

8. Cooley J.W., Tukey J.W. An Algorithm for the Machine Calculation of Complex Fourier Series // Mathematics of Computation. Vol. 19. No. 2 (April 1965). Pp. 297–301.
9. Офман Ю.П., Карацуба А.А. Умножение многозначных чисел на автоматах // Доклады АН СССР. 1962. Т. 145. С. 293–294.
10. Железнов Н.А. Спектрально-корреляционный аппарат нестационарных сигналов. Л.: ЛЭТИ, 1980.
11. Вакман Д.Е., Вайнштейн А.А. Амплитуда, фаза, частота – основные понятия теории колебаний // Успехи физических наук. 1977. Т. 123. Вып.4. С. 657–682.
12. Трахтман А.М., Трахтман В.А. Основы теории дискретных сигналов на конечных интервалах. М., 1975.
13. Хармут Х.Ф. Несинусоидальные волны в радиолокации и радиосвязи. М.: Радио и связь, 1985.
14. Дедус Ф.Ф., Махортых С.А., Устинин М.Н., Дедус А.Ф. Обобщённый спектрально-аналитический метод обработки информационных массивов. М.: Машиностроение, 1999. 356 с.
15. Пономарева И.Д., Цепков Г.В. Устройство дискретной выборки. А. с. СССР № 547034, 1975.
16. Левин Б.Р. Теоретические основы статистической радиотехники. М.: Советское радио, 1974. Т. 1. 357 с.
17. Соловьёв С.Д., Сысин Г.В., Фалеев С.П. Некоторые свойства инвариантных измерителей параметров сигналов // В кн. Теория инвариантности и её применения. Киев: Наукова Думка, 1979. Ч. 2. С. 210–219.
18. Фалеев С.П. Расчет и моделирование устройств обработки сигналов систем управления. Л.: ЛЭТИ (ЛИАП), 1980.

УДК 330.1

doi:10.18720/SPBPU/2/id20-164

Карнов Валерий Иванович¹,

д-р техн. наук, профессор,

профессор кафедры «Информационные системы и технологии»;

Портнов Николай Михайлович²,

специалист проблемной научно-исследовательской лаборатории конструирования продуктов и рационов персонализированного питания

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЦЕПТУРНОГО СОСТАВА ПИЩЕВОГО ПРОДУКТА

^{1,2} МГУТУ им. К.Г.Разумовского (ПКУ),
Москва, Россия, ¹ vikarp@mail.ru, ² n.portnov@mgutm.ru

Аннотация. Математическая модель рецептуры пищевого продукта, включающая ингредиентный состав, нормы закладки, нутриентный состав, используется для обоснования оптимальной рецептурной комбинации. Для решения

многокритериальной задачи оптимизации используется целевая функция, учитывающая качество белков (аминокислотный скор), жиров (формула «идеального жира»), баланс пищевых веществ, обогащенность витаминами и микроэлементами в допустимых пределах, стоимость. Компьютерная система разработана на платформе «1С:Предприятие 8.3».

Ключевые слова: рецептура продукта, ингредиентный состав, нутриенты, оптимизация, компьютерная система.

*Valeriy I. Karpov*¹,
Professor, Doctor of Technical Sciences;
*Nikolay M. Portnov*²,
Specialist of the Problem research laborator
for the design of personalized food products and diets

OPTIMIZATION OF THE RECIPE COMPOSITION OF A FOOD PRODUCT

^{1,2} K.G. Razumovsky Moscow State University
of technologies and management (the First Cossack University),
Moscow, Russia,

¹ vikarp@mail.ru, ² n.portnov@mgutm.ru

Abstract. A mathematical model of the food product formulation, including the ingredient composition, norms of expenditure, and nutrient composition, is used to justify the optimal recipe combination. To solve the multi-criteria optimization problem, a target function is used that takes into account the quality of proteins (amino acid score), fats (the “ideal fat” formula), the balance of food substances, the enrichment of vitamins and trace elements within acceptable limits, and the cost. The computer system is developed on the “1С:Enterprise 8.3” platform.

