

Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы

В. В. Гарт[✉], С. Г. Куликова, Е. В. Камалдинов, К. Н. Нарожных, А. Ф. Петров

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

[✉]E-mail: gvlvl@yandex.ru

Аннотация. Цель работы – исследовать возможность прогнозирования удоя и содержания молочного жира первотелок по группе признаков линейной оценки экстерьера. **Методы.** Изучалась сопряженность сочетания признаков молочной продуктивности (удоя и содержания молочного жира) с 18 линейными признаками, а также составленными из них комплексами у высокопродуктивных коров первого отела голштинской породы. Средние показатели исследуемой группы за 305 дней лактации составляли: по удою 10 093 кг, по содержанию молочного жира – 388 кг. Связь оценивали вычислением рангового коэффициента корреляции Спирмена после предобработки первичных данных. **Результаты.** Установлена низкая статистически достоверная связь сочетания удоя и содержания жира с отдельными линейными признаками экстерьера, которая варьировалась от 0,054 до 0,173. Приведены два алгоритма составления комплексов: 1) на основе проранжированных значений коэффициентов корреляции; 2) по вкладу в увеличение значения коэффициента корреляции комплекса с продуктивными признаками. По эмпирическим данным полученной связи построены графики зависимости удоя и выхода молочного жира, которые можно использовать для не прямой оценки продуктивности групп первотелок с определенным комплексным баллом. Приведены полиномиальные формулы высокоаппроксимированных линий тренда для каждого эмпирического графика. Самый высокий коэффициент корреляции продуктивности с комплексом, составленным в соответствии с первым алгоритмом, был +0,296, а со вторым равнялся +0,299. Сформированный по второму алгоритму комплекс по своим характеристикам был более удобен для косвенного прогнозирования удоя и содержания молочного жира. **Научная новизна** проведенных исследований заключается в том, что сравниваются результаты разных алгоритмов формирования сочетаний экстерьерных показателей для не прямого прогнозирования сразу двух признаков молочной продуктивности коров.

Ключевые слова: голштинская порода, первотелки, экстерьер, линейная оценка, продуктивность, удой, содержание молочного жира, корреляция, Западная Сибирь, комплекс линейных признаков, регрессионная модель, прогнозирование продуктивности

Для цитирования: Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Нарожных К. Н., Петров А. Ф. Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 06. С. 900–914. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914>.

Благодарности. Исследование выполнено по теме Государственного задания № FESF-2023-0016.

Дата поступления статьи: 09.12.2024, **дата рецензирования:** 14.03.2025, **дата принятия:** 24.04.2025.

Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed

V. V. Gart[✉], S. G. Kulikova, E. V. Kamaldinov, K. N. Narozhnykh, A. F. Petrov

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: gylvl@yandex.ru

Abstract. The purpose of the study is to investigate the possibility of predicting milk yield and milk fat content of first-calf heifers by a group of features of linear exterior assessment. **Methods.** The conjugation of the combination of milk productivity traits (milk yield and milk fat content) with eighteen linear traits, as well as complexes composed of them in highly productive cows of the first calving of the Holstein breed was investigated. The average indicators of the studied group for 305 days of lactation were: milk yield – 10 093 kg, milk fat content – 388 kg. **Results.** A low statistically significant relationship between the combination of milk yield and fat content with individual linear assessment traits was established, which ranged from 0.054 to 0.173. Two algorithms for compiling complexes are given: 1) based on the ranked values of correlation coefficients; 2) by contribution to the increase in the value of the correlation coefficient of the complex with productive traits. Based on the empirical data of the obtained relationship, graphs of the dependence of milk yield and milk fat yield were constructed, which can be used for indirect assessment of the productivity of groups of first-calf heifers with a certain complex score. Polynomial formulas of highly approximated trend lines for each empirical graph are given. The highest coefficient of correlation of productivity with the complex compiled in accordance with the first algorithm was +0.296, and with the second – +0.299. The complex formed according to the second algorithm was more convenient for indirect prediction of milk yield and milk fat content. **The scientific novelty** of the research lies in the fact that the results of different algorithms for the formation of combinations of exterior indicators are compared for indirect prediction of two signs of milk productivity of cows at once.

Keywords: Holstein breed, first heifers, exterior, linear assessment, productivity, milk yield, milk fat content, correlation, Western Siberia, complex of linear features, regression model, predicting productivity

Acknowledgements. The study was carried out on the topic of the State Assignment No. FESF-2023-0016.

For citation: Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Narozhnykh K. N., Petrov A. F. Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025; 25 (06): 900–914. <https://doi.org/10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914>. (In Russ.)

Date of paper submission: 09.12.2024, **date of review:** 14.03.2025, **date of acceptance:** 24.04.2025.

Постановка проблемы (Introduction)

Линейные признаки играют значительную роль в селекционном процессе крупного рогатого скота. Отбор только по продуктивности без учета внешних форм животного, как правило, приводит к уклонению в сторону нежного типа конституции [1]. Поскольку пороки экстерьера могут отрицательно сказываться на здоровье и, как следствие, на продуктивности и воспроизводительной способности, оценка по линейным признакам является неотъемлемой частью характеристики племенной ценности животных [2; 3]. Все большее распространение находят низкострессовые бесконтактные методы фиксации линейных параметров экстерьера: глазомерная [4], а также с использованием фото- и лазерной техники [5].

Корректировка недостатков телосложения и повышения продуктивности в будущих поколениях требует сравнительной оценки популяций живот-

ных, относящихся к кластерам стран, осуществляющих торговлю генетическим материалом [4; 6], хотя его приобретение в настоящее время осложняется из-за введения санкций [7]. Для рационального использования генетического материала в селекционной работе необходима точная экстерьерная характеристика стада [1]. Это требует квалифицированной оценки линейного профиля при отборе животных с высокими показателями продуктивности [8].

Линейную оценку вместе с продуктивными качествами используют в селекционных индексах [9] для формирования желательного экстерьера у высокопродуктивных типов и пород животных [10; 11], а также для прогнозирования продуктивности, для чего признаки с высокой корреляцией наиболее предпочтительны [12].

В некоторых малых группах животных корреляционная связь между молочной продуктивностью (удой, выход молочного жира) и показателями экстерьера могла достигать даже 0,7 в абсолютном значении [13–15]. Однако у исследователей разных стран, изучавших этот показатель на большом поголовье, он был низким (до 0,24) [16–18].

Более высокую сопряженность с продуктивными качествами, в частности с удоём, имеет комплекс линейных признаков, для которого рассчитывается суммарный балл. При этом первичные данные должны пройти правильную предварительную обработку [19].

Методология и методы исследования (Methods)

Изучалась сопряженность сочетания признаков продуктивности (удоя и молочного жира) с разными комплексами линейных признаков у первотелок. Для устранения влияния продолжительности дойного периода животные с укороченной лактацией были исключены из выборки.

Продуктивность 1243 исследуемых животных варьировалась в диапазоне от 4673 до 13 729 кг по удою и от 164 до 537 кг по содержанию молочного жира за 305 дней лактации.

Каждая корова была оценена по 18 линейным признакам (таблица 1) по соответствующей методике [4].

Предобработка первичных данных состояла в нормализации признаков продуктивности (для приведения их значений к общей шкале) и корректировки оценочных значений линейных признаков.

Нормализация производилась по формуле:

$$x_{\text{норм}} = (x - \bar{x}) / \sigma,$$

где $x_{\text{норм}}$ – нормализованное значение признака;

x – значение признака;

$\bar{x}$ – среднее арифметическое;

σ – среднее квадратическое отклонение.

Для вычисления общего показателя продуктивности суммировались нормализованные значения удоя и содержания молочного жира.

Выраженность каждого из 18 изучаемых признаков экстерьера была оценена в диапазоне от 1 до 9 баллов. Корректировка оценочных значений линейных признаков применялась с целью получения максимальных рангов животными, имеющими желательный балл при вычислении коэффициента корреляции Спирмена (r_s). Так, например: если желательный балл линейного признака составлял 5 пунктов, то животным, имеющим оценки 6, 7, 8 или 9, изменяли эти значения на 4, 3, 2 или 1 соответственно. Если желательный балл рекомендовался двумя значениями выраженности признака (например, 6–7), то животным, имеющим эти оценки, присваивали одинаковый статус 6 баллов, а остальным, с оценкой 8 и 9, – 7 и 8 баллов соответственно [19; 20].

