

РАЗРАБОТКА КОНЦЕПЦИИ МОНИТОРИНГА И МОДЕЛИРОВАНИЯ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ ВЫСОКОПРОДУКТИВНЫХ КОРОВ НА ОСНОВЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Резюме. Полноценное, сбалансированное кормление коров — залог высокой молочной продуктивности. Но, как известно, наиболее уязвимы к погрешностям кормления и содержания именно высокопродуктивные животные. В течение репродуктивно-технологического цикла коровы переживают два критических периода адаптации: первый — переход от сухостоя к лактогенезу, второй — воздействие сезонных изменений. В это время особенно важно правильно и своевременно корректировать рационы с учетом всех действующих факторов внутренней и внешней среды. Таким образом, разработка теоретической платформы и создание технологических алгоритмов автоматизированного многофакторного контроля и регулирования кормления высокопродуктивных молочных коров приобретает особую актуальность.

Ключевые слова: здоровое питание, функциональные кормовые добавки, гомеостаз, высокопродуктивные коровы, мониторинг, экономико-математическое моделирование, искусственный интеллект.

DEVELOPMENT OF A CONCEPT FOR MONITORING AND MODELING HEALTHY FEEDING OF HIGH-YIELDING COWS BASED ON ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Abstract. Proper and balanced feeding of cows is the key to high milk production. However, it is well known that high-yielding animals are the most vulnerable to feeding and management errors. During the reproductive and technological cycle, cows experience two critical periods of adaptation: the first is the transition from dryness to lactogenesis, and the second is the impact of seasonal changes. During this time, it is especially important to properly and timely adjust the rations, taking into account all the factors of the internal and external environment. Thus, the development of a theoretical platform and the creation of technological algorithms for automated multifactorial control and regulation of feeding in high-yielding dairy cows are particularly relevant.

Keywords: healthy nutrition, functional feed additives, homeostasis, high-yielding cows, monitoring, economic and mathematical modeling, and artificial intelligence.

ВВЕДЕНИЕ

Селекция коров на высокую продуктивность не оказала адекватного влияния на размер и физиологию желудочно-кишечного тракта, а физиолого-биохимические показатели организма остались в прежних референтных значениях. При этом произошло ослабление иммунитета и патогенетической резистентности организма [1], неизбежно повысились нагрузки на сердечно-сосудистую систему, на сосудистую систему молочной железы, на функционирование органов, в частности печени, и желез внутренней секреции, а также на физиологию пищеварения в рубце, что совокупно отражается на гомеостазе организма [2].

В науке нет обратного пути.

Этим принципом руководствовался профессор Фомичёв.

Одну из последних научных статей выдающегося русского ученого мы предлагаем вниманию читателя.

УДК 636.22/.28.084.523+636.22/.28.034

Научная статья

DOI 10.69539/2413-287X-2025-10-2-250

ЮРИЙ ПАВЛОВИЧ ФОМИЧЁВ¹,

доктор биологических наук, профессор

ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ ЧИНАРОВ¹,

доктор экономических наук

ORCID: 0000-0001-8475-0391

E-mail: vchinarov@yandex.ru

¹ФГБНУ ФИЦ ВИЖ им. Л.К. Эрнста

142132, Московская область, городской округ Подольск, посёлок Дубровицы, д. 60

Поступила в редакцию: 02.09.2025

Одобрена после рецензирования:

29.09.2025

Принята в публикацию:

06.10.2025

*Работа подготовлена в рамках выполнения Государственного задания № FGGN-2024-0013 Минобрнауки России

UDC 636.22/.28.084.523+636.22/.28.034

Research article

DOI 10.69539/2413-287X-2025-10-2-250

YURI PAVLOVICH FOMICHEV¹,

Grand PhD in Biological sciences, Professor

VLADIMIR IVANOVICH CHINAROV¹,

Grand PhD in Economic sciences

ORCID: 0000-0001-8475-0391

E-mail: vchinarov@yandex.ru

¹L.K. Ernst Federal Research Center for Animal Husbandry

142132, Moscow Region, Podolsk Municipal District, Dubrovitsy, 60

Received by editor office:

09.02.2025

Approved in revised:

09.29.2025

Accepted for publication:

10.06.2025

*This work was prepared as part of the State Assignment No. FGGN-2024-0013 of the Ministry of Education and Science of the Russian Federation

Сохранение продуктивного здоровья сельскохозяйственных животных реализуется в количестве, качестве и биологической полноценности продукции животноводства [3]. Это определяет экономическую эффективность отрасли, благополучие населения и продовольственную безопасность страны. Здоровье продуктивных животных непосредственно связано с течением обменных процессов, поэтому главными критериями оценки их состояния являются показатели интенсивности метаболизма и наличие ранних доклинических (донозологических) нарушений. Патобиохимические изменения в организме — одна из основных причин большинства заболеваний. Изменение нормального (физиологического) течения даже отдельных звеньев сложной цепи превращений веществ вызывает нарушения жизнедеятельности организма [4], в случае поражения узловых пунктов обмена — гибель клеток и морфологические (субклеточные) изменения органов и тканей с подавлением их функций. К развитию болезней могут приводить: генетические и иммунологические факторы; воздействие физических, химических и биологических агентов; кислородное голодание; изменение пищевого баланса. Механизм действия этих факторов может быть различным, но конечным результатом всегда остаются расстройства в обмене веществ.

В настоящее время, наряду с селекцией коров на высокую молочную продуктивность, разработаны нормы потребностей в питательных веществах и энергии, скорректированы физиологические параметры питания, требования к упитанности, создана система кормовых рационов как по питательности, так и по кормовым компонентам. Однако реализация потенциала молочной продуктивности коров [5] сталкивается не только с отдельными факторами среды, но и с их взаимодействием, что снижает эффективность кормления и поддержание продуктивного здоровья животных [6]. Как известно, высокопродуктивные животные наиболее уязвимы к заболеваниям, основной причине выбраковки телок [7] и коров, что ведет к сокращению сроков продуктивного долголетия. Сегодня наблюдается устойчивая тенденция ухудшения здоровья новотельных коров, что негативно влияет на экономическую эффективность молочной отрасли.

В течение репродуктивно-технологического цикла коровы переживают два критических периода адаптации к меняющимся условиям внутренней и внешней среды: первый — переход от сухостоя к лактогенезу, второй связан с адаптацией организма к сезонным изменениям [8]. Основное внимание на правильное, сбалансированное кормление высокопродуктивных коров следует обращать в переходный период.

Недостаточное поступление питательных веществ и нарушение метаболических процессов в организме происходит из-за сбоев в работе двух органов — рубца и печени. К настоящему времени проведено и опубликовано

значительное количество работ [9, 10], которые позволяют создать новую теоретическую платформу для дальнейшего развития науки о кормлении коров и повысить экономическую эффективность молочного скотоводства [11].

Цель работы — разработка методологии и концептуальных подходов для создания программы мониторинга кормления и состояния здоровья животных на основе анализа гомеостаза организма, биохимических показателей крови, плазмы, сыворотки, мочи, рубцовой жидкости и молока, а также их оценки и коррекции с помощью искусственного интеллекта на соответствие состава, питательной, энергетической ценности и функциональных свойств рациона потребностям высокопродуктивных коров.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В четырех научных опытах были испытаны различные функциональные кормовые добавки и получены достоверные данные об их влиянии на мобилизацию генетического потенциала и повышение жизнеспособности коров с высокой молочной продуктивностью.

