ИПМ им.М.В.Келдыша РАН • Электронная библиотека

Препринты ИПМ • Препринт № 136 за 2019 г.

ISSN 2071-2898 (Print)
ISSN 2071-2901 (Online)

Гавриков М.Б., Кислицын А.А.,
Орлов Ю.Н., Пестрякова Н.В.

Вычислительные аспекты
задач цифровой
нутрициологии

Рекомендуемая форма библиографической ссылки: Вычислительные аспекты задач цифровой нутрициологии / М.Б.Гавриков [и др.] // Препринты ИПМ им. М.В.Келдыша. 2019. № 136. 16 с. <http://doi.org/10.20948/prepr-2019-136>
URL: <http://library.keldysh.ru/preprint.asp?id=2019-136>

О р д е н а Л е н и н а
ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
имени М.В.Келдыша
Р о с с и й с к о й а к а д е м и и н а у к

М.Б. Гавриков, А.А. Кислицын,
Ю.Н. Орлов, Н.В. Пестрякова

**Вычислительные аспекты
задач цифровой нутрициологии**

Москва — 2019

Гавриков М.Б., Кислицын А.А., Орлов Ю.Н., Пестрякова Н.В.

Вычислительные аспекты задач цифровой нутрициологии

Анализируется математическая модель расчета состава и величины порций оптимального меню в зависимости от антропометрических характеристик пользователя. Показано, что в силу плохой обусловленности пищевой матрицы расчетная модель должна основываться на балансе только макронутриентов, а остальные составляющие необходимых веществ оптимизируются на следующих этапах расчета. Исследованы спектральные портреты пищевых матриц для различных вариантов меню.

Ключевые слова: анализ антропометрических данных, матрица нутриентов, спектральный портрет, цифровая нутрициология

Gavrikov M.B., Kislitsyn A.A., Orlov Yu.N., Pestriakova N.V.

Computational aspects of the problems of digital nutrition

The mathematical model of calculation of composition and size of portions of the optimal menu depending on anthropometric characteristics of the user is analyzed. It is shown that due to the poor conditionality of the food matrix, the calculation model should be based on the balance of only macronutrients, and the remaining components of the necessary substances are optimized at the next stages of calculation. Spectral portraits of food matrices for different menu options were studied.

Keywords: analysis of anthropometric data, nutrients matrix, spectral portrait, digital nutrition science

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ, проект № 18-01-00619

Содержание

1. Введение	3
2. Постановка задачи и методы решения	5
3. Организация структуры вычислительной платформы	8
4. Анализ устойчивости матрицы нутриентов	11
5. Заключение.....	15
Список источников.....	16

1. Введение

В настоящее время в России отсутствует комплексная вычислительная программа, охватывающая не только персонифицированные, но и укрупненные региональные аспекты нутрициологии, а также методика построения соответствующих алгоритмов с использованием как детерминированных моделей типа энергетического баланса, так и статистических моделей, использующих результаты обработки большого объема данных. В данной работе освещаются некоторые аспекты вычислительных проблем в этой области.

Создание программных продуктов для цифровой нутрициологии предполагает решение следующих задач.

1. Цифровая трансформация данных о физиологических потребностях человека в пищевых и биологически активных веществах и энергии, химическом составе основных пищевых продуктов и создание вычислительной программы для разработки персонализированных рекомендаций по оптимальному питанию.

2. Разработка статистических моделей по особенностям питания. Использование для этой цели медицинских рекомендаций, прогноза количественного, возрастного изменения структуры населения, экологической обстановки, национальных особенностей для прогнозирования производства необходимых продуктов для рационального питания в РФ до 2035 г.

3. Создание программы по разработке персонифицированных рекомендаций по оптимальному питанию на основе обработки неперсонифицированных данных по диетологии.

Современное состояние решаемой проблемы представлено в обзорных материалах [1, 2]. В этих материалах большей частью рекламируются отдельные виды программной продукции для определенных узких задач. Это, например, различные калькуляторы калорийности питания для персонального использования, алгоритмы составления ресторанных меню и т.п.

