

На правах рукописи



АКИМОВ Сергей Сергеевич

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА
ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Оренбург – 2024

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Оренбургский государственный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Боровский Александр Сергеевич

Официальные оппоненты: **Кушников Вадим Алексеевич**
доктор технических наук, профессор
Институт проблем точной механики и управления — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Саратовский научный центр Российской академии наук», заведующий лабораторией комплексных научных исследований

Шведенко Владимир Николаевич
доктор технических наук, профессор
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Всероссийский институт научной и технической информации Российской академии наук, ведущий научный сотрудник

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тамбовский государственный технический университет»

Защита состоится «27» сентября 2024 года в 14 часов 00 минут на заседании диссертационного совета 24.2.352.03 на базе федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» по адресу: 460018, г. Оренбург, пр. Победы, д.13 и на сайте <http://www.osu.ru/doc/5612/asp/238>

Автореферат разослан «___» _____ 2024 г.

Ученый секретарь диссертационного совета



Д.И. Парфёнов

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. В настоящее время в России действует пять государственных программ в области сельского хозяйства, три из которых напрямую связаны с молочным животноводством. Кроме того, согласно Доктрине продовольственной безопасности, ключевая задача государства состоит в бесперебойном обеспечении населения продовольственными товарами. Однако, на сегодняшний день положения Доктрины не соблюдены. Для решения указанной задачи необходима интенсификация молочного производства, чему способствуют современные информационные технологии, в частности цифровые двойники (ЦД) биотехнических систем (БТС).

Одной из причин снижения удоев животного является степень нагруженности метаболизма (СНМ), под которой понимается состояние замедления метаболических реакций, вызванное накоплением тяжелых металлов и токсичных составляющих в биологическом организме. Для анализа СНМ применяется оценка микроэлементного статуса животного (МЭС) – совокупность взаимосвязанных ключевых элементов в животном. Оценка МЭС основана на корреляционно-регрессионном анализе, однако данный аппарат не учитывает динамику связей между микроэлементами, что снижает точность такого оценивания. Решением является разработка математических моделей для расчета необходимой концентрации элементов путем формирования рациона питания и программная реализация таких моделей в виде системы поддержки принятия решений (СППР).

Таким образом, актуальной задачей является создание ЦД, включающего в себя СППР для управления функционированием БТС путем коррекции МЭС с учетом динамики связей между ними.

Степень разработанности темы исследования. Научные разработки диссертационного исследования базируются на трудах российских и зарубежных авторов в области функционирования биотехнических систем, в том числе при помощи современных информационных технологий и ЦД.

Управление молочным производством, различные информационные и инновационные системы, применяемые в области молочного производства, в том числе ЦД, рассматривали М.А. Ананьев, Ю.В. Ухтинская, Л.В. Антонов, А.Н. Анищенко, Г.А. Волкова, Ю.А. Иванов, В.К. Скоркин, П.И. Гриднев, Д.К. Ларкин, М.Ю. Кабулова, Э.И. Рехвиашвили, А.М. Козина, Л.П. Семкив, Т.Е. Маринченко, А.М. Седов, Н.А. Соколов, И.М. Михайленко, В.Н. Тимошин, Е.М. Подольникова, А.О. Храменкова, Н.М. Сурай, М.Г. Кудинова, Е.В. Уварова, Е.И. Жидких, А.М. Чекалдин, Г.Э. Шахназарян, P.V.M. Berentsen, P.J.M. Raedts, R.P. Rawnsley, A. Berman, P.J.C. White, S.C. Garcia, D.F. Chapman, G.R. Edwards, N. Lane. Результат анализа их трудов показывает недостаточное насыщение молочного производства современными системами управления на основе коррекции микроэлементного статуса. Сказанное выше обуславливает проведение дальнейших разработок в области создания СППР для эффективного функционирования БТС.

Объект исследования: процесс управления биотехнической системой.

Предмет исследования: методы, модели и алгоритмы выявления эффективного управляющего воздействия в системе поддержки принятия решения.

Цель и задачи исследования. Цель работы – повышение эффективности функционирования биотехнической системы на основе применения цифрового двойника в системе поддержки принятия решения.

Задачи:

1. Разработать концептуальную модель принятия решения на основе цифрового двойника биотехнической системы с использованием микроэлементного статуса.

2. Разработать математическую модель эффективности функционирования биотехнической системы с учетом нагруженности метаболизма и динамики межэлементных связей.

3. Разработать метод и алгоритмы оценки динамики межэлементных связей, основанные на корреляционных плеядах, позволяющие определять неизвестные параметры модели оценки эффективности функционирования биотехнической системы.

4. Разработать прототип системы поддержки принятия решений для управления эффективностью функционирования биотехнической системы.

Методы исследования. В исследовании использованы методы системного анализа и анализа связей, в том числе: декомпозиция, позволяющая проанализировать процесс создания цифрового двойника как систему; кластерный анализ, определяющий кластеры для коррекции микроэлементного статуса в каждом из них; корреляционных плеяд, визуализирующих динамику связей микроэлементов; анализ иерархий, обеспечивающий выбор решения; корреляционное оценивание для выявления взаимных связей; регрессионное моделирование, необходимое для получения оценок модели; теория алгоритмизации и разработки программного обеспечения, применяемые с целью разработки системы поддержки принятия решений; оценка экономической эффективности, обосновывающая выбранные решения.

