

УДК 004.8:631.1

DOI: [10.26102/2310-6018/2023.42.3.012](https://doi.org/10.26102/2310-6018/2023.42.3.012)

Разработка алгоритмов решения задач оптимизации производства для программного обеспечения системы поддержки принятия решений в сельском хозяйстве

Р.Р. Рахматуллин¹, Е.А. Спешиллов^{1,2✉}, А.А. Чумаков¹

¹Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация

²Оренбургский филиал Института экономики УрО РАН, Оренбург, Российская Федерация

Резюме. Управление сельским хозяйством в условиях цифровой трансформации экономики приобретает дополнительный важный аспект при обеспечении конкурентных преимуществ нашей страны, особенно с учетом вызовов современной геополитической обстановки. Внедрение различного рода инноваций требует оперативных действий в направлении разработки отечественных технических, технологических и информационных продуктов. В статье рассматривается вопрос автоматизации обеспечения поддержки принятия решений при управлении подсистемами сельского хозяйства посредством использования разработанного программного продукта, обладающего адаптационными характеристиками и не требующего дополнительных цифровых и квалификационных ресурсов. Применялись методы системного анализа, логического подхода и синтеза, оптимизации, алгоритмизации и др. Использовались официальные статистические данные, на основе которых приведена динамика ряда показателей (посевная площадь и урожайность кормовых культур, поголовье коров и объем производства молока и пр.) сельскохозяйственного производства в России за период 2017–2021 гг. Сделан вывод об интенсификации производственной деятельности в сфере молочного скотоводства. Акцентировано внимание на разработке алгоритмов и их программной реализации для подбора рациона кормления дойных коров с учетом научно обоснованных требований, породных ограничений, норм и пр. Приведены блок-схемы создания пользовательского интерфейса и функции вычисления необходимого количества минеральных веществ, алгоритмы расчета потребности в энергии и протеине. Программа разработана на языке Python, учитывает выделенные параметры для расчета продуктивного рациона кормления коров и является составной частью разрабатываемой интеллектуальной системы. Позволяет посредством имитации подбирать наиболее подходящие значения выходных параметров для дальнейшего их использования в виде числовых ограничений при решении задачи минимизации себестоимости рациона кормления методами линейного программирования. Программа имеет универсальный характер относительно внедрения и использования сельхозтоваропроизводителями, обеспечивает автоматизацию системы поддержки принятия решений и не требует дополнительного трудоемкого обучения лиц, принимающих решения, направленные на эффективность функционирования отечественного сельского хозяйства.

Ключевые слова: разработка алгоритмов, задачи оптимизации, управление сельским хозяйством, система поддержки принятия решений, молочное скотоводство, рацион кормления, лицо принимающее решение, блок-схема, программа.

Благодарности: статья подготовлена в соответствии с государственным заданием Минобрнауки России для ФГБУН «Институт экономики УрО РАН».

Для цитирования: Рахматуллин Р.Р., Спешиллов Е.А., Чумаков А.А. Разработка алгоритмов решения задач оптимизации производства для программного обеспечения системы поддержки принятия решений в сельском хозяйстве. *Моделирование, оптимизация и информационные технологии*. 2023;11(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1410> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.42.3.012

Development of the algorithms for solving production optimization problems for the software of the decision support system in agriculture

R.R. Rakhmatullin¹, E.A. Speshilov^{1,2}, A.A. Chumakov¹

¹Orenburg State University, Orenburg, the Russian Federation

²Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, the Russian Federation

Abstract. Agricultural administration in the context of the digital transformation of the economy is becoming more important when ensuring the competitive advantages of our country, especially taking into account the challenges of the modern geopolitical situation. The introduction of various kinds of innovations requires prompt actions in order to facilitate the development of domestic technical, technological and information products. The article deals with the issue of automation of decision support in the management of agriculture subsystems by means of a developed software product with adaptive characteristics that does not require additional digital and qualification resources. Methods of system analysis, logical approach and synthesis, optimization, algorithmization, etc., were used. Official statistical data were used, which made it possible to present the dynamics of a number of indicators (acreage and yield of fodder crops, number of cows and milk production, etc.) of agricultural production in Russia for the period 2017–2021. The conclusion is made about the intensification of production activities in the field of dairy cattle breeding. Special attention is paid to the development of algorithms and their software implementation with a view to adjusting the diet of dairy cows with consideration to scientifically based requirements, breed restrictions, norms, etc. Flowcharts for designing a user interface and functions for calculating the required amount of minerals, algorithms for calculating energy and protein requirements are given. Developed in Python, the program takes into account the selected parameters for calculating the productive feeding ration of cows and is an integral part of the intellectual system being developed. By means of simulation, it helps to choose the most suitable values of output parameters for their further use in the form of numerical restrictions when solving the problem of minimizing the cost of the feeding ration by linear programming methods. The program has a universal character regarding the introduction and use by agricultural producers, provides automation of the decision support system and does not require additional time-consuming training of decision makers who aim to achieve the efficiency of domestic agriculture performance.

Keywords: algorithm development, optimization problems, agricultural administration, decision support system, dairy cattle breeding, feeding ration, decision-maker, flowchart, program.

Acknowledgements: the article was prepared in accordance with the state assignment of the Ministry of Education and Science of Russia for the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences.

