

Научная статья/Research article

УДК 631.234.1.082.4

DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-158-167

Михаил Андреевич Шишкин^{1✉}, Евгений Варисович Камалдинов²,

Павел Николаевич Пальчиков³

^{1,2}Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

³АО «Новосибирскагроплем», Новосибирск, Россия

¹mis-shishkin1@yandex.ru

²ekamaldinov@yandex.ru

³v.2899936@yandex.ru

СТРУКТУРА ИЗМЕНЧИВОСТИ И НАСЛЕДУЕМОСТЬ ЦИКЛА ВЫСОКОЙ ФЕРТИЛЬНОСТИ ГОЛШТИНСКОГО СКОТА НОВОСИБИРСКОЙ ОБЛАСТИ⁵

Цель исследования – оценить структуру изменчивости и наследуемость цикла высокой фертильности у коров голштинской породы в промышленных комплексах Новосибирской области. Задачи: поиск математического распределения, соответствующего эмпирическому распределению сервис-периода; разделение коров на группы по наличию или отсутствию цикла высокой фертильности; оценка роли генетических, пататипических факторов и наследуемости в сохранении высокой фертильности. Исследование проводилось на основе данных ИАС «СЕЛ-ЭКС» по четырем крупным животноводческим предприятиям региона за период с 2001 по 2022 г. Итоговая выборка после очистки составила 43 051 запись о лактациях от 18 632 коров. Количественный признак «сервис-период» был преобразован в бинарный (наличие/отсутствие цикла высокой фертильности с порогом 130 дней) и проанализирован с помощью обобщенной смешанной биномиальной модели. Эмпирическое распределение сервис-периода соответствует закону Пуассона ($p = 0,12$), что характеризует наступление стельности как случайное событие. Циклу высокой фертильности (сервис-период 21–130 дней) соответствуют 53 % лактаций. Значимое негативное влияние на вероятность его сохранения оказали возраст первого плодотворного осеменения (снижение шансов на 3 % за каждый дополнительный месяц) и удой за 305 дней (снижение на 17 % на каждую 1000 кг). Коэффициент наследуемости признака составил 0,154, подтверждая его низкую генетическую обусловленность. Наибольшая доля изменчивости ($r^2 = 0,28$) объясняется случайным эффектом хозяйства происхождения, что указывает на доминирующую роль пататипических факторов.

Ключевые слова: сервис-период, цикл высокой фертильности, наследуемость, изменчивость, биномиальная модель, подгонка распределения

Для цитирования: Шишкин М.А., Камалдинов Е.В., Пальчиков П.Н. Структура изменчивости и наследуемость цикла высокой фертильности голштинского скота Новосибирской области // Вестник КрасГАУ. 2025. № 10. С. 158–167. DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-158-167.

Mikhail Andreevich Shishkin^{1✉}, Evgeniy Varisovich Kamaldinov², Pavel Nikolaevich Palchikov³

^{1,2}Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

³JSC Novosibirskagroplem, Novosibirsk, Russia

¹mis-shishkin1@yandex.ru

²ekamaldinov@yandex.ru

³v.2899936@yandex.ru

VARIABILITY STRUCTURE AND HERITABILITY OF THE HIGH FERTILITY CYCLE OF HOLSTEIN CATTLE IN THE NOVOSIBIRSK REGION

The aim of the study is to evaluate the structure of variability and heritability of the high fertility cycle in Holstein cows in industrial complexes of the Novosibirsk Region. The objectives of the study include: searching for a mathematical distribution corresponding to the empirical distribution of the service period; dividing cows into groups based on the presence or absence of a high fertility cycle; assessing the role of genetic, paratypic factors and heritability in maintaining high fertility. Research was based on the data of the IAS SELEX for four large livestock enterprises of the region for the period from 2001 to 2022. The final sample after cleaning consisted of 43,051 lactation records from 18,632 cows. The quantitative feature "service period" was transformed into a binary one (presence/absence of a high fertility cycle with a threshold of 130 days) and analyzed using a generalized mixed binomial model. The empirical distribution of the service period corresponds to the Poisson law ($p = 0.12$), characterizing the onset of pregnancy as a random event. Fifty-three percent of lactations correspond to a high-fertility cycle (a service period of 21–130 days). Significant negative effects on the probability of maintaining this cycle were demonstrated by the age of first fertile insemination (a 3 % decrease in chances for each additional month) and milk yield at 305 days (a 17 % decrease per 1,000 kg). The heritability coefficient for this trait was 0.154, confirming its low genetic determinacy. The largest proportion of variability ($r^2 = 0.28$) is explained by the random effect of farm of origin, indicating the dominant role of paratypic factors.