Силу связи классифицировали по шкале Чеддока [21].

Для предобработки первичных данных, статистической обработки цифрового материала и составления комплексов линейных признаков использовали LibreOffice Calc и язык статистического программирования R.

Результаты (Results)

После нормализации значений удоя и содержания молочного жира за 305 дней для каждой первотелки был вычислен общий показатель продуктивности и рассчитаны коэффициенты ранговой корреляции с каждым линейным признаком (таблица 1). Для сравнения в этой таблице приведены и величины показателей связи линейных признаков с удоём и содержанием молочного жира по отдельности, представленные в более ранних публикациях [19; 20].

По величине статистически значимых коэффициентов корреляции общего показателя продуктивности с одиночными линейными признаками можно сказать, что связь слабая, а ее величина варьируется в пределах значений, рассчитанных для удоя и молочного жира в отдельности. Статистически значимых обратных связей не зарегистрировано.

Признаки «ширина задних долей вымени», «длина передних долей вымени», «высота прикрепления задних долей вымени», «борозда вымени», «обмускуленность» и «длина сосков» имели статистически достоверные величины показателей связи для всех рассматриваемых видов молочной продуктивности; «рост» и «крепость телосложения» – для общего показателя и удоя; «длина крестца» и «ширина таза» – только для молочного жира; «молочные формы» – только для удоя. По остальным линейным признакам статистически значимых коэффициентов корреляции с показателями молочной продуктивности не выявлено.

Применение опубликованного нами эффекта повышения значения коэффициента корреляции при объединении нескольких линейных признаков в комплекс путем суммирования их откорректированных оценок [19; 20] дает возможность составлять комплексы линейных признаков, наиболее тесно связанных с каким-либо показателем продуктивности. Подбирать линейные признаки, входящие в комплекс, можно разными способами:

1) расчет коэффициентов корреляции каждого экстерьерного признака с продуктивным, ранжирование полученных значений, составление комплекса путём включения в него линейных признаков в порядке их ранговой очередности, а затем пересчета коэффициента корреляции для каждого нового комплекса;

Таблица 1

Коэффициенты ранговой корреляции между линейными признаками экстерьера и признаками продуктивности первотелок за 305 дней лактации

№ п/п	Линейный признак	r_s		
		Общий показатель продуктивности	Удой, кг [19]	Молочный жир, кг [20]
1	Ширина задних долей вымени	0,173***	0,192***	0,140***
2	Длина передних долей вымени	0,171***	0,165***	0,154***
3	Высота прикрепления задних долей вымени	0,130***	0,118***	0,118***
4	Борозда вымени	0,127***	0,091***	0,143***
5	Обмускуленность	0,080**	0,091***	0,067*
6	Длина сосков	0,064*	0,058*	0,060*
7	Рост	0,059*	0,095***	0,015
8	Крепость телосложения	0,054*	0,054*	0,044
9	Длина крестца	-0,047	0,008	-0,093**
10	Ширина таза	0,047	0,006	0,082**
11	Постановка задних ног (вид сбоку)	0,030	0,016	0,041
12	Молочные формы	0,028	0,060*	-0,005
13	Расположение передних сосков	-0,027	-0,053	0,001
14	Положение таза	-0,019	0,002	-0,035
15	Глубина туловища	0,013	-0,019	0,041
16	Угол копыта	-0,013	-0,032	0,005
17	Прикрепление передних долей вымени	0,011	-0,009	0,022
18	Положение дна вымени	0,010	0,017	0,003

Примечание. Здесь и далее * $\alpha < 0,05$, ** $\alpha < 0,01$, *** $\alpha < 0,001$.

Table 1

Coefficients of rank correlation between linear traits of exterior and traits of productivity of first-calf heifers for 305 days of lactation

No.	Linear trait	r_s		
		Total productivity index	Milk yield, kg [19]	Milk fat, kg [20]
1	Width of the posterior lobes of the udder	0.173***	0.192***	0.140***
2	Length of the front lobes udder	0.171***	0.165***	0.154***
3	Height of attachment of the posterior lobes of the udder	0.130***	0.118***	0.118***
4	Udder cleft	0.127***	0.091***	0.143***
5	Muscularity	0.080**	0.091***	0.067*
6	Length of the teats	0.064*	0.058*	0.060*
7	Height	0.059*	0.095***	0.015
8	Body strength	0.054*	0.054*	0.044
9	Rump length	-0.047	0.008	-0.093**
10	Pelvic width	0.047	0.006	0.082**
11	Rear leg placement (side view)	0.030	0.016	0.041
12	Milk forms	0.028	0.060*	-0.005
13	Location of the anterior teats	-0.027	-0.053	0.001
14	Pelvic position	-0.019	0.002	-0.035
15	Body depth	0.013	-0.019	0.041
16	Hoof angle	-0.013	-0.032	0.005
17	Attachment of the front lobes of the udder	0.011	-0.009	0.022
18	Position of the bottom of the udder	0.010	0.017	0.003

Note. Here and after * $\alpha < 0.05$, ** $\alpha < 0.01$, *** $\alpha < 0.001$.

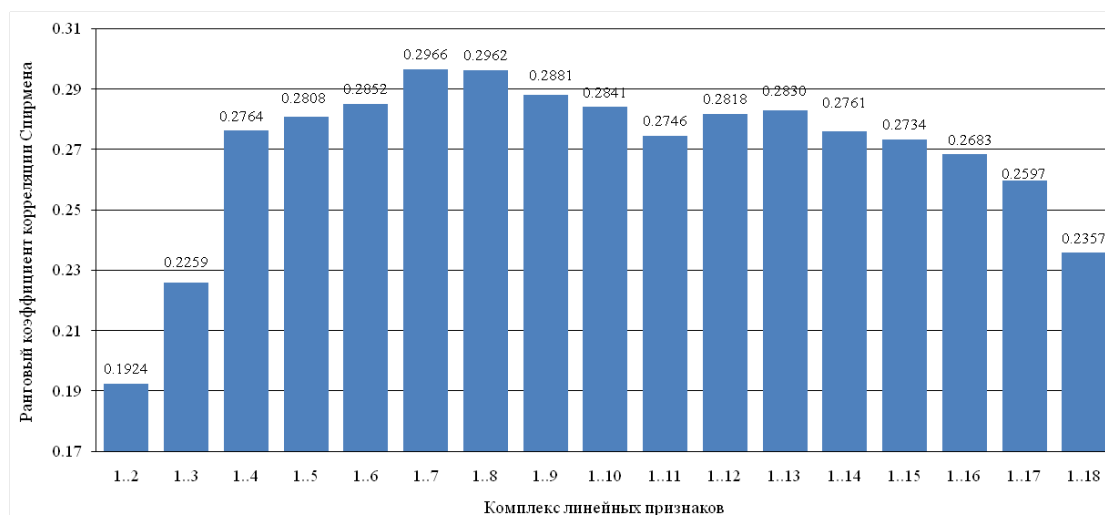


Рис. 1. Значения коэффициентов корреляции общего показателя молочной продуктивности (удой и содержание молочного жира) с разными комплексами линейных признаков

