

УДК 355.65.1

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОДОВОЛЬСТВЕННЫХ ПАЙКОВ С ВЫБОРОМ АССОРТИМЕНТА ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ

Сименков Е.Л.

*Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, Минск, Беларусь,
mikhaltsova86@bsuir.by*

Аннотация. В системе продовольственной безопасности важная роль отводится рациональному питанию, обеспечивающему наилучшим образом потребности организма человека в энергии и незаменимых, жизненно важных веществах в конкретных условиях его жизнедеятельности. Статья посвящена моделированию и оптимизации продовольственных пайков с выбором ассортимента прод. уктов питания для военнослужащих.

Ключевые слова. Моделирование, оптимизация, продовольственный паёк.

Продовольственная безопасность – ситуация, при которой население страны в каждый момент времени имеет доступ к достаточной в количественном отношении безопасной пище, необходимой для ведения активной и здоровой жизни. Данное понятие имеет не только социально-экономический, но и политико-экономический характер.

Очевидно, что состояние продовольственной безопасности государства непосредственным образом влияет на систему продовольственного обеспечения военнослужащих. Поэтому после утверждения рассматриваемой Концепции были изменены и нормы продовольственных пайков военнослужащих: их состав и содержание (набор продуктов, количество белков, жиров, углеводов, витаминов, микроэлементов и аминокислот), определяющих сбалансированность и калорийность пайков в целом [11, 12].

Показателями состояния системы продовольственного обеспечения ВС являются.

В мирное время: степень удовлетворения физиологических потребностей организма военнослужащего в компонентах продуктов и энергетическое содержание пищевого рациона в целом; запасы продовольствия на случай чрезвычайных ситуаций и непредвиденных обстоятельств. В условиях Беларуси это молоко, мясо, яйца, хлеб, картофель, масло растительное, плоды, овощи, сахар (девять групп продовольственных товаров) и продукты их переработки в рационе питания населения обеспечивают 90% потребности в калориях и 85 % – в основных пищевых веществах. Энергетическая ценность рациона и его обеспеченность определенным количеством пищевых веществ учитывается индексами энергетической и пищевой ценности потребляемых продуктов питания, показывающих их долю относительно физиологических норм [11, 12].

В военное время: наличие, состояние и объемы запасов продовольствия.

Концепцией установлено четыре ее уровня, из которых для военнослужащих основным является национальный уровень. При этом стратегические продовольственные резервы государства должны обеспечить снабжение военнослужащих продовольственными пайками в случае войн, военных и вооруженных конфликтов, стихийных бедствий и катаклизмов. В качестве базовых продуктов рассматриваются

зерно, картофель, овощи, плоды, сахар, масло растительное, молоко, мясо и яйца.

В Концепции указаны три этапа достижения продовольственной безопасности страны. Принимается, что продовольственная безопасность страны не обеспечивается в случае, когда: население страны обеспечено экологически чистыми и полезными продуктами питания отечественного производства на 60–80 %; цены на продукты основной массе трудового населения не доступны; стратегические запасы продовольствия истощены или отсутствуют. Продовольственная безопасность страны является частичной, если: население страны обеспечено экологически чистыми и полезными продуктами питания отечественного производства не менее чем на 85 %; цены на продукты доступны основной массе трудового населения страны; стратегические запасы продовольствия ограничены и не обеспечивают устойчивое снабжение населения в случае чрезвычайных ситуаций и др.

Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь установлены соответствующим Постановлением [12].

Установлены следующие нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для взрослого населения и верхние допустимые уровни их потребления:

оптимальное соотношение по массе белков, жиров и углеводов в суточном рационе составляет 1:1:4;

содержание в рационе белков животного происхождения относительно общего количества белков не менее 50 %;

содержание белков относительно энергетической ценности суточного рациона составляет 11–13%, жиры – 30 %;

содержание жиров растительного происхождения в рационе питания 25–30 % от их общего количества, полиненасыщенных жирных кислот 5–10 % от калорийности суточного рациона.

Все трудоспособное население в зависимости от величины энергозатрат с учетом коэффициента физической активности (КФА) подразделяется на пять групп. Среди лиц одной профессии КФА изменяется в зависимости от энергоёмкости и условий деятельности.



Потребности в пищевых веществах и энергетической ценности рационов основных групп взрослых людей не могут быть полностью перенесены на военнослужащих, т.к. характер, условия труда, быта и учебно-боевой деятельности войск обладают специфическими особенностями. Физическая и нервно-психическая нагрузки военнослужащих постоянно меняются: возрастают в период боевой подготовки на учениях, во время физических тренировок, боевых дежурств и снижаются при отдыхе, на занятиях. Поэтому обоснование норм питания военнослужащих и организация их рационального питания в мирное и военное время – одна из основных задач в системе продовольственного обеспечения войск. Энергозатраты мужчин в возрасте 18–29 лет, т. е. фактически военнослужащих, проходящих срочную военную службу, соответствуют энергозатратам лиц, которые питаются по норме общеевойского продовольственного пайка.