Область исследования. Работа соответствует следующим пунктам паспорта специальности 2.3.1 «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика»:

п. 2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 4. Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

Научная новизна исследования.

1. Концептуальная модель цифрового двойника биотехнической системы, *отличающаяся* стохастическим описанием поведения микроэлементного статуса (соответствует п. 2 п.с.).

2. Разработанная математическая модель эффективности функционирования биотехнической системы *отличается* от известных тем, что ее основу составляет учет динамики взаимных связей между элементами, который обеспечивает прогнозирование их изменения, позволяет оценить трансформацию нагруженности метаболизма и степень продуктивности молочного производства (соответствует п. 3 п.с.).

3. Разработанные метод и алгоритмы оценивания динамики межэлементного взаимодействия в своей основе содержат оценку взаимных связей посредством корреляционных плеяд с постоянно изменяющейся силой взаимодействия между элементами, *отличающиеся* от других тем, что указанные изменения силы связи меняют отображение плеяды, позволяя фиксировать динамику изменения самих связей и с применением логико-вероятностных методов осуществлять их коррекцию (соответствует п. 4 п.с.).

Теоретическую значимость имеют полученные в результате исследования методы повышения эффективности функционирования биотехнической системы, базирующиеся на исследовании микроэлементного статуса и степени нагруженности метаболизма, алгоритмическое обеспечение, построенное на основе полученного метода, и система поддержки принятия решений, призванная повышать молочную продуктивность.

Практическая значимость. СППР в области управления биотехнической системой может быть использована в деятельности любых фермерских хозяйств, при наличии возможности оценивать и корректировать микроэлементный статус биологического организма. Эффективность разработки подтверждена улучшением производительности группы животных из четырех молочных хозяйств – прирост удоев в экспериментальной группе уже через три месяца составил 22,4% по сравнению с количеством удоев до эксперимента.

Внедрение результатов работы. Материалы диссертации внедрены в практику КФХ Касимовской А.В. что позволило проанализировать микроэлементный состав кормов животных и подобрать оптимальные рационы и дозы питания молочных коров, а также в учебный процесс кафедры биотехнологии животного сырья и аквакультуры и Федерального научного центра биологических систем и агротехнологий Российской академии наук.

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Концептуальная модель принятия решений для цифрового двойника биотехнической системы, представляющая собой поэтапные действия, подкрепленные соответствующими данными и математическим аппаратом, выполняемые для повышения эффективности функционирования биотехнической системы путем изменения концентрации элементов, приводящей к оптимальному состоянию микроэлементного состава.

2. Математическая модель оценки эффективности функционирования биотехнической системы, основанная на взаимном влиянии микроэлементов и межэлементных связей, которая позволяет учесть динамику изменения корреляционных связей и за счет этого оценивать продуктивность производства молока.

3. Метод и алгоритмы оценки динамики межэлементных связей, основанные на расчете изменения микроэлементного состава, дающие возможность спрогнозировать динамику изменения микроэлементов и на основе этого определить необходимую концентрацию добавок в рацион питания животных.

4. Прототип системы поддержки принятия решений для управления эффективностью функционирования биотехнической системы, основанный на построенных ранее модели эффективности и методе оценки динамики межэлементных связей и позволяющий увеличивать продуктивность производства молока.

Реализация и внедрение результатов работы. Результаты диссертационной работы представлены программным комплексом в виде программного продукта «Программа оценки динамики межэлементных связей микроэлементного состава организма «EDIC» для оценки и анализа продуктивности молочного производства. Результаты исследования являются актуальными для молочных животноводческих хозяйств.

Личный вклад соискателя. Все модели и алгоритмы, выносимые на защиту, а также реализующее их ПО разработаны лично автором. Постановка задач исследования, формулировка положений научной новизны, а также координация процесса экспериментальной проверки и апробации результатов исследования осуществлялись совместно с научным руководителем.

Апробация результатов диссертации. Основные положения диссертации обсуждены и получили апробацию в статьях и выступлениях на международных и всероссийских научных конференциях: Proceedings of the 2nd International Scientific and Practical Conference «Modern Management Trends and the Digital Economy: from Regional Development to Global Economic Growth» (MTDE 2020) «Advances in Economics, Business and Management Research» (16-17 April 2020, Yekaterinburg); IOP Conference Series: Earth and Environmental Science «International Conference on World Technological Trends in Agribusiness» (04-05 July 2021, Omsk); XII Международная научно-практическая конференция «Современные стратегии и цифровые трансформации устойчивого развития общества, образования и науки» (06 октября 2023 года, Москва), Всероссийская научно-методическая конференция (с международным участием) «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры» (26-27 января 2022 и 2023, Оренбург).

Диссертационная работа выполнена при поддержке гранта в форме субсидии на выполнение крупного научного проекта по приоритетному направлению научно-технологического развития 23-075-67362-1-0409-000301.

Публикации. По теме диссертации опубликовано 20 работ, из них 4 в рецензируемых печатных изданиях, утвержденных ВАК России, 5 в издании Scopus и WoS, 1 монография, получены 2 свидетельства о регистрации прикладной программы.

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 136 страницах машинописного текста, включая 48 рисунков, 3 таблицы и список литературы из 124 наименований.

2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы исследования, дана характеристика степени изученности проблемы, определены цель, задачи, объект, предмет, сформулированы положения, выносимые на защиту, отражена научная новизна и практическая значимости полученных результатов.