В частности, в обзоре [1] были рассмотрены характеристики компьютерных программ, которые позиционировались как инструменты для оценки фактического питания, перечислены их основные свойства и возможности использования в практической диетологии.

Согласно [1, 2], существуют достаточно однотипные программы, называемые «Оценка фактического питания», «Индивидуальная диета», «Диетолог», «Nutrilogic», «Idealnutrient» и ряд других, исходными данными для которых являются сведения, полученные при опросе пациента: возраст и антропометрические данные, данные о физической активности, сведения о потреблении продуктов и блюд. По каждому продукту в программу вводят объем порции и частоту потребления. В итоге получают сведения о среднесповседневном потреблении. Итоговый протокол работы программы содержит рассчитанный уровень величины основного обмена, рекомендации по

калорийности, структуру показателей пищевой ценности по продуктовым группам, а также график характеристик пищевой ценности в отношении к нормам. Нормы обычно соответствуют рекомендациям Минздрава [3].

Существуют также бухгалтерские программы составления меню и сопроводительных отчетных документов для учреждений общественного питания, такие, например, как «Рацион» и «Меню», которые автоматизируют функции врача-диетолога, бухгалтера-калькулятора или кладовщика по расчету питания и учету приготовления блюд на пищеблоках лечебно-профилактических учреждений стационарного типа. Такие программы не могут быть использованы для научно-исследовательских целей.

Таким образом, существующие программные продукты в области диетологии объединяет основное направление специализации и метод составления индивидуальных диет на основе опроса пациента с целью получения статистической информации для определения количества потребляемой пищи в зависимости от физических нагрузок, антропометрических данных и т.п. с последующим сравнением итоговых значений с нормой для оценки состояния питания и генерацией вывода о пищевом статусе респондента. Различия относятся к программной среде разработки и пользовательскому интерфейсу, к операционным системам, а также к составу используемых данных.

Основная вычислительная составляющая программных алгоритмов – это линейное программирование (наполнение суточного меню) в условиях ограничений на суммарное содержание нутриентов. Остальные алгоритмы относятся к работе с базами данных. Однако на практике алгоритмы оптимизации не применяются, поскольку задача имеет высокую размерность. Вместо этого все программы содержат варианты стандартных суточных диет, которые модифицируются под конкретного потребителя, но оптимизации как таковой не проводится. Программы отличаются главным образом количеством вариантов стандартных диет и объемами баз данных по продуктам и нутриентам.

Сложность с подбором блюд в стандартных программах состоит в том, что невозможно создать разумное меню на сутки, в котором бы пользователь потреблял мясомолочную продукцию, рыбу, птицу, все виды круп, картофель, яйца, полный набор овощей, фруктов и т.п. в соответствии с представлениями о необходимом годовом потреблении. Составлять же набор суточных меню на год так, чтобы в среднем получались рекомендуемые Минздравом объемы потребления, непрактично, поскольку фактическое питание через месяц-другой будет заведомо отклоняться от предписанного.

Следовательно, рассчитываемое меню должно быть, с одной стороны, в некотором смысле случайным, а с другой – содержать необходимые суточные калории в виде макронутриентов. В настоящей работе формулируется подход к решению такой задачи и описываются некоторые вычислительные трудности, возникающие на этом пути.

2. Постановка задачи и методы решения

Задачей цифровой нутрициологии является создание инструментария для автоматического составления суточных меню блюд на произвольно задаваемый горизонт планирования (в сутках) в зависимости от пожеланий пользователя (или, как вариант, рекомендаций врача-диетолога) и его антропометрических и иных данных. Выделяются три крупных блока, из которых состоит любая программная реализация той или иной модели в области нутрициологии.

Первый блок представляет собой совокупность моделей усвоения продуктов питания организмом человека (или животного, если задача относится к животноводству и т.п.), имеющего определенные характеристики. К базовым характеристикам относят пол, возраст, рост, массу тела, массу жировой ткани, физическую активность. Дополнительными параметрами, влияющими на выбор продуктов питания, являются заболевания, которые (если они есть у пользователя) вносят ограничения или, наоборот, определенные включения в меню, а также регион проживания, культурные традиции и индивидуальные предпочтения определенных продуктов.