For citation: Rakhmatullin R.R., Speshilov E.A., Chumakov A.A. Development of the algorithms for solving production optimization problems for the software of the decision support system in agriculture. *Modeling, Optimization and Information Technology*. 2023;11(3). URL: <https://moitvvt.ru/ru/journal/pdf?id=1410> DOI: 10.26102/2310-6018/2023.42.3.012 (In Russ.).

Введение

Сельское хозяйство является одной из ключевых отраслей мировой экономики, обеспечивающих продовольственную безопасность и удовлетворяющих потребности растущего населения. Деятельность в данной отрасли сопровождается множеством рисков, вызванных изменением климата, ограниченностью ресурсов, устаревшими производственными методами и повышенным спросом на экологические продукты [1].

Для того чтобы функционировать в условиях риска и неопределенности, сельскому хозяйству в процессе обеспечения устойчивого развития необходима

разработка и внедрение различного рода инноваций технического, технологического, а также управленческого характеров для лиц, принимающих решения (ЛПР). Инновации играют ключевую роль в повышении эффективности производства, снижении негативного воздействия на окружающую среду и повышении конкурентоспособности отрасли. В условиях цифровизации экономики неизбежно использование различных интеллектуальных технологий для обеспечения поддержки принятия решений [2, 3] с применением автоматизации оптимизационных задач использования ресурсов с целью имитации поиска наилучших практических решений, снижения производственных затрат и повышения качества продукции. Внедрение технологий искусственного интеллекта в различные сферы АПК также набирает темпы [4, 5].

Целью данной работы является разработка алгоритмов оптимизации ряда производственных задач для поддержки принятия решений ЛПР при управлении отдельными подсистемами сельскохозяйственного производства для повышения эффективности деятельности сельхозтоваропроизводителей в условиях цифровизации экономики.

Методы и материалы

Методологической основой исследования послужили труды ученых, занимающихся теоретическими и практическими вопросами в области принятия решений в сфере сельскохозяйственного производства, систем управления, применения прикладных математических моделей, разработки программного обеспечения, информатизации и пр.

В процессе работы применялись методы системного анализа, логического подхода и синтеза, оптимизации, алгоритмизации и др. Использовались официальные статистические данные, а также информационные средства для разработки программных модулей.

Проведенный анализ показал, что современные научные исследования ряда авторов в сфере использования математических и инструментальных средств к решению задач управления в сфере АПК опираются на стандартные классические подходы (показавшие свою состоятельность), которые находят свою новую реализацию в современном контексте применения интеллектуальных систем, разрабатываемых для поддержки принятия решений ЛПР [6, 7]. Рассматривая сельскохозяйственное производство в виде системы в разрезе подсистем – отраслей растениеводства и животноводства (молочного скотоводства) – следует отметить, что они обе развиваются в условиях риска и неопределенности в силу влияния погодно-климатических условий, а также работы с биологическими организмами. Ситуация усугубляется нестабильными геополитическими условиями, вынуждающими ЛПР искать оперативные управленческие решения, что возможно при использовании гибких интеллектуальных технологий, базирующихся на применении автоматизированных средств. Оптимизация ряда заложенных в подсистемы процессов позволяет посредством имитационного моделирования находить адаптированные решения, направленные на повышение эффективности деятельности сельхозтоваропроизводителей.

Обе подсистемы функционируют в тесной взаимосвязи, так как, например, продукция растениеводства (в частности, кормовые культуры) используется при формировании рационов кормления скота (в частности, молочных коров). В соответствии с исследуемыми подсистемами проведем оценку динамики выбранных

нами показателей (Таблица 1 по статистическим данным^{1,2} в хозяйствах всех категорий) за период 2017–2021 гг. в России.

Таблица 1 – Динамика ряда показателей подсистем растениеводства и животноводства (молочного скотоводства)

Table 1 – Dynamics of indicators related to subsystems of crop production and animal husbandry (dairy cattle breeding)

Показатель	2017 г.	2018 г.	2019 г.	2020 г.	2021 г.	Отношение 2021 г. к 2017 г., в %
Посевная площадь сельскохозяйственных культур, тыс. га	80049,0	79634,0	79888,0	79948,0	80437,0	100,5
Посевная площадь кормовых культур, тыс. га	16342,0	16124,0	15425,0	14751,0	13835,0	84,7
Урожайность кормовых культур, ц с 1 га, в том числе:						
кормовые корнеплоды (включая сахарную свеклу на корм скоту)	355,2	356,3	247,7	235,4	202,4	57,0
кукуруза на силос, зеленый корм и сенаж (вес зеленой массы)	288,8	303,8	384,0	302,1	326,5	113,1
многолетние травы – всего на сено	22,7	26,9	41,2	33,8	33,5	147,6
однолетние травы на сено	25,8	94,0	35,9	56,5	167,3	в 6,5 раз
Поголовье коров, тыс. гол.	3400,2	3360,8	3329,6	3228,3	3124,4	91,9
Производство молока, тыс. тонн	30185,0	30612,0	31360,0	32226,0	32339,0	107,1
Надой молока на 1 корову, кг	4368,0	4492,0	4640,0	4839,0	4988,0	114,2

Из таблицы видно, что при практически неизменной общей посевной площади сельскохозяйственных культур площади кормовых культур снижаются при росте урожайности (особенно однолетних трав). При уменьшении поголовья коров на 8,1 %, растет как производство молока (на 7,1 %), так и продуктивность (на 14,2 %), что дает основание сделать вывод (в числе прочего) о растущей полноценности рациона кормления скота. Именно правильно подобранное соотношение питательных веществ в рационе в совокупности с поиском снижения затрат на кормление приводит к повышению эффективности производственной деятельности (в совокупности с другими немаловажными факторами, среди которых автоматизация процессов, внедрение технических и технологических инноваций, адаптированный уход, обеспечение обновления стада и пр.) в хозяйствах всех категорий.

