

УДК 636.2.034.082:004:378

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2021.4.62-78

**ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ ПРОДУКТИВНЫХ ЖИВОТНЫХ
С ПОЗИЦИЙ НОВЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ:
ЗАЧЕМ НУЖЕН «ЗООФИЗТЕХ».**

Черепанов Г.Г.

*ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных – филиал ФИЦ животноводства –
ВИЖ им. ак. Л.К. Эрнста, Боровск Калужской обл., Российская Федерация*

Цель работы – систематизация концептуальных и методических аспектов использования новых информационных технологий в животноводстве, в том числе в плане развития теории и практики донозологического мониторинга физиологических функций и раннего прогнозирования жизнеспособности высокопродуктивных коров. Рассмотрены основные составляющие новых ИТ в животноводстве – технологии сбора, передачи и хранения данных, использование технологий Big Data в системах физиологического мониторинга, когнитивные технологии, моделирование производственных процессов. Проанализированы открывающиеся перспективы для оценки и прогнозирования жизнеспособности высокопродуктивных животных. Новые технические средства для сбора физиологически значимой информации позволяют кардинально увеличить объём измерительных данных, получаемых на всей субпопуляции и на протяжении всей жизни животного, что резко повышает возможности для мониторинга, диагностики и оптимизации сложных многофакторных производственных процессов. Новизна этого подхода состоит в переносе акцентов от борьбы с «болезнями продуктивности» к вопросам их профилактики на основе исключения факторов риска на всех этапах онтогенеза, создания адаптивных систем кормления, внедрения новых методов медицинской интроскопии, дистанционной диагностики и физиологического мониторинга, а также поддержания комфортных условий (welfare) эксплуатации высокопродуктивных животных. Для успешного применения ВД-технологий большое значение имеет наличие развитой «аналитики» (статистического анализа, вычислительного моделирования т.д.), поэтому на первых этапах критическим фактором обычно бывает дефицит подготовленных профильных специалистов. Требованием времени стал заказ на организацию системы «Зоофизтеха», по аналогии с существующими в области земледелия/растениеводства институтами агрофизического профиля. В конечном счёте, целью разведения и воспроизводства молочного скота должно быть получение популяций высокоудойных коров со сбалансированным соотношением объёма вымени и функциональных резервов висцеральных систем, обеспечивающим оптимальный уровень синтеза компонентов молока, исключая возникновение метаболических дисфункций и снижение качества молочной продукции.

Ключевые слова: разведение молочного скота, жизнеспособность, дистанционная диагностика, физиологический мониторинг, адаптивное питание, оптимизация технологий

Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. 4: 62-78

Введение

В мировой аграрной науке в последние годы быстро развиваются новые подходы в управлении научно-технологическим развитием на основе новых информационных технологий (ИТ). В области животноводства эта область науки и практики получила название *Precision Livestock Farming*, нередко используется термин *Sustainable Animal Production*, в русскоязычных источниках используются разные названия - точные, цифровые, умные, интеллектуальные технологии, при этом они не совсем адекватно отражают суть рассматриваемых вопросов. Основным отличием этих новых областей сельскохозяйственного производства от традиционных технологий является учёт факторов разнообразия, множественности и гетерогенности используемых природных объектов;

это позволяет при планировании и проведении работ перейти от использования усреднённых нормативных показателей к учёту количественных характеристик каждого отдельно взятого объекта (каждого участка земельной площади, каждой лактирующей коровы и т.д.), при этом технологические приёмы адаптируются к особенностям данного объекта. Поэтому такие логичнее называть адаптивными (например, технологии адаптивного питания). Второе существенное отличие новых технологий – это их «крупномасштабность», резкое увеличение объёма работ по сбору, передаче, архивации и анализу данных. Техническим стимулом для решения этой проблемы послужила разработка технологий Big Data («больших данных»), дистанционного зондирования (диагностики), систем биосенсоров и роботизации. С учётом рассмотренных двух особенностей новых «ай ти» естественно актуализируется потребность в системном подходе в решении возникающих проблем (по-крайней мере для того, чтобы «не зарыться» в технических деталях и не потонуть в потоках информации). В отличие от этих технических аспектов, принципы системного подхода развиваются традиционно в рамках давно разрабатываемой теории управления развитием крупномасштабных систем.

Принцип разделения текущего управления и управления развитием лежит в основе современного менеджмента. Из истории техники, военного дела и практики производственных корпораций известно, что локальные нескоординированные тактические успехи в итоге могут привести к большому стратегическому урону; во избежание этого работают службы системного анализа и прогнозирования. Аналогичной системы для управления научно-технологическим развитием в отечественном животноводстве пока нет. Устойчивый характер негативных тенденций и дефицит эффективных предложений со стороны науки по их преодолению указывает на то, что, помимо объективных причин, здесь имеет место наложение ряда субъективных факторов, в том числе: 1) в стратегическом аспекте – низкий горизонт планирования, отсутствие комплексной системы управления развитием; 2) в аспекте текущего управления – недоучёт биологических взаимосвязей в вопросах селекции, воспроизводства, содержания и кормления животных; 3) недостаточное знакомство с современным опытом системного анализа в решении сложных проблем.

При локальном применении интенсивных технологий с использованием импортного племенного материала снижается жизнеспособность и репродуктивная эффективность современных пород крупного рогатого скота, свиней и кроссов птицы, что приводит к падению рентабельности, снижению качества и безвредности продукции. В последние десятилетия в отечественных ВУЗах и НИИ животноводческого профиля снижается внимание к физиологии как научной дисциплины, базовой для этой отрасли, в основном преобладают исследования в области селекции и разведения, разработки кормовых добавок, решаются текущие вопросы ветеринарной практики. Усилия научных работников и зоотехников в большей части сосредоточены на том, чтобы рационы кормления и зооигиенические условия были по возможности «адекватными возрастающим потребностям организма животного», в основном за счёт кормовых добавок, премиксов, биологически активных веществ и лечебных средств. Эти усилия дают определённый эффект, но если «корень зла» в том, что у животных в результате «однобокой селекции» и отсутствия физиологически обоснованных систем питания разбалансирована система жизненно важных функций, то это в большей части паллиативные меры, направленные на облегчение последствий, а не на устранение глубоколежащих негативных причин.

В молочном скотоводстве наиболее узкое звено – воспроизводство дойного стада, а основная часть заболеваний высокоудойных коров относится к категории неинфекционной нозологии, вызванной нарушением баланса между высоким уровнем синтеза компонентов молока и возможностями внутренних органов поддерживать метаболический гомеостаз. Для того, чтобы разобраться в причинах этого дисбаланса, нужны знания системной физиологии, современный инструментальный неинвазивного съёма физиологически значимой информации и современное программное обеспечение для анализа «больших данных».

Методы зоотехнического анализа в мире постоянно усложняются. Довести до зоотехника (например, в виде книги рекомендаций «Нормы и рационы...») сложные методики расчётов, используемые в современных системах рационализации питания продуктивных животных,

невозможно, пользоваться зарубежными компьютерными программами рискованно, так как они создавались для конкретных условий по целевому назначению. Поэтому у многих «прикладников» возникает соблазн отдавать предпочтение наиболее простым «табличным» рекомендациям и эмпирическим регрессиям, которые, как представляется на первый взгляд, «ближе к практике», хотя это впечатление обманчивое.

Принципиальное значение для успешной работы в направлении, задаваемом целевыми установками “устойчивого животноводства”, имеет решение комплексных научных задач, возникающих на стыках четырех зоотехнических направлений: кормление (физиология питания) – воспроизводство – селекция – управление производственными процессами. В настоящее время в основном решаются текущие частные задачи на основе традиционной методологии в рамках отдельных направлений; в результате возникает эффект “глухоты специализации”. Это большой тормоз для развития; в наше время все наиболее острые проблемы – сложные, для их решения необходимы специалисты, имеющие опыт работы в смежных областях знаний. Примером игнорирования такого подхода может быть достаточно широко распространенная практика применения различных БАДов для стимуляции молочной продуктивности коров в “разгар лактации” без соответствующего исследования эффектов их последствия в плане проявления факторов риска для репродуктивного здоровья, выживаемости матерей и потомства.