В статье рассмотрены результаты исследований по учету санитарных норм, правил и нормативов потребления пищевых веществ и энергии военнослужащими. Учет выполняется на основе формулировки и решения задач, имеющих разные критерии оптимизации.

При исследовании возможностей улучшения, действующих продовольственных пайков и рационов питания военнослужащих возможны две ситуации. Первая ситуация заключается в ответе на вопрос, в какой мере можно устранить («смягчить») имеющиеся недостатки продовольственных пайков и рационов питания, не меняя ассортимента его продуктов? Вторая ситуация обусловливается необходимостью обоснования минимально возможных ресурсов, обеспечивающих выполнение всех требований, предъявляемых к продовольственным пайкам без изменения ассортимента его продуктов. С этой целью, используя методы математического программирования, сформулируем соответствующие задачи и разработаем их математические модели.

При выборе ассортимента и количества продуктов питания при наличии постоянных затрат необходимо учитывать наличие постоянных затрат, обусловленных производством, доставкой или хранением того или иного продукта, не зависящих от его количества. Указанная ситуация является характерной, например, при закупке отдельных продуктов питания. В этом случае стоимость каждого продукта питания определяется как

$$\phi_j(x_j) = \begin{cases} K_j + c_j x_j, & \text{если } x_j > 0, \\ 0, & \text{при } x_j = 0. \end{cases} \quad (1)$$

а суммарные затраты – функцией $\sum_{j=1}^n \phi_j$, которую требуется минимизировать.

Рассмотрим случай 1, когда ограничения задачи образуют множество допустимых решений задачи линейного программирования. Значение n определяет максимально возможное количество продуктов питания, которые могут образовать ассортимент продовольственного пайка.

Решение задачи (случай 1). Функция (1) является нелинейной, что является отличительной особенностью рассматриваемой ситуации. Выполним преобразование функции (1), что позволит рассматриваемые задачи представить в виде частично-целочисленных задач линейного программирования. Для этого введем булеву переменную $y_j = 1, j = \overline{1, n}$, если $x_j > 0$ и 0, если $x_j = 0$, а также достаточно большое число R . Тогда выражение (1) можно представить в виде

$$\phi_j(x_j) = \begin{cases} \sum_{j=1}^n y_j K_j + \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min; \\ 0 \leq x_j \leq R y_j, j = \overline{1, n}. \end{cases} \quad (2)$$

Откуда видно, что при $x_j > 0, y_j = 1$ и в целевой функции учитываются постоянные затраты. При $x_j = 0$ соответствующее слагаемое в целевой функции равняется 0, а так как решается задача минимизации, то и первое слагаемое примет значение, равное 0, т. е. $y_j = 0$. Выражение (2) учитывает ситуацию, когда выбор каждого из продуктов связан с наличием постоянных затрат. Если имеются продукты, при выборе которых постоянные затраты отсутствуют, то указанное выше преобразование для них не требуется. Как следствие, исходная задача нелинейного программирования преобразована к частично-целочисленной задаче линейного программирования вида. Найти

$$\sum_{j=1}^n y_j K_j + \sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min; \quad (3)$$

при условиях:

$$\sum_{i=1}^n (0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i) \geq \kappa_0, \quad (3.1)$$

$$\sum_{i=1}^n 0,04a_{i1}x_i \geq \sum_{i=1}^n 0,0\beta_1(0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i), \quad (3.2)$$

$$\sum_{i=1}^n 0,09a_{i2}x_i \geq \sum_{i=1}^n 0,0\beta_2(0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i), \quad (3.3)$$

$$\sum_{i=1}^n 0,04a_{i3}x_i \geq \sum_{i=1}^n 0,0\beta_3(0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i), \quad (3.4)$$

$$\sum_{i=1}^n b_{i2}x_i \geq \sum_{i=1}^n 0,5a_{i1}x_i, \quad (3.5)$$

$$\sum_{i=1}^n 0,25a_{i2}x_i \leq \sum_{i=1}^n b_{i3}x_i \leq \sum_{i=1}^n 0,3a_{i2}x_i, \quad (3.6)$$

$$n_{j2} \leq \sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \leq n_{j1}, j = \overline{4, 7}, \quad (3.7)$$

$$n_{j2} \leq \sum_{i=1}^n a_{ij}x_i \leq n_{j1}, j = \overline{8, 12}, \quad (3.8)$$

$$N_{j2} \leq \sum_{i=1}^{K_m} x_{ij} \leq N_{j1}, j = \overline{1, m}, \quad (3.9)$$

$$0 \leq x_j \leq R y_j, j = \overline{1, n}, \quad (3.10)$$

$$y_j = 0, 1, j = \overline{1, n}. \quad (3.11)$$

Ограничения (3.2) – (3.9) остаются без изменений, для сокращения записи в моделях далее они заменяются многоточием.