В первой главе проведено исследование в области повышения эффективности функционирования биотехнических систем, включающее в себя анализ методов и информационных технологий в данной области, а также проведен системный анализ процесса создания ЦД БТС.

Для определения рекомендаций по формированию управляющих воздействий с точки зрения влияния МЭС выявлены все входящие управляющие и информационные потоки, а также внешние воздействия на ЦД БТС. Для выявления ключевых элементов ЦД БТС проведена декомпозиция факторного взаимодействия (рисунок 1).

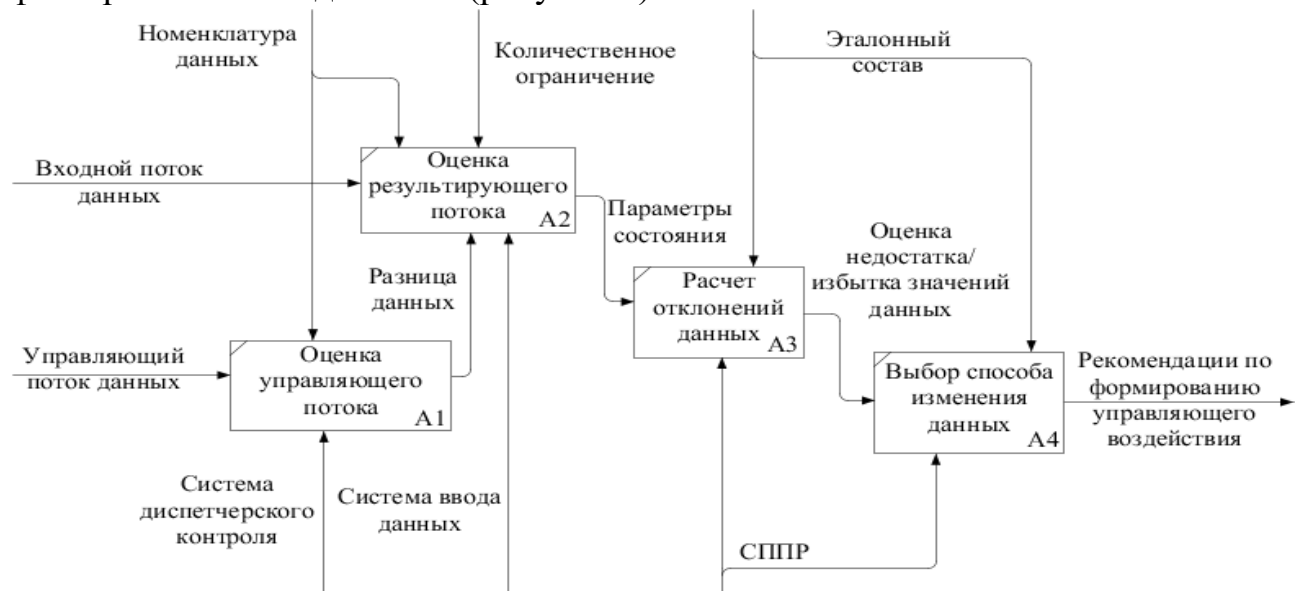


Рисунок 1 – Декомпозиция факторного воздействия на разрабатываемый цифровой двойник

В соответствии с логикой исследования разработана схема взаимодействия биологического объекта и информационно-технических систем (рисунок 2).

