

**ИССЛЕДОВАНИЕ *in silico* РАСШИРЕННОГО ВОСПРОИЗВОДСТВА
ПРИ ЗАКРЫТОМ РАЗВЕДЕНИИ МОЛОЧНОГО СКОТА**

Кузнецов В.М.

*Федеральный аграрный научный центр Северо-Востока
им. Н.В. Рудницкого, Киров Кировской области, Российская Федерация*

Цель работы – изучить влияние комплекса био-зоотехнических параметров (БЗП) на возможности расширенного воспроизводства отечественного молочного скота с использованием вычислительной модели и производственных данных по Кировской, Ленинградской, Московской областях и Российской Федерации. Прогнозирование динамики стада осуществляли на потоковой модели методом итераций с дискретной шкалой времени. Варьируемые БЗП – уровень ежегодной браковки коров (ССОУ), продолжительность сервис-периода (ДО), возраст тёлочек при зачатии (АФН), уровень мёртворождаемости (ДОА), уровень выбраковки тёлочек до года (СН1) и старше года (СН2), доли рождаемых тёлочек (РВН); выходные характеристики – среднегодовой темп прироста/сокращения поголовья коров (Δ_{γ}). При закрытом разведении модельного стада с исходным поголовьем 1000 коров снижение базовой величины ССОУ на 10% увеличивало Δ_{γ} на 26%. Аналогичные изменения базовых величин ДО, АФН, ДОА, СН1 и СН2 увеличивали Δ_{γ} на 4,4, 8,3, 1,4, 1,3 и 0,7%, соответственно, повышение РВН от 50% до 60% – на 26,2%. В стаде с предельно «плохими» БЗП коровы имели в среднем 2,5 отёла, выход телят – 58%, поголовье сокращалось на 4% в год. В стаде с предельно «хорошими» БЗП коровы в среднем имели 5 лактаций, выход телят – 97%, рост поголовья составлял 21% в год. Повышение РВН до 60% обеспечило простое воспроизводство в стаде с предельно «плохими» БЗП, в стаде с предельно «хорошими» БЗП темп прироста численности стада повышался на 25%. Фактические значения БЗП трёх реальных стад с поголовьем 450, 1300 и 1200 коров потенциально могут обеспечить расширенное воспроизводство на уровне 7, 5 и 10% в год. Снижение ССОУ на 2-5 п.п. (процентных пункта), ДО – на 10-30 дней, АФН – на 2 мес. приводит к повышению Δ_{γ} до 10-12% в год. В Кировской области при реальных БЗП возможен прирост поголовья коров на 0,7% в год (фактический – 1,1%); в Ленинградской области – на 2,2%/год (2,9%), в Московской области – сокращение коров на 2% (-2,6%), в целом по популяции РФ – сокращение на 2,2% в год (-0,8%). Если во всех (суб)популяциях снизить ССОУ до 30%, ДО – до 110 дней, АФН – до 16 мес., то поголовье коров может увеличиваться на 6-8% в год. Заключение, что при факторе реализации прогнозных оценок 75% можно рассчитывать на вполне достижимый 4-6%-ный темп ежегодного прироста поголовья российских стад и популяций молочного скота при их закрытом разведении. Это ускорит решение проблемы импортозамещения и самообеспечения населения страны молоком и говядиной, будет способствовать сохранению и восстановлению отечественного генофонда.

Ключевые слова: молочный скот, расширенное воспроизводство, закрытое разведение, компьютерное моделирование

Проблемы биологии продуктивных животных, 2018, 3: 54-86

Введение

Объём производства продукции животноводства в целом зависит от двух основных факторов: поголовья и продуктивности животных. С 1980-х гг поголовье коров в стране сократилось в 2,5 раза, в Ленинградской, Кировской и Московской областях, соответственно, в 3, 4 и 5 раз (Кузнецов, 2015). Основные причины – экономические «реформы», проблемы с воспроизводством и низкая окупаемость затрат. В последнее десятилетие темпы депопуляции замедлились, по данным Росстата (Молочное и мясное скотоводство, 2017, 3: 6-10.) в некоторых регионах даже имела место тенденция к росту поголовья, например, Брянская, Калужская, Калининградская, Ленинградская области. Возможно, в ближайшие годы поголовье в стране стабилизируется, но угроза продовольственной безопасности сохраняется.

Имеющееся молочное стадо не в состоянии обеспечить производство молока в достаточном объёме. Несмотря на рост продуктивности коров, производство молока ниже, чем было в последние годы социализма, на 42% (было 54 млн. тонн стало 31 млн. тонн). Импорт молочных продуктов достаточно высокий: в переводе на молоко – 23% (Дунин и др., 2013). Ещё больше импорт говядины – 78% (Корниенко и др., 2015). В 2016 г. самообеспечение молоком (при норме потребления 325 кг) было 58%, говядиной (при норме потребления 20 кг) – 55% (Контэ и др., 2017) *. Как представляется, увеличение поголовья животных – основной путь решения проблемы. Возникает вопрос: как переломить негативную динамику численности животных и увеличить поголовье молочного стада страны, равно как и мясного скота и вытесняемых местных пород?

С другой стороны, сокращение сельского населения и его старение являются теми факторами, которые побуждают к укрупнению животноводческих комплексов. По данным (Чинаров и др., 2013) в РФ с 2001 по 2008 гг. число сельскохозяйственных организаций с поголовьем до 100 коров уменьшилось более чем в 7 раз; средний размер племенного хозяйства составил около 660 коров (Амерханов, 2010). Несмотря на негативный опыт 1960-70-х (проблемы с воспроизводством, утилизацией навоза, снижением продуктивности коров) и нынешний (см., например, Кундышев 2011, 2012), в регионах строятся и вводятся в эксплуатацию молочные комплексы на 800...3000 скотомест (Дунин и др., 2013), планируются на 20 и 50 тыс. скотомест и даже на 152 тыс. (Суровцев и др., 2017) с «индустриальной технологией производства молока, базирующихся на круглогодичном полноценном рационе кормления» (Дунин и др., 2013). В начале 2018 г. появилось сообщение** о постройке в Подмоскovie вьетнамским концерном ТН True Milk молочно-товарной фермы на 6000 скотомест; уже завезли 1095 коров из США! Считается, что в больших комплексах при использовании современных технологий экономическая эффективность производства молока возрастает (Отчёт Комитета АПК и РХК Ленинградской области за 2013 г.; цит. по: Суровцев, Никулина, 2015), хотя себестоимость молока на крупных механизированных фермах – 31 руб. за литр, на модернизированных – 28 руб., на старых фермах – 19 руб. (электронный ресурс Dairynews; цит. по: Суровцев, Никулина, 2015). По всей вероятности, в обозримом будущем тенденция строительства больших и мега комплексов сохранится. Встаёт вопрос: где брать животных для заполнения дополнительно создаваемых скотомест?

Проблема усугубляется тем, что во многих хозяйствах имеет место нехватка нетелей для простого воспроизводства. Например, даже в Ленинградской области до отёла доживает около одной нетели. Эта «беда набирает силу и в ближайшее время остро встанет перед

* Стало известно, что Россию молоком собирается обеспечивать Китай! Так, в китайском городе Муданьцзян началось строительство китайско-российского животноводческого агрокомплекса. Стоимость проекта – более 8 миллиардов рублей. На гигантской ферме планируется развести до 100 тысяч молочных коров <<https://news.mail.ru/economics/22497062/gallery/>>.

** Российская газета. Андрей Воробьев открыл вьетнамский молочный комплекс в Подмоскovie. 31.01.2018 <<https://rg.ru/2018/01/31/reg-cfo/andrej-vorobev-otkryl-vetnamskij-molochnyj-kompleks-v-podmoskove.html>>.

многими хозяйствами» (Прошина, Лоскутов, 2011). Уже сейчас в сельхозорганизациях из-за низкого воспроизводства ежегодно недополучают 10-15% телят или 200 тыс. тёлочек в год (Чинаров и др., 2017). Нехватка нетелей – это не только редуцированное воспроизводство, но и отсутствие отбора лучших тёлочек для ремонта, а в племенных хозяйствах – отсутствие сверхремонтных тёлочек для племенного скота. Так, обеспеченность собственным племенным молодняком в молочном скотоводстве находится на уровне 60%, в мясном скотоводстве – 36% (Дунин, 2012).

Низкие показатели собственного воспроизводства обуславливают массовый завоз маточного поголовья из-за рубежа. С 2000 по 2012 гг. в страну было завезено 580 тыс. голов крупного рогатого скота (Шаркаева, 2013). В соотношении объёмов закупки племенного молодняка отечественной и импортной селекции львиную долю составляет импортный скот (Сударев и др., 2016). В этой связи встаёт ещё один вопрос – какими должны быть параметры стада, чтобы обеспечить себя ремонтным молодняком собственной репродукции?

Следует упомянуть также проблему вытесняемых «местных» пород. Некоторые породы достигли статуса «угрожающий» (100...1000 коров) и даже «критический» (менее 100 коров), например, истобенская, тагильская, красная горбатовская и др. Ставится задача не только сохранения генофонда вытесняемых пород, но и восстановления их до статуса «нормальный» – 10000 и более коров (Паронян, Прохоренко, 2017). Каковы потенциальные возможности для расширенного воспроизводства каждой исчезающей породы?

Возможно два решения проблемы с поголовьем.

Первое решение – закупка и завоз животных из других хозяйств, регионов и даже стран (открытое разведение). Например, считают, что: «Выведение высокопродуктивных отечественных пород, типов, линий, безусловно, – самый надёжный и правильный путь, однако... < > он рассчитан на практический результат в отдаленной перспективе. В сложившейся ситуации импорт высокопродуктивных животных и их интенсивная эксплуатация – один из реальных путей решения молочной проблемы» (Сударев и др., 2015). По данным (Данкверт и др., 2014), импорт живого крупного рогатого скота в 2000 г. был 4,0 тыс. гол. на 2,8 млн. долл. США, в 2005 г. – на 27,1 млн. долл., в 2010 г. – 39,9 тыс. гол. на 118,6 млн. долл. В 2013 г. импорт племенного молодняка составил 100 тыс. голов (Амерханов, 2010). В 2008-2014 годах в объёме покупки племенного молодняка импортный скот составлял 35% (Журавлёва и др., 2015). Положительная сторона такого подхода – быстрое заполнение пустующих производственных мощностей. Отрицательные моменты: (а) отсутствие, как правило, необходимого количества средств (1,8-2 тыс. евро за голову (Фисинин и др., 2006)), (б) риск привнесения в стадо разного рода инфекционных заболеваний, (в) возможны адаптационные проблемы. Кроме того, как показывает практика последних двух десятилетий, быстрое решение «молочной проблемы» подобным способом вызывает много сомнений (негативные стороны российской практики импорта скота детально рассмотрены в работе (Арсюхин, 2009)).

Второе решение – это увеличение поголовья за счёт собственных ресурсов, без покупки тёлочек и/или нетелей для ремонта (закрытое стадо или закрытое разведение)*. В этом случае риски инфицирования животных стада извне и адаптационные проблемы сводятся к нулю. Однако такие био-зоотехнические характеристики стада, как плодовитость, мёртворождаемость, отход и сохранность молодняка, выбраковка коров из стада, продолжительность сервис-периода и др., могут не только ограничить возможности расширенного воспроизводства, но и привести к суженному воспроизводству из-за нехватки нетелей для ремонта. В этой связи возникает потребность, во-первых, в исследовании

* «Закрытое стадо» – популяция животных, воспроизводство которой осуществляется только за счёт собственных самок и самцов. В данной работе под закрытым стадом подразумевается частично закрытое разведение, т.е. выращивание собственных ремонтных тёлочек и покупку спермы быков той же породы и российской селекции «на стороне» (в племенных хозяйствах).

воздействия различных био-зоотехнических факторов на возможность и интенсивность расширенного воспроизводства; во-вторых, в выявлении узких мест в процессе ремонта стада и их устранение; в-третьих, в поиске рационального варианта разведения, реализация которого способствовала бы максимальному увеличению поголовья.

Решить эти вопросы путём постановки традиционного эксперимента или производственного опыта невозможно. Имеется другой путь – проведение исследования *in silico*, под которым понимается «компьютерное моделирование эксперимента, чаще биологического» <[https://ru.wikipedia.org/wiki/ In_silico](https://ru.wikipedia.org/wiki/In_silico)>*. Моделирование считается мощным и эффективным инструментом исследования разнообразных объектов, систем и процессов во всех естественных науках (Тарасенко, 2004; Алиев, 2009; Ризниченко [Электронный ресурс]).

Признано, что «работа не с самим объектом (явлением, процессом), а с его моделью дает возможность безболезненно, относительно быстро и без существенных затрат исследовать его свойства и поведение в любых мыслимых ситуациях» (Самарский, Михайлов, 2001). Посредством исследований *in silico* осуществляется «переработка информационного «сырья» в готовый «продукт», т.е. в точное знание» (там же; см. также: Алиев, 2009; Тарасевич, 2004). В прошлом компьютерное моделирование применялось при оптимизации программ селекции для пород крупного рогатого скота (Skjervold, 1965; Lindhe, 1968; Басовский, Кузнецов, 1977, 1982; Кузнецов, 1979, 1992, 1996) и молочных стад (Syrstad, 1972; Weber, 1976; St-Pierre, 1998; St-Pierre., Jones, 2001; Кузнецов, 1988, 2001; Кузнецов, Князева, 1993), в исследованиях по сохранению вытесняемых пород и генофондных стад (Кузнецов, 1999, 2005, 2007, 2016; Кузнецов, Вахонина, 2012аб), при восстановлении молочных стад с использованием вероятностных моделей (St-Pierre, 1998; Галанина, 2002), расчёте номограммы динамики выбытия коров (Щепкин и др., 2014), моделировании структуры стада (Максимова, Жукевич, 2014), «свободного и ограниченного роста» численности мясного скота по моделям Мальтуса и Ферхюльста (Щукина, Коцаев, 2015), при прогностической оценке эффективности использования свиноматок (Прокопцев, Кузнецов, 1981; Прокопцев, Кузнецов, Григорьева, 1985), а также в ряде работ, спектр рассматриваемых вопросов в которых широк – от моделирования микробных сообществ, физиологических процессов, экологических систем, механизмов формирования и распространения социально-биологических связей и динамики поведения и т.п. (Новосельцев, 2003; Яшин, Украинцев, 2004; Мезенцева, Перцов, 2013; Жданова, Фрисман, 2013; Черепанов, 2013, 2014, 2018; Бондарчук, Перевозкин, 2014; Лашин и др., 2014; Михайленко, 2015; Клименко и др., 2015; см. также Ризниченко, Рубин, 1993 и др.) до моделирования экономических процессов и динамического прогноза развития агропромышленного комплекса (Киселёв, 1990, 1993; Текучев, Текучева, 2017) с привлечением стохастических моделей, аппарата теории марковских случайных процессов и метода Байеса (DeLorenzo et al., 1992; St-Pierre, Jones, 2001; Grohn, et al., 2003; Groenendaal et al., 2004 и др.). Однако многие публикации ограничивались математическим представлением объектов (процессов), имитационных моделей, оптимизационных подходов и пр. и не демонстрировали результатов их приложения.

Осуществляемый в ФАНЦ Северо-Востока проект «Компьютерное моделирование структуры, динамики и эффективности процесса воспроизводства в животноводстве (крупный рогатый скот)» направлен на разработку вычислительных моделей закрытого разведения. При этом используется определённое число исходных параметров, которые можно получить из зоотехнических и ветеринарных отчётов, бонитировки скота в рамках системы «СЕЛЭКС». В процессе данной работы решается ряд задач: (а) разработка концепции, математической модели и компьютерной программы; (б) анализ воздействия различных факторов и сценариев на эффективность управления воспроизводством в модельном стаде; (в) прогнозирование потенциальных возможностей расширенного воспроизводства в реальных популяциях; (г)

* Выражение «*in silico*» (лат. *in silicio* – «в кремнии») было впервые введено в оборот в 1989 году на семинаре «Cellular Automata: Theory and Applications» в Лос-Аламосе, Нью-Мексико (Википедия).

выработка рекомендаций по изменению (модернизации) систем воспроизводства. В настоящей статье представлена часть результатов этих исследований.

Концепция исследования и модель закрытого стада

Схема биосистемы «закрытое стадо». Одно из определений термина «система» – это «обособленная сознанием часть реальности, элементы которой обнаруживают общность в процессе взаимодействия» (Дроздов, 2002). В другой трактовке (Алиев, 2009) – это «совокупность взаимосвязанных элементов, объединённых в одно целое для достижения некоторой цели, определяемой назначением системы». Набор значений основных параметров системы определяет её состояние на определённом временном интервале. Порода, региональная популяция, стадо (равно как и отдельное животное) являются сложными объектами, управление которыми осуществляется через выбор технологий (размножения, выращивания, кормления, доения, разведения, профилактики и лечения) и обеспечение их согласованности для производства той или иной продукции.

