

Владимир Владимирович Гарт^{1✉}, Евгений Варисович Камалдинов²,
Кирилл Николаевич Нарожных³, Алексей Федорович Петров⁴,
Светлана Геннадьевна Куликова⁵

^{1,2,3,4,5}Сибирский государственный университет инженерии и биотехнологий, Новосибирск, Россия

¹gvlv@yandex.ru

²ekamaldinov@yandex.ru

³knarozhnykh@yandex.ru

⁴lexluterking@yandex.ru

⁵kulikovasg@yandex.ru

СОПРЯЖЕННАЯ ИЗМЕНЧИВОСТЬ ЛИНЕЙНЫХ ПРИЗНАКОВ И ИХ СОЧЕТАНИЙ С СОДЕРЖАНИЕМ МОЛОЧНОГО БЕЛКА У ПЕРВОТЕЛОК ГОЛШТИНСКОЙ ПОРОДЫ

Цель исследования – определить прогностическую способность линейных признаков и их сочетаний для оценки выхода молочного белка первотелок. Объект исследования – первотелки голштинской породы с оцененным по 18 линейным признакам экстерьером и содержанию молочного белка за 305 дней лактации. Предмет исследования – фенотипическая корреляция линейных признаков с выходом молочного белка. Связь между изучаемыми признаками оценивалась у 1243 первотелок высокопродуктивного стада голштинского скота Новосибирской области с 2017 по 2023 г., лактировавших 305 и более дней, при помощи рангового коэффициента корреляции Спирмена. Предобработка первичных данных состояла в преобразовании оценок линейных признаков для корректного вычисления коэффициента корреляции. Группировка показателей экстерьера для определения комплекса, наиболее ассоциированного с продуктивным признаком, производилась по двум алгоритмам. Содержание молочного белка за 305 дней лактации варьировалось в диапазоне от 156 до 458 кг. Между показателями экстерьера и продуктивности для пяти признаков вымени и одного – туловища зафиксирована слабая связь в пределах от +0,073 до +0,147 ($\alpha < 0,01$, $\alpha < 0,001$). Коэффициент корреляции между комплексным баллом, рассчитанным по первому алгоритму, и выходом молочного белка составил +0,275 ($\alpha < 0,001$), и по второму – +0,292 ($\alpha < 0,001$). Значения коэффициентов аппроксимации (R^2) функций трендов с графиком зависимости среднего уровня молочного белка групп животных, агрегированных по комплексному баллу, свидетельствовали об удовлетворительной точности модели в первом случае ($\approx 0,95$) и высокой – во втором ($\approx 0,98$). Результаты сравнения позволяют рассматривать второй способ как наиболее предпочтительный алгоритм выявления лучшего сочетания линейных признаков для косвенной оценки и прогнозирования уровня продуктивности в группах первотелок. Первый способ рекомендуется использовать в качестве экспресс-теста для определения целесообразности дальнейшего применения второго, более вычислительно затратного, но более эффективного.

Ключевые слова: сопряженная изменчивость, голштинская порода, первотелки, продуктивность, молочный белок, корреляция, комплекс линейных признаков, комплексный балл

Для цитирования: Гарт В.В., Камалдинов Е.В., Нарожных К.Н., и др. Сопряженная изменчивость линейных признаков и их сочетаний с содержанием молочного белка у первотелок голштинской породы // Вестник КрасГАУ. 2026. № 6. С. 195–206. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-195-206.

Vladimir Vladimirovich Gart^{1✉}, Evgeny Varisovich Kamaltdinov², Kirill Nikolaevich Narozhnykh³, Alexey Fedorovich Petrov⁴, Svetlana Gennadyevna Kulikova⁵

^{1,2,3,4,5}Siberian State University of Engineering and Biotechnology, Novosibirsk, Russia

¹gvlvl@yandex.ru

²ekamaldinov@yandex.ru

³knarozhnykh@yandex.ru

⁴lexluterking@yandex.ru

⁵kulikovasg@yandex.ru

CONJUGATE VARIABILITY OF LINEAR TRAITS AND THEIR COMBINATIONS WITH MILK PROTEIN CONTENT IN HOLSTEIN FIRST-CALF HEIFERS

The objective of the study is to determine the predictive ability of linear traits and their combinations for assessing milk protein yield in first-calf heifers. The study subjects were Holstein first-calf heifers with conformation and milk protein content assessed using 18 linear traits over 305 days of lactation. The subject of the study was the phenotypic correlation of linear traits with milk protein yield. The relationship between the studied traits was assessed in 1,243 first-calf heifers from a high-yielding Holstein herd in the Novosibirsk Region from 2017 to 2023, lactating for 305 days or more, using the Spearman rank correlation coefficient. Preprocessing of the primary data consisted of transforming the linear trait estimates to correctly calculate the correlation coefficient. Grouping of conformation parameters to determine the complex most closely associated with the productive trait was performed using two algorithms. Milk protein content over 305 days of lactation ranged from 156 to 458 kg. A weak correlation was found between conformation and productivity indicators for five udder traits and one body trait, ranging from +0.073 to +0.147 ($\alpha < 0.01$, $\alpha < 0.001$). The correlation coefficient between the composite score calculated using the first algorithm and milk protein yield was +0.275 ($\alpha < 0.001$), while for the second algorithm it was +0.292 ($\alpha < 0.001$). The approximation coefficients (R^2) of the trend functions plotted against the average milk protein level of animal groups, aggregated by the composite score, indicated satisfactory model accuracy in the first case (≈ 0.95) and high accuracy in the second (≈ 0.98). The comparison results suggest that the second method is the preferred algorithm for identifying the best combination of linear features for indirectly assessing and predicting productivity in groups of first-calf heifers. The first method is recommended as a rapid test to determine the feasibility of further application of the second, which is more computationally expensive but more effective.