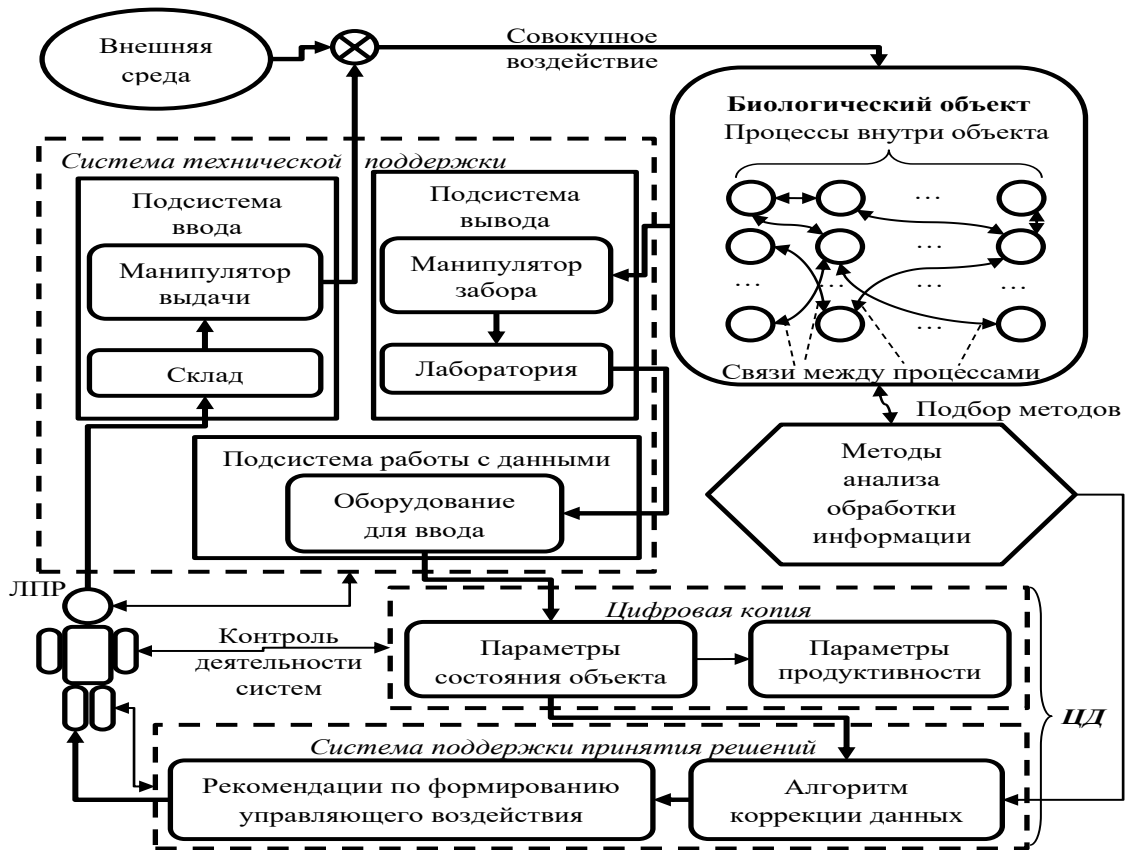


Рисунок 2 – Схема взаимодействия реального объекта и информационно-технических систем

Во второй главе рассмотрены методы анализа связей для реализации СППР в области эффективного функционирования БТС.

Ключевой продукт молочного производства – молоко, которое количественно зависит от удоев Y . МЭС представлен в виде концентрации набора элементов $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$, где x_i – концентрация конкретного микроэлемента в организме, n – количество исследуемых элементов ($n = 25$).

Величина концентрации x_i стохастическая, потому построение строгой функции невозможно. Возможна лишь приближенная ее оценка E :

$$E(x_i | X_{opt}) = F_i(X_{opt}), \quad (1)$$

где $F_i(X_0)$ – регрессионное уравнение, приближенное к вектору X_{opt} .

Подберем такую функцию $F(X)$, что ее среднеквадратичная ошибка от значений вектора X_{opt} минимизируется:

$$E[F(X) - X_{opt}]^2 \rightarrow \min. \quad (2)$$

Выражение $E[F(X) - X_{opt}]^2$ есть регрессионная оценка ΔX и является ковариационной матрицей $\text{cov}(x_i, x_j), i, j = 1, \dots, n$ соотношений каждого из параметров вектора X . Для оценки функции $F(X)$ применена логит-модель:

$$F(X) = l(a) = e^{\sum_{i=1}^n a_i x_i} / (1 + e^{\sum_{i=1}^n a_i x_i}). \quad (3)$$

Коэффициенты при обобщенном показателе a_i ($i = 1, \dots, n$), $n \leq 25$ из условия соотношения (2) определяются на множестве $[a: \sum a_i = 1]$. Для оценки искомых коэффициентов применяется метод множителей Лагранжа:

$$L(a, \lambda) = E[F(X) - X_0]^2 + \lambda(l(a) - 1). \quad (4)$$

где λ – множитель Лагранжа.

Постановка задачи повышения эффективности функционирования БТС. Дано: данные $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$ результатов измерений показателей МЭС, где каждому измерению соответствует вариант рациона $d_i \in D$, $i = (1, 2, \dots, T_j)$, где T_j число шагов коррекции рациона, n – число признаков МЭС. Требуется:

- сформировать множество элементов $X^* = X' \cup X''$, $X', X'' \in X$, где X' – наиболее значимые элементы, X'' – набор состояний, характеризующихся СНМ;
- разработать метод оценки влияния МЭС на продуктивность Y , с учетом концентрации элементов X' , связей R , а также динамики связей B ;
- разработать способ мониторинга МЭС биологического организма $s \in S$ при помощи отнесения его по СНМ к определенной группе продуктивности p_h ;
- разработать стратегию коррекции рациона $D(Y/s): Y(X, R, B) \rightarrow \max$, такую, что для каждого организма s , удои Y , зависящие от параметров концентрации X , связей R и коррекции динамики B были бы максимальными.

Концептуальная модель принятия решения приведена на рисунке 3.