Случай 2. На практике не только целевая функция задачи, но и ее ограничения также могут быть нелинейными. Так, при закупке продовольствия логичным является условие обеспечения закупки i -ого вида продукта в установленных пределах, $d_{1i} \leq x_j \leq d_{2i}, j = \overline{1, n}$, т.е. продукт либо закупается в установленных пределах, либо не закупается совсем. Данное условие является нелинейным ограничением задачи.

Решение задачи (случай 2). Используя переменные $y_j, j = \overline{1, n}$, введенные выше в задаче, прямые ограничения задачи представим в виде $d_{1i}y_j \leq x_j \leq d_{2i}y_j, j = \overline{1, n}$. Тогда математическая модель, например, обратной задачи выбора ассортимента и количества продуктов при наличии постоянных затрат будет иметь вид. Найти

$$\sum_{i=1}^n (0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i) \rightarrow \max; \quad (4)$$

при условиях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n y_j K_j + \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq c_0, \\ \dots, \\ \dots, \\ d_{1i}y_j \leq x_j \leq d_{2i}y_j, j = \overline{1, n}, \\ 0 \leq x_j \leq R y_j, j = \overline{1, n}, \\ y_j = 0, 1, j = \overline{1, n}. \end{array} \right.$$

Учет наличия взаимоисключающих условий при выборе ассортимента продуктов питания

При выборе ассортимента продуктов по каждому из них необходимо принимать решение о включении их в состав продовольственного пайка. При этом появляется следующее условие: при включении j -го продукта в состав продовольственного пайка его количество должно находиться в некоторых разумных пределах, т.е. $d_{1i} \leq x_j \leq d_{2i}, j = \overline{1, n}$, в противном случае $x_j = 0$. Следовательно, имеются взаимоисключающие условия. В общем виде задачи данного класса рассмотрены в работе [11].

По аналогии с первой задачей запишем указанное выше условие в виде неравенства. С этой целью введем переменную $y_j = 0, 1$. Пусть $x_j = 0$, если $y_j = 0$, и $d_{1i} \leq x_j \leq d_{2i}$, при $y_j = 1, j = \overline{1, n}$. Тогда неравенство $d_{1i}y_j \leq x_j \leq d_{2i}y_j, j = \overline{1, n}$ учитывает сформулированные требования. Так, при $y_j = 1$ возможное количество j -го продукта подчиняется прямым ограничениям. При исключении продукта питания из ассортимента ПП, т.е. при $y_j = 0$, его количество равняется 0.

Прямая задача оптимизации. Найти

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min \quad (5)$$

при условиях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{i=1}^n (0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i) \geq k_0, \\ \dots, \\ \dots, \\ d_{1i}y_j \leq x_j \leq d_{2i}y_j, j = \overline{1, n}, \\ y_j = 0, 1, j = \overline{1, n}. \end{array} \right.$$

Обратная задача. Найти

$$\sum_{i=1}^n (0,04a_{i1}x_i + 0,09a_{i2}x_i + 0,04a_{i3}x_i) \rightarrow \max, \quad (6)$$

при условиях

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n c_j x_j \leq c_0, \\ \dots, \\ \dots, \\ d_{1i}y_j \leq x_j \leq d_{2i}y_j, j = \overline{1, n}, \\ y_j = 0, 1, j = \overline{1, n}. \end{array} \right.$$

Математические модели (5), (6) отражают ситуацию, когда в имеющемся наборе продуктов отсутствуют продукты, обязательные к включению в ассортимент пайка. Если имеются продукты, которые однозначным образом должны входить в продовольственный паёк (например, соль, сахар, специи и др.), то для них соответствующая переменная y_j не вводится. При этом их количество определяется исходными прямыми ограничениями задачи.

