

УДК 664.64+664.68+664.8+663.8+004.42

UDC 664.64+664.68+664.8+663.8+004.42

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы экономики (физико-математические науки, экономические науки)

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods of economics (physical and mathematical sciences, economic sciences)

К ВОПРОСУ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЦЕПТУР ПРОДУКТОВ ЗДОРОВОГО ПИТАНИЯ С ЗАДАНЫМ СОСТАВОМ

ON THE ISSUE OF AUTOMATING THE DESIGN OF RECIPES FOR HEALTHY FOOD PRODUCTS WITH A SPECIFIED COMPOSITION

Набока Даниил Александрович
студент 4 курса факультета прикладной информатики
daniilnaboka@mail.ru

Naboka Daniil Aleksandrovich
4th year student of the Faculty of Applied Informatics
daniilnaboka@mail.ru

Барановская Татьяна Петровна
д-р экон. наук, профессор, зав. кафедрой системного анализа и обработки информации
SPIN-код: 2748-0302
ORCID 0000-0003-3005-5486
Scopus Author ID: 57191188597
bartp_2@mail.ru

Baranovskaya Tatyana Petrovna
Doctor of Economics, Professor, head of System Analysis and Information Processing Department
RSCI SPIN-code: 2748-0302
ORCID 0000-0003-3005-5486
Scopus Author ID: 57191188597
bartp_2@mail.ru

Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина, Россия, Краснодар 350044, Калинина 13

"Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin", Krasnodar 350044, Kalinina 13, Russia

В данной статье описываются результаты моделирования и разработки либо модификации алгоритмов, реализующих проектирование рецептур продуктов питания с заданным компонентным составом. В модели оптимизации рецептур продуктов питания на основе заданного соотношения компонентов предложено дополнительное ограничение, позволяющее задать коэффициент максимального уменьшения каждого ингредиента рецептуры. Предложен алгоритм подбора новых ингредиентов для моделируемого продукта, обеспечивающий решение задачи заданного количества элементов в готовом продукте, основанный на анализе максимальных значений количества и частоты встречаемости этого ингредиента в базовых рецептурах.

This article describes the results of modeling and development or modification of algorithms that implement the design of food recipes with a given component composition. In the model for optimizing food recipes based on a given ratio of components, an additional constraint is proposed that allows you to set the maximum reduction factor for each ingredient in the recipe. An algorithm for selecting new ingredients for a modeled product is proposed, providing a solution to the problem of a given number of elements in the finished product, based on an analysis of the maximum values of the quantity and frequency of occurrence of this ingredient in basic recipes. The structure of the database was modified and the server part of the digital tool was improved in order to ensure the implementation of these algorithms, as well as algorithms that allow optimizing recipes taking into account technological parameters at different stages of product production. The architecture of a unified software package for solving problems of optimizing food recipes is proposed. The developed software package was successfully tested using the example of solving such problems as optimizing the component composition of food products, optimizing recipes based on a given ratio of components. The testing results confirmed the adequacy of all created models. Conclusions were drawn about further prospects for the study

Модифицирована структура базы данных и доработана серверная часть цифрового инструмента для того, чтобы обеспечить реализацию данных алгоритмов, а также алгоритмов, позволяющих оптимизировать рецептуры с учетом технологических параметров на разных этапах производства продуктов. Предложена архитектура единого программного комплекса для решения задач оптимизации рецептур продуктов питания. Разработанный программный комплекс был успешно протестирован на примере решения таких задач, как оптимизация компонентного состава продуктов питания, оптимизации рецептур на основе заданного соотношения компонентов. Результаты апробации подтвердили адекватность всех созданных моделей. Были сделаны выводы о дальнейших перспективах исследования

Ключевые слова: ЗДОРОВОЕ ПИТАНИЕ, ПРОДУКТ, РЕЦЕПТУРА, КОМПОНЕНТНЫЙ

Keywords: HEALTHY FOOD, PRODUCT, FORMULATION, COMPONENT COMPOSITION,

СОСТАВ, АВТОМАТИЗИРОВАННАЯ СИСТЕМА, ИНГРЕДИЕНТ, ХИМИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ, ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС AUTOMATED SYSTEM, INGREDIENT, CHEMICAL ELEMENT, SOFTWARE PACKAGE.

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-194-033>

Введение. Одним из приоритетных направлений развития экономики России является вовлеченность населения в здоровый образ жизни, который, как один из основных компонентов, включает в себя производство продуктов здорового питания. Это стратегия реализуется в соответствии с Доктриной продовольственной безопасности Российской Федерации, регламентирующей, что расширение ассортимента и объемов производства пищевой продукции здорового питания массового потребления является одной из основных задач развития экономики государства [4]. Процесс разработки новых продуктов питания, обладающих заранее заданными свойствами и составом ингредиентов – сложный и трудоемкий процесс, требующий большого количества итераций расчетов задаваемых параметров, отработки полученных рецептов в промышленное производство. На каждом из перечисленных этапов требуется поддержка выполняемых операций специализированными информационными системами.