Учитывая современные мировые тренды в развитии научных основ ведения животноводства, для преодоления возникающих сложных проблем необходимо интенсифицировать исследования в области системной физиологии и биоинформатики с разработкой технических средств, алгоритмов и программ для целей анализа и оптимизации производственных процессов. Животноводство движется в этом направлении более медленно, по сравнению с растениеводством. Пока еще очень ограничен необходимый арсенал информативных тестов и селекционных программ для получения животных нужного типа, а также технологий, обеспечивающих поддержание сбалансированных уровней продуктивности и выживаемости высокопродуктивных животных.

Цель данной работы – систематизация концептуальных и методических аспектов использования новых информационных технологий в животноводстве, в том числе в плане развития теории и практики физиологического мониторинга и раннего прогнозирования жизнеспособности высокопродуктивных животных

Основные составляющие новых ИТ в животноводстве

Новые информационные технологии можно рассматривать в двух аспектах: техническом и научно-содержательном; в философском смысле это трактуется как отношение формы и содержания, в компьютерных технологиях как соотношение двух областей – «хардвер» (hardware) и «софтвер» (software). В бытовом общении часто аббревиатура ИТ трактуется только в техническом аспекте, т.е. считается, что «айтишник» – это специалист по компьютерным сетевым программам и роботизированным системам. В содержательном же аспекте, рассматриваемом в данной работе, т.е. в области управления научно-технологическим развитием биологических производственных систем, новые информационные технологии – это область научных исследований и наукоёмких технологий, которая включает в себя три основных составляющих: 1) технологии, обеспечивающие функции сбора, передачи и хранения данных; 2) когнитивные технологии; 3) вычислительное моделирование и оптимизация сложных систем и процессов.

Технологии сбора, передачи и хранения данных. Термином «биосенсоры» обычно обозначают аналитические устройства, в которых чувствительный слой, содержащий биологический материал, реагирует на присутствие определяемого компонента и генерирует электрический сигнал, функционально связанный с наличием и концентрацией этого вещества. В более широком плане к биосенсорам можно относить устройства для съёма и автоматической обработки такой информации, содержание которой ранее было доступно только человеку (например, в результате визуального или тактильного обследования биологического объекта). Такие операции стали доступны для применения в исследованиях биологических объектов благодаря применению новейших методов анализа данных с использованием технологии нейросетей.

Эти системы оказались эффективными для выявления “тихой охоты”, теплового стресса, диагностики и контроля мастита при роботизированном доении и по ряду других направлений (Черепанов, 2020). Это не только даёт экономию затрат, но позволяет выйти на качественно новый уровень с точки зрения эффективности диагностических обследований и управления стадом. Для примера, вплоть до настоящего времени для выявления метаболических отклонений у коров в транзитный период проводят забор крови с последующим лабораторным анализом морфологического и биохимического состава. Это трудоёмкая и затратная процедура пригодна для обследования небольшой выборки, но не для целей скринингового обследования. При наличии же соответствующих микроэлектронных средств можно в ходе роботизированного доения получать количественные данные по объёму и составу молока, по динамике индекса упитанности и другую информацию у всех коров с последующей передачей в базу данных, получения цифровых индикаторов и регистрации их ненормативного спада, сигнализирующего уже на ранней стадии о метаболическом неблагополучии, которое при отсутствии такого контроля с большой вероятностью может закончиться вынужденным выбытием из дойного стада (Михальский, Новосельцева, 2018, 2019).

Биосенсоры, как инструмент для управления здоровьем животных, – быстро развивающийся рынок, который в ближайшие 10 лет, по прогнозам, вырастет с 0,91 до 2,6 млрд долл. США (Neethirajan, 2017).

Биосенсоры применяются для измерения электрической проводимости ткани вымени при диагностике маститов у коров, для регистрации изменений физических свойств молока (цвета и др.), концентрации в нём некоторых ферментов, таких как гаптоглобин, L-лактатдегидрогеназа, N-ацетил- β -D-глюкозаминидаза, а также прогестерона и других соединений. Наиболее широко в настоящее время используются сенсоры для регистрации двигательной активности (в частности, для выявления эструса, измерения температуры тела, времени жвачки и др.). Широко используются видеокamеры, устройства для регистрации потребления корма и др. Множественные данные от различных устройств интегрируются, и алгоритмы машинного обучения используются для обнаружения отклонений параметров от нормы (напр., отклонения по частоте или длительности жвачки, температуры тела, двигательной активности, динамике молокоотдачи и др.) с построением списка коров, требующих дополнительного обследования для выявления возможного риска заболеваний.

С начала текущего столетия проводятся исследования по разработке автоматизированных систем измерения индекса упитанности коров BCS (body condition score) (Roche et al., 2009). Уровень индекса до отёла, его минимальное значение и площадь под кривой BCS-время после отёла ассоциируются с уровнем молочной продуктивности, состоянием репродуктивной функции и метаболическими нарушениями (Dechow et al., 2002; Bastin et al., 2010). Для показателей продуктивности и здоровья, связь с индексом обычно нелинейная, оптимальным считается диапазон 3,0-3,5 (для 5-балльной шкалы).

Описана автоматизированная система оценки BCS, использующая трёхмерный алгоритм топографической съёмки тела коровы с использованием кинетической камеры (Spoliansky et al., 2016). Все этапы автоматизированы, включая выбор изображения и классификацию. Для каждой коровы используется 40 показателей, которые автоматически выбираются из полученных изображений задней части спины и из базы данных по управлению стадом. Результаты тестовых измерений сопоставлялись с результатами визуальной оценки зоотехниками-экспертами с использованием регрессионного анализа. Тренировочная выборка состояла из измерений по всему интервалу значений BCS для 80 коров и тестовая – из 20 коров. Результаты показали хорошую воспроизводимость оценки BCS с коэффициентом детерминации 0,75 при общем стандартном отклонении 0,19. Для применения на разных фермах требуется проведение измерений на тренировочной выборке из 10 коровах с получением 10 видеосъёмок по 4 сек. каждая.

Решалась задача пространственного моделирования формы тела коровы для разработки усовершенствованного алгоритма машинной оценки индекса BCS (Azzaro et al., 2019). Видеокamera помещалась над входом в камеру для роботизированного доения, получаемые изображения использовались для построения базы данных по набору контрольных точек. Набор контрольных

точек строился по 286 видеоизображениям в области поясничного и заднего тазового отдела, и формировался набор базовых изображений, который сопоставлялся с набором данных по исследованному животному с использованием метода главных компонент. Результаты анализа показали преимущество разработанного метода по точности оценки индекса в широкой области его значений.

Предпринимаются попытки использовать массивы множественных данных, получаемые с этих устройств, для прогнозирования таких фенотипически сложных признаков, как индивидуальная продолжительность продуктивной жизни (productive life span, PLS) (Adriaens et al., 2020). Исходными данными для прогнозирования были 45 показателей, включая параметры лактационной кривой, «выбросы» двигательной активности, свидетельствующие о наступлении эструса, динамика этой активности, связанная с общим состоянием здоровья, и др. На основании этих данных, полученных на первой лактации, для каждой коровы с помощью последовательного регрессионного анализа вычисляли ранг коровы для трёх уровней прогнозируемой PLS и сопоставляли полученный результат с фактическими данными. При последовательном включении в регрессионную модель исходных показателей вероятность правильного прогноза составляла около 90%, но структура модели различалась для разных ферм.

По прогнозам на ближайшие десятилетия, племенное совершенствование будет основываться на использовании информации по кодирующему геному и некодирующему эпигеному, а также по микробиому молочных коров и производственных помещений. Интегрированные системы микросенсоров, роботов и автоматических устройств станут частью рутинной работы по управлению стадом. Стада будут рассматриваться как суперорганизмы, и их исследование как целостных объектов приведёт к прогрессу в продуктивности и здоровье животных, обеспечению доходности и устойчивости развития производства (Bewley, Schutz, 2008; Britt et al., 2018).