В контексте проведенных исследований *in silico* закрытое молочное стадо (популяция) рассматривалось как биологическая система (далее «биосистема»), которая должна быть подвергнута формализации (алгоритмизации). Она включает в себя элементы, т.е. разновозрастные группы животных, и связи между ними, определяемые процессами старения, выбытия и воспроизводства (ремонта) (St-Pierre et al., 2001). Система совершает переход из одного состояния в другое (находится в динамике), если описывающие её переменные изменяются во времени от значений, задающих одно состояние, на значения, которые определяют другое состояние.

На рис. 1 представлена схема временной последовательности событий, происходящих в дискретной модели биосистемы «закрытое стадо». Дискретность (прерывистость) обусловлена тем, что величины, описывающие состояние системы, в процессе её изучения *in silico* (моделирования) изменяются скачкообразно – с шагом в 1 год. Число состояний системы определяется установленным конечным временным горизонтом принятия решения (от 0 до T) анализа (планирования, прогнозирования), например, T=10 или 15, или 20 лет.

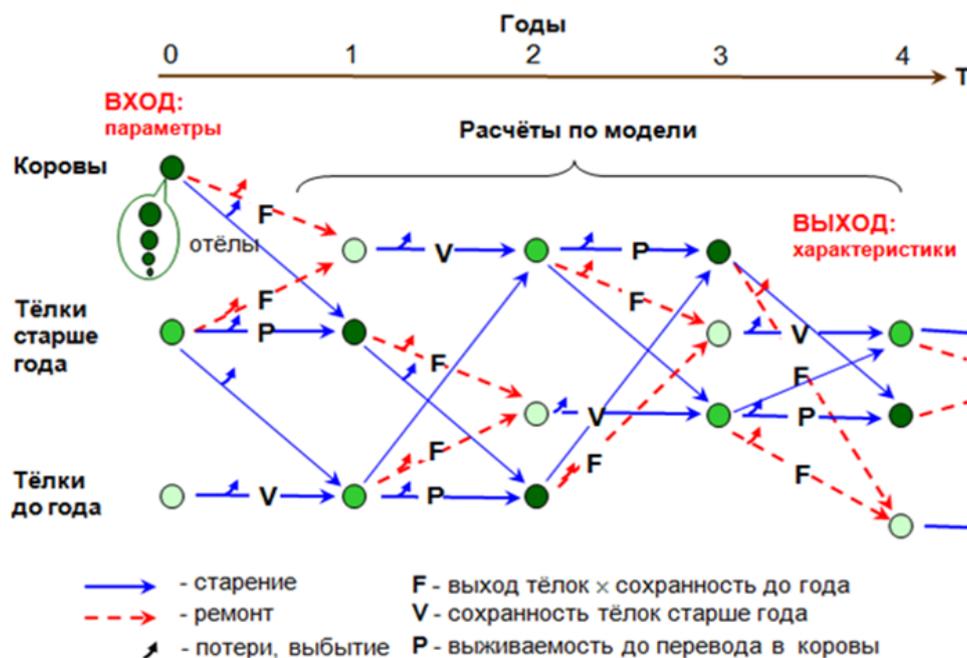


Рис. 1. Схема биосистемы «закрытое стадо»

В принципе, степень детализации схемы системы «закрытое стадо» зависит от её свойств и поставленной цели моделирования. В нашем случае допускалось, что в исходном году ($t=0$) имеются три возрастные группы – тёлки до года, тёлки старше года (включая нетелей) и коровы. Динамику биосистемы (переход из одного состояния в другое) можно описать следующим образом.

Через год ($t=1$) часть тёлочек в группе «тёлки до года», исключая выбывших (отход, браковка), перейдёт в группу «тёлки старше года». Какая-то часть тёлочек старше года и при $t=0$ в течение года будет вынужденно забита, выбракована или продана. Другая часть тёлочек в группе «тёлки старше года», являясь нетелями, растелится и при $t=1$ перейдёт в группу «коровы». Рождённые от них тёлки, которые выживут, станут частью группы «тёлки до года» при $t=1$. Небольшая часть тёлочек старше года и/или неотелившихся нетелей при $t=1$ остаётся в группе «тёлки старше года».

В группе «коровы» в течение года некоторые животные будут или вынужденно забиты, и/или выбракованы по продуктивности, по возрасту, и/или проданы, тем самым освободят место для ремонта стада при $t=1$ (отелившимися нетелями). Оставшаяся (отобранная) часть коров вновь отелится, будет лактировать и, следовательно, при $t=1$ остаётся в группе «коровы». Выжившие тёлки от отелившихся коров доформируют группу «тёлки до года» при $t=1$.

Эти процессы повторяются из года в год в течение всего «горизонта разведения» (T , например, 10 лет). Обобщение для года $t+1$:

- группа «тёлки до года» формируется из сохранившегося приплода, отелившихся в t -ом году нетелей (группы «тёлки старше года») и коров (группы «коровы»);
- группа «тёлки старше года» формируется из оставшихся после выбраковки в t -ом году молодняка группы «тёлки до года» и неотелившихся в t -ом году нетелей из группы «тёлки старше года»;
- группа «коровы» формируется из оставшихся после выбраковки в t -ом году животных (группы «коровы») и отелившихся в t -ом году нетелей (группы «тёлки старше года»).

Процессы останавливаются при достижении года T .

Параметры и выходные характеристики. Количественно любая система описывается двумя классами величин: (а) параметрами, и (б) характеристиками.

Параметрами в данном случае считаются величины, описывающие исходное состояние системы. Для биосистемы «закрытое стадо» были приняты следующие параметры:

Поголовье:	Обозначение
- коровы	NCOW
- тёлки до года	NH6
- тёлки старше года	NH12
Показатели стада:	
- выбраковка коров	CCOW
- возраст тёлочек при зачатии	AFH
- продолжительность сервис-периода	DO
- уровень мёртворождаемости	DOA
- вероятность рождения тёлки	PBH
- браковка тёлочек до года	CH1
- браковка тёлочек старше года	CH2

Выходными характеристиками системы считаются величины, описывающие её вторичные свойства, зависящие от параметров и определяемые в процессе моделирования. Для системы «закрытое стадо» при $t+1$, помимо NCOW, NH6 и NH12, были определены

следующие выходные характеристики: N_1 – число первотёлок; \overline{NC} – вектор числа выбывших тёлков до года, старше года и коров (FLOW на рис. 2); Δ_Y – среднегодовой темп прироста/снижения поголовья

Вычислительная модель. Модель – это упрощённое представление сложного, не меняющее его сущности (известен афоризм Эйнштейна – «Всё следует упрощать до тех пор, пока это возможно, но не более того»). Модель отображает только существенные (для данной цели анализа) свойства и включает в себя те аспекты, которые нуждаются в исследовании, в нашем случае – расширенное воспроизводство закрытой популяции. Упрощение в допустимых пределах позволяет выполнить оценочные расчёты и получить вполне адекватное представление о свойствах реальной биосистемы за счёт комплексного анализа её поведения.

Математическая модель – это приближённое, но адекватное описание процесса функционирования биосистемы «закрытое стадо» с помощью математических уравнений (соотношений). Посредством математической модели устанавливается взаимосвязь между входными био-зоотехническими параметрами (БЗП) и выходными характеристиками биосистемы.

Имитационная модель в данном случае – это способ установления последовательности событий, логически связанных между собой во времени, с целью определения альтернатив развития биосистемы. Она (модель) воспроизводит с помощью определённого алгоритма исследуемое закрытое стадо (популяцию) и происходящие в нём процессы. Имитационная модель является детерминированной, т.к. результирующий показатель (прогноз) функционально связан и однозначно определяется значениями входных БЗП (т.е. не учитывается влияние случайных возмущений).

Имитационное моделирование (почти синонимы – компьютерное моделирование, компьютерный эксперимент, эксперимент *in silico*) – это воспроизведение (имитация) процессов функционирования реальных объектов с соблюдением основных закономерностей и временной последовательности. Имитационное моделирование предоставляет возможность исследования таких объектов, прямой эксперимент с которыми или трудновыполним, или экономически невыгоден, или вообще невозможен. Имитационное моделирование обеспечивает возможность испытания, оценки и проведения экспериментов с исследуемой системой без каких-либо непосредственных воздействий на неё. По меткому выражению Р. Шеннона (1978) – «это нечто промежуточное между искусством и наукой» (цит. по Ризниченко, Рубин, 1993).

Имитационное моделирование – метод познания, прогнозирования и управления сложными системами (объектами). Прогнозирование – это вероятностное научно обоснованное суждение о возможном состоянии системы в будущем или о возможных путях достижения такого состояния, определённого в качестве цели (Давыдов, Лисичкин, 1977). Задача создания прогноза – разработка такого варианта управления, которое обеспечивает выбор оптимального или рационального решения (варианта).

В биосистеме «закрытое стадо» имеет место некоторая неопределённость в количественном выражении целевых функций. Поэтому задача имитационного моделирования биосистемы «закрытое стадо» заключалась даже не столько в оптимизации воспроизводства, сколько в оценке изменения выходных показателей при заданных условиях, в прогнозировании будущего состояния в зависимости от избираемых стратегий управления.

Модель отображает структурно-функциональную организацию биосистемы «закрытое стадо» («функция системы – правило достижения поставленной цели, описывающее поведение системы и направленное на получение результатов, предписанных назначением системы» (Алиев, 2009)). Функция биосистемы (f_c) – это ряд последовательных переходов из одного состояния в другое, приводящих к достижению цели – результату деятельности системы (рис. 2).

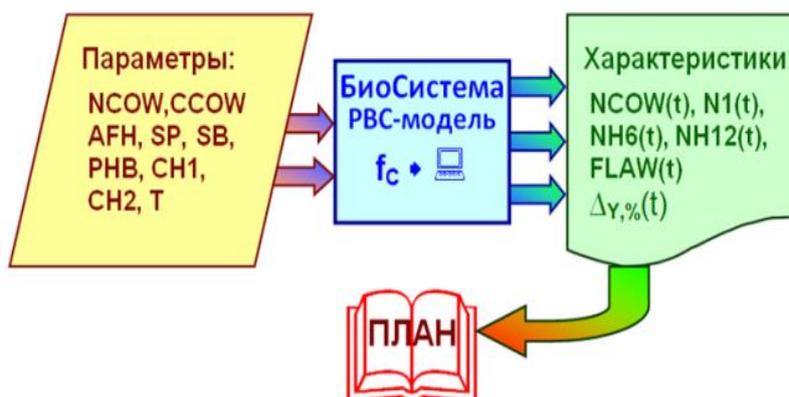


Рис. 2. Функция системы (f_c) связывает входные параметры и выходные характеристики

Функцию биосистемы «закрытое стадо» (f_c) определяющую правило преобразования БЗП в выходные величины (характеристики), в общем виде можно представить так:

$$\bar{H}(t) = f_c (NH6(t-1), NH12(t-1), NCOW(t-1), CCOW, DO, AFH, DOA, CH1, CH2, PNB, T)$$

$\bar{H}(t)$ – вектор характеристик, зависящий от времени ($t > 0$): $\bar{H} = \{\bar{N}, \bar{NC}, \bar{\Delta}_\gamma\}$, где \bar{N} – вектор числа тёлков до года (NH6), старше года (NH12), числа первотёлок (N1) и коров (NCOW); \bar{NC} – вектор числа выбывших тёлков до года, старше года и коров; Δ_γ – относительный среднегодовой темп прироста/сокращения поголовья; T – горизонт прогноза результата закрытого «разведения».

Функция системы, f_c в данном случае определяется выполнением ряда последовательно выполняемых операций, задаваемых соотношениями, одно из которых, NCOW, имеет вид:

$$NCOW(t) = \left[\left(1 - \frac{CCOW}{100} \right) NCOW(t-1) + \left(\frac{12}{AFH+9-12} \right) \left(1 - \frac{CH2}{100} \right) NH12(t-1) \right]$$

Аналогичные соотношения были определены для числа тёлков до года, тёлков старше года, первотёлок и соответствующих групп выбывших животных; в совокупности эти соотношения и составляли модель разведения и воспроизводства стада (далее – РВС-модель).

Последняя была реализована в Microsoft Excel, что позволило в ускоренном режиме времени имитировать различные варианты разведения животных в закрытом стаде (популяции) и исследовать факторы (воздействия), могущие влиять на интенсивность его ремонта.

Критерий эффективности. Как отмечалось выше, с помощью моделирования осуществляются: (а) анализ факторов (воздействий, вмешательства), влияющих на функционирование системы (получение знаний о системе), и (б) поиск оптимальных (или рациональной) характеристик системы (оптимизация системы). Для системы закрытого стада обе задачи решались в соответствии с выбранным критерием эффективности. Эффективность воздействия на систему «закрытое стадо» при различных условиях оценивалась среднегодовым темпом прироста/сокращения числа коров в стаде за период T лет. Для каждого варианта рассчитывались:

(а) абсолютный прирост/сокращение поголовья в году t:

$$\Delta^A(t) = NCOW(t) - NCOW(t-1),$$

где NCOW(t) и NCOW(t-1) – число животных в текущем и предыдущем годах;

(б) относительный темп прироста/сокращения в году t:

$$\Delta(t) = (\Delta^A(t) / NCOW(t-1)) \times 100\% \text{ и}$$

(в) относительный темп прироста/сокращения поголовья, усреднённый за T лет:

$$\Delta_Y = \sum_{t=1} \Delta(t) / (T-1)$$

Величина Δ_Y означает относительный среднегодовой темп (изменение) численности коров в стаде за T лет в данных условиях при принятых допущениях и ограничениях; это прогностическая оценка, которая обобщает все свойства моделируемого стада, как биосистемы, в одной величине. Поскольку РВС-модель – это упрощённое описание реального объекта, то точность прогнозной Δ_Y -оценки относительная, и она в большей степени может служить критерием для сравнения разных вариантов разведения и воспроизводства молочного стада и выбора лучшего для данных условий.

Вариант биосистемы «закрытое стадо», который обеспечивает экстремум целевой функции; максимальное значение Δ_Y , может считаться оптимальным («оптимальный» – значит наилучший в данных условиях и при данных ограничениях и допущениях; в иных случаях экстремум может быть минимальной величиной). Следует отметить, что оптимальная система существует только в точке экстремума. Поэтому использование словосочетания «более оптимальная система» или «менее оптимальная система» считается некорректным. В таких случаях говорят о вариантах, рациональных с точки зрения полноты достижения цели, или минимума потерь и риска в результате реализации данного решения в жизнь, или минимальных затрат ресурсов (материальных, финансовых, людских и т.д.), или соблюдения намеченных (приемлемых) сроков реализации.

Выходные характеристики динамической биосистемы, как правило, изменяются со временем, т.е. РВС-модель нестационарная. Вместе с тем, в определённой степени она является и стационарной. В частности, начальная структура стада, а именно – число тёлочек до года, тёлочек старше года и коров считается заданной. Также допускается, что к началу текущего года t+1 численность животных в группах известна (рассчитана). Такое не очень жёсткое предположение упрощает моделирование, так как при этом можно рассматривать в качестве интервала календарный год. Кроме того, подразумевается постоянство БЗП стада. В целях упрощения допускается постоянство кормовой базы и технологии разведения (статика исходного состояния – это фон прогнозирования). В реальной жизни, например, кормовая база, конечно, меняется в силу погодных, экономических или иных условий, влияя тем самым на параметры стада. В результате возникает потребность в варьировании параметров стада для выявления рациональной стратегии поведения в разных условиях. Динамическая модель биосистемы «закрытое стадо» позволяет, в принципе, решить эту проблему. В частности, не исключается возможность их изменения в течение заданного временного горизонта моделирования (прогнозирования) процесса закрытого (и не только) разведения животных.

Алгоритм РВС-модели отображает изучаемое стадо или популяцию в форме, необходимой и достаточной для получения результатов, составляющих конечную цель исследования – максимизация расширенного воспроизводства на основе прогноза динамики численности поголовья при варьирующих уровнях различных био-зоотехнических параметров. Программная реализация РВС-модели была осуществлена в среде Microsoft Excel. В ходе *in silico* эксперимента любому входному параметру (или параметрам) могли быть заданы различные значения, находящиеся в пределах био-зоотехнических границ.