Keywords: conjugate variability, Holstein breed, first-calf heifers, productivity, milk protein, correlation, complex of linear traits, complex score

For citation: Gart VV, Kamaltdinov EV, Narozhnykh KN, et al. Conjugate variability of linear traits and their combinations with milk protein content in Holstein first-calf heifers. *Bulletin of KSAU*. 2026;6:195-206. DOI: 10.36718/1819-4036-2026-6-195-206.

Введение. Несмотря на принадлежность к одному виду, особенности каждого животного делают его экстерьер уникальным и отличным от других [1]. Любая часть тела играет свою роль для организма животного и объединена причинно-следственными связями с остальными. Изучение этих взаимосвязей – это шаг к осознанию правильного выращивания здорового и экономически эффективного молочного скота [2]. На основе признаков экстерьера исследователи разрабатывают индексы телосложения [3].

Линейный метод позволяет стандартизированно характеризовать признаки экстерьера, в

т. ч. опосредованно связанные с потенциалом молочной продуктивности животного [4].

Линейные признаки включаются в селекционные индексы для молочного скота разных стран в целях совершенствования стад [5, 6], направленных на повышение удоя, жирности и белковости молока, а также последовательное улучшение экстерьера [7]. Список линейных признаков постоянно расширяется [8].

Корреляции между молочной продуктивностью и экстерьерными признаками относятся к категории слабых связей [4, 9]. Наиболее связанными с продуктивностью у молочного скота считаются показатели экстерьера вымени, за-

тем конечностей и, в последнюю очередь, туловища [10, 11].

Экстерьер животных может меняться в результате отбора [12], что может затронуть и связи линейных признаков друг с другом и продуктивностью.

Фиксируя значения коэффициента корреляции между признаками экстерьера в очень широком диапазоне (от $-0,59$ до $+0,85$) [13, 14], исследователи ищут пути эффективного использования этой связи в селекции на повышение молочной продуктивности.

Зачастую информация об ассоциациях с признаками экстерьера избыточна, поэтому в ней трудно ориентироваться при реализации селекционной программы [15]. Цифровые технологии и новые подходы к оценке биологических особенностей сделают возможным точнее выявлять у молочного скота взаимосвязь признаков экстерьера и продуктивности в производственных условиях [16].

Цель исследования – изучить прогностическую способность линейных признаков и их сочетаний для оценки выхода молочного белка первотелок.

Задачи: определить связь между линейными признаками и содержанием молочного белка; составить комплексные баллы линейных признаков согласно алгоритмам; проанализировать зависимость содержания молочного белка от комплексного балла.

Объекты и методы. Объект исследования – первотелки голштинской породы с оцененным по 18 линейным признакам экстерьером и содержанию молочного белка за 305 дней лактации. Предмет исследования – фенотипическая корреляция линейных признаков с выходом молочного белка.

Изучались животные высокопродуктивного стада голштинского скота (средний удой более 13000 кг на фуражную корову) Новосибирской области с 2017 по 2023 г.

Элементы экстерьера животных, перечисленных в таблице 1, оценивались по шкале от 1 до 9 баллов во временном промежутке от 30 до 120 дней лактации.

Количество молочного белка рассчитывалось в килограммах за 305 дней лактации. Для устранения влияния фактора «продолжительность лактации» животные, доившиеся менее 305 дней, не были включены в выборку. В результате общее количество первотелок составило 1 243 особи с продуктивностью, варьирав-

шейся в диапазоне от 156 до 458 кг по содержанию молочного белка за 305 дней лактации.

В основе методики расчета комплексного балла линейных признаков используется ранговый коэффициент корреляции Спирмена, требующий, чтобы лучшее животное при ранжировании имело первый ранг, а остальные – в зависимости от представляемой ими ценности. Поэтому производилось преобразование оценок линейных признаков так, чтобы животные с желательным баллом при вычислении рангового коэффициента корреляции имели высший ранг.

Например: при желательном значении в 5 баллов особям с оценкой 6 заменяли на 4; 7 – на 3; 8 – на 2; 9 – на 1. В случае, когда желательный балл признака имел два значения, например 6 и 7, то первотелкам, имеющим такие оценки, уравнивали ранг, заменяя 7 на 6, а с остальными поступали как в предыдущем примере, вместо 8 подставляя 7, вместо 9 – 6. [17, 18].

Классификацию силы связи, рассчитанной через ранговый коэффициент корреляции Спирмена, производили по шкале Чеддока [19].

Конструирование комплекса линейных признаков, имеющих наибольшую коррелятивную связь с выходом молочного белка, производилось по двум алгоритмам [20].

Для комплекса, находимого по первому (более простому в исполнении) алгоритму, подбор признаков экстерьера осуществлялся в следующем порядке: 1) для определения степени связи каждого линейного признака с количеством молочного белка рассчитывался ранговый коэффициент корреляции Спирмена; 2) производилось ранжирование абсолютных значений полученных показателей связи; 3) формировался комплекс 1..2 путем сложения у каждого животного преобразованных оценок самого скоррелированного с выходом молочного белка линейного признака с оценками второго (следующего за ним согласно рангу); 4) конструировался комплекс 1..3 методом сложения (если коэффициент корреляции третьего признака с продуктивным был положительный) или вычитания (если отрицательный) для каждого животного суммы преобразованных баллов уже образованного (первого) комплекса и следующего (третьего) по рангу линейного признака; 5) формировались остальные комплексы (от 1..4 до 1..18) по алгоритму, изложенному в четвертом пункте; 6) рассчитывался ранговый коэффициент корреляции Спирмена между каждым полученным комплексом и количеством молочного

белка; 7) определялся лучший комплекс (имеющий наибольшую связь с признаком продуктивности); 8) выводилась формула комплексного балла (КБ1).