Keywords: service period, high-fertility cycle, heritability, variability, binomial model, distribution fitting

For citation: Shishkin MA, Kamaldinov EV, Palchikov PN. Variability structure and heritability of the high fertility cycle of Holstein cattle in the Novosibirsk Region. *Bulletin of KSAU*. 2025;(10):158-167. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2025-10-158-167.

Введение. Репродуктивные качества крупного рогатого скота, в частности продолжительность сервис-периода, представляют собой ключевой фактор экономической эффективности молочного животноводства. Сервис-период, определяемый как интервал между отелом и последующим успешным осеменением, оказывает непосредственное влияние на продуктивность стада и частоту лактаций. Сокращение этого показателя до 130 дней лактации, соответствующее концепции цикла высокой фертильности, способствует увеличению количества лактаций за жизнь коровы и, как следствие, повышению общего пожизненного удоя [1]. Однако достижение оптимальных значений сервис-периода требует комплексного учета множества взаимосвязанных факторов, включая генетические особенности, паратипические условия и технологические аспекты содержания животных.

В современном молочном скотоводстве наблюдается парадоксальная ситуация: интенсивная селекция по показателям молочной продуктивности сопровождается постепенным ухудшением репродуктивных качеств поголовья. Эта тенденция особенно выражена у голштинского скота, где генетический прогресс по удою привел к сокращению среднего срока хозяйствен-

го использования до 2,3–2,5 лактации. В условиях российского животноводства, и особенно в Сибирском регионе, данная проблема усугубляется дополнительными стресс-факторами, включая резко континентальный климат и технологические ограничения.

Оценка быков-производителей по репродуктивным качествам потомства занимает важное место в селекционной работе. В комплексном селекционном индексе ТРІ голштинской ассоциации на признаки фертильности приходится 13 % общей оценки [2]. Однако существующие методы оценки сталкиваются с существенными методическими сложностями. Сервис-период, являясь основным показателем репродуктивных качеств в российской практике, подвержен значительному влиянию паратипических факторов. Как показывают исследования, в условиях Новосибирской области до 62 % изменчивости этого показателя обусловлено условиями содержания и технологиями воспроизводства [3].

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных репродуктивным признакам молочного скота, многие аспекты остаются недостаточно изученными. В частности отсутствуют комплексные данные о распределении сервис-периода и структуре его измен-

чивости в условиях крупных животноводческих предприятий Сибирского региона. Особую актуальность приобретает вопрос о вкладе генетических и средовых факторов в формирование цикла высокой фертильности, что имеет принципиальное значение для разработки научно обоснованных программ селекции и управления стадом.

Современные исследования подчеркивают экономическую значимость сокращения сервис-периода. Концепция цикла высокой фертильности предполагает, что достижение показателя в 130 дней позволяет оптимизировать межотельный период и увеличить пожизненную продуктивность коров [4]. Однако практическая реализация этой концепции требует глубокого понимания биологических закономерностей и факторов, влияющих на репродуктивную функцию высокопродуктивных животных.

Особое значение приобретает разработка надежных методов оценки генетического вклада быков-производителей в репродуктивные качества потомства. Существующая система учета сервис-периода, основанная на данных первичного зоотехнического учета, при всех своих ограничениях остается наиболее доступным инструментом для крупномасштабного анализа. Важными преимуществами этого показателя являются его универсальность и простота расчета, что делает его перспективным для использования в селекционных программах.

Цель исследования – моделирование и оценка наследуемости продолжительности сервис-периода в условиях промышленных комплексов Новосибирской области.

Задачи: поиск математического распределения, соответствующего эмпирическому распределению сервис-периода; разделение коров на группы по наличию или отсутствию цикла высокой фертильности; оценка роли генетических, патогенетических факторов и наследуемости в сохранении высокой фертильности.