«Базовое» стадо

В алгоритме РВС-модели заложена возможность перехода животных из t-го года в год t+1, затем в год t+2 и т.д. до года T. При этом значения БЗП стада в разные годы могут быть различными. Например, уровень выбраковки коров может быть в 1-2 годах – 30%, в годах 3-4 – 27%, в 5-м году – 25% и т.д. В данном *in silico* эксперименте значения БЗП исследуемого стада в течение всего временного горизонта анализа считались постоянными:

- выбраковка коров (CCOW)	30% в год
- возраст тёлочек при зачатии (AFH)	15 мес
- продолжительность сервис-периода (DO)	110 дней
- уровень мёртворождаемости (DOA)	5%
- вероятность рождения тёлки (PBH)	50%;
- браковка тёлочек до года (CH1)	4%;
- браковка тёлочек старше года (CH2)	2%.

Значения этих БЗП не плохие и не хорошие; они, скорее, ближе к средним. Было принято, что в нулевом году (начало разведения) в стаде было тёлочек до года 450 голов, тёлочек старше года – 400 голов, коров – 1000 голов. Это модельное стадо далее обозначается как базовое, входные параметры и выходные характеристики стада – как базовые. С использованием РВС-программы было проведено моделирование процесса закрытого разведения этого базового стада в течение 10 лет. Результаты приведены в табл. 1, динамика численности разных групп животных представлена на рис. 3.

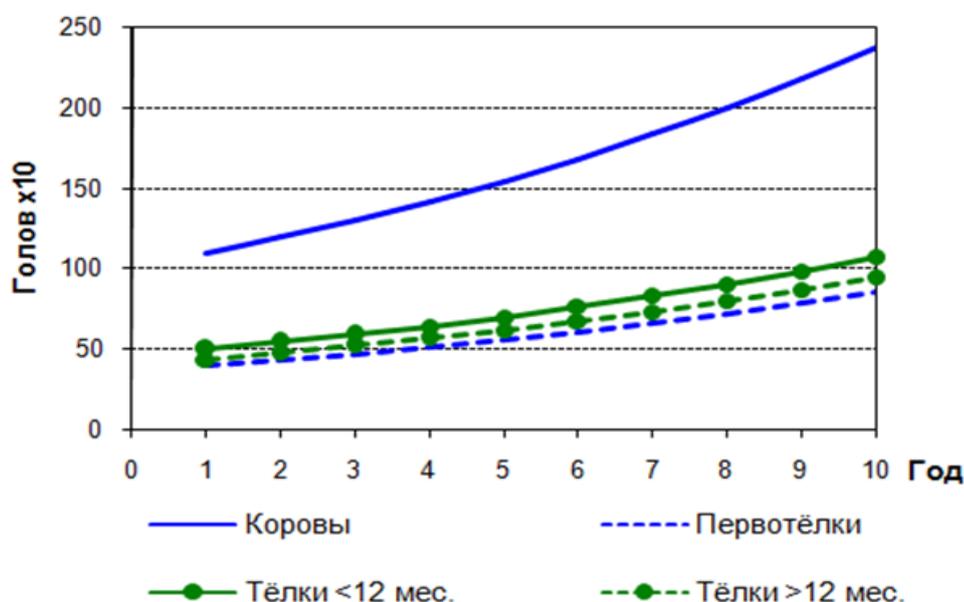


Рис. 3. Динамика поголовья разных групп животных базового стада за 10-летний период (в нулевом году – 1000 коров)

Принятые величины БЗП обеспечили выход телят 85% и расширенное воспроизводство базового стада. К восьмому году разведения число коров удвоилось; к десятому году поголовье коров (NCOW10) увеличилось в 2,4 раза (+1368 коров).

Темп прироста коров в стаде составил 9% в год. Примерно на таком же уровне были темпы прироста численности тёлочек и первотёлочек.

Выше отмечалось, что в численном эксперименте был принят 10-летний горизонт принятия решения (прогнозирования). Однако, если потребуются исследовать поведение биосистемы за более длительный период, то можно продлить временной ряда путём организации последовательных циклов. В частности, для нового 10-летнего цикла закрытого разведения базового стада число тёлочек до года в нулевом году будет 1070 голов, старше года – 942 головы, поголовье коров – 2368 голов.

В этом случае исходное поголовье коров и тёлочек нового цикла (поголовье групп животных) – это соответствующие прогнозные оценки для десятого года предыдущего цикла.

Таблица 1. Результаты моделирования разведения закрытого стада с базовыми параметрами в течение 10 лет, количество животных (голов)

Группы животных,	Годы										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Коров	1000	1092	1188	1296	1412	1539	1678	1829	1993	2173	2368
Первотёлочек	-	392	423	464	505	551	600	654	713	777	847
Тёлок до года	450	493	537	586	638	695	758	826	901	982	1070
Тёлок старше года	400	432	474	515	562	612	668	728	793	865	942
Мёртворожденных	-	26	28	31	34	37	40	43	47	52	56
Выбраковка											
- коров	-	300	328	356	389	424	462	503	549	598	652
- тёлок до года		18	20	21	23	26	28	30	33	36	39
- тёлок старше года	-	8	9	9	10	11	12	13	15	16	17
Выбраковка всего	-	326	356	387	422	460	502	547	596	650	708

После последующего 10-летнего разведения при темпе прироста поголовья 9% в год стадо увеличилось дополнительно на 3238 голов и составило 5606 коров. Другими словами, за 20 лет закрытого разведения» дойное стадо по прогнозу увеличится в 5,6 раза.

Влияние изменений базовых БЗП на NCOW10 и Δ_Y

Методология этой части исследования *in silico* заключалась в следующем. Для всех входных параметров, например, X, Y и Z, устанавливались фиксированные значения. После этого решались динамические задачи для горизонта разведения T=10 лет с различными значениями параметра X при фиксированных Y и Z. Далее с различными значениями параметра Y при фиксированных значениях X и Z. Затем с различными значениями параметра Z при фиксированных X и Y. Цель эксперимента – исследовать влияние каждого параметра на изменения численности разных групп животных и темпы прироста/сокращения поголовья при закрытом разведении стада в стабильных условиях.

Ежегодный уровень выбраковки коров (CCOW). На рис. 4 отражены прогнозные оценки числа коров в стаде после 10 лет закрытого разведения (NCOW10) и среднегодового темпа прироста поголовья (Δ_Y) в вариантах моделирования, в которых уровень CCOW был 20, или 25, или 30, или 35, или 40%. Значения остальных БЗП были неизменными в течение всего периода разведения.

При снижении уровня выбраковки коров по старости, болезням, продуктивности и т.п., интенсивность расширенного воспроизводства стада значительно повышается. Так, при CCOW на уровне 40% темп прироста стада (Δ_Y) был 1,7% в год, при CCOW=30% – 9,0 и при CCOW=20% – 16,6% в год. При таких темпах ежегодного прироста через 10 лет разведения поголовье по прогнозу составляло, соответственно, 1180, 2368 и 4646 коров (NCOW10), или увеличилось в 1,2, 2,4 и 4,6 раза.

В абсолютных величинах численность коров за 10-летний период возросла в этих вариантах на 181, 1368 и 3646 голов. Схожие закономерности имели место по тёлкам до и старше года, первотёлкам.

Возраст тёлочек при плодотворном осеменении или зачатии (AFH). Рис. 5 иллюстрирует изменения в прогнозных оценках NCOW10 и Δ_Y в вариантах закрытого разведения, в которых величины AFH принимались равными 12 или 13, или 14, ..., или 24 месяца (если возраст при первом отёле АСН, то AFH=АСН-9. Значения остальных БЗП были, как и в предыдущем случае, фиксированными. Если в вариантах с разным уровнем выбраковки коров Δ_Y варьировал от 2 до 17% в год, то в случае с возрастом тёлочек при зачатии

вариация значений Δ_Y была уже в пределах 6-11% в год. При снижении AFH с 24 до 12 мес. NCOW10 возросло в 1,6 раза (с 1712 до 2716 голов). Регрессионный анализ показал, что каждое снижение AFH на 1 мес. увеличивало финальную численность коров (NCOW10) на 84 головы.

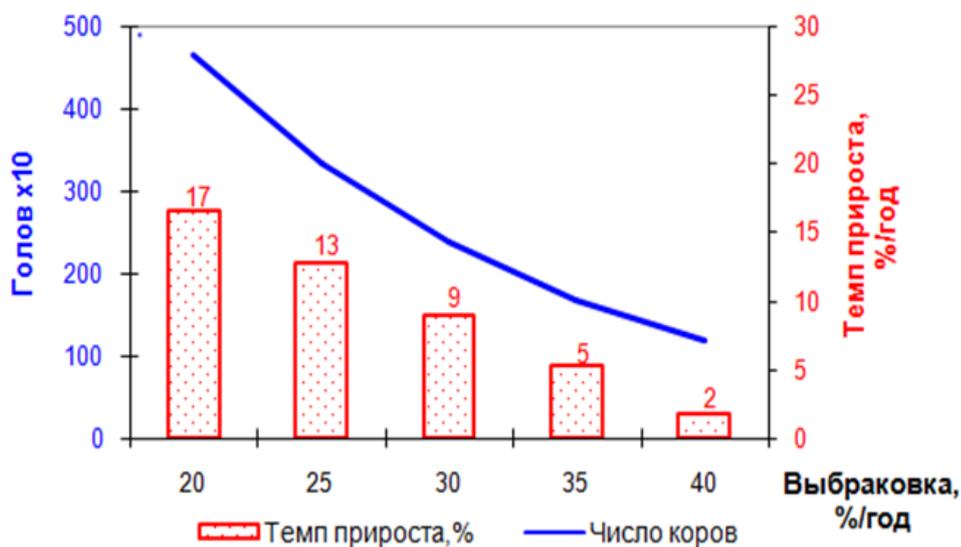


Рис. 4. Темп прироста и размер стада при разном уровне выбраковки коров (прогноз на 10-й год разведения).

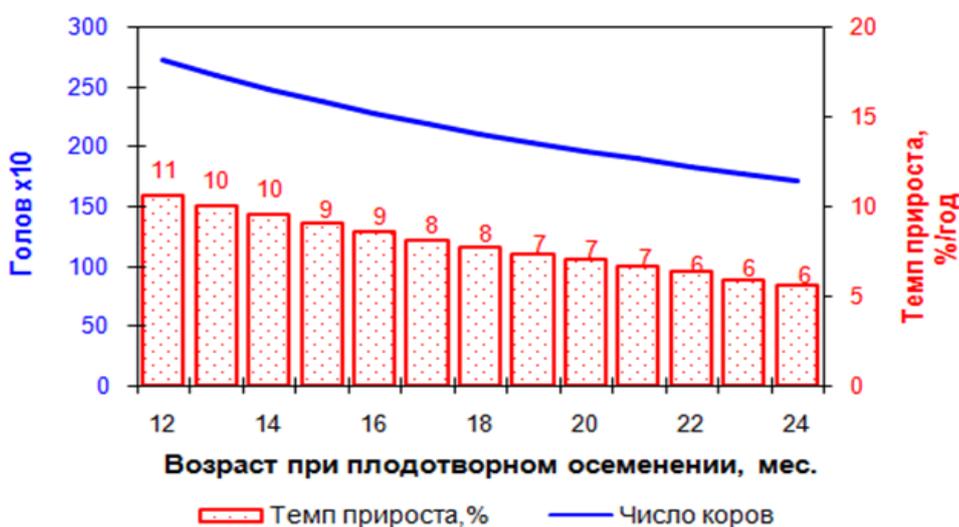


Рис. 5. Темп прироста и размер стада при разном возрасте тёлки при зачатии (прогноз на 10-й год разведения)

Продолжительность сервис-периода (DO). Были смоделированы варианты разведения стада при средней продолжительности DO у коров 50, 60, 70, ..., 160 дней. Кроме NCOW10 и Δ_Y , на рис. 6 также представлены результаты по выходу телят. При средней продолжительности DO 50 дней через 10 лет разведения размер стада увеличился относительно исходного в 3 раза и составил 2988 коров. Это на 620 голов (или на 26%) больше, чем NCOW10 в базовом стаде.

Среднегодовой темп приращения поголовья был 11,6% (9% в базовом стаде). Когда в РВС-модели продолжительность DO была установлена в 160 дней, что нередко в практическом разведении, то NCOW10 снизилось до 2017 голов. Это на 311 коров (на 13%) меньше, чем было в базовом стаде. Темп прироста снизился до 7,3% в год.



Рис. 6. Темп прироста, размер стада и выход телят при разной продолжительности сервис-периода (прогноз на 10-й год разведения).

При увеличении продолжительности сервис-периода с 50 до 160 дней ожидаемый выход телят снизился со 105 до 68%. Заметим, по данным Росстата в 2015 году выход телят в сельхозпредприятиях России был 78%, а в Московской области – 70% (Молочное и мясное скотоводство, 2016, 4: 28). Как показал регрессионный анализ, каждое увеличение продолжительности сервис-периода на 10 дней снижало NCOW10 в среднем на 100 голов, выход телят на 4,4 п.п. (процентных пункта).



Рис. 7. Темп прироста, размер стада и выход телят при разном уровне мёртворождаемости (прогноз на 10-й год разведения).

Уровень мёртворождаемости (DOA). Изменение DOA в разумных биологических границах (1÷10%) влияло на показатели NCOW10, ΔY и выход телят в меньшей степени (рис. 7). При снижении DOA с 10 до 1% NCOW10 увеличилось на 23%, ΔY повысился на 2,3 п.п., выход телят – на 8 п.п.

Уровни выбраковки тёлоч в возрасте до (СН1) и после (СН2) года. Характер воздействия уровня выбраковки тёлоч до возраста 1 год и более на NCOW10 и Δ_Y показан на рис. 8 (на выход телят не влияют).

Изменения в значениях NCOW10 и Δ_Y были схожими с небольшим сдвигом. Последний обусловлен тем, что базовые уровни СН1 и СН2 были разными – 4 и 2% соответственно. Поэтому значения NCOW10 различались на 5-7%, значения Δ_Y – на 5-11%.

При снижении уровня выбраковки тёлоч с 10 до 1% NCOW10, в случае варьирования значений СН1, увеличилось на 26,3% (с 2024 до 2556 голов), при варьировании СН2 – на 29,2% (с 1884 до 2435 голов); Δ_Y повысился на 2,5 и 2,8 п.п. соответственно.

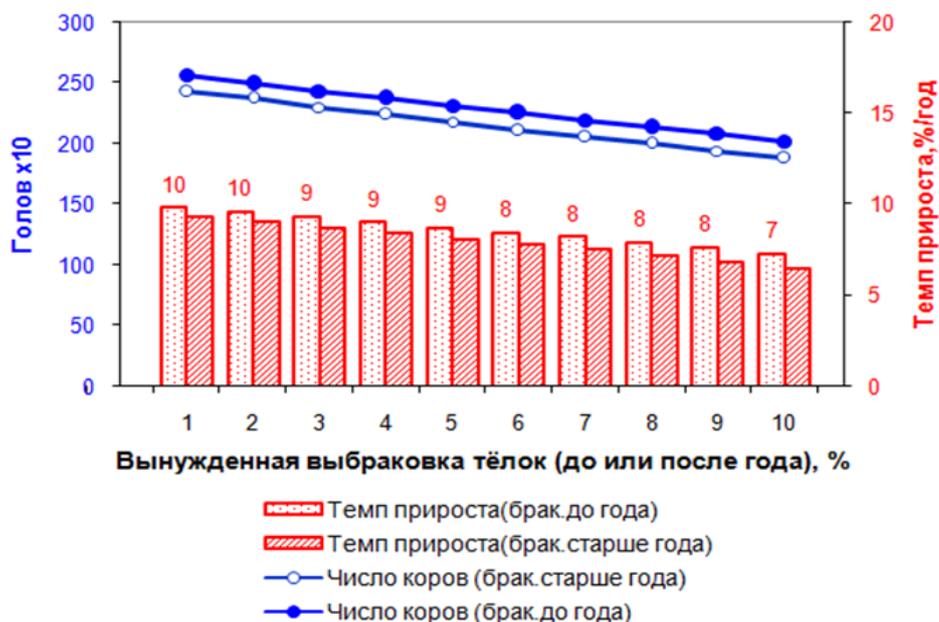


Рис. 8. Темп прироста и размер стада при разном уровне выбраковки тёлоч (прогноз на 10-й год разведения).

Вероятность рождения тёлки (РВН). Сексирование семени – технология сепарации семенного экстракта по X и Y хромосомам. X-хромосомы (женские) содержат на 3,8% больше ДНК, чем Y-хромосомы. Отечественные племпредприятия рекламируют и продают сексированную сперму, произведённую иностранными компаниями. Использование X-спермы позволяет повысить соотношение тёлоч в приплоде до 85-90% (Комлацкий, Куликова, 2008; Ерохин, Дунин, 2010).