Использование технологий Big Data в системах физиологического мониторинга. Для содержательной трактовки термина Big Data (перевод на русский – «большие» данные не совсем адекватен) в англо-язычной литературе используют “four Vs” – *Volume* (объём информации), *Velocity* (скорость её обработки), *Veracity* (достоверность, точность, качество исходных данных) и *Variety* (разнообразие, множественность, полнота). Как и в других сферах применения «прорывных» технологий, для успешного применения BD-технологий большое значение имеет наличие развитой «аналитики» (статистического анализа, методов фильтрации исходных данных, интеграции выходных данных, их визуализации и т.д.), в противном случае будет большой вероятностью возникновения ситуации, когда «данных много, а информации мало» («мусор на входе – мусор на выходе»). Поэтому на первых этапах освоения новых технологий критическим фактором обычно бывает дефицит подготовленных профильных специалистов. Внедрение в практику систем Big Data вызвало потребность в новейших технологиях анализа и компьютерной обработки получаемой информации (Михальский, Новосельцева, 2018, 2019). Таким образом, требованием времени стал заказ на организацию системы «зоофизтех», по аналогии с существующими в области земледелия/растениеводства институтами агрофизического профиля.

По мнению ряда экспертов, применение BD-технологий может стать основой второй революции в биомедицине, причём этот переворот будет не менее всеобъемлющим, чем первая революция, которую связывают с изобретением микроскопа и первыми попытками лекарей анализировать и собирать информацию о состоянии больных, основываясь на науке. С другой стороны, как и большинство других прорывных технологий, широкое применение BD-технологий создаёт не только значительные выгоды, но и определённые потенциальные риски, оценить которые можно только в процессе работы в конкретных условиях производства. Наибольший эффект в настоящее время оно даёт в молочном скотоводстве для улучшения показателей воспроизводства (в основном, при регистрации двигательной активности и уровня прогестерона в молоке). По мере освоения этой технологии, дополнительный долговременный эффект она может дать в плане достижения оптимального сочетания уровня продуктивности, состояния здоровья животных и рентабельности производства.

Когнитивные технологии. Под термином *когнитивные технологии* в настоящее время чаще всего имеют в виду применение систем искусственного интеллекта (ИИ) в тех областях, которые характеризуются наличием множественных меняющихся параметров и потребностью принятия решения в условиях дефицита времени, например, при вождении транспортных средств, в деятельности фондовых рынков, в военном деле, в информационно-аналитических системах. Поскольку область применения этих технологий быстро расширяется, возникают терминологические трудности, что немаловажно, ведь путаница в словах приводит к путанице в делах. Положительным результатом теста на отнесение того или иного технологического объекта к классу ИИ рекомендуют считать, если при голосовом общении с ним трудно понять, с кем ты имеешь дело – с человеком или с искусственной системой.

Такая трактовка когнитивных технологий является искусственно суженной. Многие функциональные элементы систем ИИ используются в производственных роботах, например, в устройстве для надевания доильных стаканов при роботизированном доении работают алгоритмы технического зрения и управления движением с локализацией в пространстве, но считать такую технологию «умной» разновидностью ИИ («умное стадо») нет оснований.

Для того, чтобы более чётко определить содержательные аспекты когнитивных технологий, приведём перевод латинского слова *cognitio* – знание, познание, узнавание, расследование (*causarum cognitio cognitionem eventorum facit* – познание причин приводит к познанию следствий). Выражение «концептуальный» (от лат. *conceptualis* – сущностный, содержательный, основанный на концепции как системы взглядов на природу вещей) близко по смыслу к выражению «когнитивный». Сущностный, содержательный – означает содержащий знание о связи причины и следствия, т.е. на познавательной модели причинно-следственной связи. В современном научном «обиходе» этот аспект понимается как моделирование природных явлений (процессов). Поэтому техническая сторона когнитивных технологий не должна заслонять содержательные аспекты, которые бывают не видны «со стороны».

В нашей стране в последние десятилетия выход на передовые позиции в освоении новейших аграрных технологий, достигнутый в области земледелия/растениеводства, в значительной степени был обусловлен опытом системных исследований и моделирования производственных процессов, накопленным в ряде научных центров, в том числе в Агрофизическом институте (АФИ, Санкт-Петербург). В средствах массовой информации достижения в этой отрасли сельского хозяйства чаще всего обсуждают с позиций «внешнего наблюдателя», у которого внимание фокусируется на технических аспектах нововведений – трактор или комбайн без водителя, обработка почвы с навигатором по системе спутниковой GPS, дистанционная оценка состояния посевов с помощью программ технического зрения и т.д. Это, действительно, бросается в глаза, тогда как такие операции, как автоматическая подготовка состава удобрений или средств защиты растений и их внесение в дозировке и по составу, адаптированному для данного участка земельных площадей и для данной фазы вегетации – это далеко не так «впечатляет», но именно эти элементы технологии наиболее «научноёмкие», для них разрабатывается специальное программное обеспечение, а для разработки программ нужны алгоритмы, для которых нужны модели производственного процесса, которые разрабатываются большими коллективами на протяжении многих лет кропотливого труда.

В других секторах отечественного аграрного производства, в том числе в животноводстве, процессы освоения новых информационных технологий несравнимо ниже. Принятые к выполнению проекты «цифровизации животноводства» в ближайшей перспективе, скорее всего, будут выполнены только в плане технических нововведений, в основном касающихся замены ручного труда средствами автоматизации и роботизации, а также расширения информационных систем зоотехнического и ветеринарного учёта, тогда как наиболее научноёмкие элементы, в том числе необходимые для роботизированного кормления молочных коров, аналогичных по принципу работы системам адаптивного питания растений, пока ещё не находятся даже на стадии предпроектного исследования.

Моделирование производственных процессов. Общая тенденция в мире в области животноводства состоит в переходе от статических типовых норм кормления и содержания к адаптивным технологиям, оптимизированным по комплексу физиологических критериев. Множественность таких критериев и наличие ассоциативных эффектов на уровне продуктивности, воспроизводства и выживаемости популяций племенного скота обуславливает потребность в развитии методов вычислительного моделирования производственных процессов. Практическая реализация решения возникающих сложных задач возможна при использовании метода последовательного приближения; например, эмпирически оцененные нормативы потребностей животных в питательных веществах и энергии используются в качестве начальных исходных данных, а затем в порядке проведения экспериментов *in silico* применяют вычислительные имитационные модели для уточнённого прогноза, в том числе задавая вопросы типа: «что будет, если...» при варьировании отдельных параметров или их сочетаний.

Немаловажным при этом является соблюдение принципа непрерывного развития, т.е. циклического повторения этапов моделирования, испытания модели в «полевых» условиях, внесения коррекций в структуру исходной модели или переход к концептуально новой модели. Только такая стратегия, применяемая в настоящее время в передовых отраслях науки и производства, обеспечивает получение инновационной продукции мирового уровня, при этом необходимым условием является наличие достаточного количества высококлассных специалистов, способных работать на «стыках» наук. Объекты и методы исследований быстро усложняются; не только в науке, но и в корпоративном секторе становится невозможным обогнать конкурентов, рассчитывая на успех только за счёт заимствования чужих разработок.

Для жвачных животных проблемы рационализации кормления невозможно решать без учёта функционирования рубцовой микрофлоры, значение которой в процессах пищеварения у этого вида млекопитающих впервые было показано в работах Нобелевского лауреата Артура Виртанена. Процессы ферментации в рубце составляющих корма (нерастворимого и распадаемого протеина, растворимых и структурных углеводов) тесно взаимосвязаны в системе микробного биоценоза, поэтому определить оптимальное их сочетание в рационе и предсказать динамику выхода конечных продуктов переваривания из преджелудков можно только с использованием системно-кинетической модели. Константы скоростей в формулах биохимической кинетики, используемых для описания потоков в рубцовом биоценозе, в большинстве случаев являются постоянными параметрами, а в выходных данных отражается итог множественных взаимовлияний, проявляющихся в ассоциативных эффектах, которые невозможно учесть в системе, построенной на эмпирических регрессиях (Черепанов, 2018).