Для комплекса, определяемого по второму (более сложному в реализации) алгоритму, первый и второй шаги выполнялись так же, как и описано выше; 3) для формирования комплекса 1..2 выбирался линейный признак, наиболее ассоциированный с продуктивным показателем. К его скорректированным оценкам у каждого животного прибавлялись (при положительном коэффициенте корреляции) или вычитались (при отрицательном) значения второго линейного признака. То же проделывалось для пар линейных признаков: первый – третий, первый – четвертый и т. д., – до пары первый – восемнадцатый. Каждый раз рассчитывался ранговый коэффициент корреляции Спирмена между комплексом из двойки линейных признаков и выходом молочного белка. Затем отбирался комплекс, имеющий максимальное значение коэффициента корреляции из получившихся 17 вариантов и ему давалось обозначение 1..2; 4) при конструировании комплекса 1..3, с суммарным баллом комплексного балла 1..2 у каждого животного так же поочередно методом перебора (как в пункте 3) складывались положительные или отрицательные (в зависимости от направления связи) значения преобразованных оценок оставшихся (в данном случае шестнадцати) линейных признаков, не вошедших в комплекс 1..2, и рассчитывался ранговый коэффициент корреляции Спирмена. Комплексом 1..3 становился вариант, имеющий максимальную ассоциацию с выходом молочного белка;

5) остальные комплексы создавались по алгоритму четвертого шага до тех пор, пока коэффициент ранговой корреляции формируемого комплекса и продуктивного признака переставал превышать значение аналогичного показателя предыдущего, т. е. лучшего, комплекса. Поскольку дальнейшее включение в комплекс любого из оставшихся признаков экстерьера приводило к снижению значения показателя связи, они выбывали из дальнейших расчетов; 6) определялась формула комплексного балла (КБ2) для преобразованных оценок лучшего комплекса линейных признаков.

В целях минимизации случайной вариабельности, присущей малочисленным группам, при подготовке данных для построения графиков зависимости выхода молочного белка от комплексного балла линейных признаков производили фильтрацию агрегированных данных, заключающуюся в исключении крайних вариантов групп численностью менее 10 животных.

Результаты и их обсуждение. Значения коэффициента ранговой корреляции Спирмена, отражающие величину и направление связи между линейными признаками экстерьера и выходом молочного белка, варьировались от $-0,045$ до $+0,147$ (табл. 1). Такую связь можно характеризовать как слабую. При этом только шесть из восемнадцати были статистически значимы, пять из них относятся к характеристикам вымени.

Подобные данные, согласующиеся с нашими результатами, были опубликованы в статьях других авторов, исследовавших взаимосвязь содержания молочного белка с экстерьерными особенностями коров на больших популяциях [4].

Таблица 1

**Связь линейных признаков экстерьера
с содержанием молочного белка первотёлок за 305 дней лактации
Correlation between linear type traits
and milk protein yield of first-calf heifers over 305 days of lactation**

№ п/п	Экстерьерный признак	Ранговый коэффициент корреляции		α
		Значение	Статистическая ошибка	
1	2	3	4	5
1	Борозда вымени (БВ)	0,147	0,0262	***
2	Ширина задних долей вымени (ШЗД)	0,135	0,0264	***
3	Длина передних долей вымени (ДПД)	0,118	0,0267	***
4	Высота прикрепления задних долей вымени (ВЗД)	0,112	0,0267	***
5	Обмускуленность (ОБМ)	0,075	0,0273	**
6	Длина сосков (ДС)	0,073	0,0273	**
7	Угол копыта (УК)	$-0,045$	0,0277	
8	Длина крестца (ДК)	$-0,043$	0,0277	

1	2	3	4	5
9	Рост (Р)	0,042	0,0278	
10	Глубина туловища (ГТ)	0,037	0,0278	
11	Прикрепление передних долей вымени (ППД)	-0,032	0,0279	
12	Расположение передних сосков (РПС)	-0,030	0,0279	
13	Крепость телосложения	0,027	0,0280	
14	Ширина таза	0,016	0,0281	
15	Положение таза	-0,014	0,0282	
16	Положение дна вымени	0,008	0,0282	
17	Молочные формы	0,003	0,0283	
18	Постановка задних ног (вид сбоку)	0,002	0,0283	

Примечание: * $\alpha < 0,05$; ** $\alpha < 0,01$; *** $\alpha < 0,001$.

Конечно, зависимость молочной продуктивности от признаков экстерьера намного меньше, чем от таких признаков, как особенности гистологической структуры вымени, интенсивность обмена веществ и др., но после превышения определенного уровня продуктивности их роль начинает возрастать. Например, в целях увеличения пространства для расположения более объемной молочной железы, а значит, позволяющей депонировать больше молока между доениями, у высокопродуктивных животных приходится вести отбор на увеличение ширины таза, длины крестца и роста.

Коэффициент корреляции отражает не прямое влияние линейных признаков на содержание белка в молоке, а только следствие прямо или опосредованно взаимосвязанных механизмов развития некоторых частей или особенностей тела и признаков продуктивности, как результат совместного влияния наследственности и окружающей среды. Оба эти фактора способны воздействовать на формирование сразу нескольких признаков. Поэтому при одновременном попадании в зону влияния этих факторов каких-либо признаков экстерьера и продуктивности, логично рассчитывать на более сильную сопряженность с продуктивностью у комплекса признаков экстерьера, чем у одного отдельно взятого. На это указывают исследования связи удоя и

содержания жира с группами линейных признаков [17, 18]. Нужно только найти эффективный способ выделить эту группу из всего многообразия всевозможных сочетаний признаков экстерьера.

В нашем исследовании (при 18 линейных признаках) может быть 262 143 таких сочетаний. Простой перебор всевозможных случаев является чрезвычайно вычислительно затратным, поэтому для выявления комплекса линейных признаков, наиболее скоррелированного с выходом молочного белка, мы применили два более быстрых, но разных по сложности, способа и сравнили полученные результаты.

Используя порядок, ранжированный по абсолютному значению показателя связи выхода молочного белка с признаками экстерьера (см. табл. 1) согласно первому алгоритму были составлены комплексы линейных признаков и рассчитаны ранговые коэффициенты корреляции Спирмена между суммарным баллом каждого комплекса и содержанием молочного белка (рис. 1). Все значения были статистически достоверны ($\alpha < 0,001$).