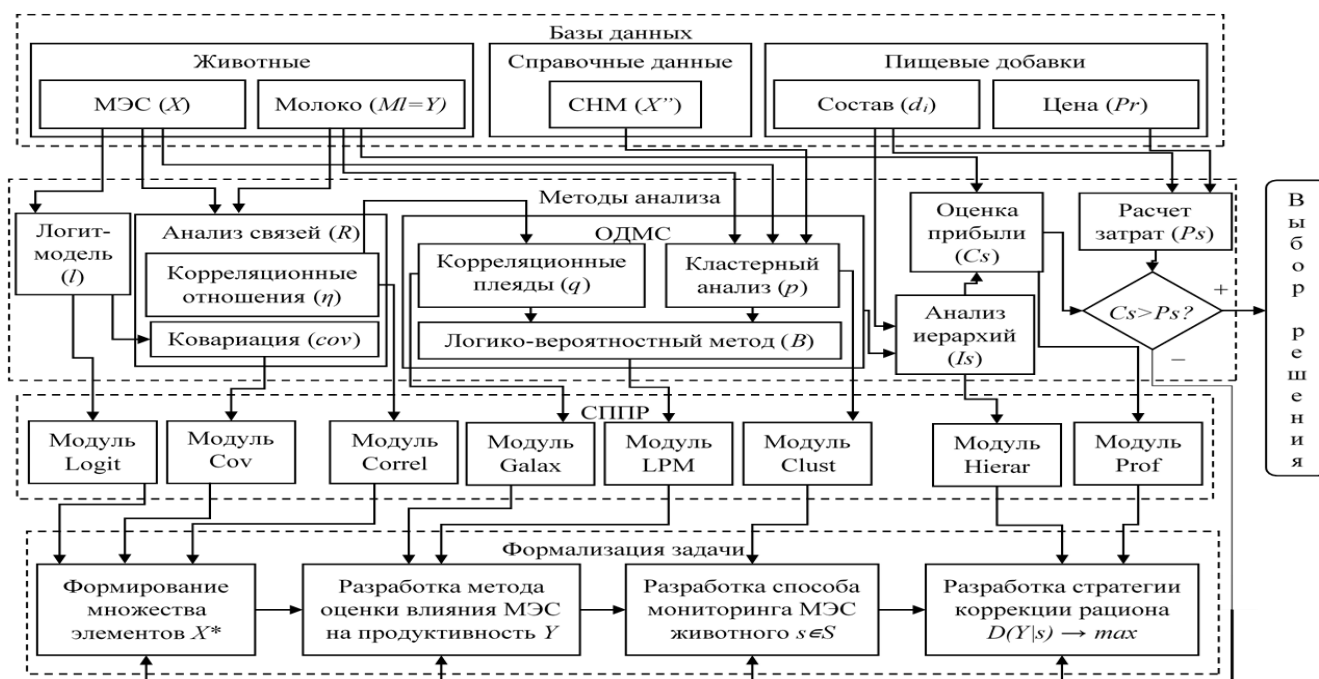


Рисунок 3 – Концептуальная модель принятия решения на основе ЦД БТС с использованием МЭС

Таким образом, изучены методы анализа связей для реализации СППР, поставлена задача повышения эффективности функционирования БТС и разработана концептуальная модель принятия решения – **решена задача №1.**

В третьей главе разработана математическая модель оценки продуктивности, а также метод и алгоритмы оценки динамики межэлементных связей (ОДМС) микроэлементов в ЦД БТС, включающие набор статистических методов анализа и разработку прототипа СППР.

Концентрация элементов X_t исчисляется на конкретный момент времени t . Существует некоторая оптимальная концентрация элементов X_{opt} , обеспечивающая наилучшую продуктивность Y . Соответственно существует $\Delta X = X_t - X_{opt}$, в этом случае решается обратная задача – поиск множества допустимых управлений, переводящих систему в заданное состояние:

$$\Delta X_t = \arg \max Y(X_t). \quad (5)$$

Необходимо найти $\Delta X_t \in X_t^+$ при ограничениях $D_u(\Delta X_t) \leq D_a$.

Здесь X_t – вектор, характеризующий концентрацию элементов; X_t^+ , X_{opt} – допустимое и оптимальное значение вектора X_t ; D_u , D_a – расчетное и допустимое расхождение элементов для целей коррекции.

Определено, что количество удоев зависит от его МЭС и связями между элементами R , данное соотношение можно представить в виде функции:

$$Y = f(\Delta X_t) = f(X_t, R, B) \rightarrow \max, \text{ при } X_t \rightarrow X_{opt}, \quad (6)$$

где X_t – концентрация МЭС на период времени t ; R – связи между элементами; B – оператор коррекции концентрации МЭС.

Окончательная модель биотехнической системы примет следующий вид:

$$l(a) \text{cov}(x_i, x_j) b_{ij} + \lambda = 0. \quad (7)$$

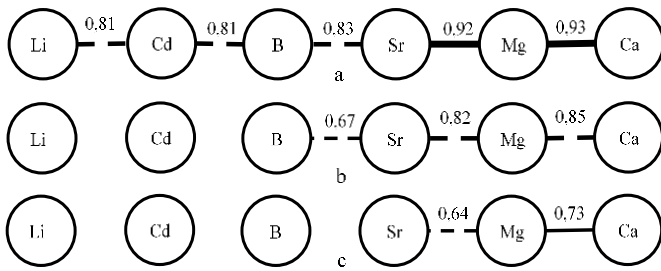
Таким образом получена математическая модель биотехнической системы, которая позволяет проводить оценку с учетом нагруженности метаболизма и динамики межэлементных связей – **решена задача №2**.

Оценка неизвестных параметров модели проведена при помощи методов статистики. Совокупность животных распределили на группы посредством кластерного анализа, по параметрам СНМ и МЭС, концентрация которых отличается от нормы. Результат кластерного анализа приведен на рисунке 4.



Для составления моделей коррекции МЭС необходимо провести оценку совокупного взаимного влияния элементов. Оценка межэлементных взаимосвязей проведена с использованием скользящего среднего коэффициента конкордации Кендалла. Это позволило отследить динамику изменения взаимосвязей. Для наглядного представления применен метод ОДМС на основе корреляционных плеяд (КП). При снижении СНМ связи начинают ослабевать (рисунок 5).

Рисунок 4 – Кластерный анализ по параметрам СНМ и превышение концентрации отдельных элементов



Приведем расчет для каждого из случаев:

$$\begin{cases} q_{Ca\uparrow\uparrow} = 0,81 \cdot 0,81 \cdot 0,83 \cdot 0,92 \cdot 0,93 = 0,466 \\ q_{Ca0} = 0,67 \cdot 0,82 \cdot 0,85 = 0,467 \\ q_{Ca\downarrow\downarrow} = 0,64 \cdot 0,73 = 0,467 \end{cases}$$

Рисунок 8 – КП для кальция при а) сверхвысокой, б) средней и с) сверхнизкой СНМ

Определено, что коэффициент $q_i = const$, снижение количества связей компенсируется совокупным снижением корреляции.