Анализ современного состояния изучаемого вопроса показал, что в 2022 г. коллективом авторов ФГБОУ ВО Кубанский ГАУ (Барановская Т.П., Вострокнутов А.Е., Иванова Е.А. и др.) были разработаны три цифровых инструмента, позволяющих проводить оптимизацию компонентного состава моделируемых продуктов питания, формирования сбалансированных рецептов и оптимизировать продукты питания сложного сырьевого состава [8, 9, 10]. Однако это была только первая версия цифровых инструментов, обладающая рядом недостатков, например, процесс оптимизации компонентов проводится только по количественному рецептурному содержанию компонентов, без добавления новых или исключения используемых, вся функциональность разделена на три приложения и др. Следовательно, разработка и совершенствование цифровых инструментов

<http://ej.kubagro.ru/2023/10/pdf/33.pdf>

моделирования функциональных продуктов питания с заданным составом является актуальной задачей.

Методы и материалы. В процессе исследования был проведен всесторонний анализ существующих на рынке программных решений и средств автоматизации проектирования продуктов питания. Результаты анализа показали, что хоть приложений данной направленности имеется достаточное количество, тем не менее, они не в полной мере удовлетворяют поставленным задачам, прежде всего, в части своего функционала, так как предназначены для решения отдельных локальных задач проектирования определенных категорий продуктов. При этом чаще всего используемым программным средством для проектирования рецептур все еще остается Microsoft Excel.

После проведения анализа существующих методов проектирования рецептур продуктов питания (экспериментально-статистическое моделирование, объектно-ориентированный подход, нечетко-множественные модели, нейронные сети) [1, 2, 3, 5, 6, 7] было принято решение об использовании методов линейного программирования и, в частности, симплекс-метода.

В данной статье предлагается архитектура, модели, алгоритмы обработки данных и их программная реализация с помощью современных стеков технологий, предназначенные для проектирования либо модификации рецептур практически любых категорий функциональных продуктов питания. На сегодняшний день реализованы такие базовые функциональные возможности программного средства, как ввод нормативной информации, проектирование рецептур, оптимизация компонентного состава продуктов питания, оптимизация рецептур на основе соотношения компонентов, расчет доли компонента от суточной доли потребности для заданной группы населения.

Одной из актуальных задач проектирования продуктов питания с заданным составом является модификация рецептур с соблюдением соотношений определенных химических элементов.

На первом этапе, так же, как и для базового алгоритма оптимизации рецептуры, выбирается продукт и загружается его рецептура. Дополнительными исходными данными являются пропорции, которым должны соответствовать определенные соотношения компонентов: указываются наименование химического элемента и его коэффициент в пропорции. Далее система вычисляет суммарное количество левого и правого химического элемента в соотношении по каждому ингредиенту, применяет к ним заданные коэффициенты, и после вычитания одной части неравенства из другой получает дополнительное ограничение для симплекс-метода. На выходе алгоритма после выполнения процедуры оптимизации выводится рассчитанный компонентный состав либо сообщение о том, что решения нет. Последний вариант вполне допустим, так как пользователь может задать некорректные или недостоверные значения коэффициентов пропорций.

Таким образом, к текущему времени была разработана математическая модель и алгоритм, решающие данную задачу, однако не лишённые некоторых недостатков. Одним из них являлось то, что в случае введения пользователем не совсем корректных данных о соотношениях модель предлагала просто удалить из компонентного состава продукта определенные ингредиенты, из-за чего на выходе модели могла сформироваться рецептура, не имеющая никакого отношения к исходному продукту.

В качестве решения этой проблемы предлагается ввести в модель дополнительное ограничение, которое не позволит при проведении оптимизации полностью убирать из рецепта определенные ингредиенты. Например, можно было бы перед запуском процедуры расчета предоставить пользователю возможность указания некоторого понижающего коэффициента, который бы задавал, насколько в абсолютном или

относительном значении можно увеличивать или уменьшать количество ингредиента, чтобы не «потерялись» базовые свойства проектируемого продукта. Для начала удобно было бы задавать этот коэффициент в процентном соотношении. Модифицированная блок-схема оптимизации рецептур продуктов питания на основе заданного соотношения компонентов представлена на рисунке 1. В ней цветом выделены те блоки, которые реализуют заявленный функционал.