Исследовательские работы в РФ по этому направлению новых информационных технологий в животноводстве были проведены в нашей стране на рубеже 2000-х гг. В этот период во ВНИИ физиологии, биохимии и питания животных были исследованы пилотные варианты модели рубцового пищеварения, алгоритмы анализа процессов роста, интермедиарного обмена и функций молочной железы у лактирующих коров (Cherepanov et al., 2000; Cherepanov, 2001; Черепанов, 2001, 2002; Черепанов и др., 2003; Черепанов, Макара, 2005; Cherepanov, Makar, 2007, 2015). В настоящее время, в связи с принятым курсом на «цифровизацию» животноводства, это направление исследований становится особенно актуальным, хотя оно более затратно и трудоёмко в сравнении с технологиями сбора и хранения измерительной информации. Основные трудности при работе с продуктивными животными кроются не в том, что и как измерять, а в том, что делать с полученными массивами данных, как их интерпретировать. Какая-то часть возникающих при этом задач имеет аналоги в существующих технических системах, но при попытках их адаптации применительно к процессам, протекающим в живом организме, возникают проблемы фундаментального характера. Так, моделирование динамики микробных биоценозов используется в области технической микробиологии для оптимизации выхода конечного продукта, тогда как для продуктивных жвачных животных образование продуктов ферментации в преджелудках – это лишь промежуточный результат, как исходный пул субстратов, поступающих в системы тканевого обмена и синтеза компонентов продукции.

Учёт множественных взаимосвязей в системах энергетического, жирового и аминокислотного обмена необходим для прогноза состояния метаболического здоровья, особенно у коров в транзитный период. Первая треть лактации у высокопродуктивных коров характеризуется развитием энергетического дефицита, гипогликемии, массивной мобилизации жировых депо, накопления токсических продуктов, “открывающих дорогу” комплексу мультифакторных заболеваний. Для расшифровки сложной картины метаболических сдвигов, происходящих в этот период, потребуется проведение длительных исследований, хотя определённую информацию можно получить и в настоящее время по косвенным признакам. Повышенный риск выбытия может быть обусловлен снижением конститутивной резистентности в ходе «предболезни», тогда как конкретная причина выбраковки коров может быть обусловлена случайными факторами, так что выбытие в этот критический период может произойти или по той, или какой-то иной причине.

При этом наиболее слабым звеном у «голштинизированных» коров может оказаться печень, например, при сочетании большого объёма вымени и относительно малых размеров печени. По данным сонографических исследований, у 40% высокопродуктивных коров уже на первой лактации наблюдаются нарушения в эхогенных структурах печени, а на 3-й лактации они выявляются у 70-80%, в том числе при отсутствии выраженных клинических симптомов гепатоза (Мищенко, Черных, 2014). Отрицательная корреляция между уровнем молочной продуктивности и выживаемостью у коров с высокой кровностью по голштинам может быть обусловлена тем, что увеличение объёма вымени в меньшей степени сдерживается пространственными ограничениями, в сравнении с печенью, развитие которой физически затрудняется у тех особей, у которых ширина и обхват груди за лопатками меньше, по сравнению с голштинами (это, например, характерно для чёрно-пёстрой породы). При наличии современных средств дистанционного мониторинга (наборы видеокамер, программы распознавания образов) можно проводить автоматизированную балльную оценку племенных коров с использованием повышенных коэффициентов для ширины груди и высоты в холке, что может снизить вероятность выбытия коров в транзитный период.

На протяжении полового цикла в яичнике происходят гормон-зависимые процессы созревания ооцитов и развития фолликулов, высоко чувствительные к воздействию негативных факторов метаболического стресса в организме коровы. Эти негативные сдвиги могут приводить к проявлению эффектов последствия, т.е. они могут влиять не только на эффективность осеменения и имплантацию зародыша в слизистую оболочку матки, но и на развитие эмбриона, а судя по результатам исследований, проведенных в последние десятилетия, негативные воздействия на процессы пренатального развития в значительной степени сказываются на состоянии здоровья у молодняка и на продолжительность жизни матери. Часто возникающее у зоотехников желание повысить удои в «разгар» лактации находит отклик у научных работников, например, для продвижения кормовых добавок, стимулирующих молокообразование, на условиях кратковременного хоздоговора. При этом и у заказчика, и у исполнителя в планы исследований не входит оценка возможных факторов риска, слабо выраженных на стадии предболезни, но оказывающих неблагоприятное влияние на развитие эмбриона и на репродуктивные функции матери. Причина этого понятна - сегодня никто не будет финансировать поисковые исследования с проведением множественных анализов на больших интервалах времени. С другой стороны, подобные исследования могут стать хорошим плацдармом для поиска эффективных решений на основе использования новых технологий (Adriaens et al., 2020).

Новые перспективы для оценки и прогнозирования жизнеспособности высокопродуктивных животных

Актуальность проблемы жизнеспособности высокопродуктивных коров особенно очевидна в связи с усугублением тенденции антагонизма высокой продуктивности и продолжительности использования маточного поголовья (Прошина, Лоскутов, 2011; Сельцов и др., 2012). В молочном скотоводстве этот антагонизм порождает острую нехватку тёлочек для ремонта стада, и если не переломить сложившуюся неблагоприятную тенденцию, то в будущем придётся выбирать одно из двух: либо резкое сокращение численности поголовья, либо массовые закупки за рубежом; и то, и другое неприемлемо, так как ставит под угрозу продовольственную безопасность страны.

Учитывая эти обстоятельства, следует найти чёткий ответ на вопрос: какие основные причины лежат в основе указанного антагонизма. Причины ускоренного выбытия голштинизированного молочного скота селекционеры обычно усматривают в “накоплении генетического груза”, обусловленного использованием на начальных этапах создания голштинской породы немногочисленной группы быков-производителей. Слабость этой модели объяснения в том, что её невозможно верифицировать (это типичная ситуация когнитивного тупика). С точки зрения физиологии, альтернативным объяснением могут быть, по крайней мере, три причины: 1) в результате традиционной селекции достигнут порог гипертрофированного развития вымени на фоне отставания в развитии внутренних органов и висцеральных функций; 2) отсутствует система адекватного питания, обеспечивающая оптимальный баланс потоков всасывания нутриентов в ЖКТ и текущих потребностей в субстратах синтеза в критические периоды воспроизводительного цикла; 3) состояние метаболического стресса в начальные периоды лактации вызывает снижение защитных сил (гуморального и клеточного иммунитета, систем неспецифической резистентности) и ускоренное выбытие по сумме причин.

Примером разбалансированности развития висцеральных органов и функций может служить синдром внезапной смерти у бройлеров высокопродуктивных кроссов, характеризующийся внезапной гибелью быстрорастущих особей. Патологоанатомические признаки не патогномичны, т.е. отсутствуют проявления болезни, которые характерны для одной нозологической формы и не наблюдаются при других заболеваниях. С позиций нормальной физиологии эту форму “болезней продуктивности” можно рассматривать как проявление общего конституционального состояния организма. В отличие от молочной железы, в которой процессы синтеза и распада основного белка – казеина пространственно разделены мембраной секреторных везикул, синтез и распад мышечных белков происходит в одном компартменте – цитоплазме, поэтому массивный синтез белков сопровождается пропорционально повышенным протеолизом, в результате образующиеся пептидные остатки и недоокисленные продукты распада перегружают печень и другие внутренние органы, что провоцирует множественные мультифакторные нарушения с последующим летальным исходом.

Ветеринарные и медицинские врачи, считающие причиной выбытия негативные сдвиги в иммунологическом статусе, достаточно отчётливо понимают, что такое специфическая резистентность при рассмотрении заразных болезней, но дать чёткое определение общей неспецифической резистентности несопоставимо сложнее. Большинство исследователей понимает, что неспецифическая резистентность - это сложный, комплексный показатель, который в разных ситуациях может отражать различные аспекты жизнедеятельности. Нередко для понимания и расшифровки этих аспектов требуется привлечение разных оценочных критериев. Сюда, очевидно, могут входить методические приемы, относящиеся к различным научным дисциплинам, а также традиционные или вновь разрабатываемые клинические, гематологические, морфологические, физиолого-биохимические, генетические и зоотехнические характеристики. Сложность здесь в том, что подчас трудно бывает оценить степень адекватности применяемого подхода задачам исследования. Для решения многих практически важных задач требуются новые подходы.