Лучшим оказался комплекс 1..12, в который вошли двенадцать линейных признаков, составляющих формулу комплексного (суммарного) балла, по которой он рассчитывается для каждого животного:

$$KB1 = БВ + ШЗД + ДПД + ВЗД + ОБМ + ДС - УК - ДК + Р + ГТ - ППД - РПС.$$

Характеризуя полученный показатель, можно сказать, что КБ1 в 1,87 раза сильнее коррелирует с выходом белка, чем лучший одиночный показатель из приведенных в таблице 1.

На рисунке 2 отображена зависимость среднего содержания молочного белка за 305 дней

лактации в группах животных, объединенных по величине КБ1, от значений КБ1. Крайние значения КБ1, содержащие в группе менее 10 особей, были исключены из анализа в целях минимизации случайной вариабельности и выбросов.

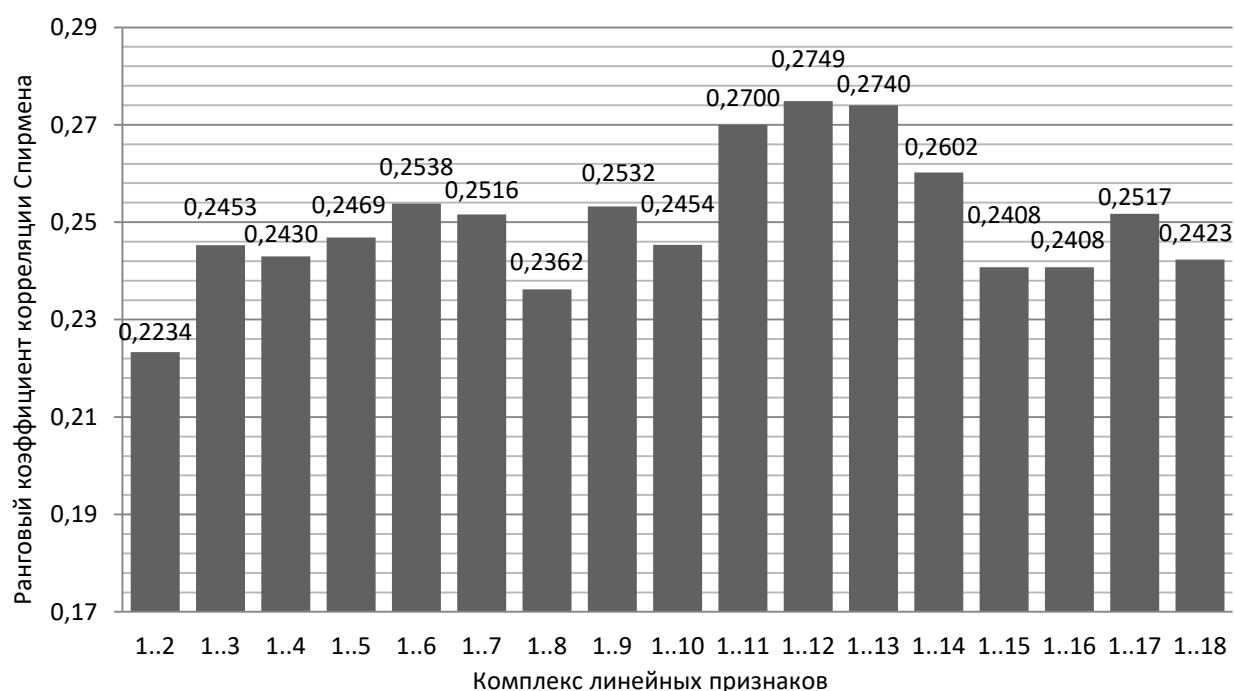


Рис. 1. Значения коэффициентов ранговой корреляции между содержанием молочного белка и суммарным баллом комплексов линейных признаков первого алгоритма
 Values of rank correlation coefficients between milk protein yield and the composite score (CS1) of linear trait complexes constructed using the first algorithm

Максимальное значение КБ1 (рассчитанное по формуле) может составить 58 баллов. На графике воспроизведен отрезок шкалы, в

пределах которого отражены практически (черная линия) значения выхода молочного белка и тренд функции третьей степени (красная линия).

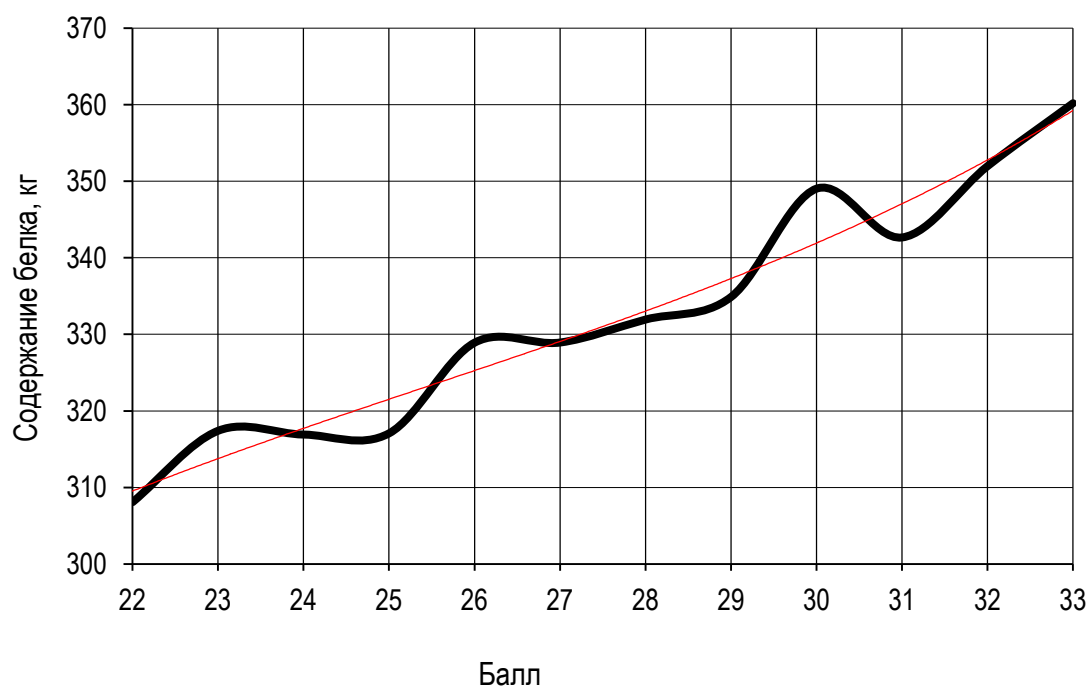


Рис. 2. Зависимость содержания молочного белка от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..12
 Dependence of milk protein yield on the composite score of the linear trait complex 1..12