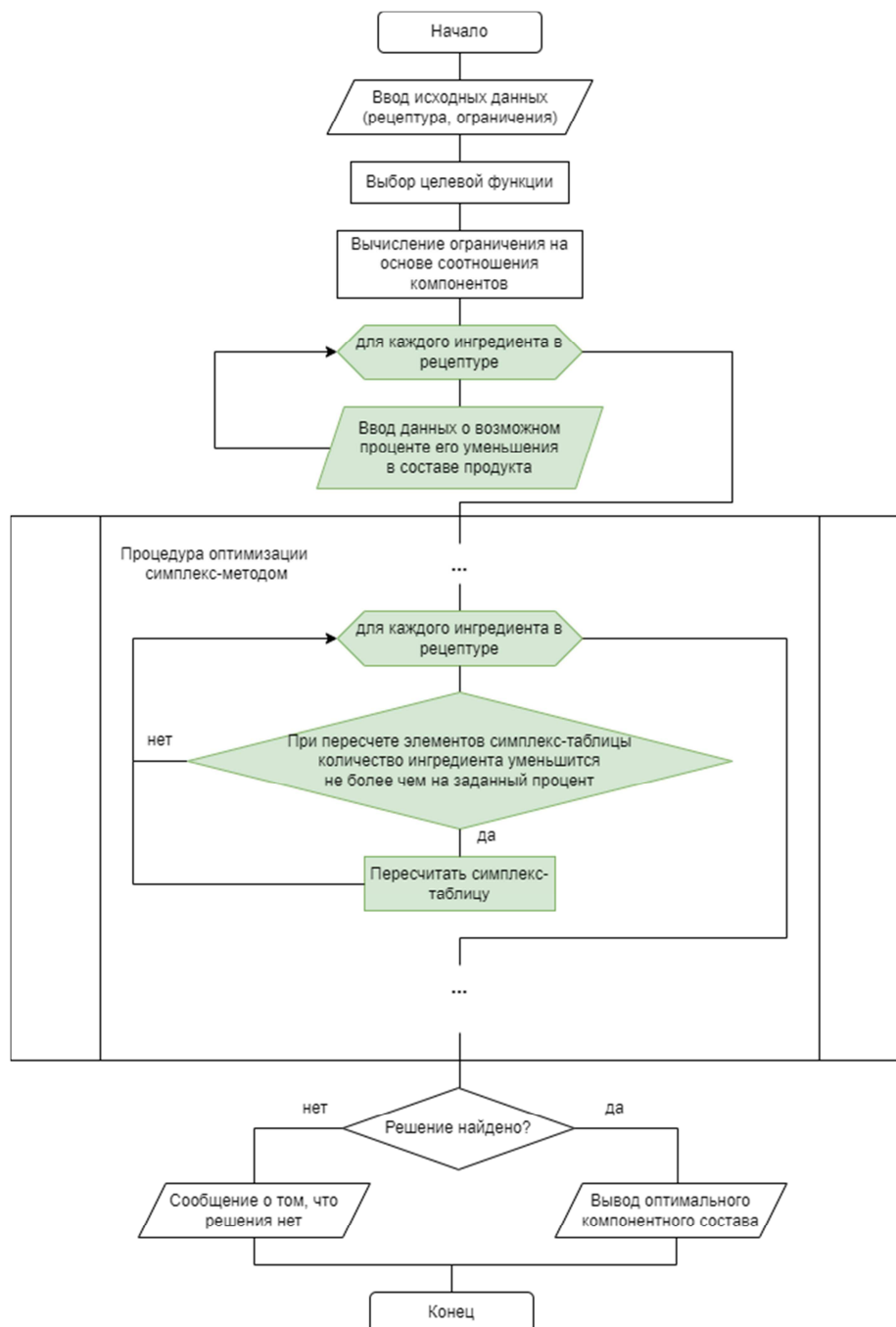


Рисунок 1 – Модифицированная блок-схема оптимизации рецептур на основе заданного соотношения компонентов

Еще одной возможностью уменьшить число неудачных попыток формирования рецептур является использование новых ингредиентов, замещающих те, которые использованы в стандартных рецептурах. Эти новые ингредиенты, естественно, обладают своим химическим составом и своими характеристиками, отличающимися от базовых ингредиентов и за счет этого придающие конечному продукту свои особенности.

Использовать такой подход предлагается в том случае, когда запуск процедуры оптимизации на основе простых ограничений или ограничений на основе соотношений компонентов не привел к желаемому результату, и искомая рецептура не была сформирована.

Алгоритм решения задачи сводится к поиску заранее заложенных в цифровом инструменте данных о том, какие ингредиенты формируемой рецептуры могут быть заменены, и на что именно заменены. Так как замещающих компонентов может быть несколько, то для каждого ингредиента, потенциально подлежащего замене, формируется список так называемых заменителей.

На следующем этапе список заменителей каждого ингредиента последовательно перебирается, и для каждого элемента списка загружается и оценивается его химический состав. Оценивание происходит по тем элементам, по которым запущена текущая процедура оптимизации на предмет максимальной приближенности к значениям, которых нужно достигнуть. Тот ингредиент, который подходит больше всего, и предлагается для замены. Снова запускается процедура оптимизации, и, если она завершается успешно, процесс останавливается, пользователю выводится сформированная оптимальная рецептура с замещающим ингредиентом. В противном случае делается попытка замены следующего ингредиента.