• *В первом опыте* изучали эффективность использования жидкой энергетической кормовой добавки, содержащей глицерин (36,8%), пропиленгликоль (25%), пропионовую кислоту (2%), уксусную кислоту (2%), сорбитол (3,8%), фруктозу (5%), лактозу (5%), сахарозу (5%), глюкозу (5%), комплекс витаминов и микроэлементов (0,8%), воду (9,6%). В продукте также содержатся: токоферол — 250 мг/кг, L-карнитин — 2000 мг/кг, холин-хлорид — 8000 мг/кг, биотин — 100 мг/кг. Составляющие подобраны и сбалансированы по длительности ферментации, при этом наблюдается пролонгированный энергетический эффект, который не может быть достигнут компонентами в отдельности. Через три часа после утреннего кормления в рубце коров возросло число бактерий на 0,5 млрд/мл, инфузорий — на 11,3 тыс/мл. В результате повысилась целлюлозолитическая активность химуса на 4,6 п.п., что положительно повлияло на ЛЖК и ацетат. При близких значениях среднесуточного удоя в первый и второй месяц лактации (в контрольной группе — 31,12 и 31,8 кг; в опытной — 33,3 и 33,2 кг, соответственно) содержание жира в молоке коров опытной группы было выше контрольного показателя на 0,03 и 0,58 п.п., белка — на 0,6 и 0,32 п.п., лактозы — на 0,03 и 0,28 п.п.

• *Во втором опыте* ввод в рацион ферментного комплекса Фекорд-2004 оказал заметное влияние на физиологические и микробиологические процессы в рубце, что проявилось, прежде всего, в изменении структуры микробиома. В течение трех месяцев лактации в новотельный период среднесуточный удой у коров, получавших ферментный комплекс, был выше контроля на 13%, но при этом наблюдалось снижение содержания доли молочного жира и белка на 0,3 и 0,25 п.п., соответственно.



• В третьем опыте в рацион коров опытной группы дополнительно включали по 1 кг энергопротеинового концентрата, приготовленного из некондиционной продукции кондитерской промышленности и протеина микробиологического синтеза с добавлением в него экстракта коры лиственницы даурской (танины). Среднесуточный удой этих коров в течение трех месяцев лактации был на 11,3–24,6% выше, чем в контрольной группе, при более высоком содержании жира и белка в молоке. У них нормализовалось сахаропротеиновое отношение и снизилось содержание соматических клеток в молоке.

• В четвертом опыте испытывали комплексную кормовую добавку ЭкоКор в предотельный и новотельный периоды. У коров опытной группы содержание кетоновых тел в молоке и крови, а также показатели перекисного окисления липидов в плазме крови были значительно ниже, а антиоксидантная защита плазмы крови — выше, чем в контрольной группе. За полную лактацию от каждой коровы опытной группы, при среднесуточном удое 28,3 кг, было получено в среднем 9848 кг молока с содержанием 4,85% жира и 3,26% белка, что выше контроля соответственно на 903 кг; 1,7 кг; 0,16 и 0,04 п.п.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ФОРМУЛИРОВАНИЕ КОНЦЕПЦИИ

Система здорового питания должна включать две подпрограммы. Первая должна быть направлена на ускорение адаптации коров в переходный период на основе соблюдения и коррекции структурной, питательной и энергетической ценности и соответствия ее нормативным требованиям. Вторая — посвящена мобилизации ресурсного потенциала продуктивности и повышению жизнеспособности организма коров путем применения в их питании кормовых добавок с различными функциональными свойствами (рис. 1).

На рисунке 2 представлен алгоритм работы искусственного интеллекта. Существенное преимущество его использования — решение задач в автоматическом режиме, позволяющем в противоречивых ситуациях рассчитывать окончательный состав рациона без вмешательства человека.

В нашей экономико-математической модели для расчета основного рациона корректировка границ скармливания кормов осуществляется путем применения дополнительных ограничений и переменных. Введение в модель условий на максимально возможное отклонение от норм и «дифференцированных штрафных оценок» по каждому питательному веществу позволяет не только увеличить количество вариантов рационов, но и выбрать среди них наиболее сбалансированный и экономически выгодный.