Второй блок – это база данных по химическому составу продуктов питания. В этот блок входит как собственно нутриентный состав продуктов, так и расчет соответствующего состава, который получается для блюда, состоящего из заданного набора ингредиентов после его приготовления.

Третий блок представляет собой математическую обвязку первого и второго блоков, необходимую для решения следующей задачи: выбрать из второго блока совокупность продуктов и блюд и определить величины их порций, необходимые для удовлетворения вектора суточных потребностей в нутриентах, которые определяются в первом блоке по заданным антропометрическим и иным характеристикам пользователя. Также в этот блок входит набор статистических функций, позволяющих провести сравнительный анализ различных вариантов меню, определить точность решения указанной задачи, провести классификацию пользователей по предпочитаемым типам меню и решать иные статистические задачи, связанные с нутрициологией.

Таким образом, задача формирования меню блюд является задачей линейного программирования с ограничениями на компоненты вектора решения: они (величины порций блюд) должны быть строго положительны.

Пусть K есть суммарное суточное потребление продуктов и блюд. Обычно их число варьируется от 10 до 20. Например, завтрак – 3 блюда: кисломолочный продукт или каша, хлеб с маслом (тост, булочка), напиток (кофе, чай, сок). Обед – 5 блюд: первое, второе, салат, напиток, хлеб, соусы. Фрукты. Ужин – 4 блюда: одно горячее блюдо, напиток, хлебобулочные изделия, закуска. Конечно, возможны и другие варианты режима питания.

Введем следующие обозначения. Вектор потребностей в i -ом нутриенте считается заданной величиной и обозначается F_i . Как нутриентный состав продуктов, так и ингредиенты блюд известны. Тогда считается известной «пищевая матрица» A_{ij} массового содержания i -го нутриента в j -ом блюде меню из расчета на 100 г блюда. Обозначим x_j величину порции j -го блюда.

Тогда уравнение, решаемое для определения коэффициентов x_j , имеет вид линейной системы $A\mathbf{x} = \mathbf{F}$ или

$$\sum_{j=1}^K A_{ij} x_j = F_i, \quad (1)$$

решаемое при условиях $x_j > 0$.

Матрица A_{ij} представляет основную характеристику базы данных цифровой нутрициологии. Ее базисный минор определяет точность, с которой определяется весовой состав блюд меню. Формально решение уравнения (1) осуществляется средствами аппарата вычислительной линейной алгебры в зависимости от структуры матрицы A_{ij} . Однако на практике могут возникнуть трудности, связанные с плохой обусловленностью пищевой матрицы. Цель данной работы состоит в описании методики, позволяющей получить решение в математически корректной форме и с разумными коэффициентами. Последнее замечание существенно, так как имеется достаточное количество примеров «программ» составления «оптимального» суточного меню (например, [4]), в которых пользователю предлагается доступный и дешевый набор продуктов в виде полутора литров воды, одной рыбы путассу, полстакана подсолнечного масла, 2,5 г соли и почти 600 г овсяной крупы (т.е. фактически стандартной коробки, которой хватает на 15-20 обычных порций).

В зависимости от структуры пищевой матрицы возможны следующие варианты решения уравнения (1) в виде математически точных ответов.

Вариант 1. Число K блюд меню в точности равно числу N балансируемых нутриентов. Матрица A_{ij} в этом случае – квадратная размеров $N \times N$. Если эта матрица невырождена, то существует обратная матрица A^{-1} , которая также считается известной, после чего формальное решение уравнения (1) имеет вид

$$\mathbf{x} = A^{-1}\mathbf{F}. \quad (2)$$

Однако оно должно удовлетворять дополнительному условию. Именно, компоненты найденного решения (доли блюд в меню) должны быть строго положительными: $x_j > 0$ и, более того, находиться в пределах некоторых естественных размеров блюда, априори известных.