Анализ динамики коэффициентов позволил подобрать аппроксимирующее уравнение с высокой степенью достоверности ($>0,95$):

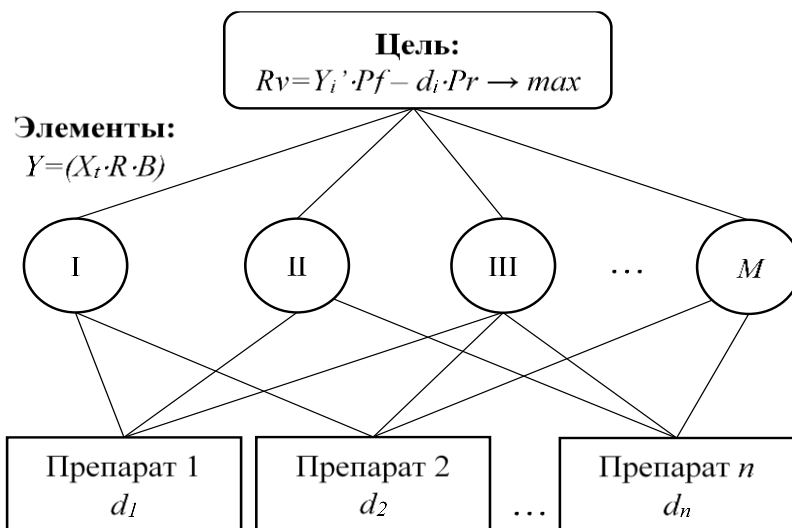
$$B = \eta_i \frac{[p_h q_i - (1 - p_h q_i)] + 1}{2}, \quad (8)$$

где η_i – частный коэффициент корреляционных отношений; p_h – уровень СНМ по шкале от 1 до 5; q_i – коэффициент покрытия элемента.

Коэффициенты η и q определены эмпирически, уровень СНМ p определяется по концентрации элементов. Частные коэффициенты b_{ij} , для уравнения (7) определяются из уравнения (8), j характеризует удои.

Таким образом, разработан метод ОДМС и приведены его основные алгоритмы – **решена задача №3**.

Оценка и выбор альтернатив среди кормовых добавок проведены при помощи метода анализа иерархий (МАИ) (рисунок 9).



На рисунке 9 приведена схема выбора альтернатив среди кормовых добавок. Путем применения метода ОДМС вычисляются критерии влияния элементов в составе препарата на удои, затем по специальным формулам оценивается экономическая эффективность альтернативы.

Рисунок 9 – Схема выбора альтернатив для максимизации прибыльности

С целью реализации метода разработана СППР для ЦД БТС, схема которого приведена на рисунке 10.

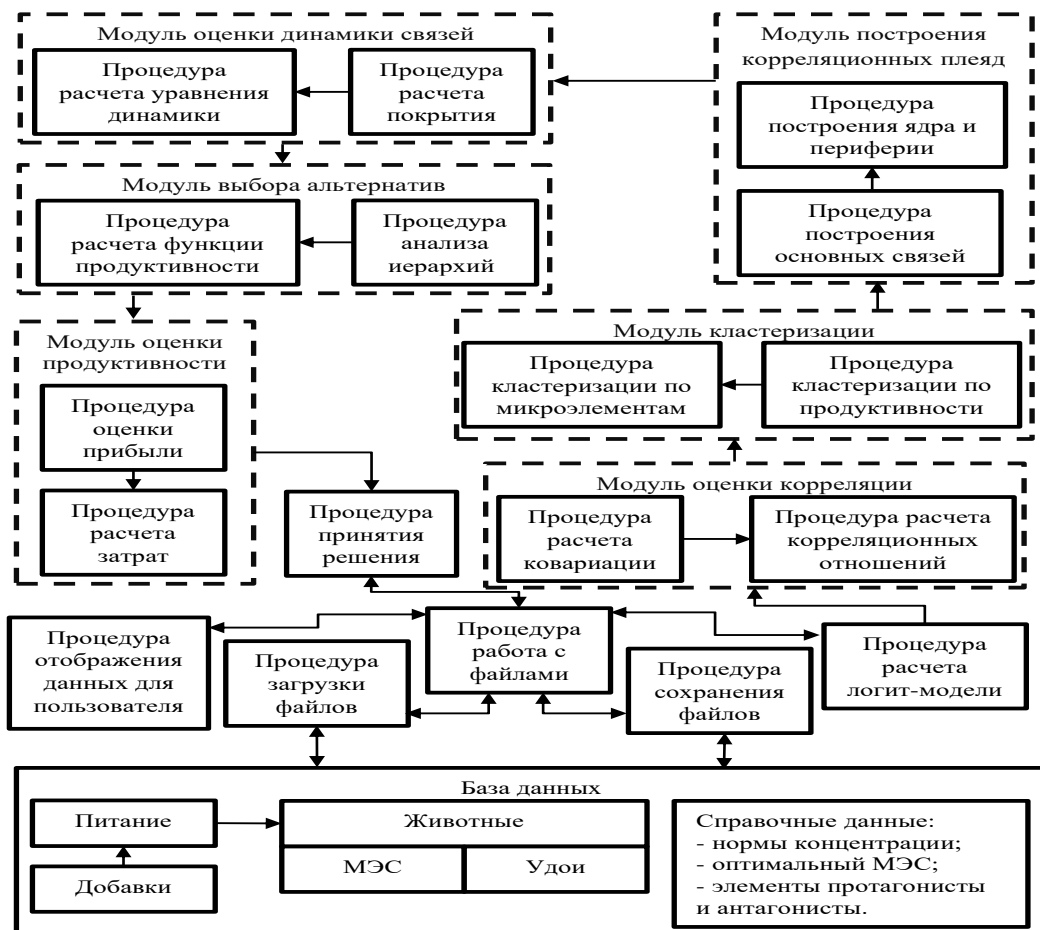


Рисунок 10 – Схема прототипа СППР для ЦД БТС

Экранная форма СППР приведена на рисунке 11.