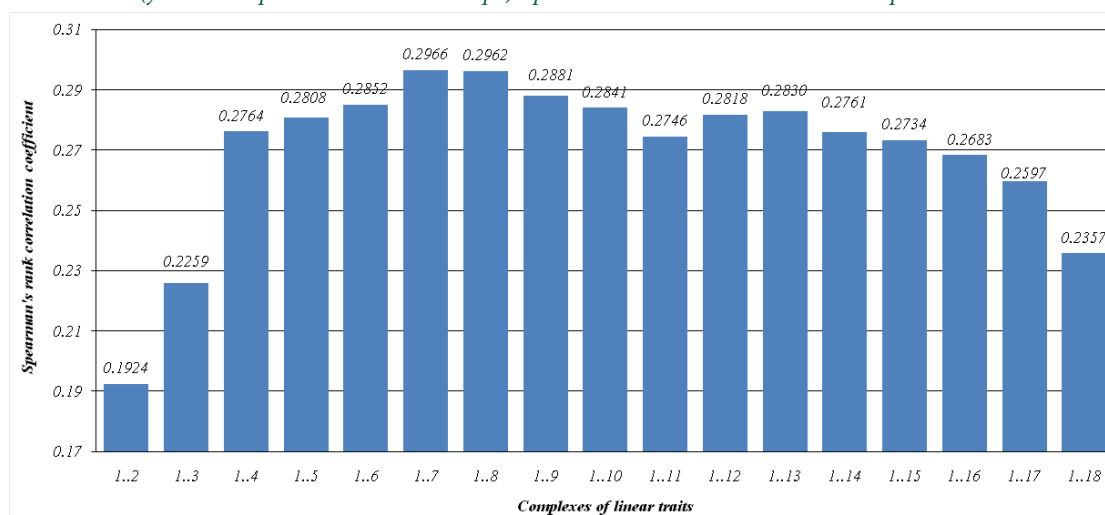


Fig. 1. Values of correlation coefficients of the total indicator of milk productivity (milk yield and milk fat content) with different complexes of linear traits

2) взяв за первый линейный признак комплекса тот, что имеет наибольшую ассоциацию с продуктивным, методом перебора находить те, которые при включении в комплекс дают наибольший прирост значения коэффициента корреляции с прогнозируемым признаком;

3) составление всевозможных сочетаний линейных признаков (с количеством в комплексе от 2 до 18) и последующий расчет коэффициентов корреляции каждого комплекса с продуктивным признаком, а затем методом сравнения выявление комплекса, наиболее ассоциированного с изучаемым признаком продуктивности.

Последний алгоритм очень громоздок по затратам времени и электронным ресурсам, поэтому мы использовали только два первых и сравнили полученные результаты.

Формирование комплексов по первому алгоритму происходило в следующем порядке:

1) вычисление ранговых коэффициентов корреляции для каждого линейного признака с общим показателем продуктивности;

2) ранжирование рассчитанных связей по их абсолютному значению (таблица 1);

3) составление комплексов, при котором каждый последующий дополняется еще одним линейным признаком согласно его рангу;

4) расчет баллов комплекса для каждого животного путем суммирования откорректированных оценок линейных признаков, если коэффициент корреляции положительный, или вычитания – если отрицательный;

5) нахождение значения рангового коэффициента корреляции между каждым сформированным комплексом и общим показателем продуктивности.

Таблица 2
Измененный порядок линейных признаков
для составления комплексов

№	Линейный признак	Комплекс признаков
1	Ширина задних долей вымени	
2	Борозда вымени	1..2
3	Длина передних долей вымени	1..3
4	Обмускуленность	1..4
5	Длина сосков	1..5
6	Рост	1..6
7	Высота прикрепления задних долей вымени	1..7
8	Расположение передних сосков	1..8

Table 2
Altered order of linear features
for composing complexes

No.	Linear trait	Complex of traits
1	Width of the posterior lobes of the udder	
2	Udder cleft	1..2
3	Length of the front lobes udder	1..3
4	Muscularity	1..4
5	Length of the teats	1..5
6	Height	1..6
7	Height of attachment of the posterior lobes of the udder	1..7
8	Location of the anterior teats	1..8

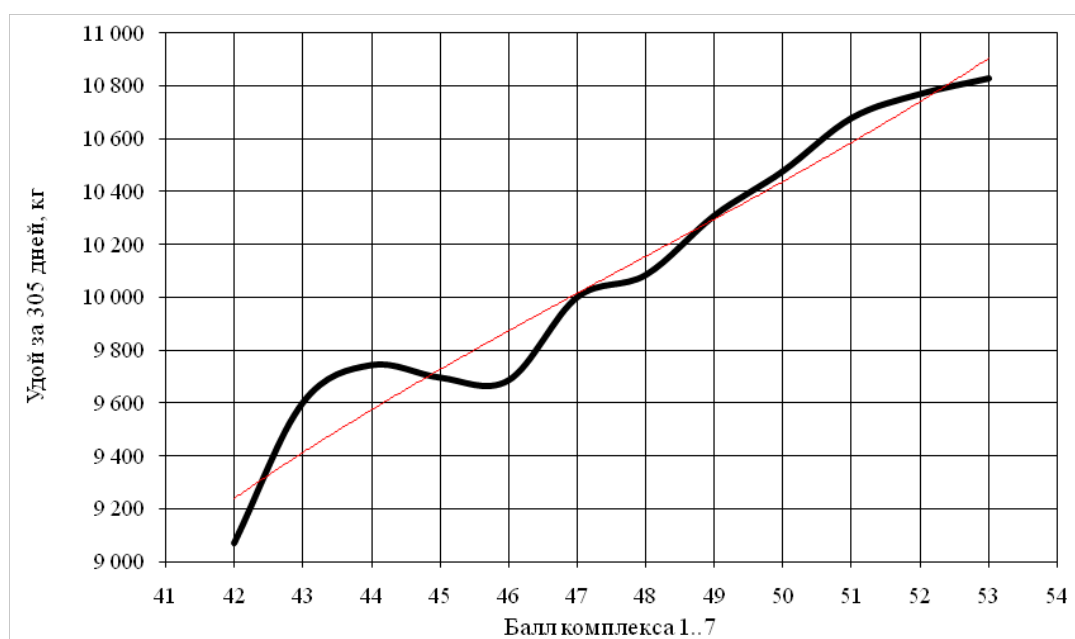


Рис. 2. Зависимость удоя от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..7

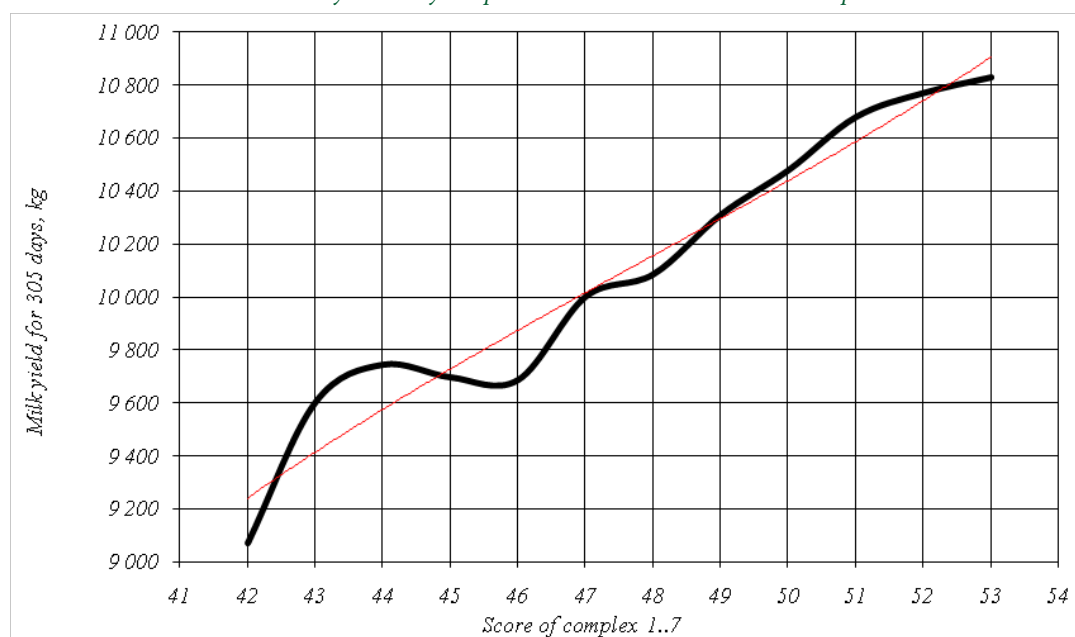


Fig. 2. Dependence of milk yield on the total score of a set of linear characteristics 1..7