Вариант 2. Число K блюд меню меньше числа балансируемых нутриентов. Тогда матрица A_{ij} – прямоугольная размеров $N \times K$, базисный минор имеет ранг $K < N$. Система в общем случае несовместна, т.е. получить решение задачи по всем нутриентам невозможно. Необходимое условие существования решения – $\text{rang } A = \text{rang}[A, \mathbf{F}]$, где $[A, \mathbf{F}]$ – расширенная матрица, полученная из матрицы A добавлением вектора $\mathbf{F}$ в качестве дополнительного столбца. В случае, когда это известное из курса линейной алгебры условие не выполнено, можно поступить двумя способами.

Первый способ. Поставим следующую задачу поиска обобщенного решения: найти $x_j \geq 0$, $1 \leq j \leq K$, которые доставляют минимум функции

$$\sum_{i=1}^N \left(\sum_{j=1}^K A_{ij} x_j - F_i \right)^2 \rightarrow \min, \quad 1 \leq j \leq K, x_j \geq 0. \quad (3)$$

Известно [5], что эта задача всегда имеет решение. Если при этом оказалось, что $\text{rang } A = K$, то решение единственное.

Если отбросить условие $x_j \geq 0, 1 \leq j \leq K$, то в случае $\text{rang } A = K$ решение легко ищется из необходимого условия экстремума и имеет вид

$$x = (A^T A)^{-1} A^T F, \quad (4)$$

где A^T – транспонированная матрица, причем $A^T A$ – положительно определенная и, в частности, невырожденная матрица.

В общем случае с учетом ограничений $x_j \geq 0, 1 \leq j \leq K$ обобщенное решение ищется с использованием множителей Лагранжа.

Второй способ. Поскольку непосредственная цель суточного питания состоит в балансировке калорий, то три компонента (белок, жир, углевод) могут быть определены, если число блюд не меньше трех. Остальные компоненты в этом случае должны определяться по более широкому диапазону времени потребления – неделя, две недели, месяц. Следовательно, вместо исходной задачи можно решить уравнение относительно величин порций, например, для меню на неделю, которое содержит не менее чем N блюд, а затем провести разбиение этих блюд по дням с учетом ограничения по суточной калорийности. Таким образом, случаем общего положения при решении задачи по второму способу является нижеследующий вариант 3.

Вариант 3. Число K блюд меню больше числа N балансируемых нутриентов. Тогда матрица A_{ij} – прямоугольная размеров $N \times K$, базисный минор имеет ранг N , а система (1) в общем случае имеет более одного решения. Представим матрицу A в блочном виде, выделив базисный минор G и оставшуюся подматрицу U :

$$A = \begin{bmatrix} G_{N \times N} & U_{N \times K-N} \end{bmatrix}.$$

Тогда уравнение (1) имеет вид:

$$A\mathbf{x} \equiv G \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_N \end{pmatrix} + U \begin{pmatrix} x_{N+1} \\ \dots \\ x_K \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} F_1 \\ \dots \\ F_N \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Таким образом, коэффициенты использования первых N блюд меню зависят от произвольно выбранных неотрицательных коэффициентов остальных $K - N$ блюд при условии неотрицательности решения относительно всех компонент $\mathbf{x}$:

$$\begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_N \end{pmatrix} = G^{-1} \begin{pmatrix} F_1 \\ \dots \\ F_N \end{pmatrix} - G^{-1} U \begin{pmatrix} x_{N+1} \\ \dots \\ x_K \end{pmatrix}. \quad (6)$$

Следовательно, алгоритм действий по составлению суточного меню состоит в приведении к равенству числа нутриентов и числа блюд. Он представляется следующим.

Пусть суточное меню имеет число блюд, равное K , и пусть n есть ближайшее целое к отношению числа нутриентов к числу блюд $[N/K] = n \geq 1$. Если при этом $N/K > n$, то некоторые блюда из n -дневного меню вычеркиваются так, чтобы выполнялось условие $N/K = n$. Если же $N/K < n$, то некоторые блюда дописываются в меню последнего дня. Вычеркивание и дописывание носит формальный характер и не является изменением меню. Оно, скорее, является частичным изменением рецепта некоторых блюд.