Коэффициенты аппроксимации (табл. 2) трех функций трендов с графиком зависимости уровня молочного белка от КБ1 (R^2) свидетельствуют о том, что полученные уравнения с удовлетворительной точностью моделируют исходные данные. Поэтому, воспользовавшись формулами представленных степенных функций, отражающих тренд, можно как прогнозировать продуктивность групп первотелок внутри исследо-

ванного интервала КБ1 (от 22 до 33 баллов), так и экстраполировать продуктивность групп первотелок на несколько баллов вперед, а затем, проанализировав фактическое положение дел в стаде с линейными признаками, входящими в формулу КБ1, определить селекционную стратегию относительно них, способствующую повышению продуктивности и совершенствованию экстерьера.

Таблица 2

Формулы степенных функций трендов и коэффициенты достоверности их аппроксимации (R^2) с графиком зависимости КБ1
Formulas of power trend functions and their coefficients of approximation (R^2) for the CS1 dependence graph

Степень функции	Формула	R^2
1	$y = 4,3543x + 212,6054$	0,94827
2	$y = 0,1111x^2 - 1,7571x + 295,3122$	0,95403
3	$y = 0,0183x^3 - 1,3996x^2 + 39,3984x - 74,8121$	0,95539

При формировании комплексов согласно второму алгоритму, основанному на включении в комплекс экстерьерного показателя, наиболее увеличивающего связь суммарного балла

преобразованных оценок комплекса с выходом молочного белка, линейные признаки добавлялись в порядке, приведенном на рисунке 3.

№ п/п	Признак	Комплекс								
1	Борозда вымени	1..2	1..3	1..4	1..5	1..6	1..7	1..8	1..9	1..10
2	Ширина задних долей вымени									
3	Длина передних долей вымени									
4	Прикрепление передних долей вымени									
5	Высота прикрепления задних долей вымени									
6	Длина сосков									
7	Рост									
8	Глубина туловища									
9	Расположение передних сосков									
10	Обмускуленность									

Рис. 3. Порядок включения линейных признаков в комплексы, формируемые по второму алгоритму
 Order of inclusion of linear traits into complexes formed using the second algorithm

При поочередном присоединении этих десяти показателей экстерьера ранговый коэффициент корреляции постоянно возрастал (рис. 4). Включение в новый комплекс любого из оставшихся восьми признаков лишь снижало связь с выходом молочного белка. Все значения ранго-

вого коэффициента корреляции Спирмена были статистически достоверны ($\alpha < 0,001$).

Формулу расчета суммарного балла лучшего комплекса (1..10) для каждого животного можно представить в следующем виде:

$$КБ2 = БВ + ШЗД + ДПД - ППД + ВЗД + ДС + Р + ГТ - РПС + ОБМ$$

В ней присутствуют все линейные признаки из формулы расчета КБ1, кроме двух: угол копыта и длина крестца. Исключение из формулы

КБ2 этих показателей, имеющих крайне низкую отрицательную корреляцию с выходом белка, устранило избыточность формулы, снижаю-

щую эффективность комплексного балла. При этом максимальная величина КБ2 возросла до 60 единиц.

Относительно показателя связи можно отметить, что КБ2 в 1,99 раза теснее связан с со-

держанием белка, чем самый скоррелированный из восемнадцати одиночных линейных признаков, что на 0,12 выше, чем КБ1.

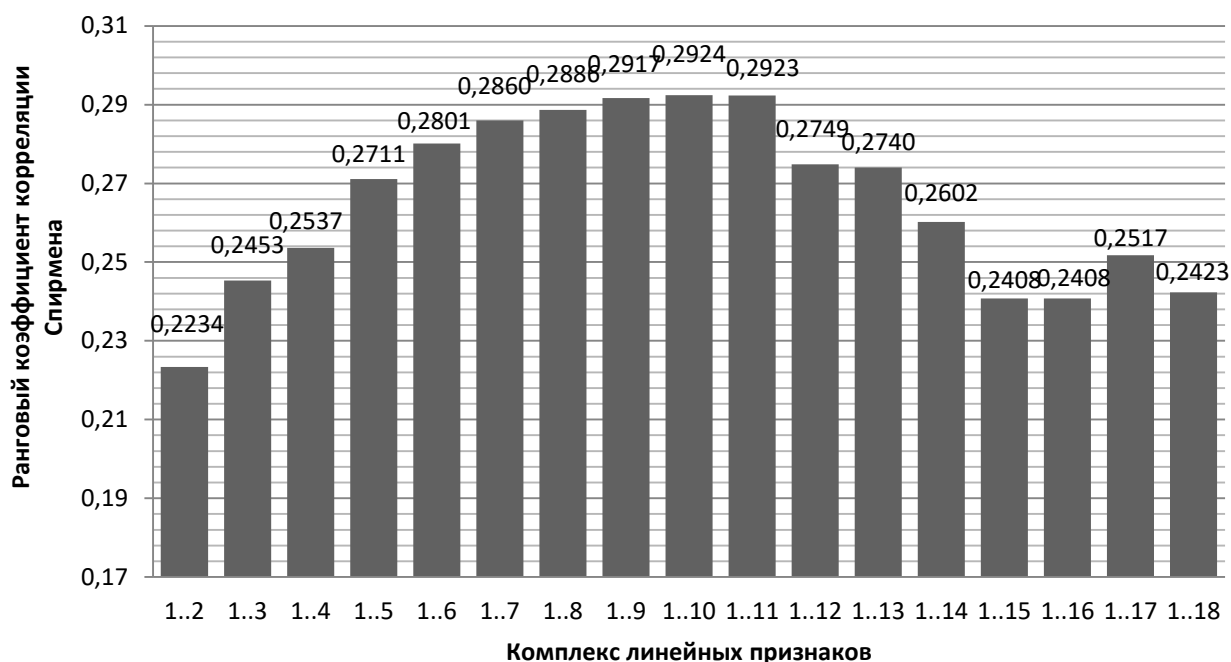


Рис. 4. Значения коэффициентов ранговой корреляции между содержанием молочного белка и суммарным баллом комплексов линейных признаков второго алгоритма
Values of rank correlation coefficients between milk protein yield and the composite score (CS2) of linear trait complexes constructed using the second algorithm