Задача — из имеющихся в хозяйстве собственных и покупных кормов составить максимально сбалансированный и наиболее дешевый рацион для заданной продуктивности коров, то есть минимизировать целевую функцию

$$F_i(X) = X_j + \sum_{i \in I} (V_i \dot{X}_i + V_i \ddot{X}_i) + 10^7 \cdot \sum_{j \in J} (X_j' + X_j'') \rightarrow \min.$$

Все восемь групп ограничений в математической формализации принимают следующий вид:

- 1) $\sum_{j \in J} A_{ij} X_j - \dot{X}_i + \ddot{X}_i = B_i \quad i \in I;$
- 2) $X_j + X_j' \geq D_j' \quad j \in J;$
- 3) $X_j - X_j'' \leq D_j'' \quad j \in J;$
- 4) $X_j' + X_j'' \leq D_j \quad j \in J;$
- 5) $\dot{X}_i + \ddot{X}_i \leq M_i \cdot B_i \quad i \in I;$
- 6) $\sum_{j \in J} A_{ij} X_j \geq X_i \quad i \in I;$
- 7) $\sum_{j \in J} A_{ij} X_j \leq q X_i \quad i \in I;$
- 8) $\sum_{j \in J} C_j X_j - X_j,$

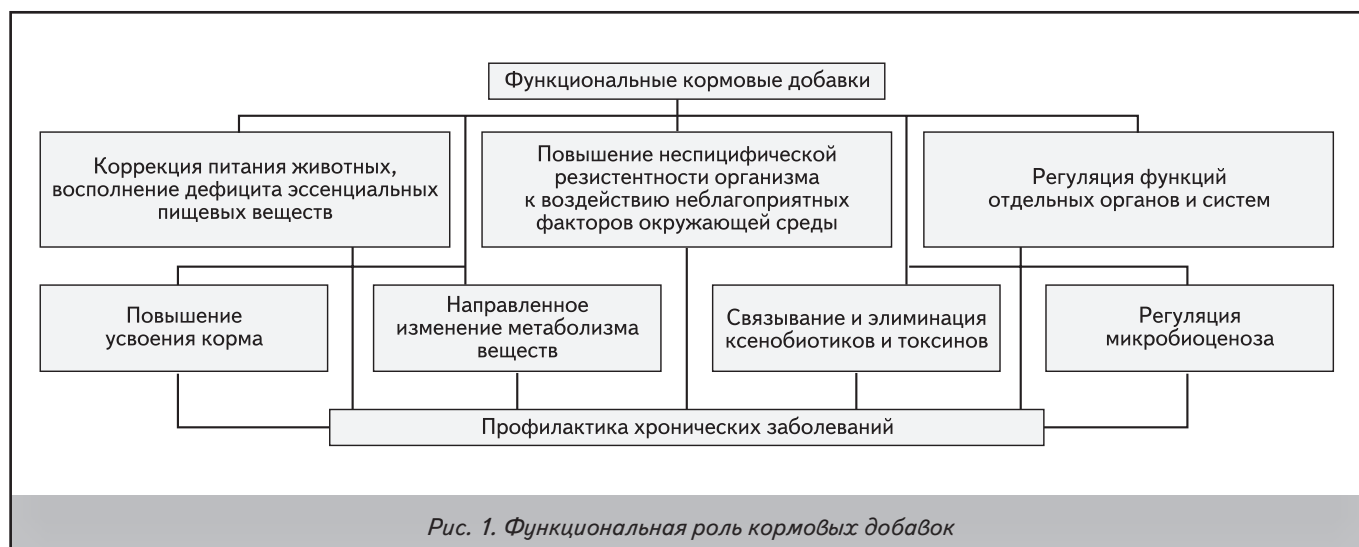
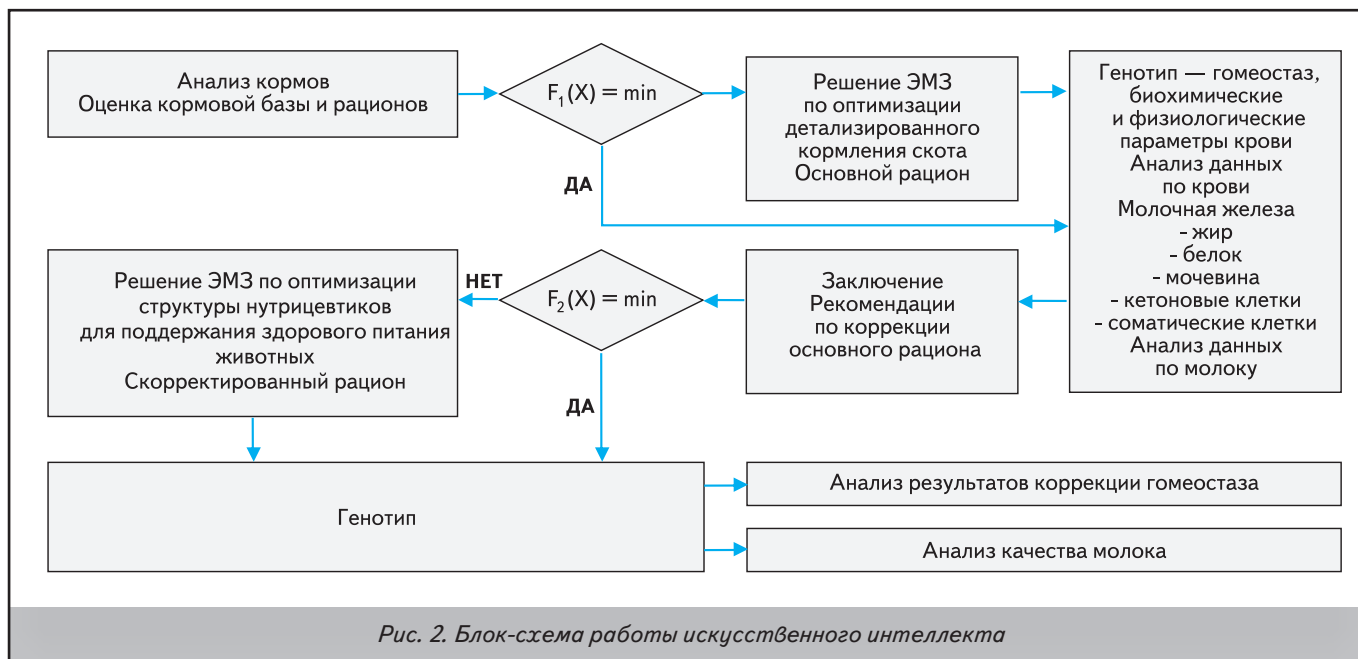


