

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕМА ТУЛОВИЩА ПО ЛИНЕЙНЫМ ПРИЗНАКАМ СКОТА ИРМЕНСКОГО ТИПА

<sup>1</sup>Петров А.Ф., <sup>1</sup>Камалдинов Е.В., <sup>1</sup>Панферова О.Д., <sup>2</sup>Ефремова О.В., <sup>2</sup>Рогозин В.А.

<sup>1</sup>Новосибирский государственный аграрный университет,  
Новосибирск, Россия

<sup>2</sup>Племенной завод «Ирмень»

Новосибирская область, с. Верх-Ирмень, Россия

Представлены результаты моделирования изменчивости комплексного признака «объем туловища» по линейным признакам, измеряемым по 10-балльной шкале согласно действующей инструкции по бонитировке крупного рогатого скота молочных и молочно-мясных пород. Объект исследований – комплексный показатель «объем туловища» крупного рогатого скота ирменского типа. Экстерьер скота оценен специалистами на коллегиальной основе. Полученные модели позволили выявить группу экстерьерных признаков, связанных с изменчивостью изучаемого показателя и выявляли погрешности в работе оценщиков. Решение поставленных задач осуществлялось с использованием множественных линейных, полиномиальных, степенных и логарифмических регрессионных моделей. Установлено, что множественные линейные регрессионные модели достаточно точно описывают норму реакции объема туловища. Диаграммы распределения остатков сделали возможным контролировать качество оценки бонитеров и корректировать их дальнейшую работу. Наиболее близкой к линейной отмечена логарифмическая модель. Значения остатков в большинстве случаев оказались близки к нулю, что объяснялось низким уровнем изменчивости используемых показателей. Выявлено, что применение разных уровней степенных порядков в моделировании изменчивости объема туловища в баллах может приводить к появлению необъяснимых с биологической точки зрения связей с такими линейными показателями, как расположение передних сосков, расположение задних сосков, прикрепление передних долей и положение дна вымени. Построение диаграммы рассеяния обнаружило высокий уровень варьирования остатков и привело к выводу о нецелесообразности внедрения моделей степенного ряда в практическую работу зоотехников-селекционеров. Показан незначительный вклад изучаемых линейных признаков в варьирование исследуемого комплексного признака. Высокая внутригрупповая дисперсия при построении полиномиальных моделей второго, четвертого порядков отражалась в самых низких значениях критерия Фишера.

**Ключевые слова:** сельское хозяйство, крупный рогатый скот, ирменский тип, селекция, линейная оценка, математические модели

## BODY VOLUME MODELING BY LINEAR FEATURES OF THE IRMEN TYPE CATTLE

<sup>1</sup>Petrov A.F., <sup>1</sup>Kamaldinov E.V., <sup>1</sup>Panferova O.D., <sup>2</sup>Efremova O.V., <sup>2</sup>Rogozin V.A.

<sup>1</sup>Novosibirsk State Agrarian University

Novosibirsk, Russia

<sup>2</sup>Breeding plant «Irmen»

Novosibirsk region, Verkh-Irmen village, Russia

The results of modeling the variability of the complex trait "body volume" by linear traits measured on a 10-point scale in accordance with the current instructions for cattle grading of dairy and dairy-beef breeds are presented. The object of research is the complex indicator "body volume" of Irmen type cattle. The exterior of the livestock was evaluated by experts on a collegial basis. The models obtained made it possible to identify a group of exterior features associated with the variability of the studied trait and to identify errors in the work of the evaluators. The tasks were solved using multiple linear, polynomial, power and logarithmic regression models. It was found that multiple linear regression models accurately describe the norm reaction of the body

volume response. Residue distribution diagrams made it possible to control the quality of appraisers' assessment and adjust their further work. The logarithmic model was marked as closest to linear. The residues in most cases turned out to be close to zero, which was explained by the low level of variability of the traits used. It was revealed that the use of different levels of power orders in modeling the variability of the body volume in points can lead to the emergence of biologically inexplicable relationships with such linear features as the location of the front teats, the location of the rear teats, attachment of the anterior lobes and the position of the bottom of the udder. The construction of the scatter diagram revealed a high level of variation in the residues and led to the conclusion that it was inexpedient to introduce power series models into the practical work of livestock breeders. The insignificant contribution of the studied linear features to the variation of the complex feature under study is shown. High intra-group variance in the construction of second- and fourth-order polynomial models was reflected in the lowest values of the Fisher criterion.