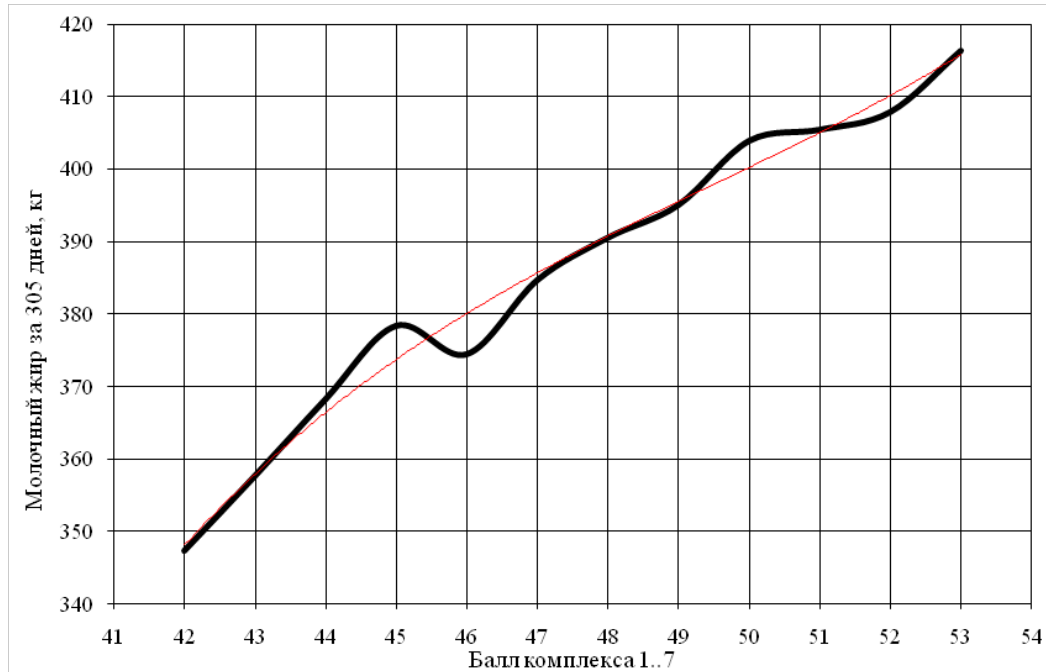


Рис. 3. Зависимость содержания молочного жира от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..7

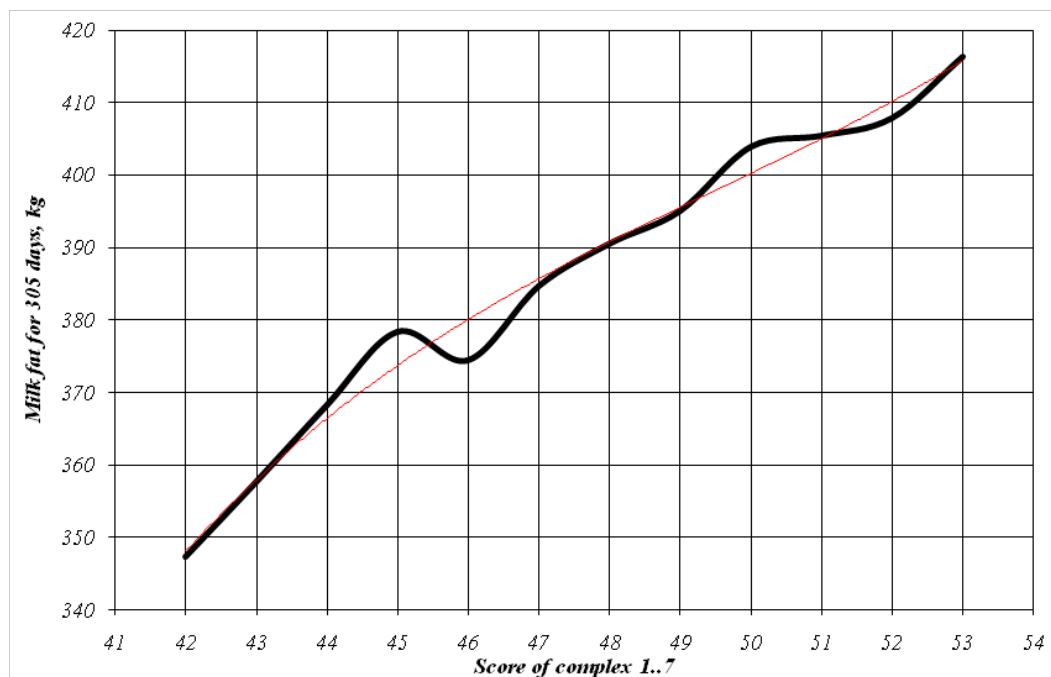


Fig. 3. Dependence of milk fat content on the total score of a complex of linear traits 1..7

Результаты расчетов по этому алгоритму представлены на рис. 1. Все значения коэффициентов корреляции были статистически достоверны по первому уровню вероятности. Анализируя диаграмму, можно отметить, что наиболее скоррелированным с общим показателем продуктивности является комплекс, состоящий из линейных признаков с 1-го по 7-й согласно ранжированию (таблица 1), а именно: ширина задних долей вымени (ШЗД), длина передних долей вымени (ДПД), высота прикрепления задних долей вымени (ВЗД), борозда вымени (БВ), обмускуленность (ОБМ), длина сосков (ДС), рост

(Р). При этом значение коэффициента корреляции возросло в 1,71 раза по сравнению с лучшим для одиночного признака (таблица 1). Примечательно, что из 7 признаков, вошедших в комплекс, 5 относятся к характеристике вымени.

Направление связи для каждого признака, входящего в комплекс, было положительным (таблица 1), поэтому формула расчета итогового балла комплекса линейных признаков 1..7 для каждого животного имеет следующий вид:

$$КБ = ШЗД + ДПД + ВЗД + БВ + ОБМ + ДС + Р.$$

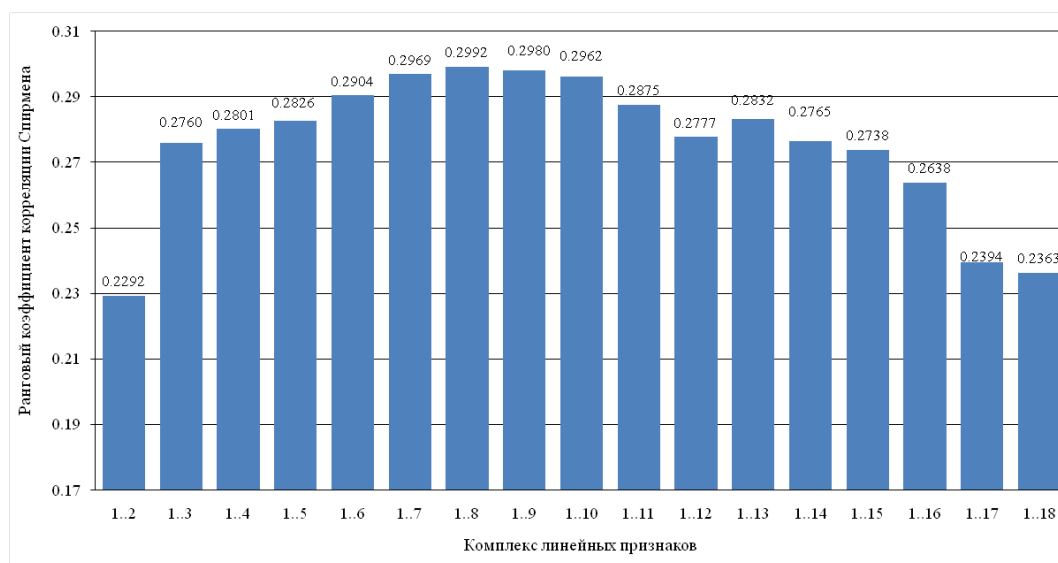


Рис. 4. Значения коэффициентов корреляции показателей молочной продуктивности (удой и содержание молочного жира) и комплексами линейных признаков