Позиция ветеринарных медиков на первый взгляд выглядит веской, поскольку животные выбраковываются или гибнут по реальной и клинически диагностируемой причине. Если же обратиться к анализу заболеваемости на уровне популяции, то в ветеринарной эпизоотологической практике различают *риск* как реальную угрозу возникновения болезни и *факторы риска*, которые ответственны за предрасположенность к заболеванию, увеличивают риск заболевания или непосредственно его обуславливают. В медицинской статистике, имеющей дело не только с популяциями, но и с большими периодами времени, давно установлен феномен так называемого «компенсационного эффекта смертности»: если искоренить одну болезнь, то в силу каких-то непонятных, но неотвратимо действующих причин увеличивается частота других заболеваний, так что средняя длительность жизни в популяции не изменяется (Гаврилов, Гаврилова, 1991). Природа как будто ставит печать «не жилец» уже, возможно, на ранних этапах онтогенеза, а от какой именно болезни погибнет данная особь – это дело случая. Вполне вероятно, что причина вышеуказанного

компенсационного эффекта кроется в том, что ликвидация данного конкретного заболевания не может в принципе сильно улучшить состояние общей неспецифической резистентности.

В качестве рабочего варианта интерпретации результатов наших исследований по выживаемости молочных коров (Черепанов, 2014, 2016, 2019, 2020) можно привести одно из возможных определений по данной теме: общая неспецифическая резистентность (по нашей терминологии – конститутивная резистентность, КР) – это способность функциональных систем организма противостоять неблагоприятным воздействиям внешних и внутренних факторов, снижающих жизнеспособность; структурные задатки этой способности формируются при участии наследственных факторов и эпигенетических модификаций в процессах пренатального развития и в периоды выращивания молодняка; уровень КР снижается с обратно-экспоненциальным трендом после достижения возраста репродуктивной зрелости.

Это «медленная» компонента резистентности, отличная от индуцибельной иммунной, которая индуцируется в ответ на внедрение антигена. В настоящее время существует множество экспериментальных и теоретических исследований, описывающих функционирование систем физиологического гомеостаза (работающих в «быстром» времени), однако количество работ, в которых рассматривается поведение биологических систем в «медленном» времени, значительно меньше. Не в последнюю очередь это обусловлено тем, что такие исследования очень трудозатратны. Тем не менее существуют многочисленные факты, указывающие на однотипный характер различных проявлений конститутивной резистентности. В 70-х гг. в научной литературе обсуждался вопрос о различной природе и проявлениях конститутивных и индуцибельных процессов во время развития, роста и старения (Озернюк и др., 1971; Зотин, 1974), позднее такой подход получил распространение в молекулярно-биологических работах, в том числе в отношении процессов транскрипции и синтеза белков.

Гомеостатическая способность, выраженная в энергетических единицах и характеризующая репродуктивную эффективность, у насекомых и млекопитающих после достижения половой зрелости снижается с возрастом экспоненциально (Новосельцев и др., 2004). Снижение основного обмена у всех животных происходит экспоненциально, т.е. скорость снижения более высокая в молодом возрасте (Зотин, 1974). Такая же динамика выявляется по устойчивости к маститам у коров (Кудрин, Загороднев, 2007). У людей экспоненциально снижается индекс заживления ран, а частота кровоизлияний в мозг, аневризмы аорты, атеросклероза, наоборот, увеличивается с таким же темпом (Гродзинский и др., 1987). Этих экспериментальных данных, в принципе, достаточно для того, чтобы чётко разделить понятия процесса старения и старости: признаки старости наблюдаются в отдалённые сроки, но скорость старения (снижение адаптационной способности, жизнестойкости, резерва защитных сил) максимальна в более раннем возрасте – приблизительно в период после достижения возраста половой зрелости/

Известно, что в критические периоды раннего развития внешнесредовые воздействия вызывают сдвиги в формирующихся системах, которые могут сохраняться на протяжении жизни. Средовые факторы могут влиять на экспрессию генов, не затрагивая кодирующие последовательности ДНК, однако вызванные изменения в паттернах экспрессии в некоторых случаях могут передаваться потомству (Вайсерман и др., 2011; Джапаров, 2018). С учётом этих данных, возможных кандидатов на роль тестов для оценки потенциала жизнеспособности не следует искать в показателях физиологического гомеостаза; с большей вероятностью их можно найти в области действия конститутивных эпигенетических факторов (Черепанов, Михальский, 2016, Черепанов, 2020).

Такие исследования в настоящее время проводятся в области персонализированной предиктивной медицины с использованием донозологической диагностики состояния здоровья для раннего выявления факторов риска. В ходе онтогенеза происходит накопление эпигенетической памяти на воздействия эндо- и экзогенных факторов, что с течением времени может приводить к формированию порочных кругов метаболизма, обуславливающих повышение частоты бесплодия, эмбриональной смертности, низкую жизнеспособность потомства и многочисленные мультифакторные заболевания. С позиций современной физиологии, совокупность этих фактов содержательно объясняет известные констатации того, что не более 30% фенотипических проявлений здоровья обуславливают генетические факторы, 30% – факторы питания, 10% –

экологические факторы, так что большая часть отклонений в состоянии здоровья является следствием взаимодействия «генотипа и среды» (вернее, генетических и паратипических факторов).

Потенциал конститутивной резистентности формируется в основном в ранние периоды развития, а резервы резистентности начинают исчерпываться в связи с переходом клеток в постмитотическое состояние в зонах роста основных тканей скелетно-мышечной системы (Черепанов, 2019). Поэтому проследить связь между первичными нежелательными сдвигами на эмбриональной и плодной стадиях развития зародыша, обусловленными гормонально-метаболическими дисфункциями у матерей, и нарушениями на последующих этапах жизни нового взрослого организма – это очень трудная и дорогостоящая задача для исследователей, но она становится вполне осуществимой при организации непрерывного физиологического мониторинга с использованием средств новых «ай-ти» технологий. В этом отношении животноводы имеют преимущество перед медиками в том отношении, что протоколы записей в амбулаторных картах больных в нашей стране ещё не переведены на цифровые платформы, а в системах разведения молочного скота уже давно функционирует прототип автоматизированного учёта в ряду поколений – это система СЕЛЭКС, необходимо будет лишь внести технические усовершенствования и «масштабировать» её за счёт ведения записей не только на племенных предприятиях, но и в обычных хозяйствах.

У исследователей и клиницистов накоплен большой объём данных, свидетельствующих о том, что смерть (или для продуктивных животных – выбытие по сумме причин) откладывается потому, что особи достигают старших возрастов с лучшим здоровьем (Vaupel, 1979, 2010). Иными словами, начиная с определённого возраста, способность организма поддерживать гомеостаз снижается, так что по достижении минимального её уровня организм может погибнуть от «первой попавшейся» причины, поскольку даже слабые нарушения делают восстановление здоровья невозможным. Поэтому для снижения потерь от многочисленных полиэтиологических болезней молочных коров (в том числе так называемых «болезней продуктивности» животных – болезней вымени, репродуктивных органов, конечностей и др.), следует в первую очередь профилактить возраст-зависимый спад общей жизнеспособности организма. Новизна этого подхода состоит в ориентации, в первую очередь, не на диагностику и лечение конкретных болезней, а на отслеживание и профилактику глубинных процессов износа и истощения функциональных резервов организма в ходе нормальной жизнедеятельности. Пока же селекция молочного скота ведётся, в основном, по удою, статям и формам вымени, весь молодняк идёт «поток» на воспроизводство стада, а по мере повышения его продуктивности (в процессе селекции и за счёт интенсивного кормления, применения биологически активных добавок и стимуляторов) снижается жизнеспособность, увеличивается выбраковка, страдает качество и безопасность получаемой продукции.