**Keywords:** agriculture, cattle, Irmen type, animal breeding, linear model, mathematical models

**Для цитирования:** Петров А.Ф., Камалдинов Е.В., Панферова О.Д., Ефремова О.В., Рогозин В.А. Моделирование объема туловища по линейным признакам скота ирменского типа // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2020. Т. 50. № 6. С. 106–114. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-6-12>

**For citation:** Petrov A.F., Kamaladinov E.V., Panferova O.D., Efremova O.V., Rogozin V.A. Body volume modeling by linear features of the Irmen type cattle. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki* = *Siberian Herald of Agricultural Science*, 2020, vol. 50, no. 6, pp. 106–114. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2020-6-12>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

## ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время происходит интенсификация внедрения и использования передовых информационных технологий в области сельского хозяйства [1, 2]. Цифровые технологии позволяют улучшить первичный электронный зоотехнический учет, качество и глубину прогноза. Многие этапы отбора и подбора стали осуществляться с применением элементов прикладной биоинформатики и биометрического моделирования [3, 4]. Создаваемые многомерные математические модели как параметрического, так и непараметрического характера, способствуют улучшению контроля и повышению точности прогноза степени инбридинга и молочной продуктивности пробандов с использованием разных видов первичных данных [5]. Профильные специалисты получили инструментальную возможность оценки и верификации родословных вплоть до родоначальников генеалогических линий средствами прикладной информатики, математики и моделирования биологических процессов [6–8].

Отбор животных по комплексу признаков с использованием селекционных индексов

является основным инструментом в племенной работе [9–11]. В настоящее время требуется повышение качества фенотипических данных скота, в том числе при использовании перспективных инструментов трехмерного моделирования [12]. Наиболее ценные особи, отбираемые на каждом этапе оценки животного, позволяют усилить давление искусственного отбора по ряду хозяйственно полезных признаков в популяциях молочного скота [13].

Линейная оценка экстерьера сельскохозяйственных животных требует высокой квалификации оценщика и часто носит субъективный характер. Некоторые аспекты такой работы можно скорректировать внедрением подходящих математических моделей. Интересной представляется обоснованность выставления бонитером комплексных баллов, измеряемых по 10-балльной шкале: объем туловища, вымя, конечности, молочный тип и общий вид.

Цель исследований – оценить возможную связь линейных признаков экстерьера скота ирменского типа, измеряемых в 10-балльной шкале с комплексными признаками на примере объема туловища.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследования проведены в период с июня 2019 г. по июль 2020 г. в ЗАО племязавод «Ирмень». Оценено более 800 гол. маточного поголовья. В качестве инструмента расчета использован язык программирования R, в среде которого описан алгоритм для построения математических моделей и проведения статистического анализа исходных данных [14, 15].

Изучены рекомендуемые показатели линейной оценки: рост (Р), глубина туловища (ГТ), крепость телосложения (КТ), молочные формы (МФ), длина крестца (ДК), положение таза (ПТ), ширина таза (ШТ), обмускуленность (ОБМ), постановка задних конечностей (вид сбоку) КЗСБ, угол копыта (УК), длина передних долей (ДПД), высота прикрепления задних долей (ВПЗД), прикрепление передних долей (ППД), ширина задних долей вымени (ШЗД), центральная связка (ЦС), положение дна вымени (ПДВ), расположение передних сосков (РПС), длина сосков (ДС), расположение задних сосков (РЗС), баланс вымени (БВ), постановка задних конечностей сзади (КЗСЗ), выраженность молочных вен (ВМВ), ширина груди (ШГ). Линейная оценка экстерьера скота проведена группой независимых экспертов.