Блок-схема алгоритма приведена на рисунке 2.

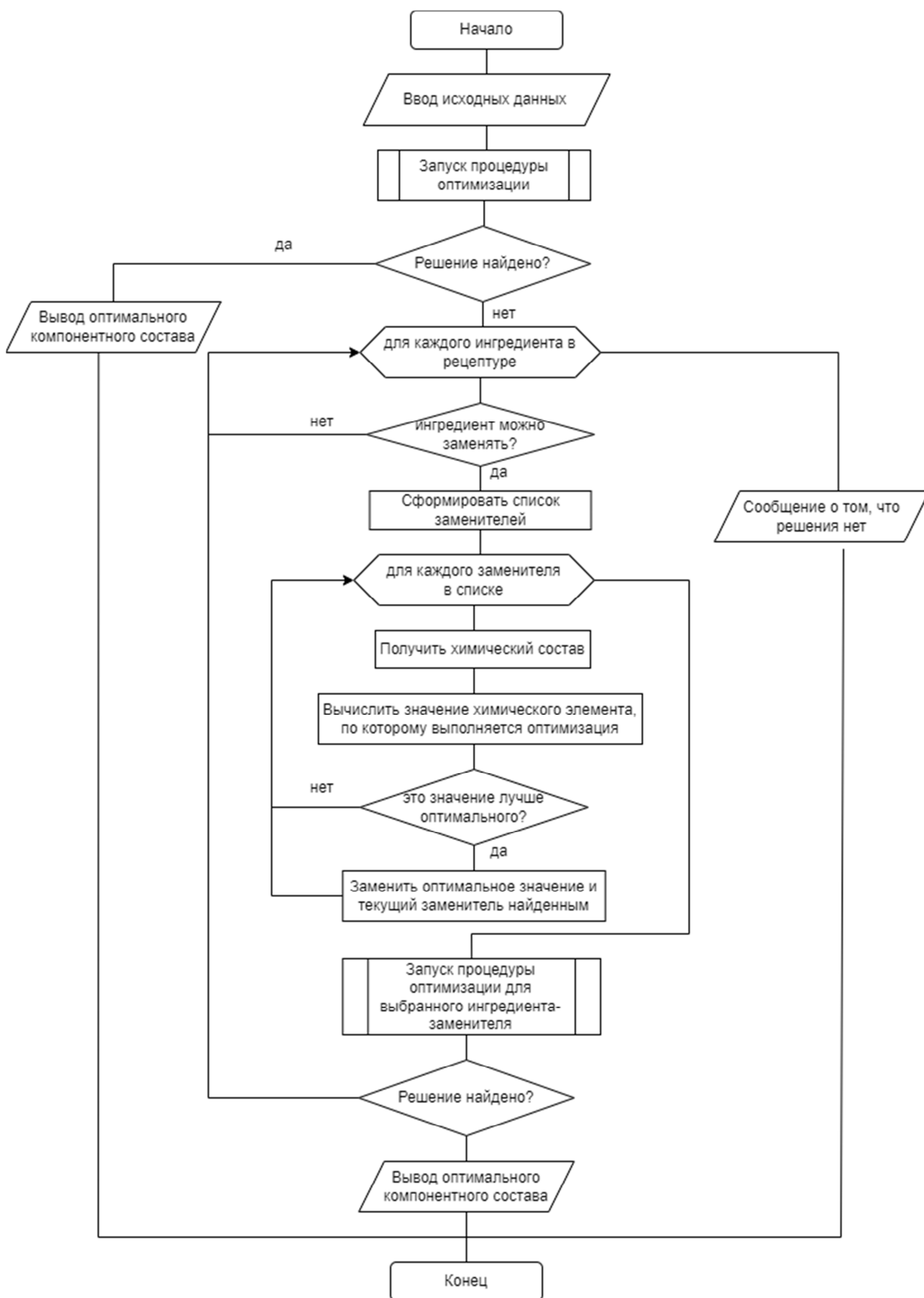


Рисунок 2 – Блок-схема алгоритма подбора замещающих ингредиентов

Ввиду того, что перечень разрабатываемых моделей и алгоритмов для проектирования рецептур продуктов питания продолжает пополняться и расширяться, реализация соответствующих цифровых инструментов в виде отдельных модулей не представляется целесообразным. Имеет смысл предложить архитектуру единого программного комплекса для решения задач проектирования и оптимизации рецептур, функционирующего на единой платформе, использующего единую базу данных и позволяющего пополнять набор реализуемых моделей и алгоритмов по мере их разработки.