Существует три основных направления обеспечения стабильности процесса производства молока – это генетика, кормление и управление [8]. У молочной породы выделяют ряд основных показателей рациона [9, 10], представленных на Рисунке 1.

¹ Бюллетени о состоянии сельского хозяйства (электронные версии). Режим доступа: <https://rosstat.gov.ru/compendium> [дата обращения: 24.05.23]

² Посевные площади Российской Федерации. Режим доступа: https://view.officeapps.live.com/op/view.aspx?src=https%3A%2F%2Frosstat.gov.ru%2Fstorage%2Fmediabank%2Fposev-4%25D1%2581%25D1%2585_2022.xlsx&wdOrigin=BROWSELINK [дата обращения: 24.05.23]

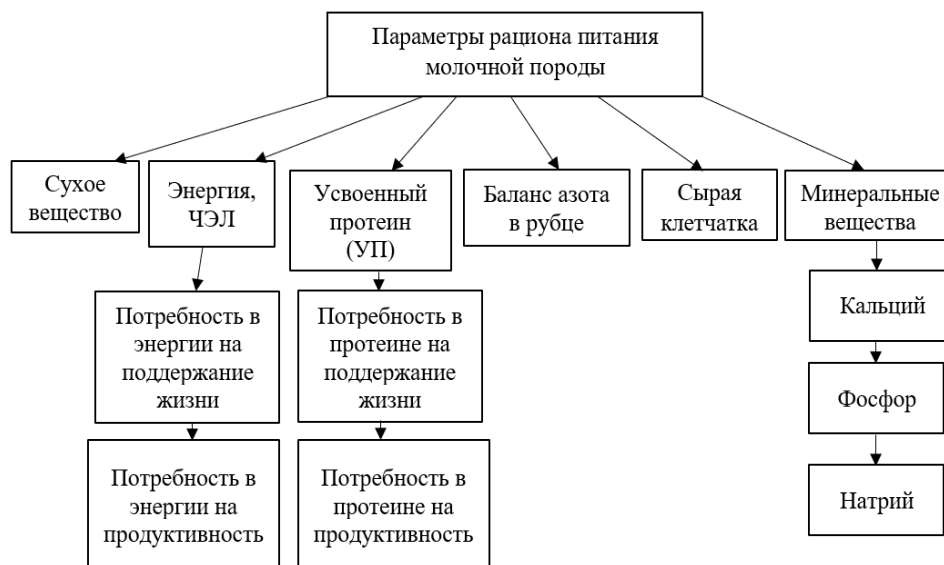


Рисунок 1 – Параметры для расчета продуктивного рациона кормления коров
Figure 1 – Parameters for calculating a productive cow feeding ration

Основная задача подсистемы молочного скотоводства – наибольший объем получаемого молока за сутки. Данная цель достигается за счет составления продуктивного рациона питания. Оптимизация позволяет сокращать поголовье скота, не теряя производительность. Данный подход несет положительный эффект для животного, а также является ресурсосберегающей технологией [11], способствующей снижению производственных затрат.

Большинство сельхозтоваропроизводителей до сих пор практикуют «интуитивный метод кормления», т. е. составление рациона питания для животных на основе устоявшихся норм содержания компонентов в рационе, полученных во взаимосвязи классических литературных источников и наработанного опыта. Проблема заключается в том, что в современных условиях постоянно происходят изменения в факторах воздействия на кормовые культуры. Соответственно, те из них, для которых производились расчеты несколько десятилетий назад, уже не обладают тем набором характеристик, на основе которых подбирались нормативы кормления. Поэтому возникает необходимость организации расчета рациона питания на основе имеющихся ресурсов кормовых культур у конкретного предприятия. Причем подбор должен быть не только адаптирован под условия конкретного хозяйства, но и автоматизирован для достижения возможности реализации имитационного моделирования, сокращения времени данного процесса и при этом не требовать дополнительного трудозатратного обучения ЛПР.

Результаты

С учетом параметров, представленных на Рисунке 1, нами была разработана программа на языке программирования Python. Для создания пользовательского интерфейса была задействована библиотека Tkinter. Программа является составной частью интеллектуальной системы, направленной на поддержку принятия решений в отрасли животноводства. Она реализует функционал расчета показателей энергии, протеина, сухого вещества, сырой клетчатки и минеральных веществ, необходимых для полноценного сбалансированного рациона кормления коров исходя из входных переменных, среди которых параметры животных (вес, фаза лактации, сухостойный

период), ряд величин фактической и желаемой удойности, жирности и протеина в молоке, а также предполагаемого объема корма.