Применены множественные линейные, полиномиальные, степенные и логарифмические регрессионные модели. Случайные факторы во внимание не принимали, так как задачей настоящего исследования являлась оценка роли показателей линейной оценки, измеряемых по 10-балльной системе в изменчивости объема туловища (ОТ). С целью сравнения моделей вычисляли информационные критерии. Критерием для включения того или иного предиктора выступал уровень статистической значимости ( $p \leq 0,05$ ). Поиск оптимальных моделей осуществлялся с использованием критериев Акаике и Шварца. Применение логарифмической регрессии обусловлено сходством распределения ОТ с логнормальным.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Точность прогноза любого количественного признака зависит от влияния ряда факторов, совокупность и взаимодействие которых играют ключевую роль. Наряду с этим, важным представляется оценка роли нелинейных преобразований и интерпретируемость полученных результатов как с математической, так и с биологической точки зрения. Зависимые и независимые признаки в основном обладали низким уровнем изменчивости. Это объяснялось высоким уровнем консолидации популяции скота ирменского типа вследствие интенсивного отбора. Данные особенности влияют на возможности математического прогноза. В этой связи предпринята попытка смоделировать уровень комплексного показателя экстерьера ОТ. Этот показатель занимает минимальный вес (0,1) в общей оценке животного согласно существующим порядку и условию проведения бонитировки племенного крупного рогатого скота молочного направления продуктивности<sup>1</sup>.

Первым этапом исследования являлось построение множественной линейной регрессионной модели

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_{k-1} x_{k-1} + e_i,$$

где  $\beta_0$  – свободный член уравнения;  $\beta_1, \beta_2, \beta_{k-1}$  – регрессионные коэффициенты (угловые коэффициенты);  $x_1, x_2, x_{k-1}$  – значения соответствующие зависимым признакам;  $e_i$  – случайная компонента.

Список предикторов определялся значениями уровня статистической значимости. При каждой итерации оставляли только независимые признаки со значимыми коэффициентами регрессии.

Полученная модель включала восемь независимых признаков (см. табл. 1). Наибольшее влияние на объем туловища оказали такие предикторы, как рост, глубина туловища, крепость телосложения, что объяснимо с биологической точки зрения. Меньший вклад вносили такие независимые призна-

<sup>1</sup>Приказ № 379 Министерства сельского хозяйства РФ от 28.10.2010.

ки, как длина крестца, центральная связка и расположение передних сосков. Их угловые коэффициенты ( $\beta$ ) отличались от таковых из первого списка признаков более, чем в 2 раза. Факторы отбирались в модель без участия оператора, основываясь на величине ошибки первого рода. Незначимые эффекты исключались из модели в автоматическом режиме.

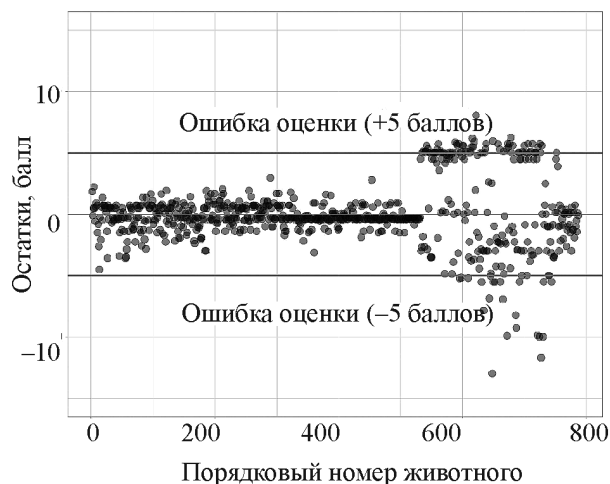
Отмечены такие факторы, как ЦС и РПС, которые не всегда можно связать с зависимым признаком ОТ. По этим предикторам значения коэффициентов регрессии, а также их стандартных ошибок ( $\beta_{SE}$ ) зарегистрированы наименьшими.

**Табл. 1.** Линейная регрессионная модель

**Table 1.** Linear regression model

Предиктор	$\beta_0$	$\beta$	$\beta_{SE}$	$t$	$p$
ГТ	59,9	1,67	0,28	5,981	< 0,001
Р		1,44	0,19	7,435	< 0,001
КТ		1,09	0,51	2,162	0,031
МФ		0,96	0,23	4,167	< 0,001
РПС		0,41	0,18	2,287	0,022
ДК		-0,46	0,21	-2,221	0,027
ЦС		-0,56	0,08	-6,922	< 0,001
ШГ		-1,33	0,37	-3,579	< 0,001

Примечание.  $\beta_{SE}$  – стандартная ошибка коэффициента регрессии;  $t$  – значение  $t$ -критерия;  $p$  – уровень статистической значимости.