Keywords: product formulation, ingredient composition, nutrients, optimization, computer system.

Введение

В настоящее время интенсивно развивающиеся в России пищевые технологии требуют эффективных средств разработки новых видов пищевой продукции с заданными и улучшенными показателями пищевой ценности. В связи с этим особую значимость приобретают средства компьютерного анализа и моделирования процессов пищевых производств и оптимизации ингредиентно-рецептурного состава в соответствии с задачами управления рациональным питанием.

1. Постановка задачи

Ингредиенты рецептур, продукты P представляют собой конечное множество $\{P\}$, мощность которого на практике составляет:

$$50 < |\{P\}| < 300.$$

Каждый **продукт** описывается набором атрибутов: N – наименование, C – код, E – единица измерения, NC – нутриентный состав на 100 г, который будем представлять кортежем $\langle N, C, E, NC \rangle$ (возможно также представлением неупорядоченным множеством именованных элементов). Элементы кортежа имеют различный тип: N – строка (на практике ограниченной длины), C – уникальный идентификатор в виде числа, E – кортеж $\langle N$ – наименование, M – вес в граммах \rangle , NC – конечное множество строк содержания нутриентов на 100 г продукта $\{\langle NU, K \rangle\}$, где NU – нутриент, K – содержание нутриента на 100 г продукта, при этом для NC установлено требование уникальности NU в наборе (по каждому нутриенту в наборе может содержаться только одна строка). На практике к данному ограничению следует добавить требование описания неизвестного (Null) значения для K , которое по умолчанию формулируется как «Null=0», следствием чего является получение при расчетах оценки снизу.

Для множества нутриентов $\{NU\}$, используемых для описания множества продуктов $\{P\}$, устанавливается требование гармонизации: для всех P используются нутриенты из множества $\{NU\}$; отсутствие содержательного дублирования NU (например, содержание белка описывается для всех продуктов одним и тем же нутриентом); желательность полноты кортежа $\langle \langle NU, K \rangle \rangle$ для каждого отдельного продукта P ; постоянство единицы измерения, используемой для каждого отдельного нутриента NU независимо от продукта.

На практике также желательна единообразная упорядоченность кортежа $\langle \langle NU, K \rangle \rangle$ в порядке следования NU во всех случаях представления таких кортежей. Следствием является представление общего («генерального») множества $\{NU\}$ в виде кортежа $\langle NU \rangle$. Т. о., перечень нутриентов на этикетке продукта, в карточке блюда, в расчете всегда упорядочен по группам нутриентов, как правило, в порядке убывания «от основных к минорным»: калорийность, белки, жиры, углеводы, витамины, микроэлементы.

Каждый нутриент NU описывается кортежем атрибутов: $\langle N$ – наименование, C – код, M – единица измерения \rangle . Для целей сопоставления данных нутриентов из различных источников к данному кортежу добавляются коды аналогичных нутриентов во внешних справочниках: INFOODS, USDA SR.

Единица измерения M , используемая для каждого отдельного нутриента, неизменна для всех случаев использования этого нутриента. Примеры: калорийность – ккал; белки, жиры, углеводы – г, витамины и минералы – мг, минорные витамины (А, В₁₂, D, Н, К, фолаты) и минералы (йод, селен, хром, кобальт, молибден) – мкг. Для целей представления информации для каждого нутриента определяется точность – число знаков после запятой.

Состав и мощность множества $\{NU\}$, т. е. номенклатуры нутриентов, определяется в результате предварительного исследования, целью которого является обоснованное формирование данного множества с учетом возможности применения тех или иных нутриентов для оценки пищевой ценности рациона питания, как с точки зрения существования методики оценки полезности/вредности, так и с точки зрения наличия данных содержания нутриента в продуктах.

