

ных документов зоотехнического учета, так как ученые понимают технологию в целом, а не отдельные ее элементы. Для практического применения научных знаний в области животноводства целесообразно предоставить доступ ученым-зоотехникам как к форме 311-АПК «Отчет о движении скота и птицы на ферме», так и к документам первичного учета, на основании которых она заполняется. Обращение к сервису <https://www.google.com/maps> дает возможность узнать местонахождение любого животноводческого объекта, по размерам зданий (сооружений) и их количеству определить его производственную мощность. В итоге сравнения производственных планов и фактической отчетности появляется реальная возможность ежемесячно, по сути, в режиме реального времени, моделировать производственные процессы конкретного животноводческого объекта.

**Заключение.** С использованием цифровых технологий предложен механизм проведения анализа экономической эффективности функционирования животноводческих объектов с учетом генетического потенциала поголовья.

*Литература.* 1. Закон Республики Беларусь от 20 мая 2013 г. № 24-3 «О племенном деле в животноводстве» (в ред. Закона Республики Беларусь от 18 апреля 2022 г. № 162-3; Нац. правовой Интернет-портал Республики Беларусь, 26.04.2022, 2/2882). 2. Соляник, А. В. Зоотехническая статистика в электронных таблицах: монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, В. А. Соляник. – Горки : БГСХА, 2012. – 434 с. 3. Соляник, А. В. Теоретическая и практическая разработка специализированного программного обеспечения для свиноводства: монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, С. В. Соляник. – Горки : БГСХА 2012. – 324 с. 4. Соляник, А. В. Общетеоретические основы использования численных методов в принятии управленческих решений в свиноводстве: монография / А. В. Соляник, В. В. Соляник, А. А. Соляник. – Горки : БГСХА 2013. – 412 с. 5. Соляник, А. В. Методология цифровизации зоотехнии и гигиены животных / А. В. Соляник, В. В. Соляник., С. В. Соляник // Сборник статей по материалам Международной научно-практической конференции. – Горки : БГСХА, 2020. – С. 78-81.

УДК 636.082.03:619.9:614:519.6

## ИСТОРИОГЕНЕЗ ЦИФРОВОЙ ГИГИЕНЫ ЖИВОТНЫХ И ЗООТЕХНИИ

**Соляник В.В., Соляник С.В.**

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по животноводству», г. Жодино, Республика Беларусь

*Проведен анализ становления и развития процесса цифровизации зоогигиены и зоотехнии за последние четверть века. Установлены три основных этапа предшествующих цифровизации: компьютерный, компьютерно-математический и компьютерно-вычислительный. Определены поколения ученых-зоогигиенистов, разработавших научно-практическую базу цифровой зоогигиены и зоотехнии. **Ключевые слова:** гигиена животных, зоотехния, компьютерные технологии, цифровизация.*

## HISTORIOGENESIS OF DIGITAL ANIMAL HYGIENE AND ANIMAL SCIENCE

**Solyanik V.V., Solyanik S.V.**

Republican Unitary Enterprise "Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Animal Husbandry", Zhodino, Republic of Belarus

*An analysis of the formation and development of the process of digitalization of animal hygiene and animal science over the last quarter of a century has been carried out. Three main stages preceding digitalization have been established: computer, computer-mathematical and computer-computational. Generations of animal hygienist scientists who have developed a scientific and practical basis for digital animal hygiene and animal science have been identified. **Keywords:** animal hygiene, animal science, computer technology, digitalization.*

**Введение.** В XXI веке зоотехник-практик и ученый зоотехник не столько обязан знать (уметь, владеть), сколько понимать протекание процесса в целом, чтобы реально решать ту или иную задачу.

Четверть века назад в Беларуси впервые в мире на примере зоогигиены, зоотехнии животноводства стало развиваться такое направление, как цифровизация производственных процессов в сельском хозяйстве. При этом цифровизация проводилась не на уровне конкретных сельскохозяйственных организаций, а в научном обеспечении зоотехнии, зоогигиены, зооэкологии. Результатом многолетнего научного поиска была смоделирована саморазвивающаяся видосоответствующая технология (СВ-технология) производства товарной свинины [6].

**Материалы и методы исследований.** Для разработки основных этапов цифровизации зоогигиенической и зоотехнической деятельности нами использована информация, полученная в рамках выполнения отдельных заданий Государственной программы научных исследований [1-5].