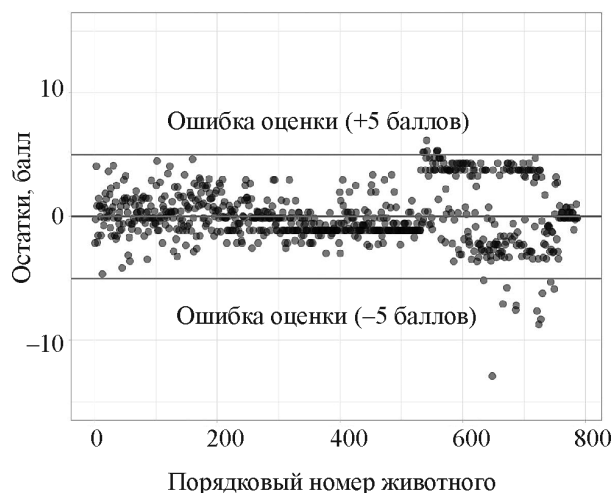


**Рис. 2.** Полиномиальная регрессия второго и четвертого порядков

**Fig. 2.** The second and fourth order polynomial regression

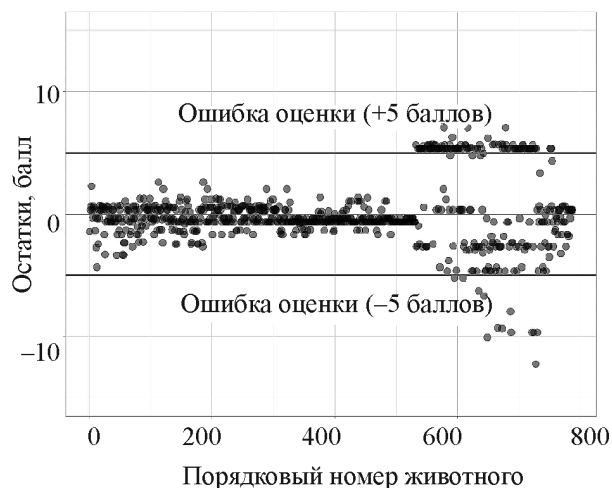
Использование полиномов нечетного порядка обнаружило отсутствие членов нелинейного уравнения справа. Построение подобных моделей с использованием четных порядков приводило к появлению регрессионной зависимости, сопоставимой с линейной (см. рис. 1, 2).

Структура независимых признаков в полиномиальных моделях (см. табл. 2) не позволяла объяснить с биологической точки зрения их роль в изменчивости ОТ. Примечательная особенность таких моделей – присутствие только тех признаков, которые характеризовали вымя. Независимые признаки при построении полиномиальных



**Рис. 1.** Линейная регрессия

**Fig. 1.** Linear regression





**Табл. 2.** Полиномиальные регрессионные модели**Table 2.** Polynomial regression models

Предиктор	$\beta_0$	$\beta$	$\beta_{SE}$	$t$	$p$
Полиномиальная регрессия второго порядка					
ППД (первый порядок)*	74,1	-3,01	1,31	-2,291	0,022
ППД (второй порядок)*		0,19	0,09	2,195	0,028
ПДВ (первый порядок)*		3,14	0,69	4,531	< 0,001
ПДВ (второй порядок)*		-0,29	0,06	-4,655	< 0,001
РПС (первый порядок)*		5,02	1,67	2,999	0,003
РПС (второй порядок)*		-0,42	0,15	-2,849	0,004
РЗС (первый порядок)		1,70	1,05	1,608	0,108
РЗС (второй порядок)		-0,15	0,08	-1,798	0,072
Полиномиальная регрессия четвертого порядка					
РПС (первый порядок)	141,0	-82,9	61,2	-1,35	0,176
РПС (второй порядок)		25,6	16,9	1,513	0,130
РПС (третий порядок)		-3,32	2,03	-1,635	0,102
РПС (четвертый порядок)		0,15	0,09	1,726	0,085
РЗС (первый порядок)*		34,1	13,8	2,480	0,013
РЗС (второй порядок)*		-9,77	3,96	-2,467	0,014
РЗС (третий порядок)*		1,19	0,49	2,445	0,014
РЗС (четвертый порядок)*		-0,05	0,02	-2,434	0,015

\* Предикторы, вносящие значимый вклад в изменчивость зависимого признака.