Рецептуры (блюда) B , используемые в рационе, образуют конечное множество $\{B\}$, мощность которого на практике составляет $100 < |\{B\}| < 150$. В множестве $\{B\}$ каждый элемент описывается кортежем атрибутов $\langle N, C, R, O, M, NC, IC, D, T, S \rangle$, где N – наименование, C – код, R – номер рецептуры, O – выход, M – масса, NC – нутриентный состав на порцию, IC – ингредиентный состав, D – описание технологии приготовления, T – вид кулинарной обработки, S – источник рецептуры. Элементы кортежа имеют различный тип: N – строка (на практике ограниченной длины), C – уникальный идентификатор в виде числа, R – кортеж $\langle R1, V \rangle$ включающий номер рецептуры и вариант рецептуры; O – строка с разделителями («/»), описывающая вес блюда и его важных составных частей; M – число, вес в граммах; D – многострочный текст, описывающий технологию приготовления; T – кортеж с атрибутами, описывающими вид обработки и свойственные ему потери по весу и нутриентному составу; S – кортеж $\langle B, P \rangle$, где B – ссылка на публикацию, P – место в публикации. Значения размеров порции (атрибуты O – выход, M – масса) принадлежат кластерам допустимых значений (например, масса порции супа может принимать значения 500, 300, 250, а не произвольные, типа 234).

Нутриентный состав блюда NC представляет конечное множество строк, описывающее содержание нутриентов в блюде $\{\langle NU, K \rangle\}$, где NU – нутриент, K – содержание нутриента. Структура нутриентного состава совпадает с аналогичной структурой для продукта, для нее так же установлено требование уникальности NU в наборе (по каждому нутриенту в наборе может содержаться только одна строка). Различие состоит в том, что для продукта нутриентный состав указывается на 100 граммов, а для блюда – на одну порцию.

IC , состав ингредиентов (продуктов) в блюде, описывается кортежем строк т. н. «раскладки» $\langle IC_i \rangle$, где каждая строка IC_i представляет собой кортеж $\langle P, N, W, G \rangle$, в котором: P – продукт (из описанного выше множества $\{P\}$), N – норма закладки нетто (после первичной обработки); W – процент отхода при первичной обработке; G – норма расхода продукта брутто (до обработки, выдаваемое на пищеблок со склада). Значения N и G в данном кортеже указываются в базовой единице измерения для продукта P . Для продуктов в $\langle IC \rangle$ не устанавливается условие уникальности, т. к. продукт в раскладке может встречаться неоднократно. На

значения G и N устанавливаются ограничения: $G \geq N$, $G > 0$, $N > 0$, $0 < W < 100$, отражающие физический смысл норм закладки продуктов. Для строк раскладки, по которым нет отхода при первичной обработке, $W = 0$ и $G = N$. Взаимное соотношение значений G , N и W определяется формулой:

$$W = \frac{G - N}{G} \times 100. \quad (1)$$

Значения процентов потерь W при предварительной обработке не являются произвольными, принадлежат кластеру значений, специфическому для каждого отдельного продукта. Например, по ряду овощей (картофель, морковь, лук и др.) они устанавливаются, согласно существующему деловому обычаю, в зависимости от сезона или в целом на год. По другим продуктам, где предусмотрены акты проработки, значения процента потерь рассчитывается по серии контрольных взвешиваний и фиксируется документально. Существует подмножество продуктов, не имеющих потерь: $W = 0$, $N = G$.

Ингредиентный состав блюда IC используется для расчета его нутриентного состава NC суммированием содержания нутриентов продуктов из расчета норм закладки (нетто), за вычетом потерь при кулинарной обработке. Для описания вида кулинарной обработки используется атрибут блюда T , представляющий собой кортеж $\langle N, C, W, \langle NU, NW \rangle \rangle$, где: N – наименование вида обработки, C – уникальный код, W – процент потери по массе при данном виде обработки, а последний атрибут, набор потерь по нутриентам, представляет собой кортеж пар: NU – нутриент и NW – процент потерь по данному нутриенту при данном виде обработки.