Таким образом, существует два концептуально разных подхода – первый сосредоточен на оценке племенной ценности всех животных по одним и тем же критериям (безотносительно их потенциала жизнеспособности) и на борьбе с болезнями; второй подход нацелен на обеспечение максимально возможного уровня «первичного здоровья» (Odent, 1986, Черепанов, Михальский, 2016) и выявление группы «потенциальных долгожителей». Различие в этих двух подходах имеет фундаментальный характер, поскольку здоровье и болезни – это в значительной мере разные сущности, понятие «здоровье» значительно шире, необходимость врачевания болезней можно рассматривать как неумение поддерживать здоровье в границах его возрастной нормы. Ещё И.П. Павлов утверждал, что медицина будущего – это профилактическая медицина, поэтому в XXI веке и ветврач, и селекционер должны уметь оценивать потенциал здоровья, повышать биологические возможности и степень надежности функциональных систем организма (особенно у потомства племенных малоплодных животных).

В настоящее время наиболее актуальным направлением в биологии продуктивных животных, в том числе в молочном скотоводстве, считается разработка методов геномной селекции и редактирования генов, но форсирование этих исследований не должно заслонять другие направления, которые пока остаются «в тени». В настоящее время общий тренд в совершенствовании селекции молочного скота (в том числе на основе геномной методологии) – это

повышение продуктивности до мирового уровня и борьба с ростом заболеваемости и выбытия из стада, как неизбежного следствия этого повышения. Но современный уровень знаний допускает возможность другой стратегии – повышение уровня «первичного» здоровья (primal health; Odent, 1986; Один, 2011) и поддержание оптимального соотношения молочной продуктивности и состояния функциональных резервов организма на протяжении репродуктивного периода.

Поскольку в существующей практике селекции молочного скота основные критерии оценки быков по качеству потомства – это экстерьерные признаки дочерей и надой молока по последовательным лактациям, вышеизложенные данные свидетельствуют о необходимости расширения информации, включаемой в записи племенного учёта, за счёт организации скринингового обследования на разных стадиях индивидуального развития.

Другой аспект полученных результатов – прогнозирование продуктивности и жизнеспособности молочных коров с учётом гетерогенности популяций по параметрам выживаемости. Это новый аспект для биологии продуктивных животных, имеющий немаловажное значение для зоотехнии, в том числе для селекции и разведения с использованием генетических маркеров, хотя методический инструментарий для количественного учёта эффектов гетерогенности ещё предстоит разработать в достаточной для практического применения степени полноты. Одно из качественных рекомендаций, которые можно сделать на основании проведенных исследований, состоит в том, что «долголетие» коров не следует применять в качестве целевого признака в селекционно-племенной работе; в настоящее время накоплен большой объём данных, свидетельствующих о возможности прогнозирования жизнеспособности в когортах дочерей быков-производителей по выбытию на первой или в среднем по первой и второй лактации (поскольку вероятность выбытия в этот период увеличивается незначительно) (Черепанов,).

В связи с высокой вариабельностью показателей выживаемости, которые зависят от большого количества паратипических факторов, исследование количественной динамики жизнеспособности лактирующих коров может оказаться малоэффективным, если оно проводится только на отдельном стаде или на недостаточно большой или малококонсолидированной популяции. С другой стороны, по мере расширения области исследования, с включением многих производственных и территориальных объектов (племзаводов, товарных хозяйств, районов), в которых проводится разведение одной породы, становится возможным выявить новые эмпирические факты и фундаментальные закономерности, в том числе относящиеся к проблеме оценки соотношения генетических факторов и эпигеномных модификаций для селекции и разведения молочного скота. Иными словами, так же, как и в селекции, в этой области необходимо проведение «широкомасштабных» исследований. В наших исследованиях существенный шаг в поисках решения задач оценки гетерогенности популяций коров по показателю жизнеспособности был сделан на материале «больших данных», которые были собраны за ряд лет на 15 производственных объектах с общей численностью более 60 тысяч коров (Черепанов, 2020, данные по чёрно-пёстрой породе Ленирадского типа предоставлены проф. В.М. Кузнецовым).

Обсуждение и рекомендации

Вышеизложенные общие концептуальные положения по проблемам и перспективам использования новых информационных технологий в животноводстве дают определённые ориентиры для развития теории и практики донозологического мониторинга физиологических функций и раннего прогнозирования жизнеспособности животных.

Центральное по смыслу и в настоящее время наиболее слабое звено в создании системы «точное/цифровое животноводство» – это кормление животных, научную основу которого составляет физиология питания, которая пока не может претендовать на статус системной физиологии, предполагающей владение языком вычислительного моделирования. Если основные инструменты ветеринарного врача – это шприц и скальпель, то инструментом зоотехника в недалёком будущем будут вычислительные алгоритмы, заложенные в компьютерные программы, а также умение работать с микрочипами и умными роботами. Поэтому необходимо своевременно вносить коррективы в существующие системы высшего образования и подготовки научных кадров.

С другой стороны, для радикального решения проблемы в настоящее время этого

недостаточно. Как указывалось выше, применение новых ИТ технологий может стать основой новой революции в медицине и в аграрном секторе, не менее всеобъемлющей по сравнению с появлением микропроцессорных устройств, но «наукоёмкость» новых технологий будет неизмеримо выше. Поэтому необходима организация научных кластеров, в какой-то степени работающих по типу «кремниевой долины», в которой специалисты физико-технического профиля работают «бок о бок» с биологами, решая комплекс фундаментальных и прикладных задач.

В 70-х гг. в системе ВАСХНИЛ функционировал институт кибернетики, который впоследствии был перепрофилирован в сторону механизации сельского хозяйства. Ленинградский агрофизический институт избежал такой реорганизации, и в рамках одного из научных направлений он в настоящее время осуществляет методическое руководство и координацию исследований в области планирования полевых многофакторных рандомизированных опытов, системного анализа данных, моделирования и оптимизации производственных процессов. Учитывая традиционно сложившееся в НИИ животноводческого профиля отставание в развитии этого направления, а также острый дефицит нужных специалистов, попытки освоить новые информационные технологии за счёт организации небольших коллективов в разных институтах заведомо приведут к неоправданно большим затратам и не обеспечат решения проблем.

Успех в развитии новой для зоотехнической науки области моделирования производственных процессов на первых этапах, помимо кадровых вопросов, будет лимитироваться наличием достаточного количества численных данных по основным параметрам моделей; поэтому необходимо заранее планировать проведение серий целевых исследований на лабораторных установках типа искусственного рубца и на оперированных животных. Одновременно с этим необходимо начать организацию опытных полигонов (экспериментальных ферм) с применением систем электронной идентификации животных, биосенсорных чипов и микродатчиков, телеметрии и цифровой обработки данных. В сочетании с системой учёта племенных животных, усовершенствованной за счёт расширения протоколов записей, этот научно-технологический комплекс обеспечит создание необходимой базы для расширения списка физиологически обоснованных селекционных индексов, мониторинга наследственных и эпигеномных эффектов, снижения заболеваемости за счёт донозологического скрининга и, в конечном счёте, – для получения новых типов животных со сбалансированными уровнями продуктивности и жизнеспособности.

Принципиальное значение для успешной работы в этом направлении имеет решение комплексных задач в связке четырёх научных направлений: физиология питания – воспроизводство – селекция – управление производственными процессами. То есть, наряду со специализацией научных школ необходима их интеграция и планирование комплексных инновационных разработок по последовательным этапам: формулирование проблемы – постановка задач – разработка концепций, методологии, методического обеспечения – создание пилотных вариантов конечного продукта, их доработка и введение в хозяйственный оборот.

В качестве одного из вариантов формулирования проблем и задач можно ставить вопрос о создании отечественных компьютеризированных систем адаптивного питания животных, усовершенствованных протоколов племенного учёта, баз данных и знаний, отражающих влияние генотипа, внешних воздействий и эпигенетических факторов на эффективность трансформации корма в компоненты продукции – основной показатель точных (прецизионных) производственных технологий. Вместе с набором вычислительных средств, осуществляющих моделирование *in silico* и поиск оптимальных решений по всему набору задач, такая система будет представлять собой эффективный инструмент для пользователей-практиков. Прототипы и аналоги таких систем успешно функционируют в нашей стране в ряде других отраслей, в том числе в крупных промышленных корпорациях и в области растениеводства.

Новизна такого системного подхода в секторе животноводства состоит в переносе акцентов от борьбы с «болезнями продуктивности» к вопросам их профилактики на основе исключения факторов риска на всех этапах онтогенеза, создания адаптивных систем кормления, внедрения новых методов медицинской интроскопии, дистанционной диагностики и физиологического

мониторинга, а также поддержания комфортных условий (welfare) эксплуатации высокопродуктивных животных.