Моделировали закрытое разведение стада с использованием сексированной спермы при усреднённой величине РВН 50, 55, 60, ..., 80%. Остальные БЗП, включая уровень оплодотворяемости, допускались фиксированными. Результаты представлены на рис. 9.

Уже при РВН=65% NCOW10, относительно такового в «базовом» стаде, почти удвоилось (по отношению к нулевому году увеличилось в 4,3 раза). Δ_Y повысился в 1,8 раза и составил 16% в год. При РВН=80% удвоение поголовья коров имело место в 8-ом году. К 10-му году число коров составило 7296 голов! Это в 3 раза больше, чем было в базовом стаде, и в 7,3 раза больше, чем в нулевом году. Прогнозная оценка Δ_Y была 22,2% в год, что выше, чем в «базовом» стаде, в 2,5 раза. По результатам регрессионного анализа, на каждые 5% увеличения РВН поголовье коров в 10 году возрастало на 819 голов, темп прироста стада повышался на 2,2 п.п.

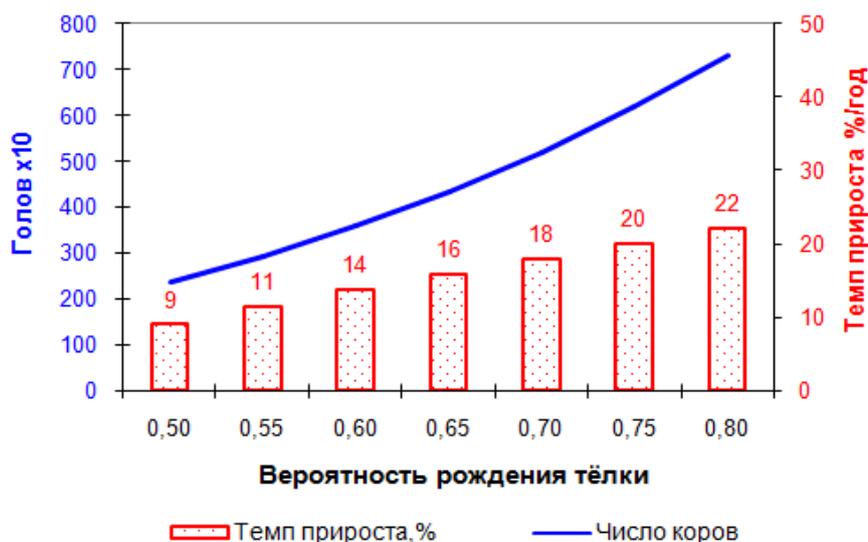


Рис. 9. Темп прироста и размер стада при разной доле тёлоч в приплоде (прогноз на 10-й год разведения).

Чувствительность Δ_Y к изменениям БЗП

Выше был показан характер изменений NCOW10 и Δ_Y в закрытом стаде при последовательном варьировании значений одного из входных БЗП. БЗП имели разные единицы измерения и интервалы варьирования. Так, например, уровень ежегодной выбраковки коров менялся от 20 до 40%, продолжительность сервис-периода – от 50 до 160 дней, возраст при плодотворном осеменении тёлоч – от 12 до 24 мес. и т.д. Поэтому полученные результаты не позволяют корректно сравнить исследуемые БЗП по их воздействию на Δ_Y , как основного критерия расширенного воспроизводства стада. В частности, – установить ключевые факторы, т.е. ответить на вопрос: к каким параметрам стада прогнозная оценка Δ_Y наиболее чувствительна?

Таблица 2. Значения входных параметров стада при изменении «базовых» величин на +10, +5, -5 и -10%

Параметры	Символ	+10%	+5%	«База»	-5%	-10%
Браковка коров, %	CCOW	33,0	31,5	30,0	28,5	27,0
Сервис-период, дн.	DO	121,0	115,5	110,0	104,5	99,0
Межотельный период, мес.	CI	14,3	13,6	13,0	12,3	11,7
Возраст при 1-ом зачатии, мес.	AFH	16,5	15,7	15,0	14,3	13,5
Возраст при 1-ом отёле, мес.	ACH	26,4	25,2	24,0	22,8	21,6
Мёртворождаемость, %	DOA	5,5	5,3	5,0	4,7	4,5
Браковка тёлоч до года, %	CH1	4,4	4,2	4,0	3,8	3,6
Браковка тёлоч после года, %	CH2	2,2	2,1	2,0	1,9	1,8
Вероятность рождения телки, %	PBH	55,0	52,5	50,0	47,5	45,0

На данном этапе исследования каждую базовую величину БЗП изменяли на +10, +5, -5 и -10%. Так, значения ежегодной выбраковки коров (CCOW) после изменения базового уровня, равного 30%, на +10, +5, -5 и -10% составили 33, 31,5, 28,5 и 27% (табл. 2).

С каждым из этих новых значений CCOW, при базовых остальных, смоделировали процесс закрытого разведения исходного стада в течение 10 лет с прогнозом конечного размера стада (NCOW10_{MP}) и среднегодового темпа его прироста (Δ_Y -MP). Так, для новых

значений ССOW, равных 33, 31,5, 28,5 и 27%, оценки Δ_{Y-MP} были 6,8, 7,9, 10,1 и 11,3% соответственно.

Полученную оценку Δ_{Y-MP} соотносили с таковой по базовому стаду, в данном случае равной 9% в год:

$$R\Delta_Y = (\Delta_{Y-MP}/9 - 1) \times 100\%.$$

Величина $R\Delta_Y$ – это относительное ускорение/замедление темпа прироста поголовья в стаде с изменёнными параметрами относительно такового в базовом стаде (рис. 10).

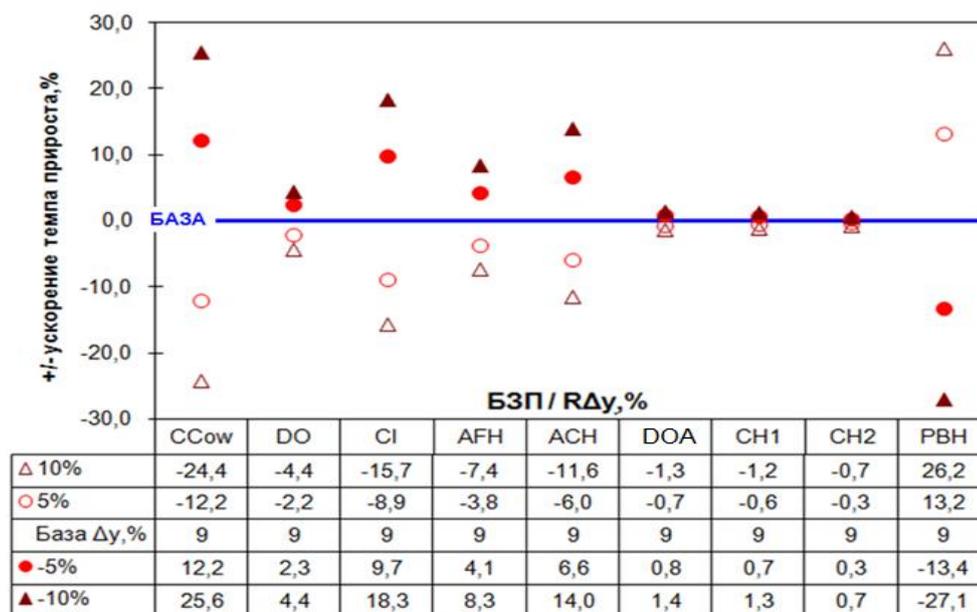


Рис. 10. Изменение темпа прироста базового стада ($R\Delta_Y$, %) при повышении/снижении каждого БЗП на 5 или 10%

Снижение базового уровня продолжительности сервис-периода на 10% – со 110 до 99 дней, т.е. на 11 дней, привело к повышению ожидаемого Δ_Y стада с 9 до 9,4% в год, или на $R\Delta_Y = (9,4/9 - 1) \times 100 = +4,4\%$. При аналогичном снижении базового уровня возраста при зачати (с 15 до 13,5 мес.), значение $R\Delta_Y$ было почти в 2 раза выше, именно: +8,3%. Поскольку разные базовые БЗП стада изменялись на одно и то же процентное значение, то $R\Delta_Y$ -оценки можно считать сопоставимыми. Следовательно, по их величине можно судить о степени влияния (воздействия) каждого БЗП на интенсивность расширенного воспроизводства стада.

Увеличение всех параметров, кроме РВН (вероятности рождения тёлки), приводило к отрицательным значениям $R\Delta_Y$ (снижению темпа прироста), и наоборот. Величины $R\Delta_Y$ при «±» изменениях БЗП не были полностью «зеркальными». Так, при изменении БЗП на ±10% различия между абсолютными значениями $R\Delta_Y$ были нулевыми только для сервис-периода (DO) и уровня выбраковки тёлочек старше года (CH2). В остальных случаях различия варьировали от 3,4% (по РВН) до 20,7% (по АСН – возраст при первом отёле). Причём, в 6 случаях из 7 при улучшении БЗП стада ускорение Δ_Y проявлялось сильнее, чем замедление одного при ухудшении БЗП.

Вероятность рождения тёлки. Интенсивность расширенного воспроизводства стада (Δ_Y) была наиболее чувствительной к уровню вероятности рождения тёлки (РВН). При увеличении РВН на 10% (с 50 до 55%, т.е. всего на 5 п.п.) среднегодовой темп прироста стада ускорился на 26,2%. п.п. - процентный пункт

Выбраковка коров. Вторым фактором по силе воздействия на Δ_Y был уровень ежегодной выбраковки коров (ССOW). При снижении ССOW на 10%, т.е. с 30 до 27% или

всего на 3 п.п. ускорение составило $R\Delta_Y = (11,3/9-1)100=25,6\%$.

Сервис- и межотельный периоды, возраст тёлков при зачатии и отёле. Из рис. 10 следует, что величина Δ_Y менее «отзывчива» на изменения в продолжительности межотельного периода (CI) и возраста при первом отёле (ACH). При снижении их на 10% ускорение Δ_Y составило 18,3 и 14% соответственно. Эти параметры функционально связаны с продолжительностью сервис-периода (DO) и возрастом тёлков при плодотворном осеменении (AFH). Однако при снижении DO и AFH на 10% оценки $R\Delta_Y$ были значительно ниже – 4,4 и 8,3%. Чтобы эти оценки были на уровне 18,3 и 14%, как в случае с CI и ACH, сервис-период необходимо сократить на 36,4% (со 110 до 70 дней), а возраст начала осеменения тёлков снизить на 16% (с 15 до 12,6 мес.).

Мёртворождаемость и выбраковка тёлков. «Отзывчивость» Δ_Y на изменения в уровнях мёртворождаемости (DOA), выбраковки тёлков до (CH1) и после (CH2) года была очень слабой. Так, при снижении базовых величин DOA, CH1 и CH2 на 10% ускорение Δ_Y составило, соответственно, 1,4, 1,3 и 0,7%.

Эффект одновременного изменения всех БЗП на величину Δ_Y . Выше были исследованы последствия изменений значений каждого в отдельности БЗП на темпы расширенного воспроизводства стада и получен ответ на вопрос, именно: к каким параметрам стада прогнозная оценка темпа прироста поголовья (Δ_Y) наиболее чувствительна? Вместе с тем, интерес представляет суммарный эффект от одновременного изменения всех БЗП. Поэтому было проведено моделирование разведения закрытого стада при одновременном снижении или увеличении базовых БЗП на 5 или 10% (при $PBH=50\%$). Результаты моделирования представлены на рис. 11, где показана динамика численности коров в стаде в течение 10-летнего периода «разведения». Там же приведена гистограмма среднегодовых темпов прироста в исследуемых вариантах вместе с таковым в базовом стаде.

Величина $NCOW_{10}$ в случаях со снижением (улучшением) значений всех параметров на 5 и 10% составила 2806 и 3335 голов соответственно (в базовом стаде – 2368 коров). Увеличение (ухудшение) всех БЗП на 5 и 10% привело к сокращению $NCOW_{10}$ до 2005 и 1703 голов. Улучшение всех базовых БЗП привело к большему суммарному эффекту, чем их ухудшение. Так, при повышении БЗП на 5% $NCOW_{10}$ сократилась относительно таковой в базовом стаде на 15%, а при понижении БЗП на 5% – возросла на 18% (расхождение по абсолютной величине 3%%). При изменении базовых БЗП на $\pm 10\%$ снижение $NCOW_{10}$ было на 28%, а увеличение – на 41%.

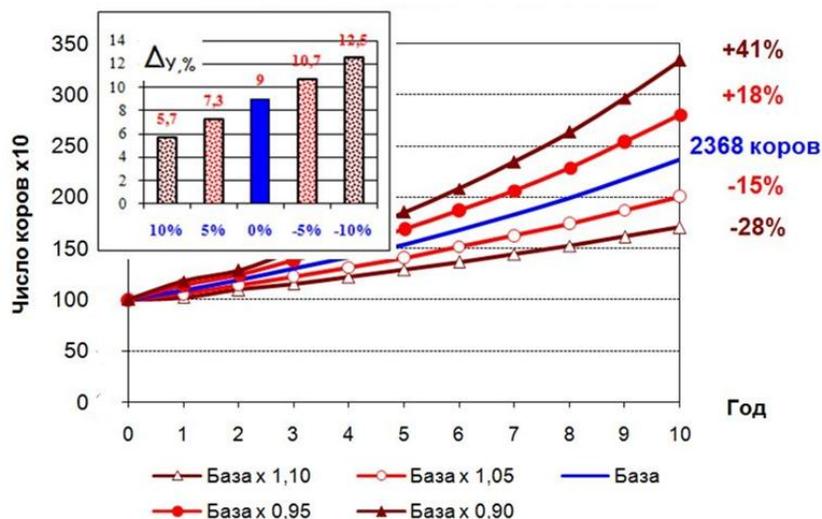


Рис. 11. Динамика поголовья коров и темп прироста ($\Delta_Y, \%$) при повышении/снижении всех БЗП на 5 или 10% относительно базового уровня.

При улучшении всех базовых БЗП на 5% среднегодовой темп прироста численности коров возрос с 9 до 10,7% ($R\Delta_Y=18,9\%$), при улучшении на 10% – с 9 до 12,5% ($R\Delta_Y=38,9\%$). Ухудшение БЗП на 5% приводило к снижению темпа прироста стада с 9 до 7,3% ($R\Delta_Y = -18,9\%$), при ухудшении на 10% – до 5,7% ($R\Delta_Y = -36,7\%$).

В базовом стаде удвоение поголовья имело место на 8-м году. При улучшении всех БЗП на 5% поголовье удвоилось через 6-7 лет, при улучшении на 10% – через 5-6 лет и увеличилось в 3 раза к 9 году. Утроение NCOW10 произошло вследствие снижения:

- выбраковки коров	с	30	до	27%	или на	3% %;
- сервис-периода	с	110	до	99 дней	или на	11 дней;
- возраста осеменения тёлочек	с	15	до	13,5 мес.	или на	1,5 мес.;
- мёртворождаемости	с	5	до	4,5%	или на	0,5% %;
- браковки тёлочек до года	с	4	до	3,6 %	или на	0,4% %;
- браковки тёлочек после года	с	2	до	1,8 %	или на	0,2% %.

Как представляется, абсолютные изменения величин параметров были не столь кардинальными, чтобы не иметь возможность их достигнуть в реальных условиях разведения скота.

Уровень Δ_Y в «плохих» и «хороших» стадах

С теоретической точки зрения (да и с практической) небезынтересно знать, что можно ожидать, если параметры стада будут иметь значения, которые близки или к минимальным, или к максимальным био-зоотехническим пределам, или даже выходят за них. Например, ежегодная браковка коров может варьировать от 20 до 40%, сервис-период от 20 до 180 дней и более, мёртворождаемость от 3 до 10% и т.д.

В табл. 3 представлены два стада с условно высокими (плохими) и условно низкими (хорошими) значениями БЗП: CCOW, SP, AFH, SB, PBN, CH1 и CH2. Для сравнения включены данные по базовому стаду, БЗП которого близки к средним значениям.

При неизменных в течение горизонта разведения исходных БЗП, в стаде с «плохими» БЗП выход телят на корову составлял 58%, корова в среднем имела 2,5 отёла. «Плохие» БЗП не смогли обеспечить даже простого воспроизводства стада, поголовье коров сокращалось на, примерно, 4% в год. К десятому году разведения число коров сократилось с исходных 1000 до 672 голов. Это в 3,5 раза ниже, чем к тому же времени было в базовом стаде. Для поддержки исходного размера стада (заполнения пустующих скотомест) потребуется ежегодная закупка ремонтных тёлочек на стороне (в других хозяйствах или странах).