Рис. 1. Функциональная роль кормовых добавок



где j — индекс вида корма;

i — индекс питательного вещества;

J — множество видов кормов в рационе;

I — множество питательных веществ;

\dot{X}_i и \ddot{X}_i — избыток и недостаток содержания i -го питательного вещества в рационе;

X_j^{\cdot} и $X_j^{\cdot\cdot}$ — уменьшение нижней и увеличение верхней границы скормливания j -го вида корма;

X_j — искомое значение стоимости рациона;

V_i — «штрафная оценка» за отклонение i -го питательного вещества в рационе от нормы;

A_{ij} — содержание i -го элемента питания в единице j -го вида корма;

X_j — количество j -го вида корма, входящего в рацион;

B_i — нормативное количество i -го питательного вещества в рационе;

D_j^{\cdot} и $D_j^{\cdot\cdot}$ — минимально и максимально допустимое количество j -го вида корма в рационе;

D_j — допустимое отклонение оптимальной от предельной нормы скормливания j -го вида корма;

M_i — допустимый процент отклонения i -го питательного вещества в рационе от нормы;

I — подмножество питательных веществ с обязательным соблюдением пропорциональности;

q — коэффициент пропорциональности;

X_i — количество i -го питательного вещества в рационе;

C_j — стоимость единицы j -го вида корма.