В наиболее актуальном секторе молочного скотоводства целью селекции и воспроизводства молочного скота должно быть получение популяций высокоудойных коров с продолжительностью хозяйственного использования, увеличенной за счёт сбалансированного соотношения объёма вымени и функциональных резервов висцеральных систем, обеспечивающего оптимальный уровень синтеза компонентов молока, исключающего возникновение метаболических дисфункций и снижение качества молочной продукции.

Список литературы

1. Вайсерман А.М., Войтенко В.П., Мехова Л.В. Эпигенетическая эпидемиология возраст-зависимых заболеваний. // Онтогенез. 2011. Т. 42. № 1. С. 30-50.
2. Гаврилов Л.А., Гаврилова Н.С. Биология продолжительности жизни. М.: Наука, 1991.
3. Гродзинский Д.М., Войтенко В.П., Кутляхмедов Ю.А., Кольтовер В.К. Надёжность и старение биологических систем. Киев: Наукова думка, 1987. 176 с.
4. Джапаров Д.Э. Эпигенетика старения: прорывное направление геронтологии? // Успехи геронтологии. 2018. Т. 31. № 5. С. 628-631
5. Зотин А.И. Термодинамический подход к проблемам развития, роста и старения. М.: Мир, 1974.
6. Кудрин А.Г., Загороднев Ю.П. Зоотехнические основы повышения пожизненной продуктивности коров. М.: Колос, 2007. 95 с.
7. Михальский А.И., Новосельцева Ж.А. Применение методов машинного обучения в задачах продуктивного животноводства. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2018. № 4: С. 98-109.
8. Михальский А.И., Новосельцева Ж.А. Методы компьютерного анализа данных в задачах по мониторингу и совершенствованию управления стадом // Проблемы биологии продуктивных животных. 2019. № 1. С: 95-111.
9. Мищенко В.А., Черных О.Ю. Проблема патологии печени у молочных коров. // Ветеринария Кубани. 2014. № 2. С. 11-12.
10. Новосельцев В.Н., Аркинг Р., Новосельцева Ж.А., Яшин А.И. Междисциплинарное моделирование системных механизмов репродукции и старения // Проблемы управления. 2004. № 4. С. 27-40.
11. Один В.И. Кризис геронтологии: к вопросу о первичном здоровье в XX веке // Успехи геронтологии. 2011. Т. 24. № 1. С. 11-23.
12. Озернюк Н.Д., Зотин А.И., Юровицкий Ю.Г. Оогенез как модель уклонения живой системы от стационарного состояния // Онтогенез. 1971. Т. 2. № 6. С. 565-57.
13. Прошина О., Лоскутов Н. Воспроизводство стада: потерянная страница. // Животноводство России. 2011. № 9. С. 40-41.
14. Сельцов В.И., Молчанова Н.В., Калиевская Г.Ф., Тохов М.Х. Продуктивное долголетие – комплексный показатель в селекции крупного рогатого скота. // В сб.: Продуктивное долголетие крупного рогатого скота молочных пород (информационный обзор). Подольск-Дубровицы: ВИЖ, 2012. С. 9-27.
15. Черепанов Г.Г. Имитационная модель процессов ферментации в рубце и всасывания метаболитов у жвачных животных // Тезисы докл. между. конф.: Механизмы функционирования висцеральных систем. СПб: Ин-т физиологии им И.П. Павлова, 2001: 396-397.
16. Черепанов Г.Г. Системно-кинетические принципы и модели в теории питания продуктивных животных. Боровск: изд. ВНИИФБиП, 2002: 163 с.
17. Черепанов Г.Г., Токарев Т.Ю., Макар З.Н. Косвенная оценка транспорта метаболитов в клетку in vivo по данным измерения их артерио-венозного баланса. // Рос. физиол. журн. им. И.М.Сеченова. 2003, Т. 89. № 8. С. 1021-1028.
18. Черепанов Г.Г., Макар З.Н. Адаптивные изменения активности транспорта аминокислот в секреторные клетки молочной железы при сдвигах нутритивного статуса. //Российский физиологический журнал, 2005, Т. 10. С. 1182-1194.
19. 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.
20. Черепанов Г.Г. Михальский А.И. Проблема поиска возможных подходов для оценки потенциала жизнеспособности и продления сроков использования высокопродуктивных животных // Проблемы биологии продуктивных животных. 2016. № 1. С. 5-25.
21. Черепанов Г.Г. Исследование динамики выживаемости коров дойного стада: анализ производственных

- данных и вычислительное моделирование // Проблемы биологии продуктивных животных. 2018. № 2. С. 101-111. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.101-111
22. Чирихина В.А., Коровушкин А.А. Физиологический и продуктивный статус коров джерсейской породы в процессе адаптации после длительного транспортного стресса. // Проблемы биологии продуктивных животных. 2021. № 1. С. 65-74.
 23. Adriaens I., Friggens N.C., Ouweltjes W., Scott H., Aernouts B., Statham J. Productive life span and resilience rank can be predicted from on-farm first-parity sensor time series but not using a common equation across farms. // J. Dairy Sci. 2020. Vol. 103. nr 8. P. 7155-7171. DOI: 10.3168/jds.2019-17826
 24. Bastin C., Loker S., Gengler N., Sewalem A., Miglior F. Genetic relationships between body condition score and reproduction traits in Canadian Holstein and Ayrshire first-parity cows. // J. Dairy Sci. 2010. Vol. 93. P. 2215-2228.
 25. Bewley J.M., Boehlje M.D., Gray A.W., Hogeveen H., Eicher S.D., Schutz M.M. Assessing the potential value for an automated dairy cattle body condition scoring system through stochastic simulation. // Agric. Financ. Rev. 2010. Vol. 70. P. 126-150. DOI: 10.1108/00021461011042675
 26. Britt J.H., Cushman R.A., Dechow C.D., Dobson H., Humblot P., Hutjens M., Jones G.A., Ruegg P.S., Sheldon I.M., Stevenson J.S. Invited review: learning from the future—a vision for dairy farms and cows in 2067. // J. Dairy Sci. 2018. Vol. 101. nr 5. P. 3722-3741. DOI: 10.3168/jds.2017-14025
 27. Cherepanov G.G., Danfaer A., Cant J.P. Simulation analysis of substrate utilization in the mammary gland of lactating cow // J. Dairy Res. 2000. Vol. 67. P. 171-188.
 28. Cherepanov G.G. A morpho-physiological conception and model of animal growth. // J. Anim. Feed Sci. 2001. Vol. 10. P. 385-397.
 29. Cherepanov G. G., Makar Z. N. Simulation modeling of substrate homeostasis of mammary secretory cells. Russian Agricultural Sciences. 2007. Vol. 33. nr 2. P. 114-117.
 30. Cherepanov G.G., Makar Z.N. Analysis of relationship between viability of cows, herd turnover rate, and milk production efficiency (system and algorithm modeling). Russian Agricultural Sciences. 2015. Vol. (1-2). P. 54-59. DOI: 10.3103/S106836741502007X
 31. Cherepanov G.G. Prediction of viability of cows: a new look at the old problem // Agricultural Research and Technology. Open Journal (ARTOAJ). 2018. Vol. 141. Issue 5: ARTOAJ.MS.ID.555931. DOI: 10.19080/ARTOAJ.2018.14.555931
 32. Dechow C.D., Rogers G.W., Clay J.S. Heritability and correlations among body condition score loss, body condition score, production and reproductive performance. // J. Dairy Sci. 2002. Vol. 85. P. 3062-3070.
 33. Neethirajan S. Recent advances in wearable sensors for animal health management. // Sensing and Bio-Sensing Research. 2017. Vol. 12. P. 15-29 <<https://doi.org/10.1016/j.sbsr.2016.11.004>>
 34. Roche J.R., Friggens N.C., Kay J.K., Fisher M.W., Stafford K.J., Berry D.P. Invited review: Body condition score and its association with dairy cow productivity, health, and welfare. // J. Dairy Sci. 2009. Vol. 92. nr 12. P. 5769-5801. DOI: 10.3168/jds.2009-2431
 35. Vaupel J.W., Manton K.G., Stallard E. The impact of heterogeneity in individual frailty on the dynamics of mortality. Demography. 1979. Vol. 16. P. 439-454.
 36. Vaupel J.W. Biodemography of human aging // Nature. 2010. Vol. 404. nr. 7288. P. 536-542.