Вычеркивание представляет собой объединение некоторых блюд в одно. Поскольку стандартное суточное меню имеет меньшее число блюд, чем число нутриентов, объединение в случае большего числа блюд всегда возможно. Оно относится к салатам и закускам, а также к блюду в виде «чай с конфетой», если первоначально в меню были отдельно позиции «чай» или «кофе» и «конфета» или «пирожное».

Дописывание новых блюд в меню означает фактически разложение некоторых из них на ингредиенты, каждый из которых может рассматриваться как самостоятельный продукт питания (блюдо): «кофе глясе» = «кофе» + «мороженое». Если таких блюд нет, то в меню последнего дня дописываются низкокалорийные блюда.

Эти действия приводят к первоначальному формированию меню на n дней, исходя из расчета, что суммарное количество блюд равно N , т.е. числу балансируемых нутриентов. Для каждого такого меню составляется матрица A и вычисляется обратная матрица A^{-1} . Эти объекты являются характеристиками Базы Данных по химическому составу продуктов и по блюдам, а не являются свойствами потребителя, поэтому могут быть вычислены заранее. После этого задача решается формулой (2).

Однако такие стандартные действия при практических вычислениях часто оказываются невыполнимыми. Причины этого обсуждаются далее в п.4.

3. Организация структуры вычислительной платформы

Рассмотрим задачу составления оптимального меню для стандартного рекомендуемого перечня [3] балансируемых нутриентов в соответствии с нормами физиологических потребностей [3, 6].

Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах – это усредненная величина необходимого поступления пищевых и биологически активных веществ, обеспечивающая оптимальную реализацию физиолого-биохимических процессов, закрепленных в генотипе человека. Нормы [3] являются государственным нормативным документом, определяющим величины физиологически обоснованных современной наукой о питании норм потребления незаменимых пищевых веществ и источников энергии, адекватные

уровни потребления микронутриентов и биологически активных веществ с установленным физиологическим действием.

Данные нормы являются научной базой при планировании объемов производства основного продовольственного сырья и пищевых продуктов, при разработке перспективных среднелюдских норм потребления основных пищевых продуктов с учетом изменения социально-экономической ситуации и демографического состава населения, для обеспечения продовольственной безопасности страны, для планирования питания в организованных коллективах и лечебно-профилактических учреждениях. Также эти нормы используются при разработке рекомендаций по питанию для различных групп населения и мер социальной защиты; применяются для обоснования составов специализированных и обогащенных пищевых продуктов, служат критерием оценки фактического питания на индивидуальном и популяционном уровнях.

Нормы базируются на основных положениях Концепции оптимального питания [7]:

- энергетическая ценность рациона человека должна соответствовать энерготратам организма;

- величины потребления основных пищевых веществ – белков, жиров и углеводов – должны находиться в пределах физиологически необходимых соотношений между ними. В рационе предусматриваются физиологически необходимые количества животных белков – источников незаменимых аминокислот, физиологические пропорции ненасыщенных и полиненасыщенных жирных кислот, оптимальное количество витаминов;

- содержание макроэлементов и эссенциальных микроэлементов должно соответствовать физиологическим потребностям человека;

- содержание минорных и биологически активных веществ в пище должно соответствовать их адекватным уровням потребления.

Суть данной разработки заключается в том, что от усредненных величин, содержащихся в «Нормах физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах», планируется в итоге перейти к персонифицированным данным, учитывающим специфические параметры конкретного человека.

При моделировании вектора потребностей используется следующий перечень нутриентов.

Макронутриенты: 1 – белок, 2 – жир, 3 – углевод.

Микронутриенты: 4 – витамин С, 5 – витамин В2, 6 – витамин РР, 7 – К (калий), 8 – Са (кальций), 9 – Р (фосфор), 10 – Na (натрий).