Информационный продукт состоит из нескольких блоков. На Рисунке 2 изображена блок-схема создания пользовательского интерфейса.

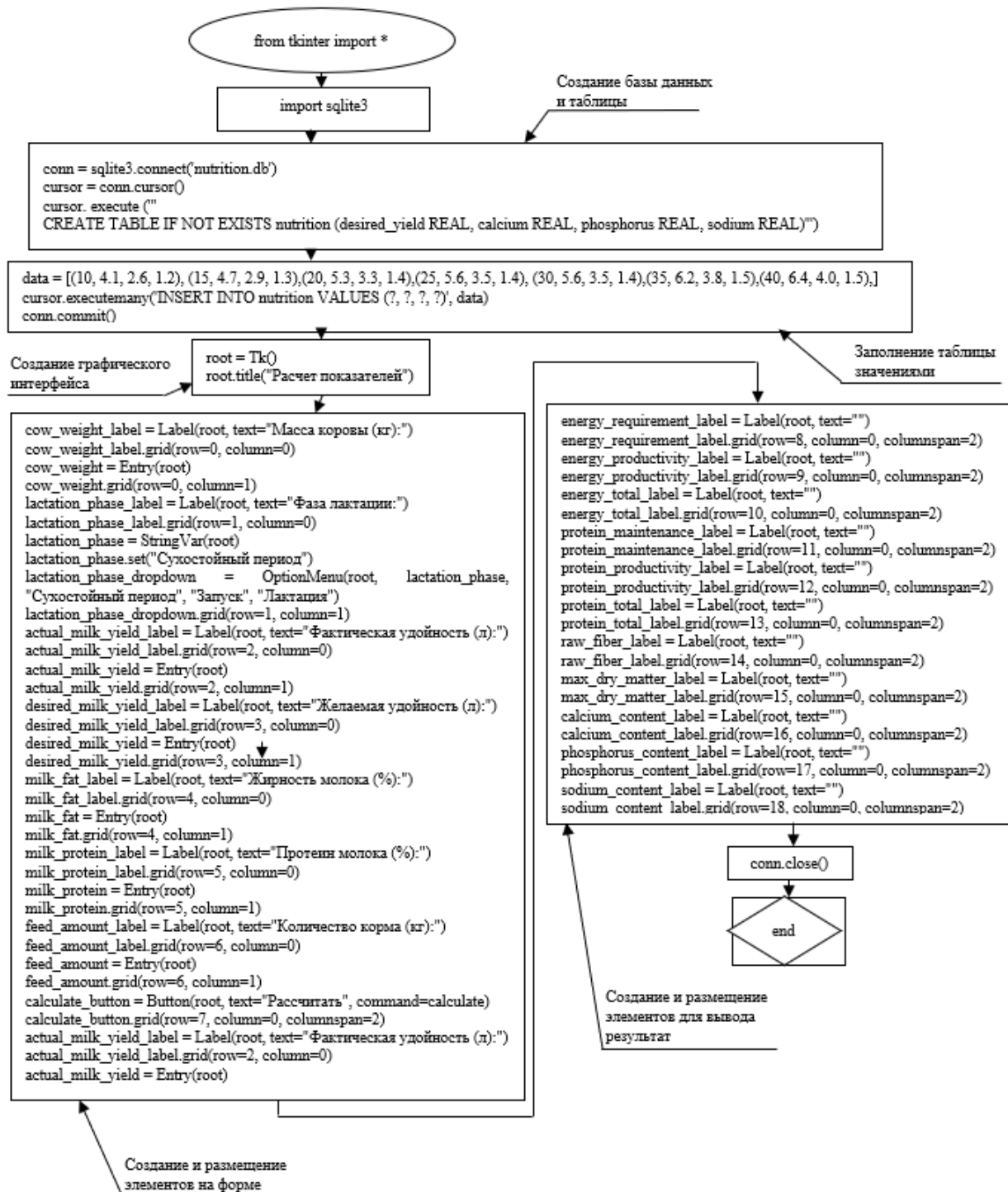


Рисунок 2 – Блок-схема создания пользовательского интерфейса
Figure 2 – Flowchart for designing a user interface

Также была сформирована база данных, основанная на нормах потребления необходимого количества минеральных веществ с учетом заданной продуктивности

коровы [12]. Ее данные использованы для автоматического создания функции расчета необходимого количества минеральных веществ. Блок-схемы соответствующего модуля представлены на Рисунке 3.