График зависимости выхода молочного белка от КБ1, изображенный черной линией на рисунке 5, визуально выглядит более выровненным, чем на рисунке 2 и более приближен к

красной линии тренда, представленной полиномом третьей степени (формула приведена в таблице 3).

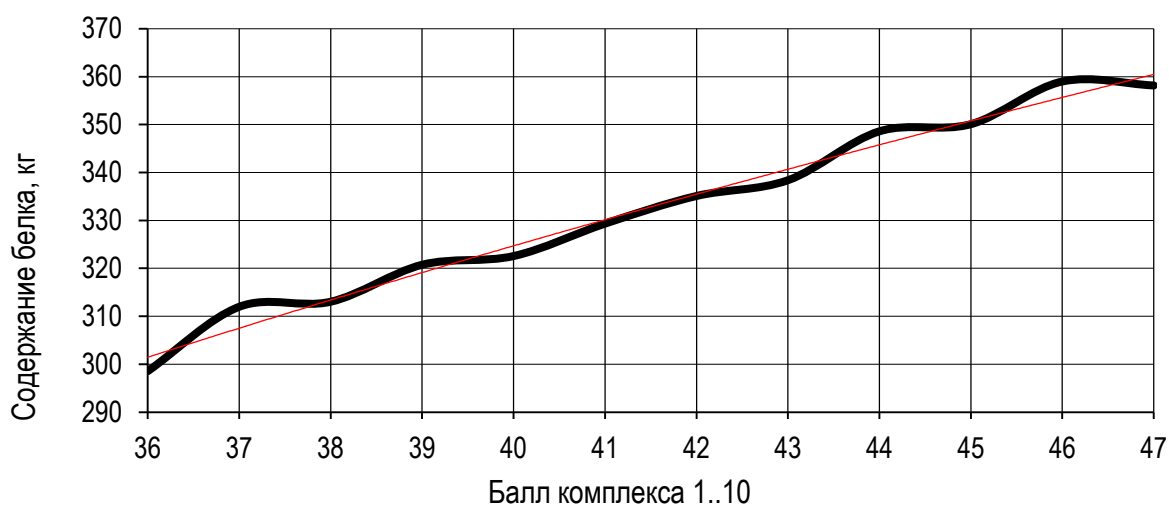


Рис. 5. Зависимость содержания молочного белка от суммарного балла комплекса линейных признаков 1..10
Dependence of milk protein yield on the composite score of the linear trait complex 1..10

Значения коэффициентов аппроксимации функций трендов зависимости продуктивного признака от КБ2 составили более 0,98 (табл. 3), т. е. степень точности аппроксимации исходных данных повысилась до высокой по сравнению с КБ1. При использовании этих функций для интерполяционных и экстраполяционных расчетов

выхода молочного белка прогнозы продуктивности для групп животных, агрегированных по КБ2, будут точнее, а значит, правильное может быть определена и селекционная стратегия, затрагивающая признаки экстерьера, входящие в комплекс 1..10, как самый ассоциированный с изучаемым продуктивным признаком.

Таблица 3

Формулы степенных функций трендов и коэффициенты достоверности их аппроксимации (R^2) с графиком КБ2
Formulas of power trend functions and their coefficients of approximation (R^2) for the CS2 dependence graph

Степень функции	Формула	R^2
1	$y = 5,3509x + 110,0346$	0,9828
2	$y = -0,0613x^2 + 10,4412x + 5,1410$	0,9840
3	$y = 0,0014x^3 - 0,2306x^2 + 17,4360x - 90,8212$	0,9840

Идея подбора линейных признаков для объединения их оценок в единый комплекс с целью повышения его ассоциации с удоем и, тем самым, увеличения прогностической способности была описана относительно недавно [17]. Высокие результаты были получены и для выхода молочного жира [18]. Подробное описание алгоритмов подбора признаков для КБ1 и КБ2 было дано вместе с попыткой предсказания сразу двух продуктивных признаков по единому комплексному баллу [20]. Оценка предсказательной способности полиномиальных моделей, построенных на основе комплексного балла, была проведена методом кросс-валидации, который подтвердил эффективность их использования для косвенной оценки и прогнозирования удоя и содержания молочного жира в группах первотелок, агрегированных по этому баллу [21].

Сравнивая затраты на составление комплексов, можно отметить, что нахождение КБ1 требует одноразового исполнения каждого пункта первого алгоритма, а при определении КБ2 формирование комплекса линейных признаков и сравнение полученных коэффициентов ранговой корреляции (пункты 3–5, описанные в разделе «Объекты и методы») для 18 показателей экстерьера необходимо повторить максимум 153 раза (обычно несколько меньше). Поэтому считаем, что, поскольку алгоритм нахождения КБ1 проще, а результат менее точный, то его лучше рассматривать в качестве своеобразного экспресс-теста для предварительной оценки

возможности использования комплексного балла в дальнейших исследованиях. А после доказательства такой возможности переходить ко второму, более точному, но вычислительно затратному методу нахождения оптимального комплекса КБ2.