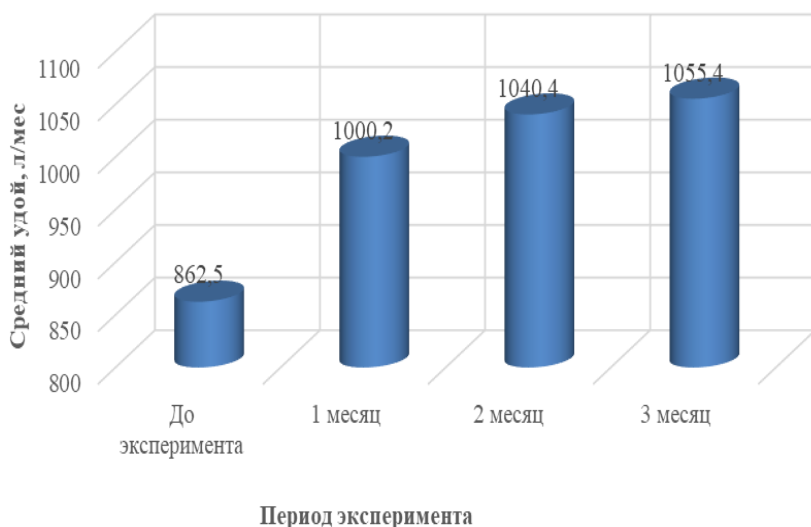
Рисунок 11 – Экранная форма разработанной СППР

Таким образом, в третьей главе описана СППР, реализуемая посредством применения метода ОДМС, с учетом изменение связей между элементами и принимать решения по коррекции элементов, подставляя полученные коэффициенты в модель продуктивности – **решена задача №4.**

В четвертой главе оценена эффективность разработанной СППР.

Для анализа проведено исследование на четырех молочных хозяйствах в различных регионах страны. Всем животным давали специализированные

добавки, позволяющие нормализовать СММ. Результаты отображены на рисунке 12.



Таким образом, прирост удоев в экспериментальной группе животных уже через три месяца составил 22,4% по сравнению с количеством удоев до эксперимента. Проведенный анализ позволяет заключить, что применяемый метод ОДМС позволяет повысить продуктивность молочного производства.

Рисунок 12 – Размер средних удоев в различные периоды эксперимента

В заключении представлены основные выводы по работе.

3. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В процессе выполнения диссертационного исследования получены следующие основные результаты.

1. Разработана концептуальная модель принятия решения на основе цифрового двойника биотехнической системы, представляющая собой поэтапные действия, подкрепленные соответствующими данными и математическим аппаратом, выполняемые путем изменения концентрации элементов, приводящего к оптимальному состоянию микроэлементного статуса.

2. Разработана математическая модель эффективности функционирования биотехнической системы, основанная на нагруженности метаболизма, а также взаимном влиянии микроэлементов и межэлементных связей, которая позволяет учесть динамику изменения корреляционных связей и за счет этого оценивать эффективность функционирования биотехнической системы.

3. Разработан метод и алгоритмы оценки динамики межэлементных связей, основанные на оценке изменения микроэлементного состава, дающие возможность спрогнозировать динамику микроэлементов и на основе этого рассчитать необходимую концентрацию добавок.

4. Реализован прототип системы поддержки принятия решений для управления эффективностью функционирования биотехнической системы, основанный на построенных ранее модели биотехнической системы и методе оценки динамики межэлементных связей, и позволяющий увеличивать продуктивность производства молока в молочных хозяйствах. Экономическая

эффективность предлагаемых решений оценена через прирост удоев, который через три месяца составил 22,4%.

Направления будущих исследований. В качестве направления дальнейшего развития исследования планируется изучение возможности профилактики нагруженности метаболизма животных, за счет прогнозирования изменения в динамике микроэлементного состава организма животных.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

В рецензируемых журналах из списка ВАК

1 Болодурина, И. П. Разработка системы поддержки принятия решений для повышения продуктивности молочного животноводства / И. П. Болодурина, С. А. Соловьев, С. С. Акимов // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника. – 2020. – Т. 20. – № 2. – С. 36-44.

2 Акимов, С. С. Моделирование продуктивности хозяйства молочного животноводства / С. С. Акимов // Вестник Российского нового университета. Серия: Сложные системы: модели, анализ и управление. – 2022. – № 1. – С. 25-32.

3 Акимов, С. С. Разработка модели системы «корма-животные-продуктивность» с учетом кинетики микроэлементов / С. С. Акимов, А. С. Боровский // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 1(61). – С. 53-58.