**Результаты исследований.** В конце XX в. научными работниками лаборатории технологического моделирования и экспертных систем (ТМЭС) Белорусского научно-исследовательского института животноводства (БелНИИЖ), была проведена огромная работа по выявлению в табличных данных ранее неизвестных закономерностей и разработке аппроксимационных функций от одной или двух переменных. В итоге десятки и сотни таблиц с первичными данными по продуктивности, гематологическим профилям, нормам кормления, зоогигиеническим нормам и т.д., были преобразованы в математические функции, которые заменили базы данных. При этом не столько происходила экономия оперативной и постоянной памяти компьютера, сколько появилась возможность моделирования течения того или иного биологического, производственно-технологического, зоогигиенического, экологического, экономического процессов в границах первичных данных.

Для ученых-зоогигиенистов, теоретической основой выявления зоогигиенических и зоотехнических закономерностей стали критерии Брэдфорда Хилла, или критерии причинно-следственной связи Хилла, – это ряд принципов, которые могут быть полезны при установлении эпидемиологических данных о причинно-следственной связи между явлениями. Данные критерии широко используются в исследованиях в области здравоохранения. Критерии были сформулированы в 1965 году английским эпидемиологом сэром Остином Брэдфорд Хиллом.

Список из 9 критериев Брэдфорда Хилла, с дополнением критерия, предложенного другими исследователями, выглядит следующим образом:

1. **Сила (выраженность эффекта):** небольшая величина корреляции не означает, что причинно-следственного эффекта нет, хотя чем величина больше, тем более вероятно наличие именно причинно-следственной связи;

2. **Воспроизводимость:** воспроизводимость результатов разными людьми в разных местах с разными образцами повышает вероятность причинно-следственной связи;

3. **Специфичность:** причинно-следственная связь более вероятна, если в конкретном месте есть очень специфическая популяция, и отсутствуют другие вероятные объяснения того же заболевания. Чем более конкретна связь между фактором и эффектом воздействия, тем больше вероятность причинно-следственной связи;

4. **Фактор времени:** следствие должно наступить после причины (и если есть ожидаемая задержка между причиной и ожидаемым следствием, то следствие должно произойти после этой задержки);

5. **Биологический градиент (зависимость доза-реакция):** более сильное воздействие, как правило, должно приводить к большей выраженности эффекта. Однако в некоторых случаях и само присутствие фактора может вызвать эффект. В других случаях наблюдается обратная пропорция: большее воздействие приводит к меньшей заболеваемости;

6. **Правдоподобие:** существование правдоподобного объяснения механизма причинно-

следственной связи увеличивает вероятность ее наличия (но Хилл отметил, что работоспособность этого критерия ограничена текущими знаниями в предметной области);

7. Согласованность: Согласованность между эпидемиологическими и лабораторными данными увеличивает вероятность причинно-следственной связи. Однако Хилл отметил, что «... отсутствие таких [лабораторных] доказательств не отменяет эпидемиологические свидетельства причинно-следственной связи»;

8. Эксперимент: «Иногда можно апеллировать к экспериментальным данным»;

9. Аналогия: использование аналогий или сходства между наблюдаемой взаимосвязью и любыми другими взаимосвязями;

10. Обратимость: если устранить причину, исчезнет и следствие [7].

Принципиальным различием между точным и цифровым направлением в сельском хозяйстве является возможность отказаться от баз данных, а имеющиеся большие данные подвергнуть математическому анализу на предмет выявления ранее неизвестных закономерностей и разработке аппроксимационных кривых в границах исходных данных и использовать их в компьютерных программах по имитационному моделированию биолого-технологических процессов.

За последние четверть века зоотехническая наука прошла в сфере информатизации отрасли животноводства такие этапы, которые не проходила агрономия в растениеводстве.

Нами выделяется следующая хронология развития IT-зоотехнии (животноводство – земледелие; животное – земля):

Этап	Годы	Описание этапа
I	1996 - 2002	Компьютерная зоотехния (80 % зоотехния: 19 % зоогигиена : 1 % зооэкология)
II	2003 - 2008	Компьютерно-математическая зоогигиена (50 % зоотехния : 40 % зоогигиена : 10 % экология)
III	2009 - 2011	Вычислительная зоогигиена и зооэкология (10 % зоотехния : 50 % зоогигиена : 40 % экология)

Исходя из проведенных в 10-20-е гг. XXI веке научно-исследовательских работ, определены следующие этапы:

- 1) создание специального программного обеспечения;
- 2) разработка математических функций от одной и двух переменных;
- 3) проектирование блок-программ с открытым кодом для моделирования технологических процессов;
- 4) создание цифровых матриц, позволяющих осуществлять имитационное моделирование цифровых двойников.