Заключение. Выявлена слабая положительная, варьирующаяся в диапазоне от 0,073 до 0,147, связь выхода молочного белка первотелок за 305 дней лактации с шестью признаками экстерьера: борозда вымени, ширина задних долей вымени, длина передних долей вымени, высота прикрепления задних долей вымени, обмускуленность, длина сосков.

Лучшим для модели прогнозирования выхода молочного белка был комплекс, состоящий из преобразованных оценок линейных признаков: борозда вымени, ширина задних долей вымени, длина передних долей вымени, прикрепление передних долей вымени, высота прикрепления задних долей вымени, длина сосков, рост, глубина туловища, расположение передних сосков, обмускуленность. Коэффициент ранговой корреляции этого комплекса с содержанием молочного белка был в 1,99 раза выше, чем самого ассоциированного одиночного линейного признака (борозда вымени).

Коэффициенты аппроксимаций функций трендов (R^2), отражающих зависимость среднего содержания молочного белка групп животных, агрегированных по комплексному баллу, рассчитанному вторым способом, составили

более 0,98, что свидетельствует о высокой эффективности выявленного сочетания линейных признаков для косвенной оценки и прогнозирования белкомолочной продуктивности в группах первотелок.

Рекомендуется использовать первый (менее точный, упрощенный) алгоритм нахождения

комплексного балла для тестирования потенциала коррелятивной связи групп линейных признаков с показателем продуктивности, а второй (более точный и вычислительно затратный) – для углубленного поиска лучшего линейного комплекса.

Список источников

1. Nematollahi A.F., Rahiminejad A., Vahidi B. A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature // Journal of Soft Computing. 2020. Vol. 24, N 2. P. 1117–1151.
2. Лефлер Т.Ф., Адушинов Д.С., Боярина О.А. Линейная оценка экстерьера коров голштинской породы по канадской системе // Вестник КрасГАУ. 2025. № 8. С. 156–165. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-8-156-165.
3. Алексеева Е.А. Конструирование индекса для комплексной оценки коров молочного направления // Вестник КрасГАУ. 2023. № 2. С. 172–179.
4. Батанов С.Д., Баранова И.А., Старостина О.С. Модель прогнозирования молочной продуктивности коров по их экстерьерным особенностям // Вестник БашГАУ. 2019. № 1. С. 55–62.
5. Карташова А.П., Фирсова Э.В. Комплексная оценка скота молочного направления продуктивности // Аграрный вестник Урала. 2020. № 10. С. 50–56.
6. Трухачев В.И., Злыднев Н.З., Селионова М.И. Селекция молочного скота стран Северной Европы: стратегия, методы, результаты (ч. 1) // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 4. С. 2–5.
7. 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. С. 150–155.
8. Миронов Е.Г., Логачева А.Ю., Джой И.Ю., и др. Формирование расширенного списка линейных признаков оценки экстерьера молочного КРС на основе международного и российского опыта // Генетика и разведение животных. 2024. № 3. С. 60–76.
9. Лапина М.Ю., Абрамова М.В. Динамика показателей экстерьера и молочной продуктивности в микропопуляции голштинского скота // Пермский аграрный вестник. 2020. № 3. С. 94–102.
10. Трухачев В.И., Злыднев Н.З., Селионова М.И. Селекция молочного скота стран Северной Европы: стратегия, методы, результаты (2 часть) // Молочное и мясное скотоводство. 2016. № 5. С. 3–7.
11. Alimzhanova L.V., Bostanova S.K., Sheiko Yu.N., et al. The Level of Milk Production, Depending on the Exterior Traits of Dairy Cows // OnLine Journal of Biological Sciences. 2018. Vol. 18, N 1. P. 29–36.
12. 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.
13. Контэ А.Ф., Карликова Г.Г. Параметры изменчивости показателей телосложения и продуктивности голштинских коров в зависимости от уровня удоя // Аграрный вестник Урала. 2022. № 6. С. 37–48.
14. Тулинова О.В., Романова Е.А. Влияние квалификации классификатора на результативность линейной оценки крупного рогатого скота // Животноводство и кормопроизводство. 2025. Т. 108, № 3. С. 95–112.
15. Prabowo S., Garip M. Using of Conspicuous of Body Angularities Type Traits to Milk Yields as Dairy Cattle Selection Preferences // Basrah Journal of Agricultural Sciences. 2023. Vol. 36, N 1. P. 238–253.
16. Батанов С.Д., Амерханов И.А., Баранова И.А., и др. Молочная продуктивность коров разных экстерьерно-конституциональных типов // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2021. № 2. С. 102–113.

17. Гарт В.В., Куликова С.Г., Богданова О.В., и др. Полиномиальная сопряженная изменчивость признаков линейной оценки экстерьера и удоя высокопродуктивного голштинского скота // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2024. № 5. С. 86–100.
18. Гарт В.В., Куликова С.Г., Нарожных К.Н., и др. Раннее прогнозирование содержания молочного жира у голштинского скота на основе сопряженной изменчивости с линейными признаками // Вестник НГАУ. 2024. № 4. С. 168–176.
19. Котеров А.Н., Ушенкова Л.Н., Зубенкова Э.С., и др. Сила связи. Сообщение 2. Градации величины корреляции // Медицинская радиология и радиационная безопасность. 2019. Т. 64, № 6. С. 12–24.
20. Гарт В.В., Куликова С.Г., Камалдинов Е.В., и др. Непрямая оценка уровней признаков молочной продуктивности первотелок голштинской породы // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25.
21. Гарт В.В., Куликова С.Г., Камалдинов Е.В., и др. Валидация первого метода прогнозирования молочной продуктивности первотелок по комплексному баллу линейных признаков // Аграрный вестник Урала. 2025. Т. 25, № 9. С. 1372–1383.