Расчет показателей нутриентного состава блюда выполняется по формуле:

$$K_n = \left(\sum_{i=1}^{\text{Число ингредиентов}} KP_{i,n} \times N_i \right) \times (1 - NW_n / 100), \quad (2)$$

где K_n – содержание n -го нутриента, г,

n – номер нутриента,

i – номер ингредиента,

$KP_{i,n}$ – содержание нутриента n в ингредиенте i , приходящееся на 100 г продукта,

N_i – количество нетто i -го ингредиента в граммах,

NW_n – процент потерь нутриента n при данной кулинарной обработке.

Для значений NW справедливо ограничение: $0 < NW < 100$.

Для множества нутриентов, используемых для описания потерь при кулинарной обработке, справедливы общие правила гармонизации, применяемые для продуктов и блюд [3, 11].

Для расчета массы блюда M при условии полного указания ингредиентного состава, включая воду, используется формула:

$$M = \left(\sum_{i=1}^{\text{Число ингредиентов}} Nz_i \right) \times (1 - W / 100), \quad (3)$$

где i – номер ингредиента (продукта в составе рецептуры блюда),
 Nz_i – норма закладки i -го ингредиента по нетто в граммах,
 W – процент массовых потерь при кулинарной технологической обработке.

Оптимальная рецептура – вариант сочетания ингредиентов (продуктов), который является наилучшим с учетом критериев:

1. Качество белка. Определяется по аминокислотному скору (АКС) рациона, в соответствии с шаблоном незаменимых аминокислот для персоны. Для определения АКС используются сведения об аминокислотном составе среднесуточного потребления продуктов $\{PP\} \Rightarrow$ состав нутриентов $\{NU\}$ должен быть расширен введением 11 дополнительных нутриентов $\{NU_A\}$, а сведения о нутриентном составе – дополнены данными об аминокислотном составе продуктов. При расчете АКС также используется аминокислотный шаблон (в соответствии с возрастом), по которому определяется лимитирующая аминокислота, а затем и значение: $АКС(\{PP\}, Age)$.

2. Качество жиров. Определяется по «формуле идеального жира» (ФИЖ) [1, 2], применительно к персоне. ФИЖ представляет собой набор эталонных соотношений для жировых компонент. Итоговое значение оценки качества жиров определяется функцией свертки $FE(\{PP\})$, оценивающей меру приближения среднесуточного потребления продуктов $\{PP\}$ к набору данных эталонных соотношений. Для определения качества жиров используются сведения о составе компонент жира (жирные кислоты, фосфолипиды и др.), поэтому состав нутриентов $\{NU\}$ должен быть расширен введением 30 дополнительных элементов $\{NU_F\}$, а сведения о нутриентном составе продуктов $\{NC\}$ – дополнены данными о наличии этих нутриентов в используемых продуктах $\{P\}$.

3. Баланс основных пищевых веществ (по доле в калорийности либо по массе):

$$\sqrt{\left(\frac{C}{P} - \frac{C_N}{P_N}\right)^2 + \left(\frac{F}{P} - \frac{F_N}{P_N}\right)^2} \rightarrow \min, \quad (4)$$

где C – количество углеводов,

P – количество белка,

F – количество жиров,

$\frac{C_N}{P_N}$ – соотношение Углеводы/Белок в эталоне пищи,

$\frac{F_N}{P_N}$ – соотношение Жиры/Белок в эталоне пищи.

4. Минимизации отклонения от норм потребления по нутриентам: калорийности, основным пищевым веществам (белки, жиры, углеводы):

$$\bar{\Delta}(\{KC\}, \{Norm\}) \rightarrow \min.$$

5. Обогащенность витаминами. Повышенное по сравнению с нормой содержание для большинства витаминов необходимо с учетом не оцениваемых потерь на усвоение. При этом содержание каждого витамина не должно превышать допустимого уровня потребления по данному витамину. Необходимость обогащения устанавливается персонально.