Современные автоматизированные системы управления молочным стадом на основе использования цифровых технологий дают возможность ежедневно контролировать состав молока, уровень кормления,

живую массу, поведение, воспроизводство, здоровье и уровень продуктивности каждого животного, то есть иметь в режиме реального времени исчерпывающую и точную информацию о каждой особи [12]. Автоматизированный сбор и обработка данных в процессе доения — это эффективный инструмент в общей системе искусственного интеллекта. Во время каждого сеанса доения она проводит сбор данных о надое молока, его составе, поведении коров, кривых интенсивности молокоотдачи и показателях потока молока. Автоматическое взвешивание, включенное в систему управления стадом при мониторинге живой массы в период лактации, позволяет оценить не только уровень кормления, но и срок окончания транзитного периода в начале лактации, а также время наступления положительного энергетического баланса в организме коровы. Через оценку активности дойных коров (периодов ходьбы, отдыха и нахождения в положении стоя) осуществляется круглосуточный мониторинг их состояния для выявления начала охоты и оптимизации репродуктивной функции. Работа системы обеспечивает идентификацию коров и точное сопоставление данных о конкретном животном для повышения достоверности полученной информации. Рассчитанные отклонения являются контрольными точками для коррекции основного рациона за счет восполнения дефицита эссенциальных пищевых веществ с помощью функциональных кормовых добавок. Таким образом, использование технологий искусственного интеллекта переходит из инновационной в практическую плоскость.

Во второй модели предлагаем применять целевую функцию для получения максимально сбалансированного набора кормовых добавок, с помощью которых все контролируемые параметры гомеостаза и состава молока

приводятся к норме. Математическая запись экономико-математической модели коррекции рациона для поддержания здоровья животных не выводит задачу за рамки линейного программирования.

Для решения задачи необходимо подобрать набор кормовых добавок по их функциональным свойствам для направленного действия основного рациона, отвечающего всем параметрам «здорового питания животных» и получения молока с заданными потребительскими свойствами, то есть минимизировать целевую функцию

$$F_2(X) = \sum_{i \in I} (\dot{X}_i + \ddot{X}_i) \rightarrow \min$$

и выполнить шесть условий:

- 1) $\sum_{j \in J} A_{ij} X_j - \dot{X}_i + \ddot{X}_i = B_i \quad i \in I;$
- 2) $X_j + X'_j \geq D'_j \quad j \in J;$
- 3) $X_j - X''_j \leq D''_j \quad j \in J;$
- 4) $X'_j + X''_j \leq D_j \quad j \in J;$
- 5) $\dot{X}_i + \ddot{X}_i \leq M_i \cdot \sum_{j \in J} A_{ij} X_j \quad i \in I;$
- 6) $\sum_{j \in J} C_j X_j = X_j,$

где j — индекс вида кормовой добавки;

J — множество видов кормовых добавок в рационе;

A_{ij} — изменение i -го регулируемого параметра за счет единицы j -го вида кормовой добавки;

X_j — количество j -го вида кормовой добавки, входящей в скорректированный рацион;

B_i — норма i -го биохимического и физиологического параметра для здорового животного;

D'_j и D''_j — минимально и максимально допустимое количество j -го вида кормовой добавки в рационе;

X'_j и X''_j — уменьшение нижней и увеличение верхней границы скармливания j -го вида кормовой добавки;

D_j — допустимое отклонение оптимальной от предельной нормы скармливания j -го вида кормовой добавки;

M_i — допустимая доля отклонения i -го контролируемого параметра от нормы;

C_j — стоимость единицы j -го вида кормовой добавки;

X_j — затраты на коррекцию рациона для поддержания здоровья животных и получения молока с заданными потребительскими свойствами.

ВЫВОД

На базе современных автоматизированных систем управления молочным стадом с использованием цифровых технологий разработана концепция постоянного мониторинга состава молока, живой массы, поведения, состояния здоровья, уровня кормления и продуктивности для моделирования здорового питания высокопродуктивных коров. Исчерпывающая и точная информация, затрагивающая важные аспекты технологического процесса, предоставляется в режиме реального времени.