Архитектура программного комплекса будет состоять из следующих взаимодействующих между собой компонентов:

– база данных, включающая в себя как нормативно-справочную информацию, так и основные таблицы по работе с рецептурами. Здесь следует отметить, что программная реализация изложенных выше алгоритмов требует некоторой модификации существующей структуры данных цифровых инструментов. Так, для хранения вновь появившейся информации необходима перестройка отдельных таблиц либо добавление новых сущностей. Для реализации модифицированной модели оптимизации рецептур продуктов питания на основе заданного соотношения компонентов необходимо где-то хранить данные о возможности уменьшения каждого ингредиента в рецептуре. Для обеспечения возможности замены ингредиентов в ту же таблицу следует добавить поле логического типа, отвечающее за то, подлежит ли текущий ингредиент рецептуры замене. Также для реализации алгоритма работы с ингредиентами-заменителями понадобится дополнительная таблица, хранящая данные о заменяемости ингредиентов. Заключительная модификация структуры базы данных касается создания алгоритмов, позволяющих оптимизировать рецептуры с учетом технологических параметров на разных этапах производства продуктов. С этой целью в состав таблиц БД можно добавить: справочник для хранения наименований этапов производства, справочник наименований технологических параметров, таблицу для хранения перечня

технологических параметров конкретного этапа производства, содержащую в себе внешние ключи для получения данных из соответствующих справочников, таблицу со значениями технологических параметров для проектируемой рецептуры;

– база моделей оптимизации рецептур, к которым относятся как ранее разработанные и реализованные модели, так и модели, описанные в данной статье. Общий перечень моделей будет в дальнейшем пополняться;

– программное обеспечение, включающее в себя модули для обеспечения работы с базой данных, для управления моделями и для настройки пользовательского интерфейса;

– пользовательский интерфейс.

Схема взаимодействия между собой отдельных компонентов архитектуры показана на рисунке 3.

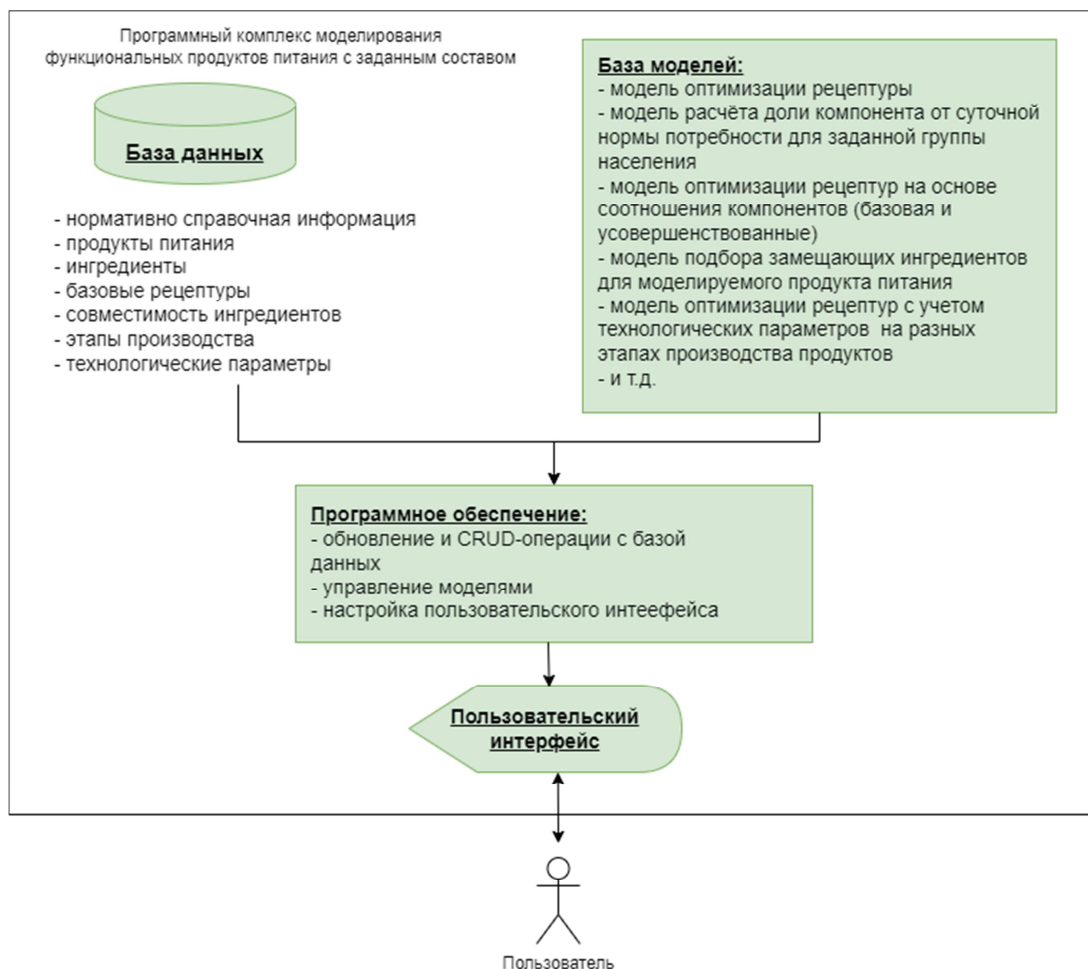


Рисунок 3 – Архитектура программного комплекса

Обсуждение результатов. Успешная реализация программного комплекса проектирования рецептур продуктов здорового питания позволила произвести экспериментальные расчеты на базе некоторых из описанных моделей.