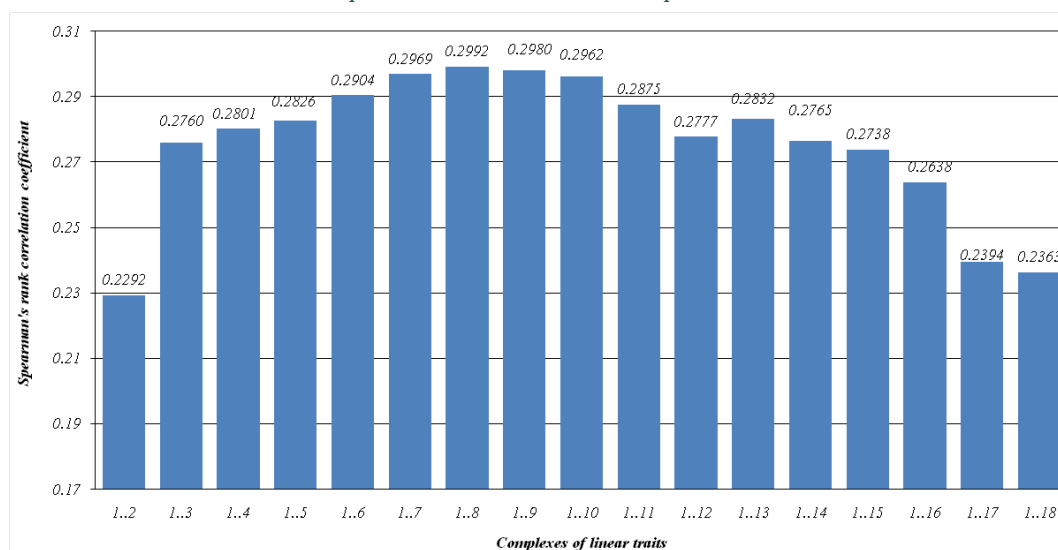


Fig. 4. Values of correlation coefficients of milk productivity indicators (milk yield and milk fat content) and complexes of linear traits

Для наиболее точного отображения зависимости каждого из показателей продуктивности от суммарного балла линейного комплекса крайние варианты (балл, на который приходилось менее 10 наблюдений продуктивного признака) были исключены из анализа. Графическое представление влияния комплекса на удой первотелок за 305 дней лактации показано на рис. 2. Приведенный график (здесь и далее изображен как черная линия) указывает на прямую зависимость удоя от суммарной оценки вышеописанных семи признаков. Линия тренда (здесь и далее изображена как красная линия) задается полиномом третьей степени:

$$y = 0,3784x^3 - 54,361x^2 + 2742,9x - 38103.$$

Коэффициент детерминации R^2 составил 0,9538, что соответствует высокой точности аппроксимации тренда с графиком. Этот график можно исполь-

зовать для прогнозирования среднего удоя группы животных, имеющих одинаковый балл.

Зависимость выхода молочного жира (рис. 3) тоже свидетельствует о возможности косвенной оценки этого вида продуктивности у первотелок.

Полиномиальная формула тренда имела следующий вид:

$$y = 0,0357x^3 - 5,2904x^2 + 266,28x - 4145,4.$$

Для выхода молочного жира коэффициент достоверности аппроксимации тренда с графиком был еще выше ($R^2 = 0,9845$).

Такой несложный подход к группированию, основанный на включении в новый комплекс линейного признака следующего по величине абсолютного значения коэффициента корреляции, упрощает задачу поиска лучших сочетаний, которые могут быть теснее других связаны с продуктивностью.

Второй алгоритм состоял в том, чтобы путем перебора найти признак, который, сочетаясь с лучшим одиночным (ширина задних долей вымени), приводил бы к наибольшему возрастанию коэффициента корреляции. Им стал признак «борозда вымени» (таблица 2). Объединение их в комплекс путем суммирования откорректированных оценок привело к повышению коэффициента корреляции до 0,2292 (рис. 4, комплекс 1..2). Следующее значительное возрастание произошло при включении в комплекс третьего признака «длина передних долей вымени». Каждое дальнейшее расширение комплекса по этой методике давало все меньший эффект, а после присоединения восьмого признака (таблица 2) рост коэффициента корреляции прекратился, и любое дополнение приводило к падению

его значения (рис. 4), поэтому остальные признаки не вошли в формируемый комплекс. При этом все коэффициенты корреляции были статистически достоверны ($\alpha < 0,001$).

Полученный этим способом комплекс по сравнению с вышеописанным имел в своем составе восьмой признак «расположение передних сосков». В этом случае комплекс имел 6 показателей, относящихся к характеристике вымени, из 8. Поскольку этот признак имел отрицательное направление связи с общим показателем продуктивности, то при формировании суммарного балла линейного комплекса оценка линейного параметра «расположение передних сосков» (РПС) бралась с отрицательным знаком. Формула расчета итогового балла комплекса стала следующей:

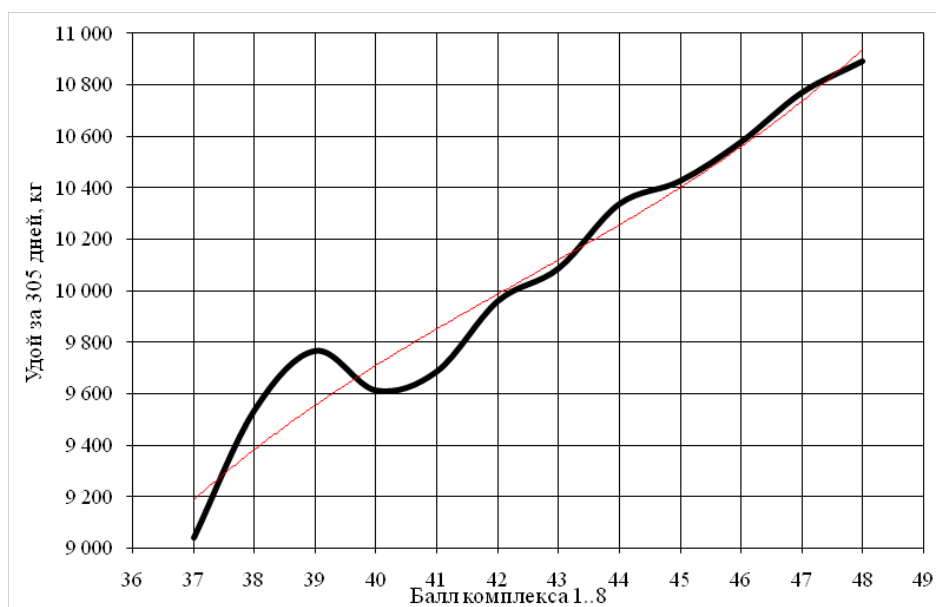


Рис. 5. Зависимость удоя от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..8

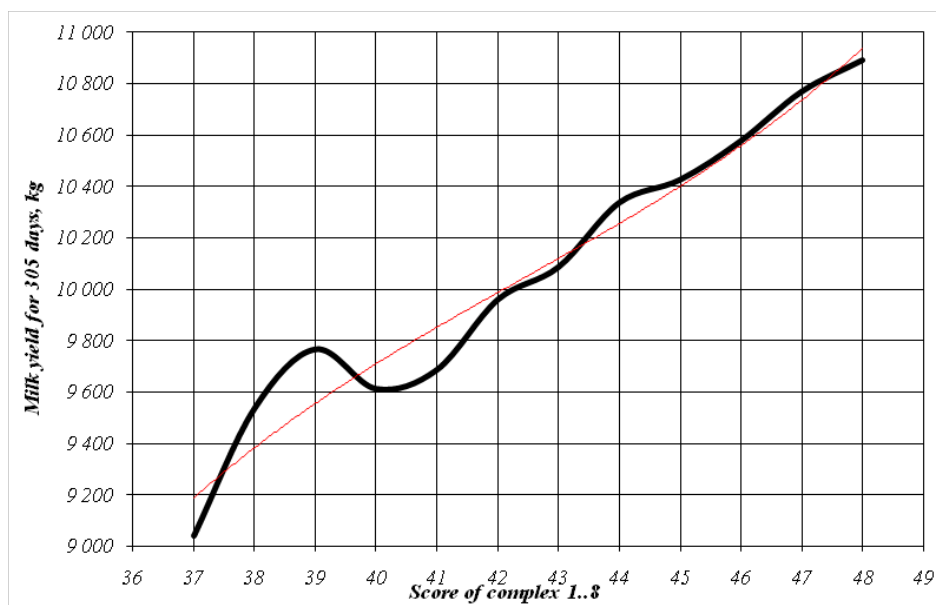


Fig. 5. Dependence of milk yield on the total score of a set of linear characteristics 1..8