моделей четного порядка, с биологической точки зрения не увязываются с объемом туловища. Однако получаемые модели подобны линейной, это связано с невысоким уровнем изменчивости признака.

Наряду с приведенной выше оценкой линейной и полиномиальных моделей следует охарактеризовать роль логарифмических и степенных преобразований исходных данных в степени варьирования зависимой переменной (см. табл. 3).

Примечательной особенностью списка предикторов логарифмической модели отмечено их полное соответствие таковым в линейной модели, за исключением признака КЗСБ. Учитывая природу такого нелинейного преобразования, можно наблюдать низкие значения угловых коэффициентов по сравнению со всеми построенными моделями. Визуализация диаграммы рассеяния выявила распределение остатков, почти полностью совпадающее с прогнозируемым. Несмотря на полученные результаты, рассматриваемый вариант модели не рекомендован с целью прогноза ОТ, так как отмечено высокое фенотипическое сходство большинства оцененных особей по этому показателю.

**Табл. 3.** Логарифмические и степенные преобразования**Table 3.** Logarithmic and power transformations

Предиктор	$\beta_0$	$\beta$	$\beta_{SE}$	$t$	$p$
Логарифмическая регрессия					
ГТ	3,85	0,16	0,03	5,73	< 0,001
Р		0,13	0,02	7,04	< 0,001
МФ		0,09	0,02	4,29	< 0,001
КЗСБ		0,02	0,01	1,85	0,064
РПС		0,02	0,01	2,30	0,021
ЦС		-0,02	0,003	-5,84	< 0,001
ДК		-0,04	0,02	-2,15	0,032
ШГ		-0,08	0,02	-3,03	0,002
Степенная регрессия ( $x_i^2$ )					
ГТ	2888	291,5	48,9	5,97	< 0,001
Р		260,2	33,8	7,70	< 0,001
КТ		189,0	88,5	2,14	0,033
МФ		167,9	40,6	4,13	< 0,001
ДК		85,9	36,1	-2,38	0,017
РПС		68,9	31,2	2,21	0,027
ЦС		-108,1	14,2	-7,63	< 0,001
ШГ		-227,2	64,8	-3,51	< 0,001
Степенная регрессия ( $x_i^3$ )					
ГТ	49 188	38 199	6469	5,91	< 0,001
Р		35 288	4475	7,89	< 0,001
КТ		24 583	11 722	2,10	0,036
МФ		21899	5380	4,07	< 0,001
РПС		8845	4130	2,14	0,033
ДК		-11 979	4777	-2,51	0,012
ЦС		-15 531	1876	-8,28	< 0,001
ШГ		-29 339	8574	-3,42	< 0,001

Заключительным этапом исследований стала проверка возможного влияния степенных преобразований на структуру предикторов и точность дальнейшего прогноза. Результаты исследований показали практически тот же набор независимых эффектов, что и на предыдущих этапах работы, независимо от величины степенного ряда (см. табл. 3). При построении диаграммы рассеяния обнаружен высокий уровень разброса остатков относительно линии регрессии. С увеличением степенного порядка распределения остатков в двумерном пространстве зафиксировано значительное увеличение остаточной дисперсии.

При оценке коэффициентов детерминации установлен вклад независимых изучаемых эффектов в варьировании зависимого признака ОТ (см. табл. 4). Отмечена высокая

внутригрупповая дисперсия при построении полиномиальных моделей второго и четвертого порядков. Это отражалось в самых низких уровнях критерия Фишера. Самое высокое качество моделей, согласно информационным критериям Акаике и Шварца, характерно для линейной и логарифмической регрессии. Наименее эффективными оказались степенные модели, что подтверждается полученным ранее результатом.

Все построенные модели имели высокую статистическую значимость. Данный факт можно объяснить большим объемом совокупностей и дискретным характером распределения исходных данных.

Оценка построенной линейной модели дополнена показателями описательной статистики вовлеченных признаков (см. табл. 5).