4 Акимов, С. С. Разработка модели оценки элементного статуса организма для повышения эффективности молочного животноводства / С. С. Акимов, М. В. Архапчаева // Научно-технический вестник Поволжья. – 2023. – № 9. – С. 61-63.

В изданиях, индексируемых в Scopus и Web of Science

5 A multidimensional approach to assessing the elemental status of an organism (Многомерный подход к оценке элементного статуса организма) / S. Akimov, P. Vedeneev, E. Kiyaeva [et al.] // Journal of Physics: Conference Series. – 2017. – Vol. 913. – No 1. – P. 012002.

6 Akimov, S. Multidimensional model for estimating the error in the diagnosis of the organism elemental status (Многомерная модель оценки погрешности диагностики элементного статуса организма) / S. Akimov, P. Vedeneev, A. M. Pishchukhin // International Review of Automatic Control. – 2018. – Vol. 11. – No 4. – P. 198-202.

7 Pishchukhin, A. M. The influence of body mass on its elemental status (Влияние массы тела на его элементный статус) / A. M. Pishchukhin, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012185.

8 Method for identifying the interaction of elements in the organism (Метод выявления взаимодействия элементов в организме) / A. M. Pishchukhin, S. S. Akimov, G. F. Akhmedyanova, T. A. Pishchukhina // IOP Conference Series: Earth

and Environmental Science : The proceedings of the conference AgroCON-2019, Kurgan, 18–19 апреля 2019 года. – Kurgan: IOP Publishing Ltd, 2019. – P. 012184.

9 Bolodurina, I. P. Intelligent methods for assessing the productivity of dairy cattle based on a comprehensive study of elemental status (Интеллектуальные методы оценки продуктивности молочного скота на основе комплексного изучения элементного статуса) / I. P. Bolodurina, S. S. Akimov // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Omsk City, Western Siberia, 04-05 июля 2020 года. – Omsk City, Western Siberia, 2021. – P. 012020.

Свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ

10 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2018611055 Российская Федерация. Программа многомерной оценки элементного статуса организма "SMES" : № 2017662397 : заявл. 30.11.2017 : опубл. 23.01.2018 / А. М. Пищухин, С. В. Нотова, П. В. Веденеев [и др.] ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет».

11 Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023665602 Российская Федерация. Программа оценки динамики межэлементных связей микроэлементного состава организма EDIC : № 2023664192 : заявл. 07.07.2023 : опубл. 18.07.2023 / А. С. Боровский, С. С. Акимов ; заявитель федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет».

Монографии

12 Биологические особенности животных с феноменом «нагруженного метаболизма» / С. В. Нотова, С. А. Мирошников, О. А. Завьялов [и др.]. – Оренбург : Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук", 2020. – 238 с.

В других изданиях

13 Акимов, С. С. Построение СППР на основе онтологии молочного производства / С. С. Акимов, И. П. Болодурина // Онтология проектирования. – 2021. – Т. 11. – № 1(39). – С. 64-75.

14 Особенности минерального обмена крупного рогатого скота, в зависимости от токсической нагрузки свинцом / О. А. Завьялов, А. Н. Фролов, О. В. Кван [и др.] // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства : материалы российской научно-практической конференции с международным участием, Оренбург, 24–25 октября 2019 года. – Оренбург: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук", 2019. – С. 162-165.

15 Акимов, С. С. Исследование элементного состава шерсти молочных коров / С. С. Акимов // Фундаментальные основы технологического развития сельского хозяйства : материалы российской научно-практической

конференции с международным участием, Оренбург, 24–25 октября 2019 года. – Оренбург: Федеральное государственное бюджетное научное учреждение "Федеральный научный центр биологических систем и агротехнологий Российской академии наук", 2019. – С. 156-159.

16 Акимов, С. С. Разработка схемы управления деятельностью хозяйства молочного животноводства / С. С. Акимов // Актуальные научные исследования в современном мире. – 2021. – № 11-10(79). – С. 39-42.

17 Акимов, С. С. Разработка системы поддержки решений в области животноводства на основе элементного статуса / С. С. Акимов // Приоритетные направления инновационной деятельности в промышленности : Сборник научных статей XI международной научной конференции, Казань, 29–30 ноября 2021 года. – Казань: Общество с ограниченной ответственностью "КОНВЕРТ", 2021. – С. 81-82.

18 Акимов, С. С. Система поддержки принятия решений для производства молочной продукции / С. С. Акимов // Компьютерная интеграция производства и ИПИ-технологии : Сборник материалов X Всероссийской конференции, Оренбург, 18–19 ноября 2021 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2021. – С. 85-88.

19 Акимов, С. С. Алгоритм оценки продуктивности молочного скотоводства / С. С. Акимов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : Сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2022 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2022. – С. 1466-1469.

20 Трипкош, В. А. Анализ кормового производства для оценки эффективности молочного скотоводства / В. А. Трипкош, С. С. Акимов // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : сборник материалов Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 26–27 января 2023 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2023. – С. 1508-1511.

АКИМОВ Сергей Сергеевич

**МЕТОД И АЛГОРИТМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ НА
ОСНОВЕ ЦИФРОВОГО ДВОЙНИКА БИОТЕХНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации, статистика

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Подписано в печать 28 июня 2024 г.
Формат 60×90/16. Объем – 1,0 усл. печ. л
Тираж 100 экз. Заказ № 118568
Отпечатано на ризографе в типографии «Цифра»
460018, г. Оренбург, пр. Победы 11, офис 1