Обеспечение наличия в продовольственном пайке заданного количества продуктов питания

При выборе ассортимента продуктов с учетом взаимоисключающих условий логичным является требование, заключающееся в том, что ассортимент продовольственного пайка должен включать не менее (не более) K продуктам питания. Обозначим через K – количество продуктов питания с взаимоисключающими условиями и k_j – количество продуктов питания, которые в обязательном порядке должны входить в ассортимент пайка ($k_j \leq K$). Тогда в системе ограничений задач (5),(6) необходимо ввести дополнительное неравенство $-\sum_{j=1}^K y_j \geq k_1$. При введенном дополнительном условии **прямая задача** имеет вид. Найти

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j \rightarrow \min; \quad (7)$$

при условиях



ционов питания, выполнен анализ факторов, влияющих на нормирование питания военнослужащих. Научная новизна состоит в формулировке совокупности задач и разработке их математических моделей, обеспечивающих улучшение действующих продовольственных пайков военнослужащих без изменения ассортимента продуктов, разработку новых продовольственных пайков и рационов питания, как с фиксированным набором продуктов питания, так и с выбором их ассортимента. Математические модели выбора ассортимента продуктов разработаны в рамках нелинейного программирования, для решения которых предложен способ их преобразования к частично-целочисленным задачам линейного программирования.

Достоверность получаемых результатов обеспечивается:

корректной постановкой задач, строгим применением методов линейного, частично-целочисленного и нелинейного программирования;

учетом санитарных норм, правил и нормативов потребления пищевых веществ и энергии военнослужащими;

результатами анализа общевойскового продовольственного пайка, отражающими динамику и тенденции развития системы нормирования питания военнослужащих ВС РБ;

использованием результатом экспертизы продовольственных пайков и рационов питания.

На современном этапе даже при наличии проблем в мировой экономике большинство стран продолжает работу по улучшению продовольственных пайков военнослужащих, учитывая роль и значение вооруженных сил в системе военной безопасности страны. Военнослужащие являются одной из социально-значимых групп общества, состояние здоровья которых во многом определяет обороноспособность государства. Полученные результаты направлены, в том числе и на реализацию положений руководящих документов в предметной области, например, концепции национальной продовольственной безопасности. Они имеют простую физическую интерпретацию, обладают достаточной степенью общности, относительно несложным образом реализуются на практике.

Указанные выше обстоятельства обуславливают прикладное значение представленных в статье результатов.

Литература

1. Дунаевский, И. «Сечку не предлагать» чем кормят солдат в армиях разных стран мира / Российская газета. – Федеральный выпуск, 26.02.2014, №6317(45).
2. Ефимов, С. Корчагин, С. Система тылового обеспечения вооружённых сил Германии ч. 1 // Зарубежное военное обозрение. 2016, № 1, С.23–30.
3. Юфеев, С. Не хлебом единым / Военное обозрение 2.11.2011, Москва.
4. Приказ Министра обороны Республики Беларусь от 16.04.2013 г. № 380 «Об утверждении Инструкции о порядке продовольственного обеспечения ВС РБ в мирное время».
5. Приказ Министра обороны Республики Беларусь от 30.01.2014 г. №85 «Об утверждении Инструкции о порядке организации питания в ВС РБ».
6. Приказ Министра обороны Республики Беларусь от 3.01.2013 г. №3 «Об установлении норм обеспечения продовольствием военнослужащих и кормления штатных животных в Вооруженных Силах в мирное время и порядке их применения».
7. Кулешов, Ю.Е., Анализ мировых тенденций питания военнослужащих. Пути совершенствования питания военнослужащих Республики Беларусь / Ю.Е. Кулешов, С.И. Паскробка, Е.Л. Сименков / Военная медицина. 2018. – №2. – С. 104–113.
8. Франкевич, К. Хорошее питание – хорошая служба / Белорусская военная газета. «Во славу Родины», 14.11.2014, выпуск №212.
9. Средние цены на продовольственные товары [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.belstat.gov.by>.
10. Экспертное заключение по результатам гигиенической оценки продовольственных пайков и рационов питания / ВМФ УО «БГМУ». – Мн. 2017 г.
11. Лисейчиков, Н.И. Оптимизация продовольственных пайков военнослужащих / Н.И. Лисейчиков, Е.Л. Сименков // Наука и военная безопасность. – 2017. – №3. – С.33–36.
12. Постановление Минздрава Республики Беларусь 20 ноября 2012 г. №180, Об утверждении Санитарных норм и правил «Требования к питанию населения: нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Республики Беларусь» и признании утратившим силу постановления Министерства здравоохранения Республики Беларусь от 14 марта 2011 г. №16.

MODELING AND OPTIMIZATION OF FOOD RATIONS WITH THE CHOICE OF FOOD RANGE

E.L. Simenkov

Belarusian State University of Informatics and Radioelectronics, Minsk, Belarus, mikhaltsova86@bsuir.by

Annotation. In the food security system, an important role is given to rational nutrition, which best meets the human body's needs for energy and essential, vital substances in the specific conditions of its life. The article is devoted to the modeling and optimization of food rations with the selection of a range of food products for military personnel.

Keywords. Modeling, optimization, food rations.