Микронутриенты малых концентраций: 11 – витамин В1, 12 – витамин А, 13 – каротин, 14 – Mg (магний), 15 – Fe (железо).

Вода, входящая в состав большинства блюд, не относится в модели к числу балансируемых нутриентов.

Модели определения оптимального вектора **F** в правой части уравнения (1) используют рекомендации [3, 6, 7]. База данных по химическому составу продуктов и картотеке блюд использует данные [6, 8].

Клиент-серверная организация СУБД для реализации решения трех блоков задач цифровой нутрициологии, описанных выше в п. 2, предлагает единый

сервер и многообразие клиентских программ. В качестве системы хранения данных была выбрана объектно-реляционная СУБД [9] с открытым исходным кодом PostgreSQL (рис. 1).

PostgreSQL обладает рядом преимуществ по сравнению с обычными реляционными. Одним из достоинств является поддержка широкого спектра структур и типов данных: uuid, денежного, перечисляемого, геометрического, бинарного типов, сетевых адресов, битовых строк, текстового поиска, xml, json, массивов, композитных типов и диапазонов, а также некоторых внутренних типов для идентификации объектов.

Кроме большого количества поддерживаемых структур, в PostgreSQL предусмотрена интеграция с языками программирования C++, Python, Perl.

Поддержка такого количества структур упрощает работу с базой данных и улучшает гибкость использования такой СУБД в задачах машинного обучения и при разработке программного обеспечения.

Рис. 1 – Архитектура БД химического состава продуктов в PostgreSQL

Каждому продукту выставляется в соответствие свой id, присваивается класс продукта (овощи, фрукты...) и добавляются сопутствующие данные из таблицы (рис. 2).

Рис. 2 – Структура данных по химическому составу продуктов питания в PostgreSQL

После того как построена среда для проведения вычислений, можно перейти к численной реализации формул (1-6).

4. Анализ устойчивости матрицы нутриентов

Рассмотрим задачу составления оптимального меню для здорового человека с определенными антропометрическими параметрами, которым соответствует следующая суточная норма потребления нутриентов (рис. 3).

Рис. 3 – Суточная норма потребления нутриентов в граммах (женщина, 25 лет, 60 кг, I группа активности)

Введем некоторые естественные величины порций меню непосредственно в искомые коэффициенты x_j , т.е. предлагаемые блюда нормируются каждое на свой типичный вес. Как предлагалось выше в п.2, составим меню, в котором число блюд точно равно числу балансируемых нутриентов. Пример такого меню приведен ниже:

апельсин = 100 г

каша манная вязкая на воде б/ж (вар. I) = 150 г

варенье из абрикосов = 10 г

кофе черный б/с = 200 г

суп-щи зеленые со сметаной и яйцом = 150 г

хлеб зерновой = 50 г

салат из свежих огурцов и помидоров с зеленым луком и майонезом = 150 г

пицца с морепродуктами = 150 г

сок фруктовый с мякотью = 200 г

чернослив (сушеный) = 90 г

сок фруктовый с мякотью = 200 г

борщ московский с мясом без сметаны = 150 г

каша рисовая рассыпчатая на воде со сливочным маслом = 150 г

хлеб пшеничный (батон нарезной) муки 1с = 40 г

компот из сухофруктов с сахаром = 200 г

Однако, проведя формальные вычисления по формуле (2), получаем в качестве решения вектор, часть компонент которого отрицательна (Рис. 4), что не имеет смысла.

Рис. 4 – Вектор решения, соответствующий количественным коэффициентам порций блюд

Причина такого странного поведения решения для вполне приемлемого, казалось бы, меню состоит в том, что пищевая матрица A является плохо обусловленной, а элементы базы данных по химическому составу блюд известны с точностью порядка 10-15 %, существенно отклоняющейся от требований к точности элементов матрицы для разделения точек спектра.

Типичные спектральные портреты пищевых матриц суточных меню «мясоеда» и «вегана» приведены на рис. 5-6.