Таким образом, устанавливается следующая хронология:

1993-2004 гг. – компьютерно-математическая зоотехния. Включает работу группы (лаборатории) ТМЭС, лаборатории зоогигиены и экологии БелНИИЖ. Исследования проводились в рамках выполнения заданий государственных научно-исследовательских программ.

В 2002 г. ликвидированы лаборатория зоогигиены и экологии и группа ТМЭС БелНИИЖ. Наложено официальный запрет на проведение исследований в области информационных технологий в зоотехнии и зоогигиене научными подразделениями РУП «Белорусский НИИ животноводства», который не снят до настоящего времени.

2005-2015 гг. – компьютерно-вычислительная зоотехния. Исследования проводятся в инициативном порядке за собственные денежные средства. Проведена разработка закономерностей от одной и двух переменных, созданы прообразы цифровых матриц вместо баз данных и таблиц с первичными материалами.

2016-2025 гг. – цифровое животноводство. На первых порах происходила разработка

цифровых матриц для проведения всевозможных расчетов, оптимизации производственных процессов, моделирования технологических решений (цифровая зоогигиена, цифровая зоотехния).

С 2026 г. – создание цифровых двойников сельскохозяйственных предприятий, включающих ранее оцифрованное земледелие и животноводство (цифровая экология); решение финансово-экономических вопросов; законодательное решение проблем животноводства, зоотехнии и зоотехнической деятельности, зоогигиены и зоогигиенической деятельности.

С учетом результатов проведенных научно-исследовательских работ и личных компетенций хронология становления вычислительно-цифровой зоотехнии, гигиены и экологии животных выглядит следующим образом:

Этап	Годы	Наименование этапа
I	1993 - 2004	Компьютерно-математическая зоотехния и животноводство
II	2005 - 2015	Компьютерно-вычислительная зоогигиена и экология животных
III	2016 - 2025	Цифровое животноводство
IV	с 2026 г. и далее	Цифровое фауноведение (зооведение, зоопруденция, животноведение)

По сути, в течение последней четверти века ученые-зоогигиенисты занимались зоогигиеническими стандартами в зоотехнической метрологии. Почему возникла потребность в создании этих стандартов?

Дело в том, что в 2019 г. в метрологии произошло очень важное событие. Метрологические константы были переопределены с помощью фундаментальных физических констант: заряда электрона, кванта магнитного потока, скорости света, постоянной Планка... Это было сделано для того, чтобы они в минимальной степени зависели от нашего выбора и, соответственно, были более точными. Например, величина тока определяется количеством электронов, протекающих за единицу времени, которое, в свою очередь, тоже определено с помощью частоты переходов в конкретном атоме.

Цифровизация зоогигиены и зоотехнии как раз и позволяет создавать метрологические стандарты величин, определенных через фундаментальные зоогигиенические константы, точнее закономерности, имеющие математическую формализацию и включенные в компьютерные блок-программы. Зоотехнические метрологические стандарты в технологических проектах и решениях уже существуют на таких направлениях, как оборот стада и движение поголовья, благодаря зоогигиенической модели Solyanik. В настоящее время ученые-зоогигиенисты работают над тем, чтобы создать комплексный интерактивный зоотехнический стандарт производства продукции животного происхождения.

В математизации зоотехнической деятельности можно выделить несколько поколений: I поколение – 1976-1996 гг. – математическая зоотехния (характеризуется использованием программируемых калькуляторов); II поколение – 1997-2016 гг. – компьютерно-вычислительная зоотехния (применение электронных таблиц Microsoft Excel, начиная с MSOffice 95).

Интервал смены поколений в современной цифровой зоогигиене (зоотехнии) составляет 40 лет, т. е. те, кто принадлежит: к I поколению математической зоотехнии, родились после 1956 г., к II – после 1976 г.; к III – после 1996 г.; к IV – после 2016 г. и т. д. Следовательно, ныне живущие ученые-зоотехники (зоогигиенисты), принадлежат к I и II поколениям IT-зоотехников (зоогигиенистов) и разрабатывают методические основы для III-IV поколений в цифровизации обращения с животными.