Материалы и методы. В качестве материала исследования выступали данные первичного зоотехнического учета четырех крупнейших животноводческих предприятий Новосибирской области. Большинство коров содержатся беспривязно, доение производят в доильных залах, отличия в системах содержания, квалификации работников звена воспроизводства, периоде добровольного ожидания, схемах синхронизации охот и другие патогенетические факторы,

связанные с технологией содержания, учтены при статистической обработке данных как случайный фактор. Осеменение всех животных искусственное, в хозяйствах используются схемы синхронизации охот. Срок сухостойного периода во всех предприятиях – 60 дней. Исходные данные содержали 73 434 записи о лактациях 32 413 коров за период с 1 января 2001 г. по 21 августа 2022 г. Перед анализом данные были подвергнуты усечению и очистке. Были удалены неполные наблюдения, где отсутствовали данные об удое за 305 дней, возрасте первого плодотворного осеменения, дате отела, дате плодотворного осеменения в лактации, продолжительности сухостойного периода. Во избежание малочисленных групп потомков из данных были удалены лактации дочерей, чьи отцы представлены менее чем в 200 записях, и фермы происхождения коров, встречающиеся менее 100 раз. Также из данных были удалены выбросы значений сервис-периода и возраста первого плодотворного осеменения с помощью теста Рознера [5]. Порог выбросов составил 579 дней сервис-периода и 34 месяца возраста первого плодотворного осеменения. Также были удалены наблюдения, где сервис-период был менее 21 дня, исходя из соображения о том, что корова не может стать стельной ранее, чем продолжительность одного полового цикла с момента отела.

В результате преобразований исходных данных была получена тестовая выборка размером 43 051 запись о лактации. В таблице 1 представлены некоторые параметры описательной статистики исходных данных до и после преобразования.

Подгонка распределения сервис-периода в тестовой выборке проведена графическим методом, предложенным Калленом и Фреем [6], метод основан на соотношении коэффициента асимметрии и эксцесса выборки, для построения диаграммы использована библиотека R 'fitdistrplus', сервис-период представлен как дискретная величина. Формальная проверка соответствия подобранным распределению проведена с помощью теста Колмогорова – Смирнова на соответствие распределения тестируемой выборки распределению Пуассона путем синтеза 100 синтетических выборок с параметрами тестируемой. Для реализации теста использована функция `poisson.mtest()` из пакета функций 'energy'.

Показатели описательной статистики изучаемых признаков
Descriptive statistics of the source data

Параметр исходных данных	До преобразования	После преобразования
Количество записей о лактациях	73434	43051
Медиана номера лактации	2	2
Количество животных	32413	18632
Количество отцов	1371	110
Количество хозяйств происхождения	37	12
Медиана сервис-периода, дней	117	123
Среднее значение сервис-периода, дней	144,9	150,7
Размах значений сервис-периода, дней	1133	556
Максимальное значение сервис-периода, дней	1138	578

Разделение коров на две группы по наличию или отсутствию цикла высокой фертильности проведено в соответствии с концепцией Фрики, Уилтбанка и Персли [4]. Концепция гласит, что оптимальная продолжительность сервис-периода с точки зрения экономики и фертильности в последующих лактациях для голштинских коров составляет 130 дней от отела до плодотворного осеменения, если корова не становится стельной в этот срок, то она приносит экономический убыток с каждым днем выше 130 дней и снижает фертильность в текущей и следующей лактациях. Таким образом, желательным признаком в селекции становится сервис-период до 130 дней.

Обобщенная смешанная биномиальная модель создана и протестирована с помощью среды программирования R и специализированных библиотек lme4, mlmRev, optimx, merTools, lmerTest, nortest, EnvStats, fitdistrplus, sjPlot, car, DHARMA, версий, актуальных на октябрь 2024 г. [7]. Модель подбиралась по статистической значимости факторов пошаговым отбором предикторов по критерию Акаике, а также по коэффициенту увеличения дисперсии включенных фиксированных факторов.

При построении обобщенной смешанной модели особое внимание уделялось учету иерархической структуры данных. Многоуровневая природа наблюдений (лактации, вложенные в животных, которые в свою очередь принадлежат к разным хозяйствам и линиям быков) потребовала применения специальных методов для корректной оценки дисперсии. Использование перекрестных случайных эффектов позво-

лило разделить вклад индивидуальных особенностей животных, условий содержания в разных хозяйствах и генетического влияния отцов. Такой подход особенно важен при работе с производственными данными, где невозможно обеспечить сбалансированный дизайн эксперимента.

Оценка качества модели происходила путем сравнения математического ожидания дисперсии остатков с фактически наблюдаемой величиной дисперсии остатков по методике DHARM.