С учетом возможного требования к обогащению одновременно несколькими витаминами оценка обогащенности выполняется функцией свертки:

$$EV(\{NC\}, \{NU_V\}, \{PN_V\}, \{AL_V\}), \quad (1)$$

где $\{NC\}$ – нутриентный состав среднесуточного потребления пищи,

$\{NU_V\}$ – множество витаминов ($\{NU_V\} \in \{NU\}$),

$\{PN_V\}$ – персональные рекомендации по обогащению определенными витаминами,

$\{AL_V\}$ – допустимые (безопасные) уровни потребления.

Значение функции определяется как свертка набора оценок по отдельным витаминам, «чем больше, тем лучше», при соблюдении пределов допустимости (превышение допустимых значений уменьшает результирующую оценку так, чтобы подавлять любое значение полезности обогащения). При отсутствии специальных персональных назначений ($\{PN_V\} = \emptyset$) функция возвращает ноль.

6. Обогащенность микроэлементами. Необходимость повышенного по сравнению с нормой содержания микроэлементов, с учетом потерь на усвоение, устанавливается персонально. Так же, как и для витаминов, содержание микроэлементов не должно превышать допустимых уровней. Разделение подмножества минорных нутриентов на непересекающиеся подмножества витаминов и микроэлементов связано с различием физической природы этих групп нутриентов и особенностями измерения их содержания. С учетом многокомпонентности микроэлементного состава к обогащению оценка выполняется функцией свертки:

$$EM(\{NC\}, \{NU_M\}, \{PN_M\}, \{AL_M\}), \quad (2)$$

где $\{NC\}$ – среднесуточный нутриентный состав потребляемой пищи,

$\{NU_M\}$ – множество микроэлементов ($\{NU_M\} \in \{NU\}$),

$\{PN_M\}$ – персональные рекомендации по обогащению определенными микроэлементами,

$\{AL_M\}$ – допустимые (безопасные) уровни потребления.

Значение функции определяется как свертка набора оценок по отдельным нутриентам, «чем больше, тем лучше». При отсутствии специальных персональных назначений ($\{PN_M\}=\emptyset$) функция возвращает нулевое значение. Соблюдение пределов допустимости обеспечивается алгоритмом: превышение допустимых значений уменьшает результирующую оценку так, чтобы подавлять любое значение полезности обогащения. В частности, превышение допустимых значений при отсутствии персональных назначений (когда $EM() = 0$), должно давать значения ниже нуля.

7. Минимизации стоимости. Оценка стоимости может определяться как в денежном выражении, так и по трудозатратам, в обоих случаях по правилу «чем меньше, тем лучше».

2. Оптимизация

Целью оптимизации рецептуры является составление такого сочетания ингредиентов, который является наилучшим. Стандартная математическая задача оптимизации формулируется следующим образом: среди всех X на множестве $\{X\}$, найти X^* , минимизирующий значение функции $f(X)$, или:

$$f(X^*) = \min(f(X)), X \in \{X\}.$$

При этом применение функции $\min()$ не является принципиальным и может быть заменено на $\max()$, а в общем случае – на любую другую функцию, возможные значения которой представляют собой **одномерное упорядоченное** множество, т. к. множество натуральных чисел \mathbb{N} , рациональных чисел \mathbb{R} или, применительно к обычаям товароведения, балльную шкалу (вида $\{1, 2, 3, 4, 5\}$) или диапазон, применяемый, например для значения процентной доли $[0, 100]$. Упорядоченность множества значений оценки необходима для сопоставления (сравнения) вариантов между собой.

Частные критерии оптимизации

Вышеперечисленные критерии оптимизации (1 – 7) могут быть использованы для оптимизации отдельно по каждому из них.

Для критерия 1 (аминокислотный скор) область значений представляет собой диапазон $[0, 100]$, с правилом трактовки «чем больше, тем лучше», также для отдельных продуктов наблюдаются значения > 100 . Т. о., для приведения к стандартной задаче оптимизации значение АКС инвертируется для получения трактовки «чем меньше, тем лучше» по правилу:

$$\begin{aligned} Q &= 100 - \text{АКС}, \text{ если } \text{АКС} < 100, \\ Q &= 0, \text{ если } \text{АКС} \geq 100 \end{aligned} \quad (3)$$

Для критерия 2 (качество жиров) расчет выполняется по набору эталонных соотношений компонент жирнокислотного состава, при этом

считается, что при попадании фактического значения в диапазон допустимых значений удаление от эталона равно 0, в противном случае показатель качества ухудшается с удалением от эталонного диапазона. При таком правиле формирования оценки совокупная оценка по всему набору соотношений представляет собой свертку (сумму) мер удаления фактических показателей от всех эталонов и будет соответствовать требуемой в стандартной задаче оптимизации трактовке «чем меньше, тем лучше».