**Табл. 4.** Сравнительная характеристика моделей

**Table 4.** Comparative characteristics of the models

Модель	$F$	$R^2$	$R^2_{adj}$	$AIC$	$BIC$	$p$
Линейная	38,3	0,283	0,275	3642	3689	< 0,001
Полиномиальная регрессия второго порядка	5,14	0,050	0,040	3863	3910	< 0,001
Полиномиальная регрессия четвертого порядка	3,42	0,034	0,02402	3876	3923	0,001
Логарифмическая регрессия	35,5	0,267	0,2598	3366	3319	< 0,001
Степенная регрессия ( $x_i^2$ )	40,0	0,291	0,2841	11768	11814	< 0,001
Степенная регрессия ( $x_i^3$ )	42,0	0,298	0,2903	19458	19505	< 0,001

Примечание.  $F$  – значение критерия Фишера;  $R^2$  – значение коэффициента детерминации;  $R^2_{adj}$  – уточненное значение коэффициента детерминации;  $AIC$  – значение критерия Акаике;  $BIC$  – значение критерия Шварца.

**Табл. 5.** Степень выраженности и варьирование признаков

**Table 5.** The intensity and variation of the traits

Предиктор	Эталонное значение	$\bar{x} \pm s_{\bar{x}}$	$Me$	$Range$	$Q_1$	$Q_3$	$IQR$	$Cv$
ОТ	90	$89,4 \pm 0,102$	89	35	89	90	1	3,2
Р	8	$8,57 \pm 0,02$	9	2	8	9	1	6,6
ГТ	7	$8,81 \pm 0,014$	9	2	9	9	0	4,5
КТ	7	$7,03 \pm 0,007$	7	3	7	7	0	2,7
МФ	8	$8,74 \pm 0,017$	9	2	9	9	0	5,5
ДК	9	$8,74 \pm 0,017$	9	3	9	9	0	5,5
ЦС	9	$4,61 \pm 0,04$	5	6	4	5	1	24
РПС	5	$5,1 \pm 0,018$	5	5	5	5	0	9,8
ШГ	7	$6,97 \pm 0,009$	7	3	7	7	0	3,8

Примечание.  $Me$  – значение медианы;  $Range$  – разница между максимальным и минимальными значениями;  $Q_1$  – квартиль 1;  $Q_3$  – квартиль 3;  $IQR$  – межквартильный размах;  $Cv$  – коэффициент вариации.

Характерная особенность черно-пестрой породы скота ирменского типа, выражающаяся в высокой степени консолидации по показателям экстерьера, отражалась в низких уровнях коэффициентов вариации и межквартильных размахах. Сопоставление медиан, рассчитанных по линейным признакам, с эталонными значениями позволило расположить линейные признаки в следующем порядке по степени убывания сходства: ДК-Р-КТ-ШГ-РПС-ГТ-ЦС-МФ. Только один признак (ЦС) из представленного списка по своей величине отличался от эталонного, что в очередной раз свидетельствовало о высоком уровне селекционно-племенной работы.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оценена линейная и нелинейная зависимость признаков экстерьера и объема туловища в популяции скота ирменского типа. С помощью моделей отобранные линейные признаки, игравшие существенную роль в изменчивости объема туловища. Установлено, что использование нелинейных преобразований привело либо к снижению уровней коэффициентов детерминации, либо к необъяснимому с биологической точки зрения набору предикторов. Низкие значения коэффициентов детерминации обусловлены тем, что вариативность признаков имела незначительный характер вследствие высокого давления искусственного отбора. Результаты исследований позволяют совершенствовать работу экспертов в области экстерьерной оценки и повысить качество исходных фенотипических данных.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Камалдин Е.В., Дементьев В.Н., Гарт В.В. Использование информационных технологий в племенном свиноводстве // Вестник Новосибирского государственного аграрного университета. 2012. Т. 22. № 1. С. 50–54.
2. Marinchenko T.E. Digitalization as a driver of development of domestic animal breeding // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 2020. Vol. 873. P. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/873/1/012004.
3. Katkov K., Skorykh L.N., Pashtetsky V.S., Pashtetsky A.V., Ostapchuk P.S. Mathematical prediction of breeding value in sheep // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2018. Vol. 9. N 6, P. 1645–1649.
4. Singh S., Gautam B., Rao A., Tandon G., Kaur S. Bioinformatics Approaches for Animal Breeding and Genetics // Current trends in Bioinformatics: An Insight. Singapore. 2018. P. 287–306. DOI: 10.1007/978-981-10-7483-7\_17.
5. Faïd-Allah E. Multi-trait and multi-source selection indices for milk production and reproductive traits in a herd of Holstein cattle in Egypt // Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner. 2015. Vol. 20. N 3, P. 159–167. DOI: 10.14334/JITV.V20I3.1182.
6. Addo S., Schäler J., Hinrichs D., Thaller G. Genetic Diversity and Ancestral History of the German Angler and the Red-and-White Dual-Purpose Cattle Breeds Assessed through Pedigree Analysis // Agricultural Sciences. 2017. Vol. 8. N 9, P. 1033–1047. DOI: 10.4236/as.2017.89075.
7. García-Ruiz A., Wiggans G.R., Ruiz-López F.J. Pedigree verification and parentage assignment using genomic information in the Mexican Holstein population // Journal of Dairy Science. 2019. Vol. 102. N 2, P. 1806–1810. DOI: 10.3168/jds.2018-15076.
8. Moore K.L., Vilela C., Kaseja K., Mrode R., Coffey M. Forensic use of the genomic relationship matrix to validate and discover livestock pedigrees // Journal of Animal Science. 2019. Vol. 97. N 1, P. 35–42. DOI: 10.1093/jas/sky406.
9. Мельникова Е.Е., Янчуков И.Н., Ермилов А.Н., Зиновьева Н.А., Осадчая О.Ю., Харитонов С.Н. Селекционный индекс племенной ценности коров популяции черно-пестрого скота Московской области // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2017. № 1. С. 85–97.
10. Янчуков И.Н., Сермягин А.А., Мельникова Е.Е., Немчинова М.В., Харитонов С.Н. Комплексная оценка молочного скота на основе селекционного индекса // Актуальные проблемы интенсивного развития животноводства. 2017. Т. 20. № 1. С. 13–21.
11. Miglior F., Muir B.L., Van Doormaal B.J. Selection Indices in Holstein Cattle of Various Countries // Journal of Dairy Science. 2005.