Для проверки статистической значимости случайных эффектов применен дисперсионный анализ ANOVA с моделью, не содержащей случайных факторов. Коэффициент наследуемости в узком смысле h^2 для полусибсов рассчитан на основании межгрупповой и общей дисперсии смешанной модели по формуле

$$h^2 = \frac{4 \cdot V_a}{V_p}, \quad (1)$$

где V_a – аддитивная генетическая дисперсия, которая отражает эффекты, связанные с влиянием отцовского предка; V_p – общая фенотипическая дисперсия.

Результаты и их обсуждение. Первичный анализ данных во многом определил методы и подходы к исследованию сервис-периода. В отличие от многих данных зоотехнического учета, сервис-период не проходит формальные тесты на соответствие нормальному распределению. Данные о сервис-периоде имеют значительное отклонение от нормального распределения, что было подтверждено гистограммой частот сервис-периода (рис. 1).

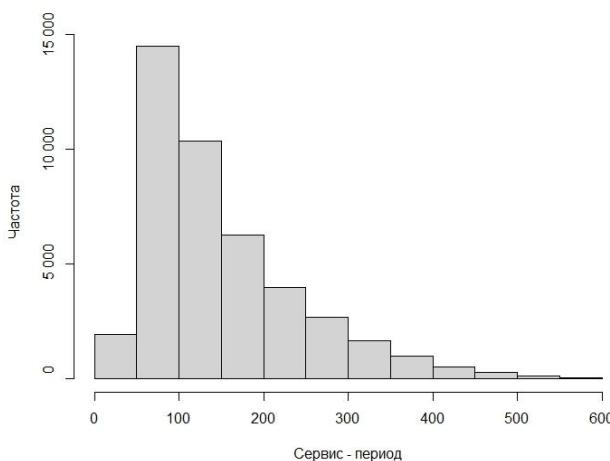


Рис. 1. Гистограмма частот сервис-периода
Frequency histogram of the service period

Большинство коров в хозяйствах Новосибирской области становятся стельными в промежутке между 50 и 150 днями лактации. На гистограмме ярко выражена высокая изменчивость сервис-периода в большую сторону, спад количества стельных коров с увеличением дня в доении визуально похож на логарифмическую функцию. Малое количество стельных коров до 50-го дня в доении объясняется наличием периода добровольного ожидания, принятого повсеместно в районе 60 дней после отела. Пик наступления стельности в районе 100 дней в доении (медиана 123-го дня) обусловлен стремлением сделать корову стельной в течение 130 дней в доении (в соответствии с концепцией цикла высокой фертильности). Такая выраженная зависимость распределения сервис-периода от технологичес-

ких условий указывает на высокую роль воли человека в формировании сервис-периода коров, достигаемую использованием искусственного осеменения и схем гормональной синхронизации охот. Тем не менее, если бы только технологические аспекты воспроизводства влияли на сервис-период, то не существовало бы наблюдаемой изменчивости, а медиана сервис-периода соответствовала бы периоду добровольного ожидания.

Так как сервис-период является количеством дней, исчисляется в целых значениях и не принимает промежуточных значений, предпринята попытка определить распределение этого признака как дискретного. Результаты подгонки распределения сервис-периода графическим методом представлены на рисунке 2.

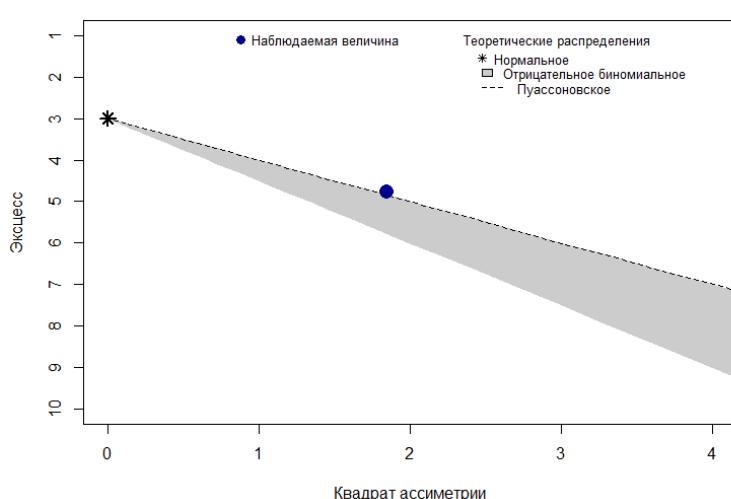


Рис. 2. Диаграмма Каллена – Фрея для распределения сервис-периода
The Kallen-Frey Graph for the distribution of the service period

На диаграмме показана зависимость квадрата асимметрии данных от эксцесса. Фактическая точка данных представлена синим цветом и находится рядом с пунктирной линией, это говорит о том, что данные, скорее всего, распределены в соответствии с распределением Пуассона. Для более точного подбора характеристик распределения был проведен формальный тест Колмогорова – Смирнова на соответствие исследуемого распределения Пуассоновскому распределению. Результат этого теста позволяет принять нулевую гипотезу об однородности распределений ($p = 0,12$).