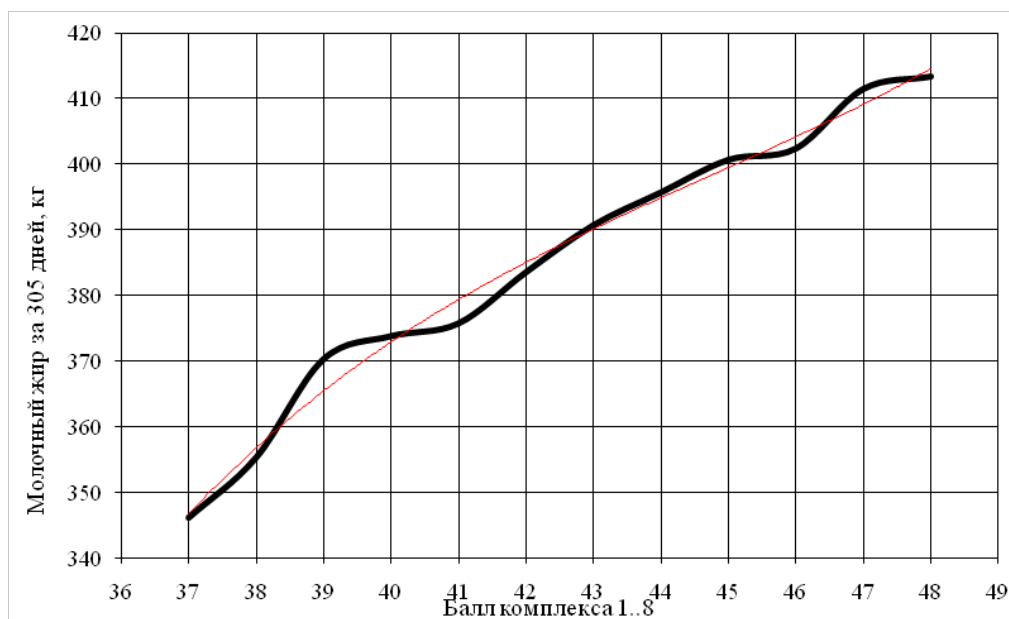


Рис. 6. Зависимость содержания молочного жира от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..8

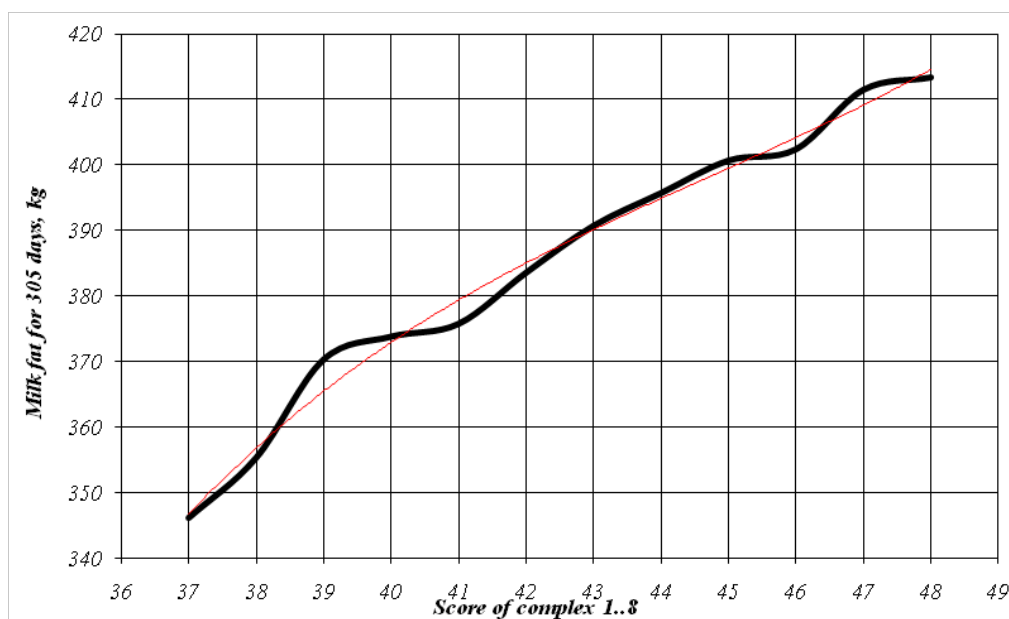


Fig. 6. Dependence of milk fat content on the total score of a complex of linear traits 1..8

$$KB = ШЗД + БВ + ДПД + ОБМ + ДС + P + ВЗД - РПС.$$

Хоть РПС и не имело статистически достоверной связи с продуктивными признаками, но включение его в комплекс имело несколько довольно важных положительных аспектов:

- 1) повысилось значение коэффициента корреляции: оно стало в 1,73 раза выше значения аналогичного показателя с одиночным признаком (таблица 1);
- 2) скорректировался эмпирический график зависимости удоя (рис. 5). По сравнению с предыдущим (рис. 3) у него сузился диапазон перегиба с трех (44–46) до двух (39–40) баллов комплекса, сам он стал меньше отклоняться от тренда. В результа-

те коэффициент детерминации тренда повысился до 0,9592;

3) модифицировалась эмпирическая линия зависимости содержания молочного жира (рис. 6). При сравнении с предшественницей (рис. 4) можно отметить, что, кроме уменьшения извилистости, у нее устранился перегиб в диапазоне 45–46 баллов, что повлияло на коэффициент достоверности аппроксимации тренда с графиком, и он увеличился до 0,9891.

Изменились и формулы линий тренда:

$y = 0,8768x^3 - 111,47x^2 + 4856,7x - 62\,320$ для удоя,

$y = 0,0356x^3 - 4,7631x^2 + 217,3x - 2973,5$ для содержания молочного жира.

Обсуждение и выводы (Discussion and Conclusion)

С развитием статистических методов исследователи стали делать прогноз на основе рассчитываемой сопряженности признаков экстерьерера (выраженных в каких-либо единицах) и показателей продуктивности. В большинстве работ предлагается предсказывать продуктивность на основании корреляционной связи с каким-либо одним признаком экстерьерера [22–25], но использование традиционных моделей в селекционной племенной работе часто нецелесообразно [26]. Применяются и методы, основанные на индексной селекции с возможностью включения в индекс нескольких экстерьерных признаков [27] на основании высокой корреляции каждого с каким-либо продуктивным признаком. Сообщалось о недостатках использования одиночных экстерьерных признаков и преимуществах объединения оценок нескольких линейных признаков, при определенном сочетании которых заметно повышается значение коэффициента корреляции с показателем продуктивности [19].

В нашем случае исследована возможность прогнозирования сразу двух признаков продуктивности на основе корреляционной зависимости не с одним линейным признаком, а с целым комплексом. Величина коэффициента корреляции в этом случае была значительно выше значения аналогичного показателя с одиночным линейным признаком. Графики зависимости удою и выхода молочного жира от комплексного балла, полученные в результате реализации второго алгоритма составления комплекса, лучше подходят для прогнозирования продуктивности, чем первого. Рабочий диапазон составил 12 баллов (от 37 до 48). Эмпирические графики зависимостей изучаемых признаков продуктивности от предлагаемого общего комплекса очень схожи с теми, что были составлены для каждого случая в отдельности (по удою [19] и выходу молочного жира [20]). Это свидетельствует о реальности создания универсального комплекса для прогнозирования сразу двух, а возможно, и большего количества признаков продуктивности, что позволит упростить процесс

косвенной оценки будущей продуктивности, так как оба признака можно прогнозировать по одной балльной шкале комплекса.

Естественно, что комплекс признаков не обязательно должен быть ограничен только линейными признаками. Вполне логично включить в него и другие признаки (например, интерьерные), необходимо только подобрать такие, которые были бы связаны с прогнозируемым признаком, и решить вопрос приведения к единой шкале всех признаков комплекса. В нашем случае приведение к общей шкале потребовалось лишь для прогнозируемых признаков, а все линейные показатели экстерьерера изначально были приведены к одной шкале, поскольку их проявление оценивалось баллами в диапазоне от 1 до 9.