В стаде с «хорошими» БЗП выход телят составлял 97% и в среднем на корову приходилось 5 отёлов. Низкий уровень ежегодной браковки коров и высокий выход телят обеспечили интенсивное расширенное воспроизводство стада – темп прироста был более 20% в год (9% в базовом стаде). За 10-летний период разведения поголовье коров увеличилось с исходных 1000 до 6485 голов, т.е. в 6,5 раза. Относительно базового стада, коров стало больше в 2,7 раза. Соответственно, будет больше и бычков для откорма (если племзавод, то на племпродажу). Если стратегия разведения этого стада ограничится простым воспроизводством, то все сверхремонтные тёлки могут пойти на племпродажу.

При использовании в рассматриваемых стадах сексированной спермы в объёме, который может обеспечить выход тёлочек в среднем на уровне 60%, ремонт стад существенно улучшился. В стаде с «плохими» параметрами стало возможным простое воспроизводство. В базовом стаде Δ_Y ускорился на 4,7 п.п. Темп прироста численности коров в стаде с «хорошими» БЗП повысился с 20,6 до 25,7% в год или на 25%. При этом число коров возросло в 1,5 раза. В целом, за 10 лет разведения размер стада увеличился почти в 10 раз (относительно исходного – 1000 коров).

Таблица 3. Результаты моделирования закрытого разведения с «плохими», базовым, «хорошими» и оптимальными параметрами стада

Показатели стада	Варианты параметров			
	плохие	базовые	хорошие	оптим.
Начальное число коров в стаде	1000	1000	1000	1000
Выбраковка коров, %/год (ССОУ)	40	30	20	30*
Ремонт стада, %/год	38,6	35,8	33,5	36,3
Число отёлов на корову	2,5	3,3	5,0	3,3
Средние величины				
- возраст 1-го зачатия, мес.(AFH)	19	15	13	16*
- сервис-период, дней (DO)	180	110	80	85*
- возраст первотёлки при отёле, мес.	28	24	22	25
- межотельный период, мес.	15,3	13,0	11,3	12,2
Мёртворождаемость, % (DOA)	10	5	3	5*
Выход телят, %	58	85	97	93
Тёлок в приплоде, % (РВН)	50	50	50	50
Браковка тёлки до года, % (СН1)	6	4	2	6*
Браковка тёлки после года, % (СН2)	4	2	1	0
Прогноз на 10-й год разведения				
- коров, голов	672	2368	6485	2489
- первотёлка, голов	254	847	2172	905
Темп прироста/сокращения, %/год ($\Delta\gamma$)	-3,8	+9,0	+20,6	+9,6
+ X-сперма (max 84%)				
Доля тёлки в приплоде, % (РВН)	60	60	60	60
Прогноз на 10-й год разведения				
- коров, голов	996	3587	9784	3738
- первотёлка, голов	406	1396	3580	1473
Темп прироста, %/год ($\Delta\gamma$)	$\pm 0,0$	+13,7	+25,7	+14,2

Примечание: оптим. – вариант с оптимальными параметрами (*) по (Стрекозов, Сельцов, 2013).

В последнем столбце табл. 3 представлены результаты моделирования с оптимальными значениями БЗП стада, взятыми из работы (Стрекозов, Сельцов, 2013). Можно видеть, что относительно $\Delta\gamma$ «оптимальные» БЗП были вовсе не оптимальными.

Возможности расширенного воспроизводства в реальных стадах

По трём стадам Кировской области были получены реальные БЗП (верхняя часть табл. 4). Используя эти БЗП, была проведена оценка потенциала расширенного воспроизводства (РВ-потенциал) и рассмотрены (показаны) пути возможного повышения последнего за счёт изменения (улучшения) БЗП. Результаты *in silico* анализа представлены в нижней части табл. 4.

Прежде всего, следует обратить внимание на фактический выход телят и расчётный по РВС-модели (шестая строка табл. 4). Как нам представляется, их близкие значения косвенно свидетельствуют о достаточно хорошей адекватности РВС-модели.

Результаты моделирования показали, что РВ-потенциал трёх стад различен. Так, темп прироста поголовья коров в стаде № 1 был на уровне 7% в год, в стаде № 2 – около 5%, в стаде № 3 – почти 10% в год. При таких темпах прироста поголовья коров в 10-м году разведения может составить 877, 2142 и 3031 голов соответственно. Относительно исходного поголовья (450, 1300 и 1200 голов) численность коров в стаде № 1 увеличится в 1,9, в стаде № 2 – в 1,6 и в стаде № 3 – в 2,5 раза (в среднем удвоится). Отметим, если исходное поголовье в стаде № 3 было на 8% ниже, чем в стаде № 2, то после 10-летнего разведения ситуация поменялась – число коров в стаде № 3 превысило таковое в стаде № 2 на 18%.

Была рассмотрена возможность повышения РВ-потенциала в этих стадах. В частности,

предположили, что:

- в стаде №1 организационными и/или зоотехническими, и/или ветеринарными мероприятиями были снижены: продолжительность сервис-периода со 149 до 120 дней (-29 дней), средний возраст при первом отёле с 28 до 26 мес. (-2 мес.), браковка тёлочек старше года с 8 до 3% (-5 п.п.);

- в стаде № 2 были снижены: уровень выбраковки коров с 30 до 25% (-5 п.п.), продолжительность сервис-периода с 131 до 120 дней (-11 дней), средний возраст при первом отёле с 26 до 24 мес. (-2 мес.);

- в стаде № 3 – выбраковка коров с 27 до 25% (-2 п.п.), продолжительность сервис-периода со 117 до 100 дней (-17 дней), возраст при первом отёле с 26 до 24 мес. (-2 мес.).

Таблица 4. Оценка РВ-потенциала для трёх реальных стад

Показатели	№ стада в Кировской области		
	1	2	3
Параметры			
- число коров, голов (А)	450	1300	1200
- удой, кг	7625	6400	7700
- выбраковка коров, % в год	24	30(25)	27(25)
- средний сервис-период, дней	149(120)	131(120)	117(100)
- средний возраст при 1 отёле, мес.	28(26)	26(24)	26(24)
- выход телят: факт/расчёт, %	76/72,8	80/79,6	84/85,3
- мёртворождаемость, %	4	3	2
- браковка тёлочек до года, %	2	6	2
- браковка тёлочек старше года, %	8(3)	3	3
Результат моделирования:			
- темп прироста стада, %/год	7,0	5,2	9,7
- число коров через 10 лет, голов (В)	877	2142	3031
- В/А	1,9	1,6	2,5
После модификации параметров			
- выход телят, %	82,5	83,4	91,1
- темп прироста стада, %/год	10,4	10,2	12,1
- число коров через 10 лет (С)	1202	3410	4029
- (С/В)*100, %	+37	+59	+33
- С/А	2,7	2,6	3,4

Примечание: в скобках приведены улучшенные значения параметров.

В результате проведённых «мероприятий» (модификации значений отдельных параметров) выход телят в стаде № 1 повысился до 82,5% (+9,7 п.п.), в стаде № 2 – до 83,4% (+3,8 п.п.), в стаде № 3 – до 91,1% (+5,8 п.п.).

Повышенный выход телят привёл к росту поголовья в среднем в три раза. Так, после 10-летнего разведения число коров в стаде № 1 увеличилось с 450 до 1202, в стаде № 2 – с 1300 до 3410, в стаде № 3 – с 1200 до 4029 голов. При этом среднегодовые темпы прироста поголовья коров составили 10,4, 10,2 и 12,1 % соответственно (до модификации – 7,0, 5,2 и 9,7%). Это потенциалы РВ, т.е. в предположении, что фактические параметры изменены в лучшую сторону. Даже относительно небольшое улучшение отдельных фактических параметров привело к повышению РВ-потенциала в первом стаде на 37%, во втором – на 59% и в третьем стаде на 33%. При улучшении иных параметров, в иных размерах и комбинациях результаты будут другими.

Возможности расширенного воспроизводства молочного скота в региональных субпопуляциях и в целом в российской популяции

С научной и практической точек зрения интерес представляет исследование возможностей расширенного воспроизводства региональных популяций молочного скота.

Сообразуясь с работой (Кузнецов, 2015), была сделана попытка собрать необходимые для исследования *in silico* данные по субпопуляциям молочного скота Кировской, Ленинградской, Московской областей и дойному стаду Российской Федерации в целом. Официальной статистики по некоторым показателям нет (во всяком случае, нами в интернете не найдено). Поэтому использовали результаты бонитировок скота, сведения из научных публикаций и, отчасти, нормативные показатели. Результаты представлены в табл. 5.

Таблица 5. Оценка возможности расширенного воспроизводства закрытых (суб)популяций Кировской, Ленинградской, Московской областей и Российской Федерации в целом

Показатели	Регионы			
	КО	ЛО	МО	РФ
Коровы, тыс. гол. ¹⁾ [A]	82,5	72,5	87,4	3319,0
Тёлки до года, тыс. гол.	37,7	26,3	28,1	1190,9
Тёлки старше года, тыс. гол.	36,6	25,6	27,3	1155,1
Выбраковка коров, % (CCOW)	38	32	37	38
Средний возраст тёлоч при зачатии, мес. (AFC)	18 ³⁾	17 ⁴⁾	19 ⁴⁾	22 ⁵⁾
Средний возраст коров в отёлах	2,6 ³⁾	3,1	2,7	2,6
Средний возраст выбытия в отёлах ⁴⁾	3,6 ³⁾	3,1	3,0	3,4
Средний сервис-период, дн. (DO)	139 ³⁾	164 ⁴⁾	164 ⁴⁾	132 ⁴⁾
Межотельный период, мес.	13,9 ³⁾	14,9	14,8	13,7
Мёртворождаемость, %	3,1 ³⁾	5,9	5 ⁶⁾	5 ⁶⁾
Вероятность рождения тёлки, %	50	50	50	50
Браковка тёлоч до года, % ^{x)}	8	8	8	8
Браковка тёлоч старше года, % ^{x)}	3	3	3	3
Выход телят, %				
- по РВС-модели	77,2	66,4	67,0	77,7
- по факту на 1.01.2017 ²⁾	82 ³⁾	79	70	78
Темп прироста/сокращения численности коров				
- по РВС-модели, %/год	+0,7	+2,2	-2,0	-2,2
- по факту 2016/2015, % ²⁾	+1,1	+2,9	-2,6	-0,8
Число коров через 10 лет «разведения», тыс. [B]	88,1	92,2	70,8	2592,5
([B]/[A] - 1)×100, %	+6,8	+27,1	-18,9	-21,8
Модификация параметров: CCOW = 30%, DO = 110 дней, AFC = 16 мес.				
Выход телят по РВС-модели, %	87,1	84,2	85,0	85,0
Темп прироста дойного стада по РВС-модели, %/год	+7,3	+6,4	+5,7	+6,2
Число коров через 10 лет «разведения», тыс. [C]	166,7	130,1	151,1	6038,3
[B] [C] / [A]	2,0	1,8	1,7	1,8

Примечания: КО, ЛО, МО, РФ – Кировская, Ленинградская и Московская области, Российская Федерация. ¹⁾ на 1 янв. 2017 в сельхозорганизациях (Росстат, 2017). ²⁾ Молочное и мясное скотоводство, 2017. ³⁾ Бонитировка крупного рогатого скота. Презентация. Киров, 2016. ⁴⁾ по (Племяшов и др., 2016). ⁵⁾ по (Фисинин, 2008). ⁶⁾ по (Стрекозов, Сельцов, 2013). ^{x)} нормативные показатели (Воскобойник, 1991).

В верхней части табл. 5 приведены исходные данные, по которым были сформированы показатели для последующих расчётов. Число тёлоч до и старше года было получено, исходя из фактического выхода телят и уровней нормативной выбраковки тёлоч в каждой возрастной группе. Уровень выбраковки коров был получен через инверсию показателя «средний возраст в отёлах».

В средней части табл. 5 даны прогнозные оценки темпов прироста/сокращения (суб)популяций и численности коров спустя 10 лет закрытого разведения при реальных БЗП. Отметим достаточно хорошее совпадение прогнозных оценок темпов прироста/сокращения с фактическими значениями. Хорошее соответствие имело место по выходу телят в Московской области и в РФ. Некоторое расхождение было по Кировской и Ленинградской областям, где,

как представляется, фактический выход телят был завышенный (82 и 79 телят при продолжительности сервис-периода, соответственно, 139 и 164 дня!). Через 10 лет закрытого разведения численность коров в РФ и Московской области сократилось на $\approx 20\%$, молочное стадо Кировской области увеличилось на 7%, Ленинградской области – на 27%.

В нижней части табл. 5 показаны пути повышения интенсивности расширенного воспроизводства (суб)популяций. Были снижены: уровень выбраковки коров до 30%, сервис-период – до 110 дней, возраст тёлочек при зачатии – до 16 мес. Остальные входные параметры оставались прежними. При этих условиях выход телят составил 84-87%, темп прироста поголовья – 6-8% в год, численность коров спустя 10 лет закрытого разведения во всех (суб)популяциях почти удвоилась.

В целом, при принятых в данной работе допущениях и постоянстве условий, темпы изменения численности коров варьировали, в зависимости от уровней и комбинаций БЗП, от -4 до +20% в год.

Как представляется, темпы прироста поголовья 6-8% в год – это достаточно высокий уровень расширенного воспроизводства стада (породы) и при определённых условиях вполне достижимый. В частности, снижение уровня выбраковки коров и использование сексированной спермы можно рассматривать как мощные факторы интенсификации наращивания поголовья в российских стадах и субпопуляциях. Кроме того, использование сексированной спермы может повысить интенсивность отбора ремонтных тёлочек, что позитивно отразится на темпе генетического улучшения стада (породы) по продуктивным и иным признакам.

Обсуждение

Теоретические исследования биологических систем (клетка, индивид, стадо, порода, популяция) во всё большей степени базируются на эксперименте *in silico* – компьютерном имитационном моделировании. В процессе вычислительного эксперимента могут быть выявлены предельные возможности биологической системы и узкие места, изучены разные варианты управления и выбран лучший или рациональный. Важно то, что *in silico* исследования обеспечивают возможность исследования определённых аспектов реальной биологической системы, во-первых, без каких-либо непосредственных воздействий факторов внешней среды на неё и, во-вторых, при низких затратах времени и средств. Возможно, что единственный фактор, ограничивающий исследование *in silico*, это производительность компьютера, на котором выполняется имитационное моделирование. Но это может быть критично только для чрезвычайно больших и сложных биосистем.

Поголовье и продуктивность животных – два основных фактора, от которых зависит объём производства продукции животноводства. С 1980-х годов поголовье коров в стране сократилось в 2,5 раза, в Ленинградской, Кировской и Московской областях – в 3, 4 и 5 раз соответственно (Кузнецов, 2015). Оставшееся поголовье коров не в состоянии обеспечить производство молока в достаточном объёме. Несмотря на рост продуктивности коров, импорт молочных продуктов, в переводе на молоко, составляет 23% (Дунин и др., 2013), говядины – 78% (Корниенко и др., 2015). При обеспеченности собственным племенолодьяком в молочном скотоводстве на уровне 60%, в мясном скотоводстве – 36% (Дунин, 2012), в соотношении объёмов закупки племенного молодняка отечественной и импортной селекции львиную долю составляет импортный скот (Сударев и др., 2016).

Увеличение поголовья животных за счёт собственных ресурсов – один из основных путей решения проблем импортнезависимости и самообеспечения (необходимость крупномасштабной селекции для улучшения генотипа (продуктивности) животных рассматривалась ранее (Кузнецов, 1979, 1992, 2013, 2017). Это подразумевает расширенное воспроизводство стад и региональных субпопуляций, не исключая вытесняемых местных пород.