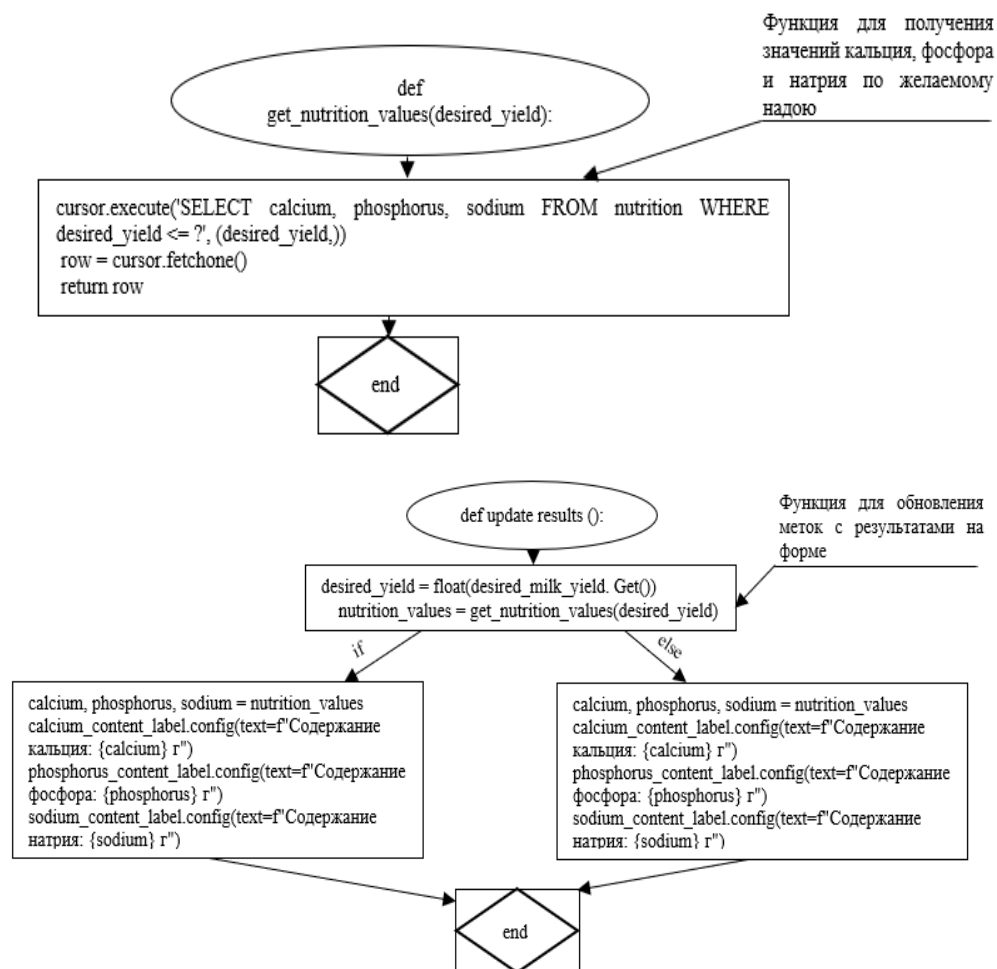


Рисунок 3 – Блок-схемы создания функции расчета необходимого количества минеральных веществ

Figure 3 – Flowcharts for creating a function for calculating the required amount of mineral substances

Функция расчета параметров была разделена нами на несколько блоков. Для определения переменных необходимыми параметрами являются вес животного, фактический удой, желаемый удой, требуемые жирность и белок молока, а также фактический показатель съедаемого животным корма. Выбор фазы лактации был прописан в пользовательском интерфейсе. Расчетная функция calculate разделена на три блока. Сначала вводятся переменные, и происходит расчет сырой клетчатки с учетом максимальной массы сухого вещества. Далее реализуется расчет в энергетической потребности (Рисунок 4). Его определение для коров и содержание энергии в кормовом рационе осуществляется в единицах чистой энергии лактации (ЧЭЛ). ЧЭЛ представляет собой долю энергии корма, которая необходима для поддержания жизнедеятельности, производства молока или роста [13]. Это позволяет точнее рассчитать, насколько выгоден определенный корм для животных в зависимости от их потребностей.

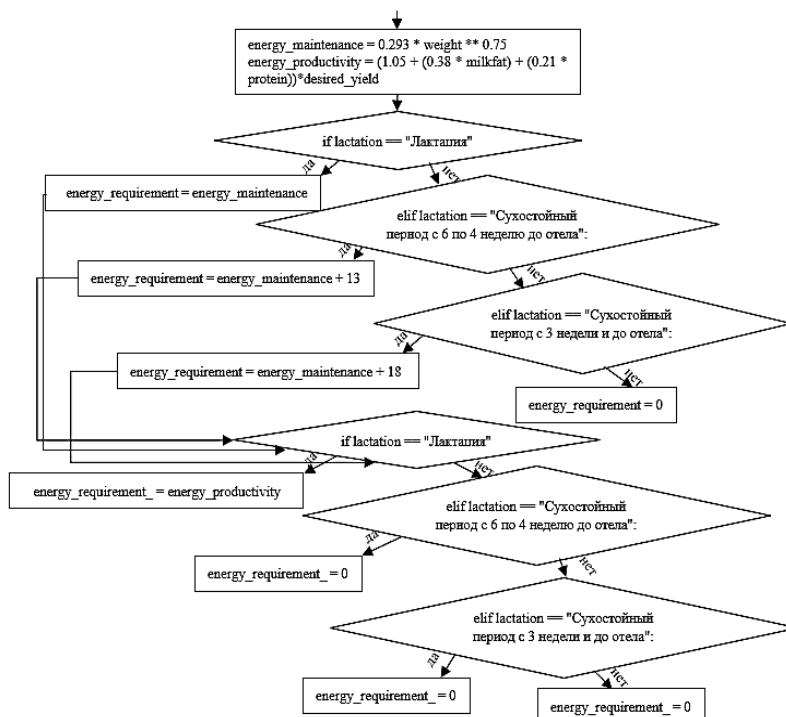


Рисунок 4 – Алгоритм расчета потребности в энергии
Figure 4 – Energy demand calculation algorithm

Потребность в протеине измеряется показателем усвоенного протеина [14]. Алгоритм расчета представлен на Рисунке 5.