Дальнейшим направлением исследований в области исследования возможности прогнозирования молочной продуктивности по комплексу признаков экстерьерера мы видим применимость для животных с укороченной лактацией, повторяемость сопряженности по лактациям, изменение состава признаков комплекса для разных популяций и пород крупного рогатого скота молочного направления.

Учитывая вышесказанное, можно сделать следующие выводы:

1. Реализована возможность конструирования комплекса линейных признаков для одновременного прогнозирования удою и выхода молочного жира первотелок за 305 дней лактации.
2. Показано, что комплекс, сформированный по алгоритму подбора признаков, максимально повышающих коэффициент корреляции с зависимым признаком, более предпочтителен, чем составленный на основе объединения признаков по ранжированным значениям коэффициентов корреляции.
3. При помощи рангового коэффициента корреляции определено, что связь общего нормализованного показателя удою и содержания молочного жира с комплексом линейных признаков в 1,73 и более раза выше, чем с каждым одиночным линейным признаком.

Библиографический список

1. Татаркина Н. И., Свяженина М. А., Пономарева Е. А. Применение экстерьерной оценки в селекции крупного рогатого скота голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2023. Т. 23, № 10. С. 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90.
2. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L. F., Martin P., Baes C. F. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle // Journal of Dairy Science. 2017. Vol. 100, No. 12. Pp. 10251–10271. DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
3. Куликова С. Г., Богданова О. В., Гарт В. В., Петров А. Ф., Норкина В. М., Шатохин К. С., Шишкин М. А. Связь между признаками линейной оценки экстерьерера голштинских коров // Теория и практика современной аграрной науки: сборник VII национальной (всероссийской) научной конференции с международным участием. Новосибирск, 2024. С. 389–392.
4. Богданова О. В., Гарт В. В., Куликова С. Г., Камалдинов Е. В., Амерханов Х. А., Нарожных К. Н., Петров А. Ф., Жигулин Т. А., Астафьев А. А. Различия между странами по признакам линейной оценки

экстерьера крупного рогатого скота голштинской породы // Достижения науки и техники АПК. 2023. Т. 37, № 8. С. 59–64. DOI: 10.53859/02352451-2023-37-8-59.

5. Батанов С. Д., Баранова И. А., Старостина О. С. Разработка методов определения комплексного индекса типа телосложения с целью раннего прогнозирования молочной продуктивности и определения живой массы крупного рогатого скота // Известия Оренбургского государственного аграрного университета. 2023. № 1 (99). С. 299–307. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-299-307.

6. Petrov A. F., Bogdanova O. V., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Gart V. V., Kulikova S. G., Zhigulin T. A. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection // Veterinary World. 2024. Vol. 17, No. 5. Pp. 1108–1118. DOI: 10.14202/vetworld.2024.1108-1118.

7. Богданова О. В., Камалдинов Е. В., Куликова С. Г., Гарт В. В., Петров А. Ф., Нарожных К. Н., Жигулин Т. А. Научно-теоретическое обоснование системы совершенствования селекционно-племенной работы в молочном скотоводстве Новосибирской области // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2023. № 2 (67). С. 148–155. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-148-155.

8. Контэ А. Ф., Карликова Г. Г. Параметры изменчивости показателей телосложения и продуктивности голштинских коров в зависимости от уровня удоя // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6 (221). С. 37–48. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-37-48.

9. Toghiani S., VanRaden P. M. National index correlations and actual vs expected use of foreign sires // Leeuwarden. 2021. Vol. 56. Pp. 52–59.

10. Xue X., Hu H., Zhang J., Ma Y., Han L., Hao F., Jiang Y., Ma Y. Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins // Animals. 2022. Vol. 13, No. 1. DOI: 10.3390/ani13010100.

11. Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O., Kulikova S., Gart V., Petrov A. Prediction of milk productivity based on conformation traits in cows // International Journal of Chemical and Biochemical Sciences. 2023. Vol. 24, No. 6. Pp. 521–529.

12. Ismael H., Janković D., Stanojević D., Bogdanović V. Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows // Revista Brasileira de Zootecnia. 2021. Vol. 50. DOI: 10.37496/rbz5020200121.

13. Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies // Tropical Animal Health and Production. 2020. Vol. 52. Pp. 2221–2232. DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.

14. Цидик О. Н. Взаимосвязь молочной продуктивности с линейной оценкой экстерьера // Ученые записки учреждения образования «Витебская ордена „Знак почета“ государственная академия ветеринарной медицины». 2019. Т. 55, № 3. С. 158–162.

15. Ефимова Л. В., Кулакова Т. В., Иванова О. В., Иванов Е. А. Взаимосвязь между признаками линейной оценки экстерьера и молочной продуктивностью коров // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2017. № 3 (44). С. 115–124.

16. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia // Veterinaria y Zootecnia. 2014. Vol. 8, No. 1. Pp. 35–47.

17. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal's conformation // Bulgarian Journal of Agricultural Science. 2020. Vol. 26, No. 6. Pp. 1286–1291.

18. Misztal I., Lawlor T. J., Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model // Journal of Dairy Science. 1992. Vol. 75, No. 2. Pp. 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

19. Гарт В. В., Куликова С. Г., Богданова О. В., Норкина В. М., Камалдинов Е. В., Петров А. Ф. Полиномиальная сопряженная изменчивость признаков линейной оценки экстерьера и удоя высокопродуктивного голштинского скота // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 5. С. 86–100. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100.

20. Гарт В. В., Куликова С. Г., Нарожных К. Н., Камалдинов Е. В. Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряженной изменчивости с линейными признаками // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2024. № 4 (73). С. 168–176. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-176.

21. Котеров А. Н., Ушенкова Л. Н., Зубенкова Э. С., Калинина М. В., Бирюков А. П., Ласточкина Е. М., Молодцова Д. В., Вайнсон А. А. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64, № 6. С. 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

22. Девяткина Г. С., Молчанова Н. В., Сельцов В. И., Сулима Н. И. Линейная оценка коров черно-пестрой породы и ее связь с молочной продуктивностью // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2010. № 2. С. 59–64.

23. Новиков А. В., Лешонок О. И. Взаимосвязь экстерьеря и молочной продуктивности коров-первотёлок // Агропродовольственная политика России. 2014. № 4 (28). С. 49–51.
24. Батанов С. Д., Шайдуллина М. М. Продуктивные качества и экстерьерные особенности коров чернопёстрой породы разных линий // Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2019. Т. 239, № 3. С. 29–34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35.
25. Новоселова К. С. Связь молочной продуктивности коров-первотёлок с экстерьером в СХПК-СХА (колхоз) «Первое Мая» // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства. 2019. № 21. С. 356–359.
26. Петров А. Ф., Камалдинов Е. В., Богданова О. В., Шатохин К. С., Ефремова О. В., Рогозин В. А. Роль фиксированных факторов в изменчивости удоя скота ирменского типа в условиях промышленного комплекса // Вестник НГАУ (Новосибирский государственный аграрный университет). 2021. № 4 (61). С. 137–149. DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149.
27. Романова Е. А., Тулинова О. В. Моделирование селекционного индекса для айрширской породы молочного скота с использованием экстерьерных показателей // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2021. № 1 (53). С. 150–155. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155.