Таким образом, наступление стельности после отела, судя по характеру распределения, является редким случайнм событием [8]. Наступление такого события (под событием в данном контексте имеется в виду наступление стельности) может быть смоделировано с помощью биномиальной модели.

Для корректной оценки сервис-периода с помощью биномиальной модели в данные был добавлен логический признак «Группа цикла высокой фертильности (ГЦВФ) 1 или 0», где 1 – сервис-период 21–130 дней, входит в желательный интервал для молочных коров голштинской породы в соответствии с концепцией цикла высокой фертильности, 0 – сервис-период 130 дней и более, не входит в желательный интервал для цикла высокой фертильности.

Распределение по группам фертильности следующее: группа высокой фертильности (1) – 22 907 наблюдений (53 %), группа низкой фертильности (0) – 20 144 наблюдения (47 %).

Обобщенная смешанная биномиальная модель зависимости ГЦВФ от паратипических и генетических факторов имеет вид

$\text{ГЦВФ} \sim \text{ВППО} + \text{У305} + (1|\text{ХР}) + (1|\text{ИН}) + (1|\text{ИНО})$,
где ВППО – возраст первого плодотворного осеменения, мес.; У305 – общий удой за 305

дней лактации, кг; (1|ХР) – случайный эффект хозяйства рождения; (1|ИН) – случайный индивидуальный эффект организма; (1|ИНО) – случайный эффект влияния отцовского предка.

Многие параметры, доступные для исследования в ИАС, такие как номер лактации, легкость отела, продолжительность сухостойного периода, время года и учетный год отела, оказались незначимы в данной модели, поэтому были исключены из финальной формулы смешанной модели в процессе подбора оптимального набора предикторов.

Важным аспектом исследования стал учет технологических особенностей предприятий. Все хозяйства, включенные в анализ, использовали схожие схемы синхронизации охоты на основе протоколов Ovsynch и его модификаций. Однако различия в квалификации персонала и точности выполнения процедур могли вносить дополнительную вариабельность в данные. Для минимизации этого эффекта в модель был включен случайный фактор «хозяйство рождения», который частично нивелировал технологические различия. Хозяйство рождения – это признак, характеризующий совокупность паратипических факторов, влиявших и влияющих на животных в период выращивания и период лактации, всего в исследовании 12 таких комбинаций, отражающих совокупность места рождения и места содержания (некоторые животные лактировали в одном хозяйстве, хотя были рождены в разных). Этот фактор выбран как случайный, так как мы предполагаем, что эти совокупности факторов являются случайной выборкой из более широкого набора всех возможных хозяйств происхождения в Новосибирской области. Оценки коэффициентов фиксированных факторов представлены в таблице 2, а внутригрупповая дисперсия случайных факторов представлена в таблице 3.

Таблица 2

Оценки фиксированных факторов смешанной биномиальной модели
Fixed factor estimates of the mixed binomial model

Фактор	Отношение шансов	σ^2	p
Время первого плодотворного осеменения	0,97	0,01	< 0,001
Удой за 305 дней лактации	0,83	0,01	< 0,001

Таблица 3

Внутригрупповая дисперсия случайных факторов смешанной биномиальной модели
Within-group variance of random factors in a mixed binomial model

Фактор	N	τ^2	p
Хозяйство рождения	12	0,28	<0,001
ID животного	18 632	0,17	<0,001
ID отца	110	0,15	<0,001

Критерий R^2 модели составил 0,193 ($p < 0,001$), значит, с помощью случайных и фиксированных факторов удалось объяснить 19 % общей изменчивости, при этом лишь 4 % из них приходится на изменчивость, связанную с фиксированными факторами, так как ICC случайных факторов равняется 0,15. Остаточная дисперсия модели: $\sigma^2 = 3,29$. Это указывает на существование иных значимых факторов, не представленных в текущей модели, которые влияют на возможность коровы стать стельной до 130 дней лактации. Низкое значение ICC (0,15) указывает, что 85 % изменчивости объясняется факторами вне модели. Это согласуется с данными о преобладании патотипических эффектов в репродуктивных признаках.