В данной работе предложен алгоритм прогнозирования процессов разведения и

воспроизводства стада – РВС-модель, которая использована для изучения *in silico* воздействия разных био-зоотехнических параметров (БЗП) – уровня ежегодной выбраковки коров, продолжительности сервис-периода, возраста тёлочек при зачатии, уровня мёртворождаемости, уровней выбраковки тёлочек до года и старше года и доли тёлочек в приплоде – на динамику численности коров, молодняка и среднегодовой темп прироста/сокращения поголовья. При принятых в работе значениях БЗП после 10 лет закрытого разведения исходное модельное стадо (1000 коров) увеличилось в 2,4 раза, темп прироста составил 9% в год. Последовательное увеличение значений каждого в отдельности БЗП, кроме доли тёлочек в приплоде, снижало возможности расширенного воспроизводства, и наоборот. Требовалось определить – на какой фактор (БЗП) особенно «отзывчив» среднегодовой темп прироста/сокращения стада

В процессе анализа было установлено, что из всех БЗП наибольшее влияние на интенсивность расширенного воспроизводства оказывают уровень выбраковки коров и доля тёлочек в приплоде. При снижении базового уровня выбраковки коров с 30 до 20% темп прироста поголовья коров в стаде ускорился на 25,6%. Увеличение доли тёлочек в приплоде с 50 (базовый уровень) до 60%, которое возможно за счёт использования для осеменения случного поголовья сексированной спермы, приводило к ускорению темпа прироста стада на 26%, тогда как воздействие остальных БЗП на темп расширенного воспроизводства было небольшим (0,7-8,3%).

При одновременном улучшении (снижении) на 10% всех БЗП среднегодовой темп прироста стада повысился на 3,5 процентных пунктов, поголовье коров на 10-м году разведения увеличилось на 41%. Аналогичное ухудшение (повышение) БЗП снизило темп прироста на 3,3% и сократило поголовье на 10-м году на 28%. В стаде с предельно плохими БЗП поголовье коров сокращалось на 4% в год и за 10 лет уменьшилось на треть. В стаде с предельно хорошими БЗП поголовье увеличивалось на 20,6% в год и за 10 лет разведения выросло в 6 раз. Относительно небольшое повышение вероятности рождения тёлочек в приплоде (с 50 до 60%) обеспечило простое воспроизводство в «плохом» стаде. В «хорошем» стаде темп прироста повысился на 5,1 п.п. и достиг 25,7% в год; поголовье коров на 10-м году дополнительно увеличилось в 1,5 раза и почти в 10 раз в сравнении с исходным в исходном году.

Величины БЗП трёх реальных стад Кировской области при их закрытом разведении обеспечивали (потенциально) расширенное воспроизводство на уровне 5-10% в год. Снижение выбраковки коров на 2-5 п.п., сервис-периода на 10-30 дней, возраста при 1-ом отёле на 2 мес. способствовало повышению возможных темпов расширенного воспроизводства в этих стадах в 1,5-2 раза.

Анализ *in silico* закрытого разведения региональных и российской (суб)популяций молочного скота показал, что при реальных БЗП в Кировской области прогнозируется прирост поголовья коров на 0,7% в год (при фактическом приросте 1,1%); в Ленинградской области – на 2,2%/год (при фактическом 2,9%). В Московской области прогнозируемый темп снижения поголовья коров составил 2% в год (при фактическом сокращении 2,6%). В целом по стране прогнозная оценка составила -2,2% (при фактическом сокращении численности коров на 0,8% в год). Если во всех (суб)популяциях снизить уровень выбраковки коров до 30%, сервис-период – до 110 дней, возраст тёлочек при зачатии – до 16 мес., то темп прироста поголовья коров может составить 6-8% в год. При таких темпах число коров спустя 10 лет закрытого разведения во всех (суб)популяциях может удвоиться.

Возможности для такого улучшения БЗП есть. Так, выбраковка коров из-за гинекологических заболеваний и яловости составляет от 15 до 35%, из-за болезней конечностей – 14-20%, по прочим причинам – 30-51% (Виноградов, Стрекозов, 2004; Сергиенко, 2014; Стрекозов, Сивкин, 2014). Из-за болезни обмена веществ выбраковываются 46-65% высокопродуктивных коров от всех выбывших животных за год (Решетникова и др., 2012). Даже понижение этих процентов до «нормативных» значений существенно снизит

общий уровень выбраковки коров, что повысит потенциальные возможности стад и (суб)популяций к расширенному воспроизводству. *Продолжительность сервис-периода* можно укоротить, уменьшая период инволюции матки, сокращая число сознательно пропускаемых эстральных циклов, повышая степень и точность выявления эструса, улучшая оплодотворяемость коров и тёлочек гормональной стимуляцией (Сарсадских, Абрамов, 2018). *Возраст при плодотворном осеменении* (следовательно, и при первом отёле) можно понизить через программируемое выращивание и сбалансированное кормление ремонтных тёлочек, обеспечивающих к началу племенного использования живую массу не менее 65-70% от нормального веса взрослой коровы. *Уровень мёртворождаемости* можно снизить путём использования на коровах бычков, характеризующихся как «быки с лёгким отёлом дочерей», на тёлках – молодых бычков, а также путём строгого контроля стельности. *Выбраковку тёлочек до и после года* можно снизить через профилактику и своевременное лечение тёлочек (исходя из анализа причин выбраковки), минимизацию травмирования животных и т.п.

Перечисленные мероприятия, инициирующие и/или ускоряющие расширенное воспроизводство, потребуют определённых усилий и средств. Но при правильной организации разведения животных последние, в принципе, неизбежны. Однако, как нам представляется, снижение уровня ежегодной выбраковки коров потребует больших затрат, чем покупка и использование Х-спермы. В частности, потребуется улучшение менеджмента, обеспечение высокой степени стельности, профилактика и лечение коров, особенно в транзитный период (переход коровы с фазы сухостоя в фазу лактации – обычно 6-8 недель до и после отёла (Roche, 2015)). В транзитный период возникает $\approx 75\%$ всех заболеваний самок (LeBlanc et al., 2006).

Использование сексированного семени для российских скотоводов – это пока «экзотический» способ разведения (доза стоит 2800-3500 руб.), но при наличии достаточного количества финансов он более доступен для организации и интенсификации расширенного воспроизводства, тем более что продавцы Х-спермы гарантируют 75%-ю оплодотворяемость самок и получение на 100 отёлов 85-90 тёлочек (Комлацкий, Куликова, 2008). Это находит частичное подтверждение в производственных опытах (Ерохин, Дунин, 2010; Журавлёва и др., 2015). В частности, эксперименты, проведенные в четырёх хозяйствах Московской области, показали, что при осеменении 434 коров Х-спермой (1,4 доз/корова) выход тёлочек составил 86,4% (Ермилов, 2013*). Уже ставятся задачи по разработке отечественной методики сексирования семени (Абилов, 2017) и унифицированной технологии осеменения коров и тёлочек (Егиазарян и др., 2015).

Вместе с тем следует отметить, что имеются и иные (негативные) мнения (Усенко и др., 2014; Ескин и др., 2017; Комбарова, 2017**; Борунова, 2018). По данным (Seidel, 2007), при идеальном содержании коров стельность от Х-спермы на 10% ниже, чем при применении обычной спермы. При содержании на среднем уровне стельность ниже на 30%; при содержании ниже среднего уровня показатели по стельности плохие и даже очень плохие. Основные условия для получения хороших результатов – соответствие Х-спермы определённым стандартам, регулярная проверка её качества, хорошее кормление и содержание животных. Технология сексирования спермы постоянно совершенствуется. Это позволяет надеяться на повышение уровня оплодотворяемости коров и тёлочек в типичных хозяйствах и на снижение затрат. В результате использование Х-спермы может стать эффективным средством наращивания поголовья крупного рогатого скота в РФ.

Как отмечалось, РВС-модель – это «упрощение в допустимых пределах» при ряде

* Ермилов А.Н. Особенности селекции молочного скота в Российской Федерации. ОАО «Московское» по племенной работе» 2013.

** Комбарова Н.А. Использование спермы разделённой по полу: за и против. Семинар-совещание «Реализация мероприятий Дорожной карты по развитию племенного животноводства на 2017-2018 годы в части производства и использования биоматериала». – Ногинск, 27 июля 2017 г. <<https://mos-bulls.ru/features/module-variations/148-soveshchanie-noginsk-iyul-2017> >

предположений и ограничений. В частности, допускались вероятностный характер функциональных связей между разными группами животных, дискретность последовательных событий (через годовой промежуток), постоянство параметров при их относительной точности, стабильность кормовой базы и неизменность технологии содержания на протяжении всего «горизонта разведения» и др. Кроме того, реальное стадо существует и развивается в некоторой меняющейся внешней среде. Все эти факторы идентифицировать и учесть в имитационной модели невозможно, поэтому моделирование (прогнозирование) осуществляется, как правило, в условиях неполноты информации. Большое значение имеет корректность исходных данных (параметров) – если они будут смещёнными, то это приведёт к искажению прогнозных оценок численности разных групп животных и темпов прироста/сокращения поголовья, относительно возможных реальных значений. Вполне разумно предположить, что эти оценки несколько завышенные (хотя не исключено и обратное). В некоторых предыдущих наших исследованиях для снижения прогнозных рисков использовался «фактор реализации». Его величина определяется «интеллектуальной смелостью» исследователя. Допустим, в первом приближении, что наши прогнозные оценки реализуются на 75%. Тогда можно говорить о вполне достижимом 4-6% темпе ежегодного прироста поголовья молочных стад при их закрытом разведении. Заметим, что в прошлом (до конца 1980-х годов) близкие к этим значениям темпы прироста поголовья коров были в Ленинградской области – 3,7% в год, в Московской области – 2,9%. Поголовье коров Российской Федерации увеличивалось на 2,3% в год (Кузнецов, 2015).

Заключение

Разработанная РВС-модель может быть использована с несколькими временными циклами для того, чтобы, во-первых, динамично изменять входные параметры; во-вторых, делать прогноз на более длительный горизонт принятия решения. Модель можно также приспособить для решения обратной задачи – определения параметров стада, при которых поголовье можно было бы, например, удвоить в течение 5 лет. РВС-модель может быть модифицирована для прогноза численности и темпа прироста/сокращения поголовья в открытых стадах и (суб)популяциях, расширена за счёт включения планируемых объёмов производства молока и говядины, дополнена экономическим анализом. В общем, описанная в данной работе РВС-модель представляется научным инструментом, с помощью которого становится возможным:

- (а) получать количественные прогнозные оценки, уточняющие наши представления о возможностях воспроизводства популяций;
- (б) минимизировать предвзятость и субъективность при принятии решений по воспроизводству и менеджменту;
- (в) осуществлять контроль наиболее существенных факторов, влияющих на эффективность воспроизводства стада, и своевременно предпринимать меры по их устранению;
- (г) управлять процессом ремонта стад и
- (д) планировать мероприятия, реализация которых будет способствовать достижению необходимой интенсивности расширенного воспроизводства стад и пород молочного скота.

В целом, это может помочь в формировании научного базиса для решения проблемы самообеспечения населения страны молоком и говядиной, сохранения (при желании – восстановления) генофонда вытесняемых «местных» пород.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абилов А.И. Конференция к 70-летию открытия В.К. Милованова, И.И. Соколовской, И.В. Смирнова // Молочное и мясное скотоводство. – 2017. – № 4. – С. 23-25.
2. Алиев Т.И. Основы моделирования дискретных систем. – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 363 с.
3. Амерханов Х. Племенная база молочного и мясного скотоводства Российской Федерации и

- перспективы её развития // Молочное и мясное скотоводство. – 2010. – № 8. – С. 2-5.
4. Арсюхин Е. Почему сто тысяч импортных коров не перевернули российское животноводство // Главный зоотехник. – 2009. – № 7. – С. 4-6.
 5. Басовский Н.З., Кузнецов В.М. Методические рекомендации по разработке и оптимизации программ селекции в молочном животноводстве. – Л.: ВНИИГРЖ, 1977. – 87 с.
 6. Басовский Н.З., Кузнецов В.М. Методические рекомендации по генетико-экономической оптимизации программ крупномасштабной селекции в молочном скотоводстве. – М.: ВАСХНИЛ, 1982. – 35 с.
 7. Бондарчук С.С., Перевозкин В.П. Математическое моделирование в популяционной экологии. – Томск: Томский ГПУ, 2014. – 233 с
 8. Борунова С.М. Новый взгляд на семя: российская наука обеспокоена заморскими новинками // Ветеринария и жизнь. – 2018. – № 1(8). – С. 5-7.
 9. Виноградов В., Стрекозов Н. Разведение высокоудойных коров // Животноводство России. – 2004. – № 5. – С. 30-31.
 10. Воскобойник В.Ф. Организационно-технологический справочник ветеринарного специалиста. – М.: Росагропромиздат, 1991. – 318 с.
 11. Галанина О.В. Имитационное моделирование восстановления молочного стада крупного рогатого скота: автореф. дисс.... к.э.н. – СПб., 2002. – 24 с.
 12. Давыдов М., Лисичкин В. Этюды о прогностике. – М.: Знание, 1977. – 96 с.
 13. Данкверт С.А., Холманов А.М., Осадчая О.Ю. Международная торговля живыми сельскохозяйственными животными. – М.: «Экономика», 2014. – 247 с.
 14. Дроздов Н.Д. Основы системного анализа. – Тверь: ТГУ, 2002. – 90 с.
 15. Дунин И.М. Перспективы и риски развития племенного животноводства в Российской Федерации // Мат. межд. науч.-практ. конф.: «Современное состояние чёрно-пёстрой породы в России и пути её совершенствования». – СПб.: ВНИИГРЖ, 2012. – С. 8-11.
 16. Дунин И., Данкверт А., Кочетков А. Перспективы развития молочного скотоводства и конкурентоспособность молочного скота, разводимого в Российской Федерации // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 3. – С. 1-5.
 17. Егиазарян А.В., Синицина Н.Г., Никитин Н.С., Нам И.Я., Заякин В.В., Смазнова И.А., Курдеко А.П., Коваленок Ю.К., Глеуленов Ж.М., Сагинбаев А.К. Внедрение сексированного семени для ускоренного воспроизводства племенного поголовья в молочном скотоводстве России // Мат. I Евраз. науч.-практ. конф.: «Инновационные агробιοтехнологии в животноводстве и ветеринарной медицине». – Брянский ГУ, 2015. – С. 104-106.
 18. Ерохин А.С., Дунин М.И. Использование разделённого по полу семени в практике животноводства // The Dairy News [Электрон. журн.]. – 2010. <http://dairynews.ru/news/ispolzovaniye_razdelenogo_po_polu_semeni_v_prakti.html?sphrase_id=528754>
 19. Ескин Г.В., Комбарова Н.А., Гуськова С.В. Сексированное семя или волонтеризм зоотехнического менеджмента. – М., 2017. – НАЦПЛЕМСОЮЗ. Информационный бюллетень № 2. – С. 19-25.
 20. Жданова О.Л., Фрисман Е.Я. Моделирование эволюции популяции с двумя возрастными классами // Моделирование систем. – 2013. – № 2. – С. 36-45.
 21. Журавлёва М.Е., Сударев Н.П., Шаркаева Г.А., Абылкасымов Д., Прокудина О.П., Кузнецова Ю.С. Резервы повышения эффективности молочного животноводства // Молочное и мясное скотоводство. – 2015. – № 4. – С. 25-26.
 22. Киселёв В.Г. Исследование свойств динамической модели животноводства. – М.: ВЦ АН СССР, 1990. – 22 с.
 23. Киселёв В.Г. Поточковая модель динамики стада домашних животных // В сб.: Биомоделирование. – М.: ВЦ РАН, 1993. – С. 3-15.
 24. Клименко А.И., Мустафин З.С., Чеканцев А.Д., Зудин Р.К., Матушкин Ю.Г., Лашин С.А. Современные подходы к математическому и компьютерному моделированию в микробиологии // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2015. – Т. 19. – № 6. – С. 745-752.
 25. Комлацкий В., Куликова Н. Новые методы селекции в скотоводстве // Животноводство России. – 2008. – № 11. – С. 47-48.
 26. Контэ А.Ф., Харитонов С.Н., Сермягин А.А., Ермилов А.Н., Янчуков И.Н., Зиновьева Н.А. Изменчивость селекционно-генетических параметров линейной оценки типа телосложения дочерей быков популяции голштинизированного чёрно-пёстрого скота // Молочное и мясное скотоводство. – 2017. – № 8. – С. 3-9.