References (for publications in Russian)

1. Vaiserman A.M., Voitenko V.P., Mekhova L.V. [Epigenetic epidemiology of age-related diseases]. *Ontogenes - Ontogenesis*. 2011. 42(1): 30-50.
2. Gavrilov L.A., Gavrilova N.S. *Biologiya prodolzhitel'nosti zhizni* (Life span biology). Moscow: Nauka Publ., 1991.
3. Grodzinskii D.M., Voitenko V.P., Kutlyakhmedov Yu.A., Kol'tover V.K. *Nadezhnost' i starenie biologi-cheskikh system* (Reliability and aging of biological systems). Kiev: Naukova Dumka Publ., 1987, 176 p.
4. Dzhaparov D.E. [Epigenetics of Aging: A Breakthrough Direction in Gerontology?]. *Uspekhi gerontologii - Advances in gerontology*. 2018. 31(5): 628-631.
5. Kudrin A.G., Zagorodnev Yu.P. *Zootekhnicheskie osnovy povysheniya pozhiznennoi produktivnosti korov* (Zootechnical basis for increasing the lifetime productivity of cows). Moscow: Kolos Publ., 2007, 95 p.
6. Mikhal'skii A.I., Novosel'tseva Zh.A. [Application of machine learning methods in the tasks of productive animal husbandry]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of productive animal biology*. 2018. 4: 98-109.
7. Mikhal'skii A.I., Novosel'tseva Zh.A. [Methods of computer analysis of data in tasks of monitoring and improving herd management]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of productive animal biology* 2019. № 1. С: 95-111..

8. Mishchenko V.A., Chernykh O.Yu. [The problem of liver pathology in dairy cows]. *Veterinariya Kubani - Veterinary medicine of the Kuban*. 2014. 2: 11-12.
9. Novosel'tsev V.N., Arking R., Novosel'tseva Zh.A., Yashin A.I. [Interdisciplinary modeling of systemic mechanisms by reproduction and aging]. *Problemy upravleniya - Control Sciences*. 2004, 4: 27-40.
10. Odin V.I. [The crisis of gerontology: on the issue of primary health in the XX century]. *Uspekhi gerontologii - Advances in gerontology* 2011. 24(1): 11-23.
11. Ozernyuk N.D., Zotin A.I., Yurovitskii Yu.G. [Oogenesis as a model of evasion of a living system from a stationary state]. *Ontogenez - Developmental Biology*. 1971, 2(6): 565-571.
12. Proshina O., Loskutov N. [Herd reproduction: the lost page]. *Zhivotnovodstvo Rossii - Livestock in Russia* 2011. 9: 40-41.
13. Sel'tsov V.I., Molchanova N.V., Kalievskaya G.F., Tokhov M.Kh. [Productive longevity is a complex indicator in cattle breeding]. In: Produktivnoe dolgoletie – kompleksnyi pokazatel' v selektsii krupnogo rogatogo skota (Productive longevity of dairy cattle : an information review). Podol'sk-Dubrovitsy: VIZh, 2012. P. 9-27.
14. Cherepanov G.G. Imitatsionnaya model' protsessov fermentatsii v rubtse i vsasyvaniya metabolitov u zhvachnykh zhivotnykh. *Tezisy dokl. mezhd. konf.: Mekhanizmy funktsionirovaniya vistseral'nykh system* (Reports of Intern. Conf.: Mechanisms of functioning of visceral systems.). St. Petersburg: Pavlov Institute of Physiology. 2001. P. 396-397.
15. Cherepanov G.G. *Sistemno-kineticheskie printsipy i modeli v teorii pitaniya produktivnykh zhivotnykh* (System-kinetic principles and models in the theory of nutrition of productive animals). Borovsk: izd. VNIIFBiP Publ., 2002. 163 p.
16. Cherepanov G.G., Tokarev T.Yu., Makar Z.N. [Indirect assessment of the transport of metabolites into the cell in vivo according to the measurement of their arterio-venous balance]. *Rossiiskii fiziologicheskii zhurnal im. I.M.Sechenova - Russian physiological journal. I.M.Sechenov*. 2003. 89(8): 1021-1028.
17. Cherepanov G.G. [Substantiation of the concept of the key role of constitutive resistance for the viability and duration of use of highly productive animals]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of productive animals biology*. 2014. 4: 5-34.
18. Cherepanov G.G., Mikhal'skii A.I. [The problem of searching for possible approaches to assess the potential of viability and prolonging the use of highly productive animals]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of productive animals biology*. 2016. 1: 5-25.
19. Cherepanov G.G. [Study of the dynamics of the survival of dairy herd cows: analysis of production data and computational modeling]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of productive animals biology* 2018, 2: 101-111. DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2018.2.101-111.
20. Chirikhina V.A., Korovushkin A.A. [Physiological and productive status of Jersey cows during adaptation after prolonged transport stress]. *Problemy biologii produktivnykh zhivotnykh - Problems of productive animals biology*. 2021. 1: 65-74.
21. Zotin A.I. *Termodinamicheskii podkhod k problemam razvitiya, rosta i stareniya* (Thermodynamic approach to the problems of development, growth and aging). Moscow: Mir Publ., 1974, 184 p.

УДК 636.2.034.082:004:378

DOI: 10.25687/1996-6733.prodanimbiol.2020.4.62-78

**Problems of productive animals biology
from the standpoint of new information technologies:
why do we need "Zoophystech"**

Cherepanov G.G.

*Institute of Animal Physiology, Biochemistry and Nutrition –
Branch of Federal Research Center of Animal Husbandry – Ernst VIZh,
Borovsk, Kaluga oblast, Russian Federation*

ABSTRACT. The aim of the work is to systematize the conceptual and methodological aspects of using new information technologies in animal husbandry, including in terms of developing the theory and practice of prenosological monitoring of physiological functions and early forecasting of the viability of highly productive animals. The main components of new IT in animal husbandry are considered - technologies for collecting, transferring and storing data, the use of Big Data technologies in physiological monitoring systems, cognitive technologies, modeling of production processes. The prospects for assessing and predicting the viability of highly productive animals have been analyzed. New technical means for collecting physiologically significant information make it possible to dramatically increase the amount of measurement data obtained throughout the entire subpopulation and throughout the life of the animal, which sharply increases the possibilities for monitoring, diagnosing and optimizing complex multifactorial production processes. The novelty of this approach lies in the shift of emphasis from the fight against "productivity diseases" to the issues of their prevention based on the elimination of risk factors at all stages of ontogenesis, the creation of adaptive feeding systems, the introduction of new methods of medical introscopy, remote diagnostics and physiological monitoring, as well as maintaining comfortable conditions (welfare) of the exploitation of highly productive animals. For the successful application of BD technologies, the presence of developed "analytics" (statistical analysis, computational modeling, etc.) is of great importance, therefore, at the first stages, the shortage of trained specialized specialists is usually a critical factor. The time requirement was the order for the organization of the "zoophystech" system, by analogy with the agrophysical institutes existing in the field of agriculture / plant growing. Ultimately, the goal of breeding and reproduction of dairy cattle should be to obtain populations of high-yielding cows with a balanced ratio of the volume of the mammary glands and functional reserves of the visceral systems, providing an optimal level of synthesis of milk components, excluding the occurrence of metabolic dysfunctions and a decrease in the quality of dairy products.

Keywords: dairy cattle breeding, viability, remote diagnostics, physiological monitoring, adaptive nutrition, technology optimization

Problemy biologii productivnykh zhivotnykh - Problems of Productive Animal Biology. 2021. 4: 62-78

Поступило в редакцию: 14.10.2021

Получено после доработки: 08.11.2021

Черепанов Геннадий Гелргиевич, д.б.н., с.н.с., 89611243110@mail.ru