На наш взгляд, с 2026 г. получит развитие новое комплексное научное направление – зооагроинформатика, объединяющие сельхознауки – зоотехнию и агрономию на основе IT гигиены и экологии животных.

Вычислительное и цифровое животноводство дают возможность заменить бумажные книги с таблицами, рисунками, графиками и диаграммами, на электронные издания позволяющие в реальном времени проводить имитационное моделирование течение зоотехнических, зоогигиенических, экологических и финансовых процессов функционирования животноводческого объекта: минимальный уровень – моделирование динамики изменения химических параметров в живом организме (животные, растения), продукции животного и растительного происхождения; средний уровень – животноводческий объект (станок, сектор, здание, комплекс, фабрика); высший уровень – площадь земельного участка, на котором находится животноводческий объект и производятся корма, осуществляется утилизация навозных стоков и органических удобрений.

В 1995 г. Джон Бойд разработал концепцию цикла НОРД («наблюдение, ориентация, решение, действие»), также известная как «петля Бойда». НОРД – это кибернетический самовоспроизводящийся и саморегулирующийся цикл, имеющий в своей структуре 4 процесса и предполагающий многократное повторение петли действий, то есть реализацию принципа обратной связи. Согласно Бойду, любые процессы, соответствующие реальности, действуют в непрерывном цикле, постоянно взаимодействуют с окружающей средой и учитывают ее изменения [8].

Ранее в образовательном процессе будущих специалистов в области «Зоотехния» студенты использовали переводные книги, например, Лэсли, Дж. Ф. «Генетические основы селекции сельскохозяйственных животных» [9], Ленинджер, А. «Основы биохимии» [10], которые были дополнительной литературой при изучении таких курсов как «Кормление животных», «Разведение животных» и др.

Именно зарубежные научные источники «снабжали» читателя формулами для расчета того или иного параметра в области кормления и разведения животных. Однако формулы были представлены в химических параметрах (моль, миллимоль и др.) и не отражали направленность взаимосвязи парных показателей в граммах, миллиграммах, международных единицах и др., а тем более не имели математической формализации конкретной закономерности увеличения (уменьшения) одного параметра при изменении второго.

При этом в зарубежных изданиях преобладали прямолинейные зависимости с указанием уровня корреляции исследуемых параметров. Вычислительная и цифровая зоотехния доказала, что в животноводстве преобладают криволинейные и нелинейные закономерности, что указывает на неэффективность применения в зоотехнических и зоогигиенических расчетах исключительно прямолинейных функций.

На протяжении десятилетий трехтомник «Основы биохимии» А. Ленинджера был настольной книгой будущих биологов, врачей ветеринарной медицины и медицины человека, агрономов и зоотехников, которые изучали учебный курс «Биологическая химия».

Несколько лет назад, на основе математически формализованных закономерностей выявленных по первичным данным жидких и подвижных соединительных тканей внутренней среды организма, были разработаны цифровые двойники зернофуража, используемого в кормлении свиней, крови свиней и химических показателей свинины, что позволило создать виртуальную научно-исследовательскую лабораторию цифровой биохимии животных и растений.

По сути, цифровая биохимия свиней, включает в себя все пройденные этапы: математическая, вычислительная, информационная биохимия свиней, построенная в граничных условиях первичных данных. Цифровая биохимия свиней, основанная на имитационном моделировании, позволяет проводить как натурные, так и мысленные эксперименты для практического свиноводства, то есть осуществлять такой вид познавательной деятельности, в которой ключевая для научно-зоотехнической или научно-зоогигиенической теории ситуация разыгрывается не в реальном эксперименте, а в воображении.

**Заключение.** Проведен анализ становления и развития процесса цифровизации зоогигиены и зоотехнии за последние четверть века. Установлены три основных этапа предше-

ствующих цифровизации: компьютерный, компьютерно-математический и компьютерно-вычислительный. Определены поколения ученых-зооигиенистов, разработавших научно-практическую базу цифровой зооигиены и зоотехнии.