Высокая дисперсия между хозяйствами ($\tau^2 = 0,28$) подтверждает значимость патотипических факторов, отмеченную в работах по управлению воспроизводством. В наших данных 12 хозяйств различались по среднему удою (от 6 500 до 9 200 кг) и доле коров с ГЦВФ (от 41 до 62 %). Это подчеркивает необходимость индивидуаль-

ного подхода к селекции в разных технологических условиях.

Наибольшая факториальная дисперсия наблюдалась по случайному фактору «Хозяйство рождения», что может указывать на определенную роль внешних факторов в изменчивости сохранности цикла высокой фертильности. Это объясняется тем, что животные разного происхождения, даже являясь потомками одного отца, подвергаются влиянию других патотипических факторов, связанных с условиями содержания и технологическими подходами.

Непараметрический дисперсионный тест DHARMA на однородность эмпирических и теоретически ожидаемых дисперсий остатков показал их сходство ($p = 0,184$), дисперсия остатков составила величину 1,052, что говорит о качестве модели и отсутствии ее значимой избыточности или недостаточности. На рисунке 3 представлена гистограмма частот значений стандартного отклонения остатков из 1000 сгенерированных наборов данных, красной линией отмечена дисперсия остатков подобранной модели.

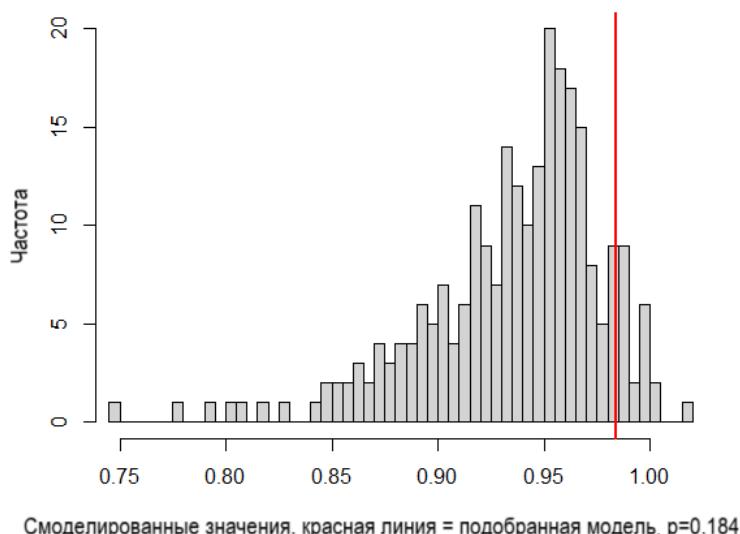


Рис. 3. Гистограмма частот стандартного отклонения сгенерированных остатков и подобранной модели

Histogram of the frequencies of the standard deviation of the generated residuals and the selected model

Коэффициенты отношения шансов модели для фиксированных факторов можно проинтерпретировать следующим образом:

1. Каждый дополнительный месяц возраста первого плодотворного осеменения ассоциируется с 3 %-м снижением шансов на сохранение высокой фертильности.

2. Увеличение удоя за 305 дней на 1 тыс. кг связано с уменьшением вероятности сохранения высокой фертильности на 17 %.

На основании межгрупповой и общей дисперсии коэффициент наследуемости h^2 вычисляется по формуле

$$h^2 = \frac{V_a}{V_p} = \frac{4 \cdot \tau^2 \text{ИНО}}{\tau^2 \text{ИНО} + \tau^2 \text{ИН} + \tau^2 \text{ХР} + \sigma^2} = 0,154. \quad (2)$$

Коэффициент наследуемости достаточно высокий для признаков, связанных с репродуктивными качествами ($h^2 = 0,154$). Тем не менее результаты других исследователей приводят более низкие уровни наследуемости этого показателя [3, 9–13], что может быть связано с преобразованием количественного признака в качественный. Предполагается, что подобная картина может наблюдаться и в других субпопуляциях молочного скота, в связи с чем требуются дополнительные исследования.

Высокий уровень значимости коэффициентов выявленных факторов позволяет указать на их реальную роль в формировании цикла высокой фертильности.