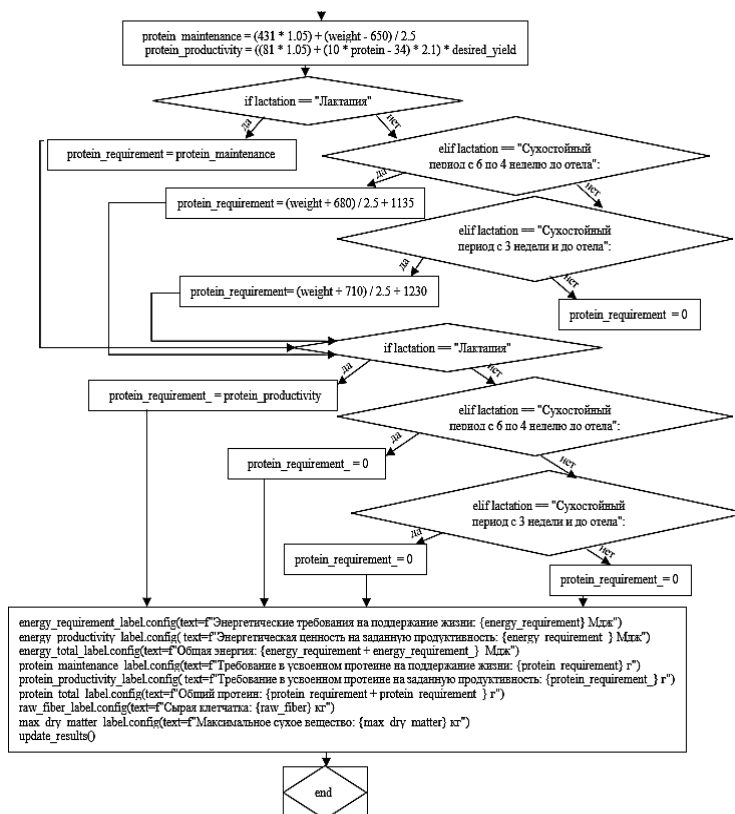


Рисунок 5 – Алгоритм расчета потребности в протеине
Figure 5 – Algorithm for calculating protein requirements

Представленные алгоритмы реализованы в единой взаимосвязи в созданной нами программе расчета показателей при подборе оптимального рациона кормления выбранных пород коров с учетом заданных ограничений. Программа является составной частью разрабатываемой нами интеллектуальной системы поддержки принятия решений в сельскохозяйственном производстве. Она позволяет на этапе формирования рациона питания коров (с целью увеличения их продуктивности) в разные жизненные периоды посредством имитации подбирать наиболее подходящие значения выходных параметров для дальнейшего их использования в виде числовых ограничений при решении задачи минимизации себестоимости рациона кормления методами линейного программирования.

Обсуждение

Реализация процессов автоматизации расчетов при подборе рациона кормления сталкивается с проблемой использования программ иностранного производства [15]. Конечно, на рынке присутствуют российские разработки, но, к сожалению, количество их невелико, они пока не могут конкурировать с иностранными, а кроме того, в условиях решения вопросов по импортозамещению возникает необходимость в создании адаптированных к российскому рынку информационных средств. Представленный программный продукт решает ряд конкретных задач, может быть использован в контексте поддержки принятия решений ЛПР, не требует значительных информационных ресурсов и трудозатрат относительно его освоения.

Пользовательский интерфейс программы представлен на Рисунке 6.

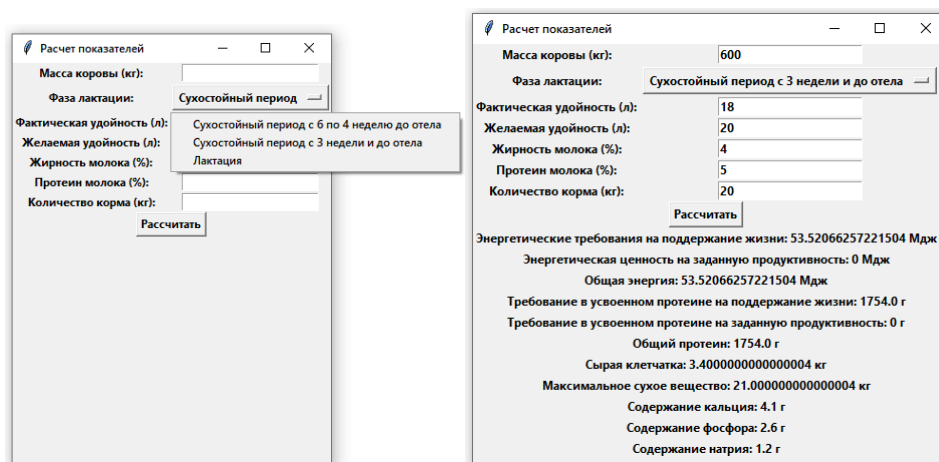


Рисунок 6 – Пользовательский интерфейс программы расчета показателей для составления рациона