Литература/Literature

1. Стрекозов, Н. И. Методические рекомендации по адаптации импортного крупного рогатого скота к технологическим условиям хозяйств Калужской области — 2-е издание / Н. И. Стрекозов, Н. В. Сивкин, В. И. Чинаров [и др.] // Дубровицы: Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства РАСХН, 2014. — 64 с. — EDN SIPIDR.
2. Смирнов, А. М. Новые методы исследований по проблемам ветеринарной медицины / А. М. Смирнов, С. В. Шабуни, М. И. Рецкий [и др.] // Том Часть III. Методы исследований по проблемам незаразной патологии у продуктивных животных. — Москва: Российская академия сельскохозяйственных наук, 2007. — 418 с. — EDN RMLZNV.
3. Чинаров, В. И. Экономические методы повышения конкурентоспособности отечественных производителей молока / В. И. Чинаров, Н. И. Стрекозов, О. В. Кучерявая // Научные основы ведения животноводства: Сборник научных трудов / ГНУ ВИЖ Россельхозакадемии. — Дубровицы, Московская область: Государственное научное учреждение Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства РАСХН, 2009. — С. 204–209. — EDN PNAEWB.
4. Чиркин, А. А. Биохимия / А. А. Чиркин, Е. О. Данченко // Москва: Медицинская литература. — 2010. — 605 с. — EDN TRJJRN.
5. Стрекозов, Н. И. Формирование и регулирование рынка молока в Российской Федерации / Н. И. Стрекозов, В. И. Чинаров, О. В. Кучерявая, А. В. Чинаров // Зоотехния. — 2010. — № 9. — С. 15–16. — EDN MVBGGN.
6. Overton, T. R. Nutritional management of Transition Dairy Cows; Strategies to optimize metabolic health / T. R. Overton, M. R. Waldron // J. Dairy Sci. — 2004. — 87 (E. Suppl). — pp. 103–119.
7. Левантин, Д. Л. Использование сверхремонтных телок для производства говядины / Д. Л. Левантин, Н. В. Черкаев, В. И. Чинаров // Зоотехния. — 1991. — № 4. — С. 43.
8. Сивкин, Н. В. Адаптационные качества скота симментальской, черно-пестрой, айрширской и красной шведской пород на комплексах промышленного типа / Н. В. Сивкин, В. И. Чинаров, Н. И. Стрекозов [и др.] // Зоотехния. — 2012. — № 12. — С. 5–7. — EDN PHYHVZ.
9. Фомичев, Ю. П. Нетрадиционные корма из некондиционных продуктов пищевой промышленности в питании крупного рогатого скота и свиней: Практическое руководство / Ю. П. Фомичев, Л. А. Никанова, Р. В. Некрасов [и др.] // Дубровицы: Всероссийский научно-исследовательский институт животноводства имени академика Л. К. Эрнста, 2015. — 80 с. — EDN UEFMRB.
10. Фомичев, Ю. П. К вопросу управления физиологическими процессами и формированием сбалансированного микробиома в рубце коров и овец путем введения в рацион кормовых факторов с определенными биологическими и функциональными свойствами / Ю. П. Фомичев, Н. В. Боголюбова, И. Ю. Ермаков // Ветеринария, зоотехния и биотехнология. — 2023 — № 4. — С. 88–106. — DOI 10.36871/vet.zoo.bio.202304009. — EDN QOZEBV.
11. Чинаров, В. И. Экономическая оценка питательности кормов / В. И. Чинаров // АПК: Экономика, управление. — 1995. — № 3. — С. 49.
12. Стрекозов, Н. И. Развитие молочного скотоводства: резервы и возможности / Н. И. Стрекозов, В. И. Чинаров // Вестник АПК Верхневолжья. — 2016. — № 3 (35). — С. 35–40. — EDN WWJMYR. ■