27. Корниенко А.В., Можаяев Е.Е., Можаяев А.Е. Состояние, тенденции и меры по повышению продовольственной безопасности России // Зоотехния. – 2015. – № 7. – С. 2-4.
28. Кузнецов В.М. Методические основы разработки и оптимизации программ селекций в молочном скотоводстве: автореф. дисс. ...к.с.-х.н. – Л., 1979. – 24 с.
29. Кузнецов В.М. Математическая имитация селекционного процесса в стаде молочного скота // Генетика. – 1988. – Т. 24. – № 12. – С. 2243-2252.
30. Кузнецов В.М. Методы повышения генетического прогресса в молочном скотоводстве: автореф. дисс. ... д.с.-х.н. – Санкт-Петербург-Пушкин, 1992. – 23 с.
31. Кузнецов В.М., Князева Т.А. Моделирование селекционного процесса в стаде красной степной породы // Доклады Россельхозакадемии. – 1993. – № 1. – С. 82-89.
32. Кузнецов В.М. Разработка оптимальных программ селекций в молочном скотоводстве // Зоотехния. – 1996. – № 1. – С. 5-13.
33. Кузнецов В.М. Прогноз инбридинга в популяциях с перекрывающимися поколениями // Доклады Россельхозакадемии. – 1999. – № 4. – С. 30-33.
34. Кузнецов В.М. Современные методы анализа и планирования селекции в молочном стаде. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2001. – 116 с.
35. Кузнецов В.М. Имитационное моделирование линейного разведения в генофондных популяциях // Доклады Россельхозакадемии. – 2005. – № 6. – С. 37-40.
36. Кузнецов В.М. Моделирование селекционного процесса в локальных популяциях крупного рогатого скота // Доклады Россельхозакадемии. – 2007. – № 1. – С. 37-40.
37. Кузнецов В.М., Вахонина Н.В. Влияние интродукции на инбридинг и эрозию генофонда местной породы КРС // Вестник Россельхозакадемии. – 2012а. – № 1. – С. 36-39.
38. Кузнецов В.М., Вахонина Н.В. Влияние интрогрессии на генетическую структуру и продуктивность трансграничной породы: моделирование // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2012б. – № 1. – С. 75-82.
39. Кузнецов В.М. Разведение по линиям и голштинизация: методы оценки, состояние и перспективы // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2013. – № 3. – С. 25-79.
40. Кузнецов В.М. Исторические тренды в молочном скотоводстве России и США. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2015. – 64 с.
41. Кузнецов В.М. Система рекуррентного разведения для вытесняемых пород молочного скота // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2016. – № 4. – С. 56-68.
42. Кузнецов В.М. Снижает ли кроссбридинг генетическое разнообразие? или Разведение и сохранение пород молочного скота в России. – Киров: НИИСХ Северо-Востока, 2017. – 104 с.
43. Кундышев П. Зачем России развивать инфицированное животноводство? // FERMER.RU 18.08.2011 <<https://fermer.ru/forum/obshchie-voprosy/123650> 15/09/2017>
44. Кундышев П. Здоровье нации – забота государства // Животноводство России. – 2012. – № 11. – С. 2-4 (также № 12. – С. 9-15).
45. Лашин С.А., Мамонтова Е.А., Матушкин Ю.Г., Колчанов Н.А. Компьютерное моделирование механизмов формирования и распространения социально-биологических связей и динамики поведения // Вавиловский журнал генетики и селекции. – 2014. – Т. 18. – № 4/3. – С. 1289-1298.
46. Максимова Л.П., Жукевич А.А. Оптимальные модели племенного и товарного стада айрширского скота Карелии // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 6. – С. 28-31.
47. Мезенцева Л.В., Перцов С.С. Математическое моделирование в биомедицине // Вестник новых медицинских технологий. – 2013. – Т. 20. – № 1. – С. 11-14.
48. Михайленко И.М. Управление жизненным циклом лактирующих коров на основе вероятностно-статистических и динамических моделей // Сельскохозяйственная биология. – 2015. – Т. 50. – № 4. – С. 467-475.
49. Новосельцев В.Н. Математическое моделирование организма // Наука в России. – 2003. – № 1. – С. 52-58.
50. Паронян И.А., Прохоренко П.Н. Проект целевой программы по сохранению и совершенствованию генофонда пород крупного рогатого скота отечественной селекции. – СПб-Пушкин: ВНИИГРЖ, 2017. – С. 16.
51. Племяшов К.В., Сакса Е.И., Барсукова О.В. Селекция голштинского скота при чистопородном разведении // Генетика и разведение животных. – 2016. – № 1. – С. 8-15.
52. Прокопцев В.М., Кузнецов В.М. Оценка эффективности использования свиноматок на репродукторных фермах промышленных свиноводческих комплексов // Сб. науч. тр. ВНИИГРЖ

- «Повышение продуктивности свиней в условиях интенсификации отрасли». – Л., 1981. – Вып. 32. – С. 85-95.
53. Прокопцев В.М., Кузнецов В.М., Григорьева С.М. Математическая модель оценки влияния биотехнологических факторов на эффективность использования свиноматок // Вестник сельскохозяйственной науки. – 1985. – № 6. – С. 113-116.
 54. Прошина О.В., Лоскутов Н.А. Воспроизводство стада – борьба с призраками. [Электронный ресурс] <plinoг.spb.ru> (дата обращения: 29.03.2011).
 55. Решетникова Н., Ескин Г., Комбарова Н., Порошина Е., Шавырин И. Современное состояние и стратегия воспроизводства стада при повышении молочной продуктивности крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. – 2012. – № 3. – С. 2-4.
 56. Ризниченко Г.Ю., Рубин А.Б. Математические модели биологических продукционных процессов. – М.: Изд-во МГУ, 1993. – 302 с.
 57. Ризниченко Г.Ю. Популяционная динамика. <<http://www.library.biophys.msu.ru/mathmod/pd.html>> (дата обращения: 18.09.2015).
 58. Самарский А.А., Михайлов А.П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – М.: Физматлит, 2001. – 320 с.
 59. Сарсадских А.А., Абрамов С.В. Регуляция воспроизводства крупного рогатого скота с помощью гормональных препаратов на основе бусерелина и D-клопростенола // Молочное и мясное скотоводство. – 2018. – № 1. – С. 39-42.
 60. Сергиенко А.В. Продуктивные и воспроизводительные качества голштинского скота в условиях Краснодарского края // Генетика и разведение животных. – 2014. – № 2. – С. 57-61.
 61. Стрекозов Н.И., Сельцов В.И. Разведение молочного скота // В кн.: Молочное скотоводство России. – М.: Агронаучсервис, 2013. – С. 78-125.
 62. Стрекозов Н.И., Сивкин Н.В. Продуктивное долголетие коров при голштинизации чёрно-пёстрого скота // Генетика и разведение животных. – 2014. – № 2. – С. 11-16.
 63. Сударев Н.П., Шаркаева Г.А., Абылкасымов Д., Прокудина О.Н., Кузнецова Ю.С. Разведение крупного рогатого скота голштинской и чёрно-пёстрой пород в хозяйствах России, Центральном Федеральном округе и Тверской области // Зоотехния. – 2015. – № 2. – С. 7-8.
 64. Сударев Н.П., Шаркаева Г.А., Абылкасымов Д., Прокудина О.П., Кузнецова Ю.С. Разведение крупного рогатого скота голштинской и чёрно-пёстрой пород в хозяйствах России, Центрального федерального округа и Тверской области // Зоотехния. – 2016. – № 3. – С. 2-4.
 65. Суворцев В.Н., Никулина Ю.Н. Концентрация поголовья в молочном скотоводстве и проблемы её оптимизации // Молочное и мясное скотоводство. – 2015. – № 6. – С. 2-6.
 66. Суворцев В.Н., Никулина Ю.Н., Гордеев В.В., Хазанов В.Е. Эффективность технологической модернизации молочного скотоводства // Молочное и мясное скотоводства. – 2017. – № 4. – С. 5-10.
 67. Тарасевич Ю.Ю. Математическое и компьютерное моделирование. – М.: Едиториал УРСС, 2004. – 152 с.
 68. Тарасенко Ф.П. Прикладной системный анализ (Наука и искусство решения проблем). – Томск: Изд-во Том. ун-та, 2004. – 186 с.
 69. Текучев И.К., Текучева М.С. Оптимизация размера предприятий по производству молока // Российская сельскохозяйственная наука. – 2017. – № 4. – С. 71-73.
 70. Усенко В.В., Кощаев А.Г., Лихоман А.В., Литвинов Р.Д. Опыт и перспективы использования сексированного семени для увеличения поголовья молочных коров на Кубани // Научный журнал КубГАУ – 2014. – № 101(07) – С. 953-967.
 71. Фисинин В.И., Дунин И.М., Амерханов Х.А. и др. Рекомендации по стабилизации поголовья крупного рогатого скота и реализации его генетического потенциала в хозяйствах Российской Федерации. – М., ФГНУ «Росинформагротех», 2006. – 60 с.
 72. Фисинин В.И. Научное обеспечение развития животноводства России // В сб.: «Дальневосточная наука – агропромышленному производству региона». – Владивосток: Дальнаука, 2008. – С. 7-37.
 73. Черепанов Г.Г., Богданова Н.А., Макара З.Н. Анализ эффективности производства молока с учетом возрастной динамики молочной продуктивности и параметров обновления стада (эскизная модель) // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2013. – № 1. – С. 100-113.
 74. Черепанов Г.Г. Обоснование концепции о ключевой роли конститутивной резистентности для жизнеспособности и длительности использования высокопродуктивных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2014. – № 4. – С. 5-34.
 75. Черепанов Г.Г. Прогнозирование пожизненной молочной продуктивности коров в стаде,

- неоднородном по динамике выживаемости: исследования *in silico* // Проблемы биологии продуктивных животных. – 2018. – № 1. – С. 102-111.
76. Чинаров В.И., Стрекозов Н.И., Чинаров Ю.И., Конопелько Е.И., Баутина О.В. Экономические механизмы повышения конкурентоспособности молочного скотоводства // В кн.: «Молочное скотоводство России». – М.: Агронаучсервис, 2013. – С. 579-607.
 77. Чинаров В.И., Стрекозов Н.И., Чинаров А.В. Окупаемость затрат и получение дохода от импортной молочной коровы // Молочное и мясное скотоводство. – 2017. – № 7. – С. 16-19.
 78. Шаркаева Г. Мониторинг импортированного на территории Российской Федерации крупного рогатого скота // Молочное и мясное скотоводство. – 2013. – № 1. – С. 14-16.
 79. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978. – 419 с.
 80. Щепкин С.В., Кузнецов А.В., Каталупов А.Г. О сохранности молочных стад // Молочное и мясное скотоводство. – 2014. – № 3. – С. 4-6.
 81. Щукина И.В., Коцаев А.Г. Моделирование свободного и ограниченного роста популяции мясного скота // Зоотехния. – 2015. – № 4. – С. 24-27.
 82. Яшин А.И., Украинцева С.В. Новые идеи, методы и проблемы в моделировании демографических и эпидемиологических проявлений старения // Проблемы управления. – 2004. – № 4. – С. 18-26.
 83. DeLorenzo M.A., Spreen T.H., Bryan G.R., Beede D.K., Van Arendonk J.A.M. Optimizing model: Insemination, replacement, seasonal production, and cash flow // J. Dairy Sci. – 1992. – Vol. 75. – No. 3. – P. 885-896.
 84. Groenendaal H., Galligan D.T., Mulder H.A. An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle // J. Dairy Sci. – 2004. – Vol. 87. – No. 7. – P. 2146-2157.
 85. Grohn Y.T., Rajal-Schultz P.J., Allore H.G., Delorenzo M.A., Hertle J.A., Galligan D.T. Optimizing replacement of dairy cows: modeling the effects of diseases // Prev. Vet. Med. – 2003. – Vol. 61. – No. 1. – P. 27-43.
 86. LeBlanc S.J., Lissemore K.D., Kelton D.F., Duffield T.F., Leslie K.E. Major advances in disease prevention in dairy cattle // J. Dairy Sci. – 2006. – Vol. 89. – No. 4. – P. 1267-1279.
 87. Lindhe B. Model simulation of AI-breeding within a dual purpose breed of cattle // Acta Agr. Sc. – 1968. – Vol. 18. – No. 1-2. – P. 33-41.
 88. Roche J. Transition cow nutrition // DairyNZ / Technical Series Online Issue. – 26 June 2015. – P. 1-9.
 89. Seidel G.E. New technologies for reproduction in cattle // Proc. conf.: applied reproductive strategies in beef cattle. – Billings, Montana, 2007. – P. 285-291.
 90. Skjervold H. Den optimale utformningen av seminaveln // SHS. – Hällsta, Sverige, 1965. – Meddelande nr 3.
 91. St-Pierre N.R. A model for projecting animal numbers in a closed herd // In: Research and Reviews: Dairy (Special Circular 163-99). – The Ohio State University, Department of Animal Sciences, 1998. – Bull. 163. – P. 37-43.
 92. St-Pierre N.R., Jones L.R. Forecasting herd structure and milk production for production risk management // J. Dairy Sci. – 2001. – Vol. 84. – No. 8. – P. 1805-1813.
 93. Syrstad O. Effects of intensive culling in dairy herds // Acta Agr. Sci. – 1972. – Vol. 22. – No. 1. – P. 25-28.
 94. Weber F. Selektionsalternativen bei Kühen und ihr Einfluss auf den Altersaufbau der Bestände, den genetischen Trend und den Herdendurchschnitt // Z. Tierzücht. Züchtungsbiol. – 1976. – Vol. 93. – No. 2. – P. 156-168.

REFERENCES

1. Abilov A.I. [Conference on the 70th anniversary of the discovery of V.K. Milovanova, I.I. Sokolovskaya, I.V. Smirnova]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2017, 4: 23-25.
2. Aliev T.I. *Osnovy modelirovaniya diskretnykh sistem* (Fundamentals of discrete systems modeling). – St. Petersburg: SPb Univ. ITMO Publ., 2009, 363 p.
3. Amerkhanov Kh. [Breeding base of dairy and beef cattle breeding in the Russian Federation and prospects for its development]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2010, 8: 2-5.
4. Arsyukhin E. [Why one hundred thousand imported cows have not turned Russian cattle breeding]. *Glavnyi zootekhnik - Glavnyi zootekhnik*. 2009, 7: 4-6.
5. Basovskii N.Z., Kuznetsov V.M. *Metodicheskie rekomendatsii po razrabotke i optimizatsii programm selektsii v molochnom zhivotnovodstve* (Guidelines for the development and optimization of breeding programs in dairy cattle). Leningrad: VNIIGRZh Publ., 1977, 87 p.
6. Basovskii N.Z., Kuznetsov V.M. *Metodicheskie rekomendatsii po genetiko-ekonomicheskoi optimizatsii*