Для критериев 3 и 4 (обогащение витаминами и микроэлементами) начальная оценка имеет трактовку «чем больше, тем лучше».

Для приведения к стандартной задаче оптимизации значение для каждого витамина/микроэлемента инвертируется следующим образом:

$$\begin{aligned} Q &= \frac{N}{K - N} \times 100 && \text{при } K > N, \\ Q &= 100 && \text{при } N = 0 \text{ или } K = N, \end{aligned} \quad (4)$$

где K – фактическое среднесуточное содержание нутриента,

N – норма потребления по нутриенту для данного питающегося.

Таким образом, получаем выраженную в процентах меру с условным названием «не-обогащенность», имеющую трактовку «чем меньше, тем лучше».

Для учета требования неперевышения допустимого уровня потребления к вышеприведенным формулам добавляем:

$$Q = 1000 \text{ при } K > UAL, \quad (5)$$

где UAL – предельный допустимый уровень потребления нутриента.

На практике для оптимизации требуется одновременный учет многих критериев, конфликтующих между собой. Для решения этой задачи используется объединяющая различные критерии целевая функция:

$$f(\langle Q_i, i = 1 \dots 12 \rangle) \rightarrow \min \quad (6)$$

где Q_i – оценка текущего варианта рецептуры по критерию i ,

Такая функция-свертка на входе имеет набор значений нескольких критериев, а на выходе дает числовое значение, используемое затем для ранжирования вариантов меню и выбора лучших из них: $f(\dots) \in R$.

В рамках данной работы в качестве многокритериальной целевой функции используется сумма взвешенных критериев.

$$f(M) = \sum_i (W_i \times Q_i(M)) \rightarrow \min \quad (7)$$

где W_i (коэффициенты при слагаемых) используются для указания важности критериев Q_i .

Набор таких коэффициентов значимости является средством настройки алгоритма оптимизации, необходимый для учета различий ситуации с питающимися и из-за малой формализации задачи разработки меню.

С учетом большого числа разнородных критериев для ясности и практичности применения многокритериальной целевой функции применяется предварительная гармонизация набора критериев:

- Показатели по всем критериям – квантифицируемые, а как следствие необходимости ранжирования – числовые.
- Для показателей, квантифицируемых с использованием шкал, используются одинаковые шкалы.
- Для показателей, задаваемых диапазонами – квантификация определяется удалением от диапазона.
- Для тех показателей, которые сами по себе являются многокритериальными (т. к. качество жира, оцениваемое на соответствие «формуле гипотетического идеального жира»), оценкой является мера совокупного удаления от желаемого набора показателей.

Заметим, что состав критериев оптимизации может корректироваться в зависимости от конкретных условий.

Для исключения какого-либо из критериев используется коэффициент значимости $W_i = 0$.

3. Разработанная компьютерная система

Для реализации постановки задачи была разработана компьютерная система (на платформе «1С:Предприятие 8.3») и составлена расширенная база данных нутриентов продуктов.

В разработанной программе был реализован комбинаторный подход с генерацией вариантов, их последовательной оценкой и выбором наилучших. Для достижения удовлетворительной производительности и получения практически значимых результатов при небольшом времени перебора в алгоритме генерации применяется предварительный анализ изменения целевой функции при изменении частных параметров, протоколирование оцененных вариантов, продолжение прерванной процедуры оценки.