- Vol. 88. N 3, P. 1255–1263. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72792-2.
12. Viana J.H.M., Bartolo P.J.D.S. New applications of three-dimensional data acquisition, modelling, and printing in animal sciences: a case report // Singapore: Progress in Additive Manufacturing. 2016. P. 122–127.
  13. Soloshenko V.A., Popovski Z., Goncharenko G.M., Petukhov V.L., Grishina N.B., Shishin N.I., Kamaldinov E.V. Association of polymorphism of  $\kappa$ -casein gene and its relationship with productivity and qualities of a cheese production // Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 2016. Vol. 7. N 5, P. 982–989.
  14. Камалдинов Е.В. Каноническая дискриминантная модель влияния генотипа отца на некоторые интерьерные показатели его потомков у свиней // Вестник КрасГАУ. 2012. № 1. С. 117–122.
  15. Камалдинов Е.В., Короткевич О.С. Каноническая дискриминантная модель межпородных дифференциаций свиней по биохимическим и гематологическим параметрам крови // Аграрная Россия. 2011. № 5. С. 8–12.
- ## REFERENCES
1. Kamaldinov E.V., Dement'ev V.N., Gart V.V. Applying of information technologies in pedigree pig breeding. *Vestnik Novosibirskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of Novosibirsk State Agrarian University*, 2012, vol. 22, no. 1, pp. 50–54. (In Russian).
  2. Marinchenko T.E. Digitalization as a driver of development of domestic animal breeding. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, vol. 873, p. 012004. DOI: 10.1088/1757-899X/873/1/012004.
  3. Katkov K., Skorykh L.N., Pashtetsky V.S., Pashtetsky A.V., Ostapchuk P.S. Mathematical prediction of breeding value in sheep. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2018, vol. 9, no. 6, pp. 1645–1649.
  4. Singh S., Gautam B., Rao A., Tandon G., Kaur S. Bioinformatics Approaches for Animal Breeding and Genetics. *Current trends in Bioinformatics: An Insight. Singapore*, 2018, pp. 287–306. DOI: 10.1007/978-981-10-7483-7\_17.
  5. Faïd-Allah E. Multi-trait and multi-source selection indices for milk production and reproductive traits in a herd of Holstein cattle in Egypt. *Jurnal Ilmu Ternak dan Veteriner*, 2015, vol. 20, no. 3, pp. 159–167. DOI: 10.14334/JITV.V20I3.1182.
  6. Addo S., Schäler J., Hinrichs D., Thaller G. Genetic Diversity and Ancestral History of the German Angler and the Red-and-White Dual-Purpose Cattle Breeds Assessed through Pedigree Analysis. *Agricultural Sciences*, 2017, vol. 8, no. 9, pp. 1033–1047. DOI: 10.4236/as.2017.89075.
  7. García-Ruiz A., Wiggans G.R., Ruiz-López F.J. Pedigree verification and parentage assignment using genomic information in the Mexican Holstein population. *Journal of Dairy Science*, 2019, vol. 102, no. 2, pp. 1806–1810. DOI: 10.3168/jds.2018-15076.
  8. Moore K.L., Vilela C., Kaseja K., Mrode R., Coffey M. Forensic use of the genomic relationship matrix to validate and discover livestock pedigrees. *Journal of Animal Science*, 2019, vol. 97, no. 1, pp. 35–42. DOI: 10.1093/jas/sky406.
  9. Mel'nikova E.E., Yanchukov I.N., Yermilov A.N., Zinovieva N.A., Osadchaya O.Yu., Kharitonov S.N. Selection index for cow breeding value in black and white population of dairy cattle in Moscow region. *Izvestiya Timiryazevskoi sel'skokhozyaistvennoi akademii = Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*, 2017, no. 1, pp. 85–97. (In Russian).
  10. Yanchukov I.N., Sermyagin A.A., Mel'nikova E.E., Nemchinova M.V., Kharitonov S.N. Comprehensive assessment of dairy cattle based on the selection index. *Aktual'nye problemy intensivnogo razvitiya zhivotnovodstva = Current Problems of Intensive Development of Animal Husbandry*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 13–21. (In Russian).
  11. Miglior F., Muir B.L., Van Doormaal B.J. Selection Indices in Holstein Cattle of Various Countries. *Journal of Dairy Science*, 2005, vol. 88, no. 3, pp. 1255–1263. DOI: 10.3168/jds.S0022-0302(05)72792-2.
  12. Viana J.H.M., Bartolo P.J.D.S. New applications of three-dimensional data acquisition, modelling, and printing in animal sciences: a case report. *Singapore, Progress in Additive Manufacturing*, 2016, pp. 122–127.
  13. Soloshenko V.A., Popovski Z., Goncharenko G.M., Petukhov V.L., Grishina N.B., Shishin N.I., Kamaldinov E.V. Association of polymorphism of  $\kappa$ -casein gene and its re-