На текущем этапе модель и алгоритм подбора замещающих компонентов находятся в стадии программной реализации, в то время как модификация алгоритма формирования рецептуры с учетом понижающих коэффициентов ингредиентов успешно реализована и апробирована. На этом же примере можно продемонстрировать и обновленную архитектуру программного комплекса. Интерфейс внешне похож на тот, который был реализован на начальном этапе проекта в отдельных цифровых инструментах, однако теперь он представляет собой единый программный комплекс с возможностью масштабирования.

Результат функционирования модели оптимизации компонентного состава с использованием понижающих коэффициентов приведен на рисунке 4. Эксперимент проводился для стандартной рецептуры хлеба белого из муки первого сорта с выходом продукта в 1 кг. Требовалось, чтобы полученная рецептура обеспечивала содержание витамина В1 в количестве 1500 мкг и витамина В2 в количестве 400 мкг, а также максимизировала энергетическую ценность продукта. При этом на вход модели было дано ограничение, что нельзя изменять количество любого ингредиента более чем на 30%. На выходе была успешно получена требуемая оптимальная рецептура.

Далее для той же стандартной рецептуры была апробирована модифицированная модель оптимизации рецептур на основе соотношения компонентов (рисунок 5). Здесь спроектирована рецептура, в которой соблюдается соотношение витаминов В1 и В2 в пропорции 3 к 1. А также, помимо базовых исходных данных, введены понижающие коэффициенты для каждого ингредиента, равные 40%.