Figure 6 – User interface of the program for calculating indicators for the preparation of the diet

Для работы с программой ЛПР в организации формирует агрегированные входные данные по группам поголовья скота (схожим по основным признакам), которые необходимо занести в соответствующую форму интерфейса. Далее производится расчет необходимых показателей для заданной продуктивности. Реализованный в программном продукте алгоритм подходит для всех молочных коров с разницей в компонентах рациона, исходя из индивидуальных предпочтений каждой породы. Следует отметить, что в программе не учитывается баланс азота в рубце, так как данный показатель не является расчетным. Основное требование для него – содержание в рационе от 1 до 50 единиц. На основании полученных данных по отправленным в лабораторию образцам корма и с учетом показателей, рассчитанных с помощью программы, составляется

адаптированный оптимальный продуктивный рацион питания для коров в конкретной сельскохозяйственной организации.

Заключение

В статье рассмотрено сельское хозяйство как система, состоящая из подсистем растениеводства и животноводства. В контексте исследования сделан акцент на взаимосвязь между ними, в частности относительно применения результатов выращивания кормовых культур для использования в рационах кормления коров молочного направления.

Анализ динамики ряда показателей сельскохозяйственного производства в России за период 2017–2021 гг. показал, что наблюдается рост урожайности кормовых культур на фоне снижения посевных площадей под них, а также увеличение продуктивности коров при снижении поголовья. Это говорит об интенсификации процессов производства, что может эффективно сопровождаться автоматизированными системами поддержки принятия решений.

Предлагаемый программный продукт, включающий разработанные алгоритмы подбора оптимальных рационов кормления коров, базирующиеся на научно обоснованных нормативах содержания скота и учитывающие породные особенности, позволяет адаптировать расчеты под конкретные сельскохозяйственные организации, сокращает время подбора величины структурных компонентов рациона и обеспечивает процесс поддержки принятия управленческих решений. Доступный дружественный интерфейс программы способствует ее использованию ЛПР без дополнительных затрат на обучение. Благодаря адаптационным свойствам она имеет широкие возможности применения в сельском хозяйстве при производстве молока. Программа является составной частью разрабатываемой интеллектуальной системы. Адресована как сельскохозяйственным организациям, так и крестьянским (фермерским) хозяйствам и личным подсобным хозяйствам, занятым в сфере молочного скотоводства.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Брянских С.П. *Экономика сельского хозяйства*. М.: Агропромиздат; 2017. 326 с.
2. Нагоев З.В., Шуганов В.М., Бжихатлов К.Ч., Заммоев А.У., Иванов З.З. Перспективы повышения производительности и эффективности сельскохозяйственного производства с применением интеллектуальной интегрированной среды. *Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН*. 2021;104(6):155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165.
3. Спешилова Н.В., Шепель В.Н. *Интеллектуализация технологии подготовки управленческих решений в условиях цифровизации экономики (на примере регионального сельскохозяйственного производства)*. ОУП ВО «АТИСО»; ФГБОУ ВО «ОГУ». Оренбург: Типография «Экспресс-печать»; 2022. 152 с.
4. Косников С.Н., Корниенков И.М., Жихарева И.А. Проблема внедрения искусственного интеллекта в сельскохозяйственное производство. *Аудиторские ведомости*. 2022;2:124–128. DOI: 10.24412/1727-8058-2022-2-124-128.
5. Федотова Г.В., Сложенкина М.И., Митрофанова И.В., Ламзин Р.М. Искусственный интеллект как инновационный вектор управления региональным АПК. *Региональная экономика. Юг России*. 2021;9(1):152–162. DOI: 10.15688/re.volsu.2021.1.13.
6. Голубева О.Л. Использование математического моделирования и СППР в управлении агропромышленным комплексом. *Наука и современность*. 2013;24:271–275.

7. V.N. Shepel, N.V. Speshilova, M.V. Kitaeva. The Stimulation Model for the Criterial Decision-Making at the Agricultural Enterprise. *17th International Scientific Conference "Problems of Enterprise Development: Theory and Practice" (Samara, Russia, November 26-27, 2018)*. SHS Web of Conferences, Volume 62, 2019. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/03/shsconf_pedtp2018_08004.pdf. DOI: 10.1051/shsconf/20196208004
8. Федоров В.И. *Рост, развитие и продуктивность животных*. М.: Колос; 2017. 345 с.
9. Вальдман Э.К., Карельсон М.К. *Высокопродуктивное молочное скотоводство*. М.: Колос; 1982. 235 с.
10. Голушко В.М. [и др.]. *Физиология пищеварения и кормление крупного рогатого скота*. Гродно: 2005. 433 с.
11. Заводчиков Н.Д., Спешилова Н.В., Забродина Л.А. *Эффективность и управление затратами в молочном производстве*. ЗАО «Издательство «Экономика»; 2009. 131 с.
12. Лапшин С.А. *Новое в минеральном питании сельскохозяйственных животных*. М.: Росагропромиздат; 2018. 45 с.
13. Шупик М.В., Райхман А.Я. *Кормление сельскохозяйственных животных. Кормление крупного рогатого скота, овец, коз и лошадей*. Горки: БГСХА; 2014. 237 с.
14. Курилов Н.В. *Использование протеина кормов животными*. М.: Колос; 2017. 345 с.
15. Припоров И. Е., Гаврилов Е.В. Разработка технологии приготовления комбикорма с применением современной компьютерной техники. *Известия ОГАУ*. 2021;90(4):142–145.