Об авторах:

Владимир Владимирович Гарт, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-7356-1090, AuthorID 92135. E-mail: gvlvl@yandex.ru

Светлана Геннадьевна Куликова, доктор биологических наук, профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 96363. E-mail: kulikovasg@yandex.ru

Евгений Варисович Камалдинов, доктор биологических наук, заведующий кафедрой прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 336282. E-mail: ekamaldinov@yandex.ru

Кирилл Николаевич Нарожных, кандидат биологических наук, доцент кафедры прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429. E-mail: narozhnykh@nsau.edu.ru

Алексей Федорович Петров, заведующий лабораторией прикладной биоинформатики, Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия; ORCID 0000-0002-7402-4107, AuthorID 1071714. E-mail: alex@nsau.edu.ru

References

1. Tatarkina N. I., Svyazhenina M. A., Ponomareva E. A. The use of exterior assessment in the selection of Holstein cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023; 23 (10): 81–90. DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90. (In Russ.)
2. Miglior F., Fleming A., Malchiodi F., Brito L. F., Martin P., Baes C. F. A 100-Year Review: Identification and genetic selection of economically important traits in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*. 2017. 100 (12): 10251–10271. DOI: 10.3168/jds.2017-12968.
3. Kulikova S. G., Bogdanova O. V., Gart V. V., Petrov A. F., Norkina V. M., Shatokhin K. S., Shishkin M. A. The relationship between the traits of the linear estimation of the exterior of Holstein cows. *Theory and practice of modern agricultural science: collection of the VII national (all-Russian) scientific conference with international participation*. Novosibirsk, 2024. Pp. 389–392. (In Russ.)
4. Bogdanova O. V., Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Amerkhanov Kh. A., Narozhnykh K. N., Petrov A. F., Zhigulin T. A., Astafyev A. A. Differences between countries in terms of linear assessment of the conformation of Holstein cattle. *Achievements of Science and Technology in AIC*. 2023; 37 (8): 59–64. DOI: 10.53859/02352451_2023_37_8_59. (In Russ.)
5. Batanov S. D., Baranova I. A., Starostina O. S. Development of methods for determining a complex index of body type for the purpose of early forecasting of milk production and determining the live weight of cattle. *Izvestia Orenburg State Agrarian University*. 2023; 1 (99): 299–307. DOI: 10.37670/2073-0853-2023-99-1-299-307. (In Russ.)
6. Petrov A. F., Bogdanova O. V., Narozhnykh K. N., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Gart V. V., Kulikova S. G., Zhigulin T. A. Clustering of countries based on dairy productivity characteristics of Holstein cattle for breeding material selection. *Veterinary World*. 2024; 17 (5): 1108–1118. DOI: 10.14202/vetworld.2024.1108-1118.
7. Bogdanova O. V., Kamaldinov E. V., Kulikova S. G., Gart V. V., Petrov A. F., Narozhnykh K. N., Zhigulin T. A. Scientific and theoretical substantiation of the system of improving selection and breeding work in dairy

cattle breeding in the Novosibirsk region. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2023; 2: 149–155. DOI: 10.31677/2072-6724-2023-67-2-149-155. (In Russ.)

8. Konte A. F., Karlikova G. G. Parameters of variability of indicators of physique and productivity of Holstein cows depending on the level of milk yield. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2022; 6 (221): 37–48. DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-37-48. (In Russ.)

9. Toghiani S., VanRaden P. M. National Index Correlations and Actual vs. Expected Use of Foreign Sires. *Leeuwarden*. 2021; 56: 52–59.

10. Xue X., Hu H., Zhang J., Ma Y., Han L., Hao F., Jiang Y., Ma Y. Estimation of genetic parameters for conformation traits and milk production traits in Chinese Holsteins. *Animals*. 2022; 13 (1). DOI: 10.3390/ani13010100.

11. Narozhnykh K., Kamaldinov E., Bogdanova O., Kulikova S., Gart V., Petrov A. Prediction of milk productivity based on conformation traits in cows. *International Journal of Chemical and Biochemical Sciences*. 2023; 24 (6): 521–529.

12. Ismael H., Janković D., Stanojević D., Bogdanović V. Estimation of heritability and genetic correlations between milk yield and linear type traits in primiparous Holstein-Friesian cows. *Revista Brasileira de Zootecnia*. 2021; 50. DOI: 10.37496/rbz5020200121.

13. Dahiya S., Kumar S., Kumar M. Current status of research on linear type traits in Indian cattle and future strategies. *Tropical Animal Health and Production*. 2020; 52: 2221–2232. DOI: 10.1007/s11250-020-02302-w.

14. Tsidik O. N. Correlation of dairy productivity with linear exterior evaluation. “*Transactions of the educational establishment “Vitebsk the Order of “the Badge of Honor” State Academy of Veterinary Medicine*”. 2019; 55 (3): 158–162. (In Russ.)

15. Efimova L. V., Kulakova T. V., Ivanova O. V., Ivanov E. A. Relation between linear assessment of exterior and cows’ milk productivity. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2017; 3 (44): 115–124. (In Russ.)

16. Madrid S., Echeverri J. Association between conformation traits and productive performance in Holstein cows in the department of Antioquia, Colombia. *Veterinaria y Zootecnia*. 2014; 8 (1): 35–47.

17. Batanov S., Baranova I., Starostina O. Innovative methods in study of animal’s conformation. *Bulgarian Journal of Agricultural Science*. 2020; 26 (6): 1286–1291.

18. Misztal I., Lawlor T. J., Short T. H., VanRaden P. M. Multiple-trait estimation of variance components of yield and type traits using an animal model. *Journal of Dairy Science*. 1992; 75 (2): 544–551. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(92)77791-1.

19. Gart V. V., Kulikova S. G., Bogdanova O. V., Norkina V. M., Kamaldinov E. V., Petrov A. F. Polynomial conjugate variability of traits of linear assessment of the exterior and milk yield of highly productive Holstein cattle. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2024; 5: 86–100. DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100. (In Russ.)

20. Gart V. V., Kulikova S. G., Kamaldinov E. V., Narozhnykh K. N. Early prediction of milk fat content in Holstein cattle based on correlated variability with linear traits. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2024; 4 (73): 168–176. DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-1764. (In Russ.)

21. Koterov A. N., Ushenkova L. N., Zubenkova E. S., Kalinina M. V., Biryukov A. P., Lastochkina E. M., Molodtsova D. V., Wainson A. A. Strength of Association. Report 2. Graduations of Relative Risk. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019; 64 (6): 12–24. DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.

22. Devyatkina G. S., Molchanova N. V., Seltsov V. I., Sulima N. I. Linear estimation of cows of black-and-white breed and its correlation with dairy production. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2010; 2: 59–64.

23. Novikov A. V., Leshonok O. I. Relationship of the exterior and milk production of cows-heifers. *Russian Agricultural and Food Policy*. 2014; 4: 49–51.

24. Batanov S. D., Shaydullina M. M. Productive qualities and exterior features of black-and-white breeds cows of different lines. *Academic notes of Kazan state academy of veterinary medicine named after N. Bauman*. 2019; 2399 (3): 29–34. DOI: 10.31588/2413-4201-1883-239-3-29-35. (In Russ.)

25. Novoselova K. S. The relationship of dairy productivity of first-time cows with the exterior in SKHPK-SKHA (kolkhoz) “Pervoye Maya”. *Current issues of improving the technology of production and processing of agricultural products*. 2019; 21: 356–359. (In Russ.)

26. Petrov A. F., Kamaldinov E. V., Shatokhin K. S., Efremova O. V., Rogozin V. A. The role of fixed factors in the variability of milk yield in irmeni cattle under industrial complex conditions. *Bulletin of NSAU (Novosibirsk State Agrarian University)*. 2021; 4: 137–149, DOI: 10.31677/2072-6724-2021-61-4-137-149. (In Russ.)

27. Romanova E. A., Tulinova O. V. Breeding index modeling for airshire dairy cattle with application of exterior parameters. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021; 1 (53): 150–155. DOI: 10.18286/1816-4501-2021-1-150-155. (In Russ.)

Authors' information:

Vladimir V. Gart, doctor of agricultural sciences, professor of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-7356-1090, AuthorID 92135.

E-mail: gvlvl@yandex.ru

Svetlana G. Kulikova, doctor of biological sciences, professor of veterinary genetics and biotechnology chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 96363.

E-mail: kulikovasg@yandex.ru

Evgeniy V. Kamaldinov, doctor of biological sciences, head of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-0341-5055, AuthorID 336282.

E-mail: ekamaldinov@yandex.ru

Kirill N. Narozhnykh, candidate of biological sciences, associate professor of applied bioinformatics chair, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-1519-697X, AuthorID 654429.

E-mail: narozhnykh@nsau.edu.ru

Aleksey F. Petrov, head of applied bioinformatics laboratory, Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia; ORCID 0000-0002-7402-4107, AuthorID 1071714. *E-mail: alex@nsau.edu.ru*