Дополнительным полезным следствием комбинаторного подхода является получение набора вариантов рецептуры, доступных для экспертной оценки («прозрачность» результатов). Набор вариантов упорядочивается в соответствии с убыванием интегрального показателя качества так что первые из вариантов имеют наилучшие показатели. Комбинаторный подход также обеспечивает получение результата в случаях

несовместности исходных данных, препятствующих аналитическому решению задачи оптимизации, трансформируя задачу «получение наилучшего варианта» в более практичную задачу «получение варианта, обеспечивающего наибольшее приближение к эталону», иными словами, обладает повышенной устойчивостью.

Для использования средства оптимизации рецептура разрабатываемого продукта вводится в БД, с указанием диапазонов допустимых значений норм закладки ингредиентов – данные диапазоны определяются до оптимизации, на технологической стадии исследования. Программа обеспечивает оптимизацию рецептурного состава в соответствии с многокритериальным набором параметров.

Вид формы обработки проиллюстрирован ниже (рис. 1).

Для начала работы с разрабатываемой рецептурой, уже введенной в БД, в поле «Рецептура» выберите ее из справочника «Продукты». После выбора рецептуры в форму «Оптимизация» переносится состав ингредиентов рецептуры.

Правее названия рецептуры приводится ее выход (вес готового блюда) и общий вес ингредиентов – они требуются в процессе оптимизации для проверки соблюдения баланса по массе.

Ниже названия рецептуры в форме приводятся параметры оптимизации: веса значимости компонент многокритериальной оценки (для жира и белка), а также указывается ссылка на набор критериев «идеального жира» (таких наборов, в силу нерегламентированности понятия, может быть множество).

Над таблицей ингредиентного состава размещена командная панель с наиболее часто используемыми кнопками, ниже таблицы – средства для задания разброса значений ингредиентного состава.

Задача оптимизации состоит в том, чтобы подобрать комбинацию числовых значений закладки продуктов-ингредиентов так, чтобы оптимизировать значение интегральной функции оценки. Основной сценарий: пользователь программы указывает диапазон допустимых значений нормы для каждого ингредиента и запускает механизм перебора вариантов закладки продуктов, каждый из таких вариантов оценивается по частным критериям: аминокислотный скор по набору шаблонов, близость к формуле «идеального жира». Результаты анализа вариантов протоколируются для выбора вариантов с наилучшими значениями интегральной функции оценки и, соответственно, с лучшими показателями качества. По завершении перебора распечатывается «Выписка из протокола оптимизации», куда входят несколько вариантов с самыми лучшими значениями целевой функции.

← → ☆ **Оптимизация** ×

▶ Запустить Выписка из протокола оптимизации **Еще ▾**

Рецептура: Новая рецептура **⌵** Выход: 400 % отхода: 12,70 Сумма ингредиентов: 458,0 **⌵**

Вес компонента: А/К: 1,000 **⌵** Ж/К: 0,300 **⌵**

Формула жира: Гипотетический идеальный жир **⌵**

Состав **Протокол**

Обновить состав Проверить чувствительность строк **⌵** **⌵** Оценить число вариантов

Продукт	Минимум	Максимум	Оптимум
Чечевица, зерно	35	45	
Киноа (лебеда), сырое	55	65	
Масло льняное	8	10	
Разрыхлители, сода для выпечки	4	4	
Соль поваренная пищевая	5	5	
Подсолнечник	15	20	
Семя, льняное	20	30	
Сироп, кукурузный, темный	14	14	
*Вода	270	300	
	426	493	

Процент разброса исходных значений: 3 **Заполнить минимум/максимум**

Файл-флажок "Выполнение": D:\Кокорина\ИБ\Выполнение. **Открыть каталог**

Рис. 1. Форма обработки «Оптимизация»

По результатам оптимизации оптимальный вариант сохраняется в базе данных. Для анализа схожих вариантов формируется «Выписка из протокола оптимизации», пример которой приведен ниже (табл. 1). По результатам оптимизации оптимальный вариант сохраняется в базе данных. Для анализа схожих вариантов формируется «Выписка из протокола оптимизации», пример которой приведен ниже (табл. 1). Каждый вариант в протоколе описывается набором данных закладки продуктов, в итоговой части выдаются значения целевой функции и ее главных компонент.