REFERENCES

1. Bryanskikh S.P. *Economics of agriculture*. М.: Agropromizdat; 2017. 326 p. (In Russ.).
2. Nagoev Z.V., Shuganov V.M., Brzhikhatlov K.Ch., Zammoyev A.U., Ivanov Z.Z. Prospects for increasing productivity and efficiency of agricultural production using an intelligent integrated environment. *Izvestija Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN = Proceedings of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2021;104(6):155–165. DOI: 10.35330/1991-6639-2021-6-104-155-165 (In Russ.).
3. Speshilova N.V., Shepel V.N. *Intellectualization of the technology of preparation of managerial decisions in the conditions of digitalization of the economy (on the example of regional agricultural production)*. OUP VO "ATISO"; FGBOU VO "OSU". Orenburg, Printing house "Express-print"; 2022. 152 p. (In Russ.).
4. Kosnikov S.N., Kornienkov I.M., Zhikhareva I.A. The problem of introducing artificial intelligence into agricultural production. *Auditorskie vedomosti = Audit statements*. 2022;2:124–128. DOI: 10.24412/1727-8058-2022-2-124-128 (In Russ.).
5. Fedotova G.V., Slozhenkina M.I., Mitrofanova I.V., Lamzin R.M. Artificial intelligence as an innovative vector of regional agro-industrial complex management. *Regional'naja jekonomika. Jug Rossii = Regional economy. South of Russia*. 2021;9(1):152–162. DOI: 10.15688/re.volsu.2021.1.13 (In Russ.).
6. Golubeva O.L. The use of mathematical modeling and DSS in the management of the agro-industrial complex. *Nauka i sovremennost' = Science and modernity*. 2013;24:271–275 (In Russ.).
7. V.N. Shepel, N.V. Speshilova, M.V. Kitaeva. The Stimulation Model for the Criterial Decision-Making at the Agricultural Enterprise. *17th International Scientific Conference "Problems of Enterprise Development: Theory and Practice" (Samara, Russia, November*

- 26-27, 2018). SHS Web of Conferences, Volume 62, 2019. URL: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2019/03/shsconf_pedtp2018_08004.pdf. DOI: 10.1051/shsconf/20196208004.
8. Fedorov V.I. *Growth, development and productivity of animals*. Moscow, Kolos; 2017. 345 p. (In Russ.).
 9. Waldman E.K., Karelson M.K. *Highly productive dairy cattle breeding*. Moscow, Kolos; 1982. 235 p. (In Russ.).
 10. Golushko V.M. [et al.]. *Physiology of digestion and feeding of cattle*. Grodno, 2005. 433 p. (In Russ.).
 11. Zavodchikov N.D., Speshilova N.V., Zabrodina L.A. *Efficiency and cost management in dairy production*. CJSC "Publishing House "Economics"; 2009. 131 p. (In Russ.).
 12. Lapshin S.A. *New in the mineral nutrition of farm animals*. Moscow, Rosagropromizdat; 2018. 45 p. (In Russ.).
 13. Shupik M.V., Raichman A.Ya. *Feeding of farm animals. Feeding cattle, sheep, goats and horses*. Slides: BGSNA; 2014. 237 p. (In Russ.).
 14. Kurilov N.V. *The use of animal feed protein*. Moscow, Kolos; 2017. 345 p. (In Russ.).
 15. Priporov I. E., Gavrilov E.V. Development of technology for the preparation of compound feed using modern computer technology. *Izvestija OGAU*. 2021;90(4):142–145 (In Russ.).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ / INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

Рахматуллин Рустам Равильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры экономической теории, региональной и отраслевой экономики, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация.
e-mail: rakhmat8@mail.ru

Rustam Ravilevich Rakhmatullin, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor at the Department of Economic Theory, Regional and Sectoral Economics, Orenburg State University, Orenburg, the Russian Federation.

Спешилов Евгений Алексеевич, аспирант, преподаватель кафедры прикладной математики, Оренбургский государственный университет, младший научный сотрудник Оренбургского филиала Института экономики УрО РАН, Оренбург, Российская Федерация.
e-mail: spfenics@yandex.ru

Evgeny Alekseyevich Speshilov, Postgraduate Student, Lecturer at the Department of Applied Mathematics, Orenburg State University, Junior Researcher at the Orenburg Branch of the Institute of Economics of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, Orenburg, the Russian Federation.

Чумаков Александр Алексеевич, магистрант кафедры экономической теории, региональной и отраслевой экономики, Оренбургский государственный университет, Оренбург, Российская Федерация.
e-mail: Achymakov2@mail.ru

Aleksandr Alekseyevich Chumakov, Master's Student, the Department of Economic Theory, Regional and Sectoral Economics, Orenburg State University, Orenburg, the Russian Federation.

Статья поступила в редакцию 20.06.2023; одобрена после рецензирования 27.07.2023; принята к публикации 09.08.2023.

The article was submitted 20.06.2023; approved after reviewing 27.07.2023; accepted for publication 09.08.2023.