**Литература.** 1. Обоснование и разработка комплексного механизма правового регулирования животноводства Республики Беларусь. РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». 68.01.80, 68.39.01 (№ гос.рег. 20122339) // Реестр НИОКиОТР, зарегистрированных в 2012 г. / под ред. И. В. Войтова. – Минск: ГУ «БелИСА», 2013. – С. 125. 2. Разработка кодифицированного акта правового регулирования продуктивного и непродуктивного животноводства. РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». ГРНТИ: 68.01.80, 68.39.01 (№ гос.рег. 20140255) // Реестр НИОКиОТР, зарегистрированных в 2014 г. / под ред. А. Г. Шумилина. – Минск: ГУ «БелИСА», 2015. – С. 18. 3. Разработка комплексной системы ветеринарно-зоотехнического менеджмента с учетом международной установившейся практики обращения с животными. РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». ГРНТИ: 68.01.80, 68.39.01 (№ гос.рег. 20190375) // Реестр НИОКиОТР, зарегистрированных в 2019 г. / под ред. А. Г. Шумилина. – Минск: ГУ «БелИСА», 2020. – С. 23. 4. Разработка, с использованием CALS-технологии, методологии мониторинга производственного цикла (на основе международных стандартов ИСО серии 9000, 14000, 22000, НАССР) для создания системы управления качеством производства свинины на промышленных комплексах. РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». ГРНТИ: 68.39.18, 68.39.35 (№ гос.рег. 20180905) // Реестр НИОКиОТР, зарегистрированных в 2018 г. / под ред. А. Г. Шумилина. – Минск: ГУ «БелИСА», 2019. – С. 49. 5. Разработка методики прогнозирования продуктивных качеств свиней и индикаторных показателей гематологического профиля на основе выявления их математических взаимосвязей. РУП «НПЦ НАН Беларуси по животноводству». ГРНТИ: 68.39.35 (№ гос.рег. 20210691) // Реестр НИОКиОТР, зарегистрированных в 2021 г. / под ред. С. В. Шлычков. – Минск: ГУ «БелИСА», 2022. – С. 39. 6. Цифровые технологии в животноводстве: учебно-методическое пособие. В 4 ч. Ч. 1. Роль и место цифровых технологий в животноводстве / А.В.Соляник [и др.]. – Горки: БГСХА, 2021. – 72 с. 7. Hill, Austin Bradford (1965). "The Environment and Disease: Association or Causation?" // *Proceedings of the Royal Society of Medicine*.58(5): 295-300. doi : 10.1177 / 003591576505800503. PMC1898525. PMID14283879. 8.[https://ru.wikipedia.org/wiki/Цикл\\_НОРД#cite\\_note-1](https://ru.wikipedia.org/wiki/Цикл_НОРД#cite_note-1). 9. Лэсли, Дж. Ф. Генетические основы селекции сельскохозяйственных животных / Дж. Ф. Лэсли. – М.: Колос; Издание 3-е, 1982. – 391 с. 10. Ленинджер, А. Основы биохимии: А. Ленинджер. – М.: Мир, 1985. – В 3-х т. Пер. с англ. – Т. 1 - 367 с., Т. 2 – 368 с., Т. 3 – 320 с.

УДК636.22/.28.033;636.22/.28.034

## **БИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ НА ФЕРМАХ И КОМПЛЕКСАХ ПО ПРОИЗВОДСТВУ МОЛОКА**

**Тимошенко В.Н., Музыка А.А., Кирикович С.А., Шейграцова Л.Н., Пучка М.П.,  
Шматко Н.Н., Тимошенко М.В., Шамонина А.И.**

РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси  
по животноводству», г. Жодино, Республика Беларусь

*Целью данной научной разработки была всесторонняя оценка технологических решений и набора технологического оборудования, используемых на наиболее типичных фермах и комплексах по производству молока различной мощности, действующих в Республике Беларусь. Были изучены средства механизации, режимы их работы, потребление топлива и электроэнергии, мощность потребителей электроэнергии и проведена энергетическая оценка. **Ключевые слова:** крупный рогатый скот, содержание, молочная ферма, биоэнергетический анализ.*

## **BIOENERGETIC ANALYSIS OF TECHNOLOGICAL PROCESSES AT FARMS AND MILK PRODUCTION COMPLEXES**

**Timoshenko V.N., Muzyka A.A., Kirikovich S.A., Sheygratsova L.N., Puchkova M.P., Shmatko N.N., Timoshenko M.V., Shamonina A.I.**

RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus  
of Animal Breeding», Zhodino, Republic of Belarus