 58,78 грамма, по толщине шпика – (-0,446) мм.

Таблица 6 – Точность и прогноз ответа на селекции по индексам-кандидатам оценки собственной продуктивности

Величина отбора на $+1\sigma$	Индексы-кандидаты		
	$I_{1x}$	$I_{2x}$	$I_{3x}$
Точность ( $r^2$ )	0,691	0,783	0,724
по индексу	467,1	211,0	360,8
ССП	37,28	58,78	42,66
ТШП	-0,533	-0,446	-
СПМ	0,731	-	0,696

Таблица 7 – Точность и прогноз ответа на селекции по индексам-кандидатам оценки репродуктивных качеств свиноматок

Величина отбора на $+1\sigma$	Индексы-кандидаты					
	$I_{1c}$	$I_{2c}$	$I_{3c}$	$I_{4c}$	$I_{5c}$	$I_{6c}$
Точность ( $r^2$ )	0,505	0,483	0,589	0,349	0,321	0,617
по индексу	123,6	117,8	107,3	74,54	44,45	113,3
ССП	42,52	39,91	43,58	-	-	43,37
М	0,132	0,122	0,08	0,264	0,250	0,08
МГ	0,191	0,166	-	0,446	-	-
МПО	-0,04	-	-	-0,04	-0,08	-0,04

Среди комплексных селекционных индексов свиноматок наиболее тесную корреляцию с агрегатным генотипом, состоящим из признаков собственной продуктивности и репродуктивных качеств, имел индекс  $I_{3c}$  – 0,589. Генетическое превосходство родителей, отобранных по данному индексу на  $+1\sigma$  составит по среднесуточному приросту 43,58 грамма, по многоплодию – 0,08 голов.

Для индексов с агрегатным генотипом, состоящим исключительно из репродуктивных признаков, лучшим был  $I_{6c}$  – 0,617. Генетическое превосходство родителей, отобранных по данному индексу на  $+1\sigma$ , составит по многоплодию – 0,264 головы, по количеству поросят при отъеме на 0,446 головы, при этом средняя масса гнезда при отъеме уменьшится всего на 0,04 кг.

**Заключение.** На основании анализа точности индексов-кандидатов



оценки хрячков по признакам собственной продуктивности установлено, что наиболее тесную корреляцию с агрегатным генотипом (точность) имел индекс  $I_{2x} = 0,329 * \text{ССП} - 12,128 * \text{ТШ2} - 0,783$ . По комплексным индексам-кандидатам, состоящим из признаков собственной продуктивности и репродуктивных признаков, наивысшую оценку точности имел индекс  $I_{6c} = 0,192 * \text{ССП} + 1,948 * \text{М} - 2,604 * \text{МПО} - 0,617$ . Среди индексов-кандидатов состоящим только из репродуктивных признаков наиболее точным являлся индекс  $I_{4c} = 5,763 * \text{М} + 5,123 * \text{МГ} - 3,049 * \text{МПО}$  - точность 0,349. Таким образом, наилучшими показателями характеризовались комплексные индексы  $I_{2x}$ ,  $I_{4c}$  и  $I_{6c}$ .

#### Литература

1. Dekkers, J.C.M., Gibson, J.P., Bijma, P., and van Arendonk, J.A.M. 2005. Design and optimization of animal breeding programmes. Iowa State University. – URL: <http://www.an-slab.iastate.edu/Class/AnS652X>
2. Smith, C. On the derivation of economic weights in livestock improvement / C. Smith, J. W. James, E. W. Brascamp // Anim. Prod. – 1986. – Vol. 43. – P. 545-551.
3. Twenty remarks on economic evaluation of selection goals / J. M. Elsen, B. Bibe, E. Landais, G. Ricordeau // 3rd World Congress Genetics Applied to Livestock Production, Nebraska, XII, 1986. – P. 321-327.
4. DeVries, A. G. A model to estimate economic values of traits in pig breeding / A. G. DeVries // Livest. Prod. Sci. – 1989. – Vol. 21. – P. 49-66.
5. Houska, L. Economic weights for production and reproduction traits of pigs in the Czech Republic / L. Houska, M. Wolfova, J. Jaromír // Livestock Production Science. – 2004. – Vol. 85. – P. 209-221.
6. Economic values for traits of pigs in Hungary / L. Houška, M. Wolfová, I. Nagy, Z. Csörmeyi, I. Komlósi // Czech J. Anim. Sci. – 2010. – Vol. 55. – P. 139-148
7. Нормированное кормление свиней / В. М. Голушко [и др.] ; Науч.-практический центр Нац. акад. наук Беларуси по животноводству. – Жодино, 2019. – 95 с.

*Поступила 16.02.2021 г.*

УДК 636.4.082.2

Н.М. ХРАМЧЕНКО, А.В. РОМАНЕНКО, К.В. НЕВАР

### ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭФФЕКТА СЕЛЕКЦИИ ИНДЕКСНОЙ ОЦЕНКИ СВИНЕЙ

*Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по животноводству, г. Жодино, Республика Беларусь*

Целью исследований было спрогнозировать эффект селекции при различной интенсивности отбора по комплексным селекционным индексам Спрогнозирован эффект