- programm krupnomasshtabnoi seleksii v molochnom skotovodstve* (Guidelines for genetic and economic optimization of large-scale breeding programs in dairy cattle breeding). Moscow: VASKhNIL Publ., 1982, 35 p.
7. Bondarchuk S.S., Perevozkin V.P. *Matematicheskoe modelirovanie v populyatsionnoi ekologii* (Mathematical modeling in population ecology). Tomsk: Tomskii GPU Publ., 2014, 233 p.
 8. Dunin I.M. *Perspektivy i riski razvitiya plemennogo zhivotnovodstva v Rossiiskoi Federatsii* (Prospects and risks of livestock breeding development in the Russian Federation). SPb.: VNIIGRZh Publ., 2012: 8-11.
 9. Dunin I., Dankvert A., Kochetkov A. [The current state of Black-and-White breed in Russia and ways to improve it]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2013, 3: 1-5.
 10. Eskin G.V., Kombarova N.A., Gus'kova S.V. *Seksirovannoe semya ili volyuntarizm zootekhnicheskogo menedzhmenta* (Sexed seed or voluntarism of zootechnical management). Moscow: Natsplemsoyuz Publ., 2017, 2: 19-25.
 11. Zhdanova O.L., Frisman E.Ya. [Modeling the evolution of a population with two age classes]. *Modelirovanie sistem - Modeling of systems*. 2013, 2: 36-45.
 12. Zhuravleva M.E., Sudarev N.P., Sharkaeva G.A., Abylkasymov D., Prokudina O.P., Kuznetsova Yu.S. [Reserves for improving the efficiency of dairy farming]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2015. 4: 25-26.
 13. Kiselev V.G. *Issledovanie svoystv dinamicheskoi modeli zhivotnovodstva* (The study of the properties of a dynamic model of livestock). Moscow: VTs AN USSR, 1990, 22 p.
 14. Kiselev V.G. [The flux model of the dynamics of herds of domestic animals]. In: *Biomodelirovanie* (Modeling in biology). Moscow: VTs AN USSR Publ., 1993: 3-15.
 15. Klimenko A.I., Mustafin Z.S., Chekantsev A.D., Zudin R.K., Matushkin Yu.G., Lashin S.A. [Modern approaches to mathematical and computer modeling in microbiology]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i seleksii - Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2015, 19(6): 745-752.
 16. Komlatskii V., Kulikova N. [New methods of selection in cattle breeding]. *Zhivotnovodstvo Rossii - Livestock in Russia*. 2008, 11: 47-48.
 17. Konte A.F., Kharitonov S.N., Sermiyagin A.A., Ermilov A.N., Yanchukov I.N., Zinov'eva N.A. [Variability of the selection and genetic parameters of a linear evaluation of the type of buildup of the bulls' daughters of the Holsteinized Black-and-White cattle population]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2017. 8: 3-9.
 18. Kornienko A.V., Mozhaev E.E., Mozhaev A.E. [State, tendencies and measures as to the increase of the food security of Russia]. *Zootekhnika - Zootechnics*. 2015, 7: 2-4.
 19. Kuznetsov V.M. *Metodicheskie osnovy razrabotki i optimizatsii programm seleksii v molochnom skotovodstve* (Methodical bases of development and optimization of breeding programs in dairy cattle breeding:). Diss. Cand. Sci. Agr., VNIIRGZh, Leningrad, 1979, 152 p.
 20. Kuznetsov V.M. *Matematicheskaya imitatsiya selektsionnogo protsessa v stade molochnogo skota* [Mathematical simulation of the breeding process in the herd of dairy cattle]. *Genetika - Russian Journal of Genetics*. 1988, 24(12): 2243-2252.
 21. Kuznetsov V.M. *Metody povysheniya geneticheskogo progressa v molochnom skotovodstve* (Methods of increasing genetic progress in dairy cattle breeding). Extended Abstract of Diss. Dr. Sci. Agr., St. Petersburg, VNIIGRZh, 1992, 24 p.
 22. Kuznetsov V.M., Knyazeva T.A. [Modeling of the breeding process in the herd of the red steppe breed]. *Doklady Rossel'khozakademii - Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1993, 1: 82-89.
 23. Kuznetsov V.M. [Development of optimal breeding programs in dairy cattle breeding]. *Zootekhnika - Zootechnics*. 1996, 1: 5-13.
 24. Kuznetsov V.M. [Forecast of inbreeding in populations with overlapping generations]. *Doklady Rossel'khozakademii - Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 1999, 4: 30-33.
 25. Kuznetsov V.M. *Sovremennyye metody analiza i planirovaniya seleksii v molochnom stade* (Modern methods of analysis and planning of breeding in the dairy herd). Kirov: NIISKh Severo-Vostoka Publ., 2001, 116 p.
 26. Kuznetsov V.M. [Simulation modeling of linear dilution in gene pool populations]. *Doklady Rossel'khozakademii - Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2005, 6: 37-40.
 27. Kuznetsov V.M. [Modeling the breeding process in local populations of cattle]. *Doklady Rossel'khozakademii - Reports of the Russian Academy of Agricultural Sciences*. 2007, 1: 37-40.
 28. Kuznetsov V.M., Vakhonina N.V. [Influence of introduction on inbreeding and erosion of the gene pool of local breed of cattle]. *Vestnik Rossel'khozakademii - Bull. Russ. Acad. Agric. Sci.* 2012a, 1: 36-39.
 29. Kuznetsov V.M., Vakhonina N.V. [The influence of introgression on the genetic structure and productivity of a transboundary breed: modeling]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of*

- Productive Animal Biology*. 2012a, 1: 75-82.
30. Kuznetsov V.M. [Breeding by lines and golshtinization: assessment methods, condition and prospects]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2013, 3: 25-79.
 31. Kuznetsov V.M. *Istoricheskie trendy v molochnom skotovodstve Rossii i SshA* (Historical trends in dairy cattle breeding of Russia and the USA). Kirov: NIISKh Severo-Vostoka Publ., 2015, 64 p.
 32. Kuznetsov V.M. [The system of recurrent breeding for displaced breeds of dairy cattle]. *Problemy biologii produktivnykh zivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2016, 4: 56-68.
 33. Kuznetsov V.M. *Snizhaet li krossbridging geneticheskoe raznoobrazie? ili Razvedenie i sokhranenie porod molochnogo skota v Rossii* (Whether cross-breeding reduces genetic diversity? or Breeding and preservation of dairy cattle breeds in Russia). Kirov: NIISKh Severo-Vostoka Publ., 2017, 104 p.
 34. Kundyshev P. [The health of the nation is the concern of the state]. *Zhivotnovodstvo Rossii - Animal Husbandry in Russia*. 2012, 11: 2-4 (and 12: 9-15).
 35. Lashin S.A., Mamontova E.A., Matushkin Yu.G., Kolchanov N.A. [Computer modeling of mechanisms of formation and distribution of social-biological relations and behavior dynamics]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii - Vavilov Journal of Genetics and Breeding*. 2014, 18(4/3): 1289-1298.
 36. Maksimova L.P., Zhukevich A.A. [Optimal models of the breeding and commodity herd of the Ayrshire cattle of Karelia]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2014. 6: 28-31.
 37. Mezentseva L.V., Pertsov S.S. [Mathematical modeling in biomedicine]. *Vestnik novykh meditsinskikh tekhnologii - Journal of New Medical Technologies*. 2013, 1: 11-14.
 38. Mikhailenko I.M. [Life cycle management of lactating cows on the basis of probabilistic-statistical and dynamic models]. *Sel'skokhozyaistvennaya biologiya - Agricultural Biology*. 2015, 50 (4): 467-475.
 39. Novosel'tsev V.N. [Mathematical modeling of the organism]. *Nauka v Rossii - Science in Russia*. 2003, 1: 52-58.
 40. Paronyan I.A., Prokhorenko P.N. *Proekt tselevoi programmy po sokhraneniyu i sovershenstvovaniyu genofonda porod krupnogo rogatogo skota otechestvennoi selektsii* (The project of the target program on preservation and improvement of the gene pool of breeds of cattle of domestic selection). St. Petersburg-Pushkin, VNIIRGZh Publ., 2017, 16 p.
 41. Plemyashov K.V., Saksa E.I., Barsukova O.V. [Selection of Holstein cattle for purebred breeding]. *Genetika i razvedenie zivotnykh - Genetics and breeding of animals*. 2016, 1: 8-15.
 42. Prokoptsev V.M., Kuznetsov V.M. [Estimation of efficiency of use of sows on reproductive farms of industrial pig breeding complexes]. In: Works of VNIIRGZh: *Povyshenie produktivnosti svinei v usloviyakh intensivifikatsii otrasli* (Increasing the productivity of pigs in the conditions of intensification of the industry). Leningrad, VNIIRGZh Publ., 1981, 32: 85-95.
 43. Prokoptsev V.M., Kuznetsov V.M., Grigor'eva S.M. [Mathematical model for assessing the impact of biotechnological factors on the effectiveness of using sows]. *Vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki - Bull. Russ. Acad. Agric. Sci.* 1985, 6: 113-116.
 44. Reshetnikova N., Eskin G., Kombarova N., Poroshina E., Shavyrin I. [The current state and strategy of reproduction of the herd with increasing dairy productivity of cattle]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2012. 3: 2-4.
 45. Rznichenko G.Yu., Rubin A.B. *Matematicheskie modeli biologicheskikh produktsionnykh protsessov* (Mathematical models of biological production processes). Moscow: MGU Publ., 1993, 302 p.
 46. Rznichenko G.Yu. *Populyatsionnaya dinamika*. <<http://www.library.biophys.msu.ru/mathmod/pd.html>> (Accessed at: 18.09.2015).
 47. Samarskii A.A., Mikhailov A.P. *Matematicheskoe modelirovanie: Idei. Metody. Primery* (Mathematical modeling: Ideas. Methods. Examples). Moscow: Fizmatlit Publ., 2001, 320 p.
 48. Sarsadskikh A.A., Abramov S.V. [Regulation of the reproduction of cattle with hormonal drugs based on Buserelin and D-cloprostenol]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2018, 1: 39-42.
 49. Sergienko A.V. [Productive and reproductive qualities of Holstein cattle in the Krasnodar region]. *Genetika i razvedenie zivotnykh - Genetics and breeding of animals*. 2014, 2: 57-61.
 50. Strekozov N.I., Sivkin N.V. [Productive longevity of Holsteinized Black-and-White cows]. *Genetika i razvedenie zivotnykh - Genetics and breeding of animals*. 2014, 2: 11-16.
 51. Sudarev N.P., Sharkaeva G.A., Abylkasymov D., Prokudina O.N., Kuznetsova Yu.S. [Breeding cattle of Holstein and Black-and-White breeds in the economies of Russia, the Central Federal District and the Tver region]. *Zootekhnika - Zootechnics*. 2015, 2: 7-8.
 52. Sudarev N.P., Sharkaeva G.A., Abylkasymov D., Prokudina O.P., Kuznetsova Yu.S. [Breeding cattle of

- Holstein and Black-and-White breeds in the economies of Russia, the Central Federal District and the Tver regions]. *Zootekhnika - Zootechnics*. 2016, 3: 2-4.
53. Surovtsev V.N., Nikulina Yu.N. [Concentration of livestock in dairy cattle breeding and problems of its optimization]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2015, 6: 2-6.
 54. Surovtsev V.N., Nikulina Yu.N., Gordeev V.V., Khazanov V.E. [Efficiency of technological modernization of dairy cattle breeding]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstva - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2017, 4: 5-10.
 55. Tarasevich Yu.Yu. *Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie* (Mathematical and computer modeling). Moscow: Editorial URSS, 2004, 152 p.
 56. Tekuchev I.K., Tekucheva M.S. [Optimization of the size of milk production enterprises]. *Rossiiskaya sel'skokhozyaistvennaya nauka - Russian agricultural science*. 2017, 4: 71-73.
 57. Cherepanov G.G., Bogdanova N.A., Makar Z.N. [Analysis of the efficiency of milk production, taking into account the age dynamics of dairy productivity and the updating parameters of the herd (sketch model)]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2013, 1: 100-113.
 58. Cherepanov G.G. [Substantiation of the concept of the key role of constitutive resistance for the viability and using duration of highly productive animals]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2014, 4: 5-34.
 59. Cherepanov G.G. [Predicting the lifelong milk productivity of cows in a herd that is heterogeneous in survival dynamics: study *in silico*]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology*. 2018, 1: 102-111.
 60. Chinarov V.I., Strekozov N.I., Chinarov Yu.I., Konopel'ko E.I., Bautina O.V. [Economic mechanisms to improve the competitiveness of dairy cattle]. In: *Molochnoe skotovodstvo Rossii (Dairy cattle breeding in Russia)*. Moscow: Agronauchservis Publ., 2013: 579-607.
 61. Chinarov V.I., Strekozov N.I., Chinarov A.V. [Return on costs and income from imported dairy cows]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2017, 7: 16-19.
 62. Sharkaeva G. [Monitoring of imported cattle on the territory of the Russian Federation]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2013, 1: 14-16.
 63. Shchepkin S.V., Kuznetsov A.V., Katalupov A.G. [About survivability of dairy herds]. *Molochnoe i myasnoe skotovodstvo - Dairy and Meat Cattle Breeding*. 2014, 3: 4-6.
 64. Shchukina I.V., Koshchayev A.G. [Simulation of free and limited growth of beef cattle population]. *Zootekhnika - Zootechnics*. 2015, 4: 24-27.
 65. Yashin A.I., Ukraintseva S.V. [New ideas, methods and problems in modeling demographic and epidemiological manifestations of aging]. *Problemy upravleniya - Control Sciences*. 2004, 4: 18-26.
 66. DeLorenzo M.A., Spreen T.H., Bryan G.R., Beede D.K., Van Arendonk J.A.M. Optimizing model: Insemination, replacement, seasonal production, and cash flow. *J. Dairy Sci.* 1992, 75(3): 885-896.
 67. Groenendaal H., Galligan D.T., Mulder H.A. An economic spreadsheet model to determine optimal breeding and replacement decisions for dairy cattle. *J. Dairy Sci.*, 2004, 87(7): 2146-2157.
 68. Grohn Y.T., Rajal-Schultz P.J., Allore H.G., Delorenzo M.A., Hertle J.A., Galligan D.T. Optimizing replacement of dairy cows: modeling the effects of diseases. *Prev. Vet. Med.* 2003. 61(1): 27-43.
 69. LeBlanc S.J., Lissemore K.D., Kelton D.F., Duffield T.F., Leslie K.E. Major advances in disease prevention in dairy cattle. *J. Dairy Sci.* 2006, 89(4): 1267-1279.
 70. Lindhe B. Model simulation of AI-breeding within a dual purpose breed of cattle. *Acta Agr. Sci.* 1968., 18(1-2): 33-41.
 71. Roche J. Transition cow nutrition. *Dairy NZ* (Technical Series Online Issue). 26 June 2015: 1-9.
 72. Seidel G.E. New technologies for reproduction in cattle. In: *Proc. Conf.: Applied Reproductive Strategies in Beef Cattle*. Billings, Montana. September 11 and 12, 2007: 285-291.
 73. Skjervold H. Den optimale utformningen ov seminaveln. *SHS. Hällsta, Sverige*, 1965, Meddelande nr 3.
 74. St-Pierre N.R. A model for projecting animal numbers in a closed herd. *Research and Reviews: Dairy (Special Circular 163-99)*. The Ohio State University, Department of Animal Sciences. 1998, 163: P. 37-43.
 75. St-Pierre N.R., Jones L.R. Forecasting herd structure and milk production for production risk management. *J. Dairy Sci.* 2001, 84 (8): 1805-1813.
 76. Syrstad O. Effects of intensive culling in dairy herds. *Acta Agr. Sc.* 1972, 22(1): 25-28.
 77. Weber F. Selektionsalternativen bei Kühen und ihr Einfluss auf den Altersaufbau der Bestände, den genetischen Trend und den Herdendurchschnitt. *Z. Tierzüchtg. Züchtungsbiol.* 1976, 93(2): 156-168.

***In silico* study of expanded reproduction in a closed dairy cattle breeding**

Kuznetsov V.M.

*Rudnitsky Agricultural Research Center of the North-East,
Kirov, Russian Federation*

ABSTRACT. The aim was to study the influence of the complex of biozootechnical parameters (BZP) on the possibilities of expanded reproduction of dairy cattle using the computational model and production data in the Kirov, Leningrad, Moscow oblasts and the Russian Federation as a whole. Forecasting of herd dynamics was carried out on a flux model using the method of iterations with a discrete time scale. Variable BZP are the level of annual cow culling (CCOW), the duration of the service period (DO), the age of heifers at conception (AFH), the level of stillbirth (DOA), the level of culling heifers up to a year (CH1) and older than a year (CH2), the proportion of heifers born (PBH) on the average annual rate of increase/decrease in the number of cows (Δ_Y). With the closed breeding of the model herd with the initial population of 1000 cows, the reduction of the basic value of CCOW by 10% Δ_Y accelerated by 25.6%. Similar changes in the base values of DO, AFH, DOA, CH1 and CH2 resulted in an acceleration of Δ_Y by 4.4, 8.3, 1.4, 1.3 and 0.7%, respectively. Increase in the base value PBH by 10% led to the acceleration of Δ_Y by 26.2%. In the herd with the extremely "bad" BZP, cows had an average of 2.5 lactations, the yield of calves was 58%, and the livestock was reduced by 4% per year. In a herd with extremely "good" BZP, cows had an average of 5 lactations, a calf output of 97%, a livestock growth of 21% per year. The increase of the PBH up to 60% provided the simple reproduction in the herd with the extremely "bad" BZP, and in the herd with the extremely "good" BZP the growth rate of the herd population increased by 25%. The actual values of BZP of three real herds with 450, 1300 and 1200 cows can potentially provide extended reproduction at the level of 7, 5 and 10% per year. The CCOW decrease by 2-5% percentage point, DO by 10-30 days, AFH by 2 months will increase Δ_Y to 10-12% per year. In the Kirov region, at the actual BZP, a cattle population growth by 0.7% per year is possible (actual is 1.1%); in the Leningrad region by 2.2% per year (2.9%), in the Moscow region a reduction in cows is possible by 2% (-2.6%), in the whole population of the RF a decrease of 2.2% per year is possible (-0.8%). If in all (sub)populations the CCOW is reduced to 30%, DO up to 110 days, AFH up to 16 months, then the livestock population can increase by 6-8% per year. Concluded that with the factor of realization of the forecast estimates of 75% it is possible to speak about quite achievable 4-6% of the annual growth rate of the livestock of Russian herds and dairy cattle populations at their closed breeding. This will accelerate the solution of the problem of import substitution and self-sufficiency of Russian country's population with milk and beef, will contribute to the preservation and restoration of the domestic gene pool.

Keywords: dairy cattle, extended reproduction, closed breeding, computer simulation

Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology, 2018, 3: 54-86

Поступило в редакцию: 16.08.2018

Получено после доработки: 30.08.2018

Кузнецов Василий Михайлович, д.с-х.н., проф., тел. +8(919)510-99-68;
e-mail: vm-kuznetsov@mail.ru