Рис. 5 – Спектральный портрет пищевой матрицы «мясоеда»

Рис. 6 – Спектральный портрет пищевой матрицы «вегана»

Построение спектральных портретов матриц основано на процедуре, описанной в книге [10]. Портрет показывает области, в которых лежат собственные значения матриц, если элементы этих матриц известны с точностью, десятичный показатель степени которой указан в легенде.

Из рис. 5-6 следует, что для корректного решения пищевого уравнения (1) элементы матрицы A должны быть известны по крайней мере с точностью 10^{-4} , что на самом деле не реализуется. Из этого рассмотрения следует, что увеличение количества дней при расчете меню не изменит долевого соотношения между нутриентами, и потому одновременный расчет величины порций при условиях контроля всех 15 нутриентов невозможен.

Поступим тогда следующим образом. Выберем строки системы (1) с доминирующими элементами, относящимися к макронутриентам, и проведем объединение блюд меню так, что вместо плохо обусловленной матрицы 15×15 получилась бы «хорошая» матрица 3×3 (рис. 7). Отметим, что идея баланса только по макронутриентам (белки, жиры, углеводы) используется в расчетах (см., например, [11]), но без объяснения причин такого выбора.

Рис. 7 – Спектральный портрет пищевой матрицы для макронутриентов

Из рис. 7 видно, что собственные значения идентифицируются начиная с точности примерно 0,4 ($10^{-0,4} \approx 0,4$). Это означает, что даже для весьма неточных измерений химического состава блюд решение задачи для макронутриентов будет корректным. Результаты расчета типичной калорийности суточного меню приведены на рис. 8.

Рис. 8 – Суточное потребление основных нутриентов: жиров, белков и углеводов

Соответствующее потребление всех нутриентов в сравнении с нормой приведено на рис. 9. Видно, что расчеты микронутриентов по некоторым компонентам имеют достаточно большую ошибку. В связи с этим требуется подобрать такие меню в последующие n суток, чтобы в течение заданного горизонта отклонение от нормы снижалось бы до допустимых величин.

Рис. 9 – Суточное потребление нутриентов по расчету макронутриентов

5. Заключение

В работе рассмотрены вычислительные аспекты определения состава и размеров порций меню блюд для здорового человека на основе балансирования существенных для жизнеобеспечения нутриентов. Показано, что обычные методы линейной алгебры могут приводить к большим ошибкам в силу плохой обусловленности пищевой матрицы. Дальнейшие направления исследований

связаны с расчетом горизонта планирования, на котором отклонения расчетного потребления нутриентов от рекомендуемой нормы находились бы в допустимых пределах по точности.

Список источников

1. Портнов Н.М. Электронный доктор // Практическая диетология, 2012, 2 (6).
2. Raper N., Perloff B., Ingwersen L., Steinfeldt L., Anand J. An overview of USDA's Dietary Intake Data System // J Food Compos Anal, 2004. 17 (3–4).
3. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08 «Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения РФ» (утв. главным государственным санитарным врачом РФ 18 декабря 2008 г.).
4. Калькулятор оптимального меню. / <http://idealnutrient.ru/>
5. Алексеев В.М. и др. Оптимальное управление. – М.: Наука, 1979. – 429 с.
6. Письмо Министерства здравоохранения РФ от 5 декабря 2014 г. N 13-2/1664 по МКБ десятого пересмотра.
7. Тутельян В.А. и др. Картотека блюд диетического (лечебного и профилактического) питания оптимизированного состава. – М.: Национальная ассоциация клинического питания, 2008. – 448 с.
8. Тутельян В.А. Химический состав и калорийность российских продуктов питания. Справочник. – М.: ДеЛи принт, 2012. – 284 с.
9. PostgreSQL <https://www.postgresql.org/>
10. Годунов С.К. Современные аспекты линейной алгебры. – Новосибирск: Научная книга, 1997. – 388 с.
11. Гращенко Д.В. Математическое моделирование рецептур для организации детского питания // Индустрия питания, 2018, 3 (4).