Заключение. Сервис-период коров голштинской породы в крупных предприятиях Новосибирской области распределен в соответствии с Пуассоновским распределением. В разрезе продолжительности лактации наступление стельности является редким случайным событием. 53 % всех лактаций в исследуемой выборке имеет сервис-период до 130 дней. Наличие цикла высокой фертильности, как и многие другие репродуктивные качества, имеет низкий коэффициент наследуемости ($h^2 = 0,154$), наибольшее влияние на этот признак, судя по все-

му, оказывает комплекс пататипических факторов. Среди доступных в ИАС данных зоотехнического учета достоверное влияние оказывают возраст первого плодотворного осеменения и удой за 305 дней лактации (отношение шансов для предикторов 0,97 и 0,83 соответственно). Чем позже корова впервые стала стельной и чем выше ее продуктивность, тем меньше ее шанс сохранить цикл высокой фертильности.

Следует отметить, что полученные оценки наследуемости отражают специфику промышленных комплексов Новосибирской области с их конкретными технологическими условиями. В хозяйствах с иными системами содержания (например пастбищным выгулом или другими схемами синхронизации охот) соотношение генетической и пататипической дисперсий может отличаться. Кроме того, использование только отцовского компонента для оценки коэффициента наследуемости потенциально недооценивает полную генетическую изменчивость, так как не учитывает материнские эффекты. Эти ограничения не снижают практической ценности результатов, но указывают на необходимость осторожной экстраполяции выводов в другие производственные условия.

Полученные данные открывают несколько перспективных направлений для практического использования. Во-первых, выявленная значимая изменчивость между быками-производителями ($\tau^2 = 0,15$) обосновывает включение оценки репродуктивных качеств потомства в селекционные индексы при отборе производителей. Во-вторых, сильное влияние хозяйственного фактора ($\tau^2 = 0,28$) подчеркивает необходимость разработки дифференцированных нормативов для разных систем содержания. Наконец, сама методология анализа, сочетающая современные методы смешанного моделирования с производственными данными, может быть адаптирована для оценки других сложных признаков с низкой наследуемостью.

Список источников

1. Wiltbank M.C., Sartori R., Herlihy M.M., et al. Managing the dominant follicle in lactating dairy cows // Theriogenology. 2011. Vol. 76, is. 9. P. 1568–1582.
2. TPI Formula. April 2020. Доступно по: https://holsteinusa.com/genetic_evaluations/ss_tpi_formula.html. Ссылка активна на 25.02.2025.

3. Berry D.P., Wall E., Pryce J.E. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle // *Animal*. 2014. Vol. 8, is. s1. P. 105–121.
4. Fricke P.M., Wiltbank M.C., Pursley J.R. The high fertility cycle // *JDS Communications*. 2023. Vol. 4, is. 2. P. 127–131.
5. Rosner B. On the Detection of Many Outliers // *Technometrics*. 1975. Vol. 17, is. 2. P. 221.
6. Cullen A.C., Frey H.C. *Probabilistic Techniques in Exposure Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs*. New York: Springer Science & Business Media, 1999. 294 p.
7. The Comprehensive R Archive Network. Доступно по: <https://cran.r-project.org/>. Ссылка активна на 01.10.2024.
8. Винс Р. *Математика управления капиталом: методы анализа риска для трейдеров и портфельных менеджеров*. М.: Альпина Паблишер, 2007. 409 с.
9. Костомахин Н.М. Селекционные признаки скота голштинской породы, их наследуемость, генетические и фенотипические корреляции В сб.: Международная научно-практическая конференция, посвященная 80-летию со дня рождения и 55-летию трудовой деятельности заслуженного деятеля науки РФ, заслуженного ученого Брянской области, почетного профессора Брянского ГАУ, доктора сельскохозяйственных наук Гамко Леонида Никифоровича «Иновации в отрасли животноводства и ветеринарии» (Брянск, 15–16 апреля 2021 г.). Брянск, 2021. С. 237–243.
10. Костомахин Н.М. Признаки продуктивности у скота голштинской породы, их наследуемость, генетические и фенотипические корреляции. В сб.: XXIII Международная научно-техническая конференция «Аграрная наука – сельскохозяйственному производству Сибири, Монголии, Казахстана, Беларуси и Болгарии». Минск, 2020. С. 238–244.
11. Назарченко О.В., Забродин В.А. Изменчивость, наследуемость сервис-периода у дочерей быков-производителей голштинских линий // Аграрный вестник Урала. 2011. № 6. С. 30–31.
12. Карликова Г.Г., Корнелаева М.В. Генетическая взаимосвязь воспроизводительных способностей и молочной продуктивности в зависимости от физиологического статуса коров // Международный научно-исследовательский журнал. 2023. № 11 (137). С. 139–145.
13. Латышева О.В. Взаимосвязь воспроизводительной способности с удоем коров черно-пестрой породы Зауралья // Вестник Курганской ГСХА. 2012. № 3. С. 58–60.