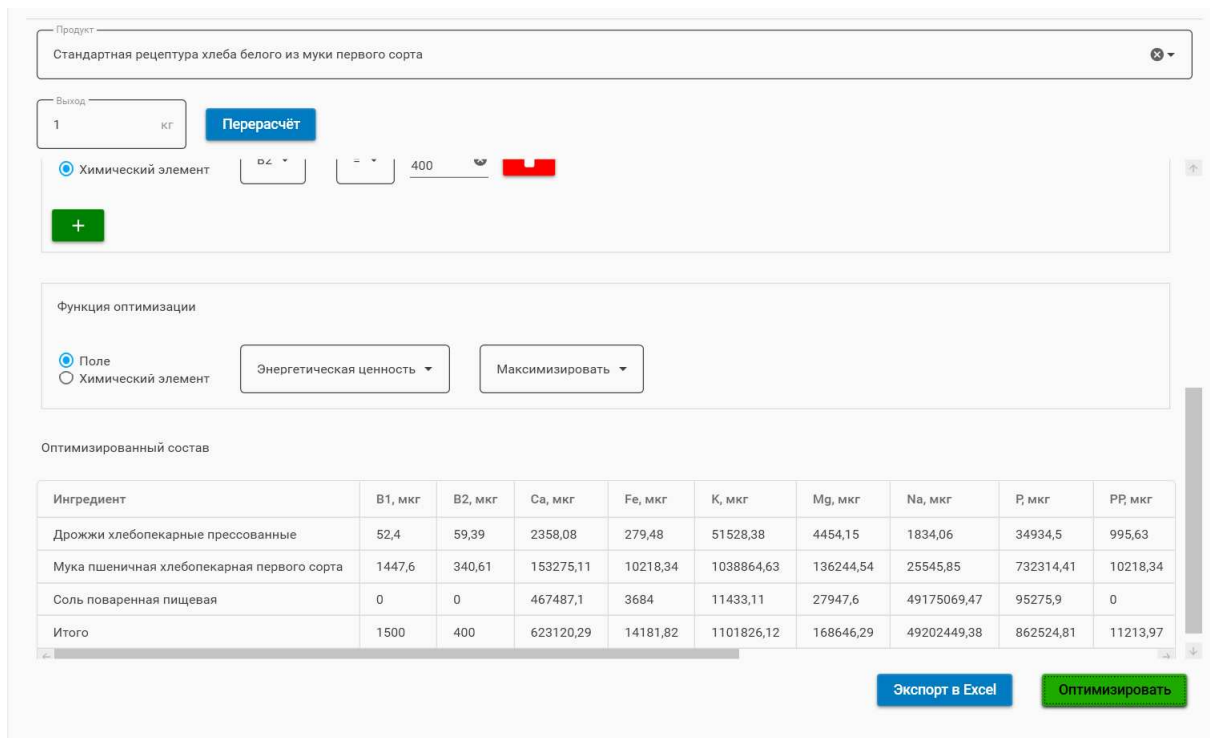


Рисунок 4 – Результат оптимизации рецептуры

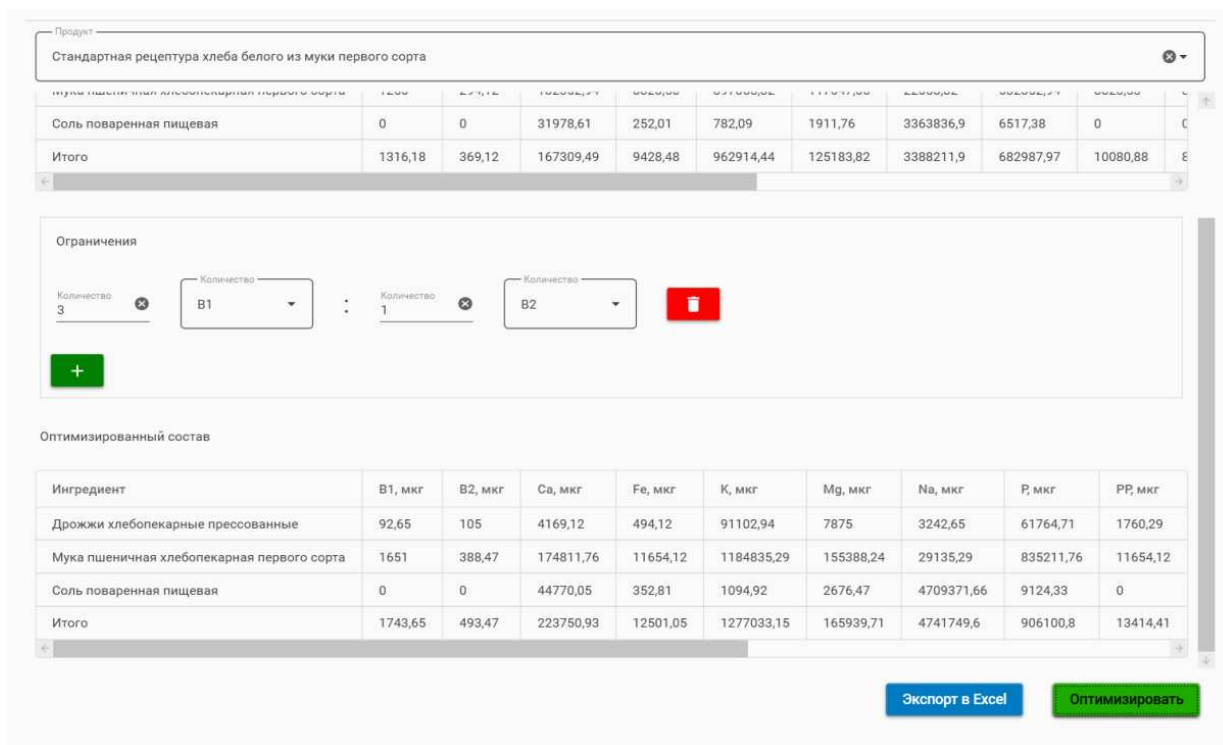


Рисунок 5 – Результат оптимизации рецептур на основе соотношения КОМПОНЕНТОВ

Проведенное тестирование работы программного средства наглядно продемонстрировало корректность и адекватность функционирования разработанных моделей и алгоритмов.

Заключение. Таким образом, в результате исследования были изучены существующие методики проектирования рецептур функциональных продуктов питания, рассмотрены имеющиеся на рынке программные средства данной направленности, описаны новые либо модифицированы имеющиеся методы и алгоритмы для решения базовых задач проектирования рецептур, реализован и апробирован интегрированный программный комплекс. Полученные результаты, обладая научной новизной, позволят выйти на качественно новый уровень в процессе математического моделирования продуктов здорового питания с заданным составом», а также снизить трудоемкость и повысить вариативность одного из важных этапов разработки технологий продуктов здорового питания – разработки рецептур с заданными значениями целевых компонентов.

В качестве дальнейших перспектив развития исследования следует отметить:

– реализацию и апробацию описанных в работе моделей и алгоритмов, предоставляющих возможность создания рецептур путем подбора и замены ингредиентов;

– автоматизированное формирование рецептур для продуктов питания с учетом того, что данный процесс может осуществляться в несколько этапов. Для каждого этапа производства при этом необходимо учитывать свои параметры и технологические характеристики.