Заключение

В работе были изучены современные способы объективной оценки качества пищевых продуктов, построены цифровые модели продуктов и рецептур, разработана компьютерная программа для моделирования свойств и процессов оптимизации разрабатываемых пищевых продуктов: информационная база нутриентного состава продуктов по расширенному набору показателей, расчет нутриентного состава рецептуры с учетом потерь при обработке, оценка качества белка (аминокислотного сора), оценка качества жирнокислотного состава, многокритериальная оптимизация рецептурного состава.

Таблица 1

Пример «Выписки из протокола оптимизации»

Продукты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Чечевица, зерно	41	41	41	41	41	41	41	41	41	41	40
Киноа (лебеда), сырое	58	58	58	58	58	58	59	58	59	58	58
Масло льняное	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9	9
Разрыхлители, сода для выпечки	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Соль поваренная пищевая	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Подсолнечник	19	19	18	19	18	17	19	18	19	17	19
Семя, льняное	24	25	24	26	25	24	24	26	25	25	24
Сироп, кукурузный, темный	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
*Вода	283 284 285	282 283 284	284 285 286	281 282 283	283 284 285	285 286 287	282 283 284	282 283 284	281 282 283	284 285 286	284 285 286
Целевая функция	40,242	40,224	40,219	40,206	40,2	40,195	40,194	40,182	40,177	40,176	40,173
АКС	22,398	22,38	22,374	22,362	22,356	22,35	22,35	22,338	22,332	22,332	22,329
ЖК	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481	59,481

Список литературы

1. Simonopoulos A.P. The omega-6/omega-3 fatty acid ratio: health implications // OCL. 2010. Vol. 17. № 5 (Septembre-Octobre 2010).
2. Лисин П.А. Компьютерное моделирование производственных процессов в пищевой промышленности. СПб: Лань, 2016.
3. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO technical report series. Geneva: WHO Press, 2007. No. 935.
4. Надточий Л.А., Орлова О.Ю. Пищевая комбинаторика. СПб.: ИТМО, 2015.
5. Никитина М.А., Чернуха И.М. Многокритериальная оптимизация рецептурного состава продукта // Теория и практика переработки мяса. 2018. № 3(3). С. 89–98. DOI: 10.21323/2414-438X-2018-3-3-89-98.
6. Лисицын А.Б., Никитина М.А., Сусь Е.Б. Оценка качества белка с использованием компьютерных технологий // Пищевая промышленность. 2016. № 1, С.29–29.
7. Мусина О.Н. Компьютерное проектирование рецептур. М.: Директ-медиа, 2015.
8. Муратова Е.И и др. Автоматизированное проектирование сложных многокомпонентных продуктов питания. Тамбов: ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011.
9. Садовой В.В. Разработка научных принципов проектирования состава и совершенствования технологии многокомпонентных мясных изделий с использованием вторичных ресурсов пищевой промышленности: автореф. дис. ... докт. техн. наук. Ставрополь, 2007.
10. МР 2.3.1.2432-08 – Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации.
11. EFSA, Reference Values for fats, including saturated fatty acids, polyunsaturated fatty acids, monounsaturated fatty acids, trans fatty acids, and cholesterol // EFSA Journal. Parma, 2010. Vol. 8(3):1461. [107 pp.]. DOI:10.2903/j.efsa.2010.1461.
12. El-Beltagi et al. Evaluation of fatty acids profile and the content of some secondary metabolites in seeds of different flax cultivars // Gen. Appl. Plant Physiology. 2007. Vol 33 (3–4).
13. Терещук Л.В. и др. Оптимизация состава жировых композиций для спредов // Техника и технология пищевых производств. 2014. № 4. С. 63–71.
14. Saaty T., Vargas L. Models, Methods, Concepts & Applications of the Analytic Hierarchy Process (2nd ed.). Boston: Kluwer Academic Publishers, 2012.