References

1. Wiltbank MC, Sartori R, Herlihy MM, et al. Managing the dominant follicle in lactating dairy cows. *Theriogenology*. 2011;76(9):1568-1582.
2. *TPI Formula*. April 2020. Available at: https://holsteinusa.com/genetic_evaluations/ss_tpi_formula.html. Accessed: 25.02.2025.
3. Berry DP, Wall E, Pryce JE. Genetics and genomics of reproductive performance in dairy and beef cattle. *Animal*. 2014;8(s1):105-121.
4. Fricke PM, Wiltbank MC, Pursley JR. The high fertility cycle. *JDS Communications*. 2023;4(2):127-131.
5. Rosner B. On the Detection of Many Outliers. *Technometrics*. 1975;17(2):221-227.
6. Cullen AC, Frey HC. *Probabilistic Techniques in Exposure Assessment: A Handbook for Dealing with Variability and Uncertainty in Models and Inputs*. New York: Springer Science & Business Media; 1999.
7. The Comprehensive R Archive Network [Internet]. Available at: <https://cran.r-project.org/>. Accessed: 01.10.2024.
8. Vince R. *Matematika upravleniya kapitalom: metody analiza riska dlya treiderov i portfel'nykh menedzherov*. Moscow: Al'pina Publisher; 2007. (In Russ.).
9. Kostomakhin NM. Selektionnye priznaki skota golshtinskoi porody, ikh nasleduemost', geneticheskie i fenotipicheskie korrelyatsii. In: *Mezhdunarodnaya nauchno-prakticheskaya konferenciya, posvyaschennaya 80-letiyu so dnya rozhdeniya i 55-letiyu trudovoj deyatel'nosti zasluzhennogo*

- deyatelya nauki rf, zasluzhennogo uchenogo Bryanskoy oblasti, pochetnogo professora Bryanskogo GAU, doktora sel'skohozyajstvennyh nauk Gamko Leonida Nikiforovicha «Innovacii v otrasi zhivotnovodstva i veterinarii» (Bryansk, 15–16 aprelya 2021 g.). Bryansk, 2021. P. 237–243. (In Russ.). EDN: VOHCFW.
10. Kostomakhin NM. Priznaki produktivnosti u skota golshtinskoi porody, ikh nasleduemost', geneticheskie i fenotipicheskie korrelyatsii. In: *XXIII Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferenciya «Agrarnaya nauka - sel'skohozyajstvennomu proizvodstvu Sibiri, Mongolii, Kazahstana, Belarusi i Bolgarii»*. Minsk; 2020. P.:238–244. (In Russ.).
 11. Nazarchenko OV, Zabrodin VA. Variability, heritability service period of the daughters of bulls of holstein lines. *Agrarian Bulletin of the Ural*. 2011;(6):30-31. (In Russ.).
 12. Karlikova GG, Kornelaeva MV. Genetic relationship of reproductive ability and milk productivity depending on physiological status of cows. *International Research Journal*. 2023;(11):139-145. (In Russ.).
 13. Latysheva OV. Interrelation of reproductive ability with milk yield of the cows of black and motley breed in Zauralye. *Vestnik Kurganskoy GSKHA*. 2012;(3):58-60. (In Russ.).

Статья принята к публикации 05.09.2025 / The article accepted for publication 05.09.2025.

Информация об авторах:

Михаил Андреевич Шишкин, аспирант кафедры прикладной биоинформатики
Евгений Варисович Камалдинов, заведующий кафедрой прикладной биоинформатики, доктор биологических наук, доцент
Павел Николаевич Пальчиков, директор, доктор биологических наук, доцент

Information about the authors:

Mikhail Andreevich Shishkin, Postgraduate student at the Department of Applied Bioinformatics
Evgeny Varisovich Kamaldinov, Head of the Department of Applied Bioinformatics, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor
Pavel Nikolaevich Palchikov, Director, Doctor of Biological Sciences, Associate Professor