- lationship with productivity and qualities of a cheese production. *Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences*, 2016, vol. 7, no. 5, pp. 982–989.
14. Kamaldinov E.V. Canonical discriminant model of the father genotype influence on some interior indicators of its pig descendants. *Vestnik KRASGAU = Bulletin of KrasGAU*, 2012, no. 1, pp. 117–122. (In Russian).
  15. Kamaldinov E.V., Korotkevich O.S. Canonical discriminant model of interbreed differentiation for biochemical and hematological blood indices. *Agrarnaya Rossiya = Agrarian Russia*, 2011, no. 5, pp. 8–12. (In Russian).

#### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Петров А.Ф.**, старший преподаватель;  
адрес для переписки: Россия, 630039, г. Новосибирск, ул. Добролюбова, 160; e-mail: nich@nsau.edu.ru

**Камалдинов Е.В.**, доктор биологических наук, доцент, проректор по научной и международной деятельности, заведующий кафедрой

**Панферова О.Д.**, аспирантка

**Ефремова О.В.**, зоотехник-селекционер

**Рогозин В.А.**, главный зоотехник

#### AUTHOR INFORMATION

✉ **Alexey F. Petrov**, Senior Lecturer;  
address: 160 Dobrolyubova St., Novosibirsk, 630039, Russia; e-mail: nich@nsau.edu.ru

**Evgeniy V. Kamaldinov**, Doctor of Science in Biology, Associate Professor

**Ol'ga D. Panferova**, Postgraduate

**Ol'ga V. Efremova**, Livestock Breeder

**Vitaliy A. Rogozin**, Senior Zootechnician

Дата поступления статьи 24.10.2020  
Received by the editors 24.10.2020