Список литературы

1. Ławrynowicz A., Wróblewska A., Adrian W.T. [et al.] Food Recipe Ingredient Substitution Ontology Design Pattern // Sensors. 2022. Vol. 22. No 3.
2. Squeo G., De Angelis D., Leardi R. [et al.] Background, Applications and Issues of the Experimental Designs for Mixture in the Food Sector // Foods. 2021 .Vol. 10. No 5.
3. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания : учебное пособие / Е.И. Муратова, С.Г. Толстых, С.И. Дворецкий, О.В. Зюзина, Д.В. Леонов. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.

4. Доктрина продовольственной безопасности Российской Федерации, утвержденная указом президента РФ от 21.01.2020г. №20 [Электронный ресурс] / Режим доступа: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf>
5. Донских Н.В. Разработка автоматизированной информационной системы для расчёта и оптимизации рецептур / Н.В. Донских и др. // Известия вузов. Пищевая технология. – 2011. – № 2.-3 (320-321) – С. 122–123.
6. Зеленина Л.С. Разработка поликомпонентных пищевых систем методами компьютерного моделирования / Л.С. Зеленина, О.В. Зюзина // Вестник ТГТУ, 2011. – Том 17. № 4. – С. 992-1000.
7. Лисин П.А. Практическое руководство по проектированию продуктов питания с применением Excel, MathCAD, Maple : учебное пособие для вузов / Лисин П.А. – 3-е изд., испр. и доп. – Санкт-Петербург: Лань, 2022. – 260 с.
8. Першакова, Т.В. Методики и модели проектирования продуктов питания с заданным составом / Т.В. Першакова, Е.А. Иванова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2023. – № 80(2). – С. 1-22.
9. Першакова, Т.В. Разработка функционально-структурной модели процесса проектирования продуктов для персонализированного питания / Т.В. Першакова, Е.А. Иванова // Плодоводство и виноградарство Юга России. – 2023. – № 79(1). – С. 12-33.
10. Цифровые инструменты математического моделирования продуктов здорового питания с заданным составом [Текст] : отчет о НИР (заключит.) / Кубанский гос. аграрный ун-т; рук. Барановская Т.П. – Краснодар, 2022. – 115 с.

References

1. Ławryniewicz A., Wróblewska A., Adrian W.T. [et al.] Food Recipe Ingredient Substitution Ontology Design Pattern // Sensors. 2022. Vol. 22. No 3.
2. Squeo G., De Angelis D., Leardi R. [et al.] Background, Applications and Issues of the Experimental Designs for Mixture in the Food Sector // Foods. 2021 .Vol. 10. No 5.
3. Avtomatizirovannoe proektirovanie slozhnyh mnogokomponentnyh produktov pitaniya : uchebnoe posobie / E.I. Muratova, S.G. Tolstyh, S.I. Dvoreckij, O.V. Zjuzina, D.V. Leonov. – Tambov : Izd-vo FGBOU VPO «TGTU», 2011. – 80 s.
4. Doktrina prodovol'stvennoj bezopasnosti Rossijskoj Federacii, utverzhdannaja ukazom prezidenta RF ot 21.01.2020g. №20 [Jelektronnyj resurs] / Rezhim dostupa: <https://mcx.gov.ru/upload/iblock/3e5/3e5941f295a77fdcfed2014f82ecf37f.pdf>
5. Donskih N.V. Razrabotka avtomatizirovannoj informacionnoj sistemy dlja raschjota i optimizacii receptur / N.V. Donskih i dr. // Izvestija vuzov. Pishhevaja tehnologija. – 2011. – № 2.-3 (320-321) – S. 122–123.
6. Zelenina L.S. Razrabotka polikomponentnyh pishhevych sistem metodami komp'juternogo modelirovanija / L.S. Zelenina, O.V. Zjuzina // Vestnik TGTU, 2011. – Tom 17. № 4. – S. 992-1000.
7. Lisin P.A. Prakticheskoe rukovodstvo po proektirovaniju produktov pitaniya s primeneniem Excel, MathCAD, Maple : uchebnoe posobie dlja vuzov / Lisin P.A. – 3-e izd., ispr. i dop. – Sankt-Peterburg: Lan', 2022. – 260 s.
8. Pershakova, T.V. Metodiki i modeli proektirovanija produktov pitaniya s zadannym sostavom / T.V. Pershakova, E.A. Ivanova // Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii. – 2023. – № 80(2). – S. 1-22.
9. Pershakova, T.V. Razrabotka funkcional'no-strukturnoj modeli processa proektirovanija produktov dlja personalizirovannogo pitaniya / T.V. Pershakova, E.A. Ivanova // Plodovodstvo i vinogradarstvo Juga Rossii. – 2023. – № 79(1). – S. 12-33.
10. Cifrovye instrumenty matematicheskogo modelirovanija produktov zdorovogo pitaniya s zadannym sostavom [Tekst] : otchet o NIR (zakljuchit.) / Kubanskij gos. agrarnyj un-t; ruk. Baranovskaja T.P. – Krasnodar, 2022. – 115 s.