References

1. Nematollahi AF, Rahiminejad A, Vahidi B. A novel meta-heuristic optimization method based on golden ratio in nature. *Journal of Soft Computing*. 2020;24(2):1117-1151. DOI: 10.1007/s00500-019-03949-w.
2. Lefler TF, Adushinov DS, Boyarina OA. Linear assessment of Holstein cows exterior under Canadian methodology. *Bulletin of KSAU*. 2025;8:156-165. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036 2025-8-156-165.
3. Alekseeva EA. Index construction to comprehensively assess dairy cows. *Bulletin of KSAU*. 2023;2:172-179. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-2-172-179.
4. Batanov SD, Baranova IA, Starostina OS. Model for predicting the milk productivity of cows by their exterior features. *Vestnik of BashGAU*. 2019;1:55-62. (In Russ.). DOI: 10.31563/1684-7628-2019-49-1-55-62.
5. Kartashova AP, Firsova EV. Multipurpose evaluation of the dairy cattle // Agrarian Bulletin of the Urals. 2020;10:50-56. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997 4868-2020-201-10-50-56.
6. Trukhachev VI, Zlydnev NZ, Selionova MI. Dairy cattle breeding of northern Europe: Strategies, methods, results (Part 1). *Dairy and Breed Cattle Farming*. 2016;4:2-5 (in Russ.).
7. Romanova EA, Tulina OV. Breeding index modeling for airshire dairy cattle with application of exterior parameters. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2021;1:150-155. (In Russ.). DOI: 10.18286/1816 4501-2021-1-150-155.
8. Mironov EG, Logacheva AY, Joy IYu, et al. Formation of an expanded linear conformation traits list for the dairy cattle based on international and Russian experience. *Genetics and Breeding of Animals*. 2024;3:60-76. (In Russ.). DOI: 10.31043/2410-2733-2024-3-60-76.
9. Lapina MYu, Abramova MV. The dynamics of the linear traits and milk production in micropopulation of holstein cattle. *Perm agrarian journal*. 2020;3:94-102. (In Russ.). DOI: 10.24411/2307-2873-2020 10045.
10. Truhachev VI, Zlydnev NZ, Selionova MI. Dairy cattle breeding of northern Europe: Strategies, methods, results (Part 2). *Dairy and Breed Cattle Farming*. 2016;5:3-7 (In Russ.).
11. Alimzhanova LV, Bostanova SK, Sheiko YuN, et al. The Level of Milk Production, Depending on the Exterior Traits of Dairy Cows. *OnLine Journal of Biological Sciences*. 2018;18(1):29-36 DOI: 10.3844/ojbsci.2018.29.36.
12. Tatarkina NI, Svyazhenina MA, Ponomareva EA. The use of exterior assessment in the selection of Holstein cattle. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2023;23(10):81-90. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2023-23-10-81-90.
13. Konte AF, Karlikova GG. 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;6:37-48. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2022-221-06-37-48.

14. Tulinova OV, Romanova EA. Impact of classifier qualification on the results of linear assessment of cattle. *Animal Husbandry and Fodder Production*. 2025;108(3):95-112. (In Russ.). DOI: 10.33284/2658-3135-108-3-95.
15. Prabowo S, Garip M. Using of Conspicuous of Body Angularities Type Traits to Milk Yields as Dairy Cattle Selection Preferences. *Basrah Journal of Agricultural Sciences*. 2023;36(1):238-253. DOI: 10.37077/25200860.2023.36.1.19.
16. Batanov SD, Amerkhanov KhA, Baranova IA, et al. Milk productivity of cows of different exterior constitutional types. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2021;2:102-113. (In Russ.). DOI: 10.26897/0021-342X-2021-2-102-113.
17. Gart VV, Kulikova SG, Bogdanova OV, et al. 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. (In Russ.). DOI: 10.26897/0021-342X-2024-5-86-100.
18. Gart VV, Kulikova SG, Narozhnykh KN, et al. Early prediction of milk fat content in Holstein cattle based on correlated variability with linear traits. *Bulletin of NSAU*. 2024;4:168-176. (In Russ.). DOI: 10.31677/2072-6724-2024-73-4-168-1764.
19. Koterov AN, Ushenkova LN, Zubenkova ES, et al. Strength of Association. Report 2. Graduations of Relative Risk. *Medical Radiology and Radiation Safety*. 2019;64(6):12-24. (In Russ.). DOI: 10.12737/1024-6177-2019-64-6-12-24.
20. Gart VV, Kulikova SG, Kamaldinov EV, et al. Indirect assessment of the levels of milk productivity traits in first-calf heifers of the Holstein breed. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025;25(6):900-914. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-06-900-914.
21. Gart VV, Kulikova SG, Kamaldinov EV, et al. Validation of the first method for predicting milk productivity in first-calf heifers based on a composite score of linear type traits. *Agrarian Bulletin of the Urals*. 2025;25(9):1372-1383. (In Russ.). DOI: 10.32417/1997-4868-2025-25-09-1372-1383.

Статья принята к публикации 14.04.2026 / The article accepted for publication 14.04.2026

Информация об авторах:

Владимир Владимирович Гарт, профессор кафедры прикладной биоинформатики, доктор сельскохозяйственных наук, доцент

Евгений Варисович Камалдинов, заведующий кафедрой прикладной биоинформатики, доктор биологических наук, доцент

Кирилл Николаевич Нарожных, доцент кафедры прикладной биоинформатики, кандидат биологических наук, доцент

Алексей Федорович Петров, заведующий лабораторией прикладной биоинформатики, кандидат биологических наук

Светлана Геннадьевна Куликова, профессор кафедры ветеринарной генетики и биотехнологии, доктор биологических наук, профессор

Information about the authors:

Vladimir Vladimirovich Gart, Professor, Department of Applied Bioinformatics, Doctor of Agricultural Sciences, Docent

Evgeny Varisovich Kamaltdinov, Head of the Department of Applied Bioinformatics, Doctor of Biological Sciences, Docent

Kirill Nikolaevich Narozhnykh, Associate Professor, Department of Applied Bioinformatics, Candidate of Biological Sciences, Docent

Alexey Fedorovich Petrov, Head of the Applied Bioinformatics Laboratory, Candidate of Biological Sciences

Svetlana Gennadyevna Kulikova, Professor, Department of Veterinary Genetics and Biotechnology, Doctor of Biological Sciences, Professor